

인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지
노출저감 기술개발 기획 최종보고서

2018. 11.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

Land · Infrastructure and Transport
R&D Report

인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술개발 기획 최종보고서
국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술개발 기획" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018년 11월

주관연구기관명: 한국철도기술연구원

주관연구책임자: 박덕신 수석연구원

연 구 원

" : 문대섭 수석연구원
" : 엄진기 책임연구원
" : 정우태 책임연구원
" : 이철규 책임연구원
" : 김용기 책임연구원
" : 조영민 선임연구원
" : 김민정 선임연구원

보고서 요약서

연구과제명	인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술개발 기획				
연구책임자	박덕신	해당단계 참여 연구원 수	총: 8 명 내부: 8 명 외부: 0 명	해당단계 연구비	정부:42,000천원 민간: 천원 계: 42,000 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 8 명 내부: 8 명 외부: 0 명	총 연구비	정부:42,000천원 민간: 천원 계: 42,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국철도기술연구원			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
<p>요약</p> <p>지하철의 쾌적한 공기질을 유지하고 국민 생활건강을 확보하기 위해 본 기획과제에서 도출된 주요 연구개발 기술은 다음과 같음.</p> <ol style="list-style-type: none"> 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 지하철 공기질 상시 모니터링 및 빅 데이터 수집 기술 · 인공지능 기반의 사전예방대응용 지하철 공기질 예측모델 개발 · (초)미세먼지 고속, 고용량 집진장치 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 <ul style="list-style-type: none"> · 공조 환기시스템 구조별 최적 리트로핏 모듈 기술 · 공조 환기시스템 리트로핏 모듈의 현장 적용·구축기술 					
				보고서 면수: 274	

<제목 차례>

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
제1절 연구개발의 배경 및 필요성	1
1. 지하철 공기질의 현황 및 문제점	1
2. 지하철 공조시스템 현황 및 문제점	12
3. 인공지능 기술의 적용 현황 및 문제점	17
4. 연구개발의 시급성 및 중요도	18
5. 정부 지원의 필요성	19
제2절 기술의 정의 및 분류	20
1. 기술의 목표	20
2. 세부기술의 정의	24
제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석	27
제1절 국내외 정책동향 및 분석	27
1. 다중이용시설 공기질 관련 국내외 정책동향	27
2. 지하철 공기질 관련 국내외 정책동향	31
제2절 국내외 시장현황 및 전망	34
1. 다중이용시설 공기질 기술관련 시장현황 및 전망	34
2. 지하철 공기질 기술관련 시장현황 및 전망	40
제3절 국내외 기술동향 및 법제도 분석	42
1. 기술현황 분석	42
2. 다중이용시설 공기질 관리 관련 기술현황 분석	73
3. 지하철 공기질 관리 관련 법제도 현황	77
제4절 특허분석	79
1. 특허동향분석 목적 및 범위	79
2. 특허동향	88
3. 주요 출원인 분석	100
4. 특허기술 장벽도 분석	109
5. 연구 아이템 장벽도 종합 분석 결과	138
제5절 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)과의 차별성	141
1. 유사과제 분석	141
2. 기존 기술(연구)와의 차별성	144

제6절 연구개발 인프라 분석	148
1. 분야/세부 기술 분류별 기술수준 평가	148
2. 전문인력 및 장비 인프라 현황	150
3. 성과물 활용 인프라 - 성과물에 대한 수요처 및 적용가능성 여부 판단	153
제7절 종합분석	154
1. 환경분석	154
2. SWOT 분석	176
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략	179
제1절 비전 및 목표	179
제2절 핵심요소기술 선정	181
1. 후보기술 도출	181
2. 우선순위 도출	184
3. 핵심요소기술 선정	187
제3절 연구개발과제 구성	198
제4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략	218
제5절 세부과제 간 연계관계	227
제6절 기술로드맵 및 성과로드맵	228
제7절 산업생태계 분석	232
1. 공급자	232
2. 수요자	233
3. 시장구조	235
제8절 연구과정상 위험요소 및 대응방안	237
제9절 성과활용 및 사업화전략	238
1. 성과활용	238
2. 사업화전략 (비즈니스 모델)	239
제 4 장 사전타당성 검토	242
제1절 논리모형 및 기술개발에 따른 미래상	242
제2절 정책적 타당성	249
제3절 기술적 타당성	251
제4절 경제적 타당성	253

제5절 종합 타당성 분석	255
제 5 장 소요예산 산정	257
제1절 인력투입계획	257
제2절 소요예산 산정	258
제3절 예산적정성 검토	263
제 6 장 과제공모 방안	265
제1절 과제제안 요구서(안)	265
1. 총괄과제	265
2. 제 1세부과제	267
3. 제 2세부과제	269
제2절 연구 평가기준(안)	271

< 표 차례 >

<표 1-1> 실내공기질 관리법 기준	2
<표 1-2> 제3차 지하철역사 공기질 개선대책의 추진 과제 및 상세 내용	3
<표 1-3> 대중교통차량의 실내공기질 권고기준	5
<표 1-4> 서울 지하철 1호선의 승객 이동 경로 별 미세먼지 농도	6
<표 1-5> 지하철 미세먼지의 성분별 농도	9
<표 1-6> 지하철 이용객의 미세먼지 노출 시나리오	10
<표 1-7> 백필터를 사용한 지하철 공조시스템 운용역사	13
<표 1-8> 롤필터를 사용한 지하철 공조시스템 운용역사	14
<표 2-1> 환경정책기본법 미세먼지(PM _{2.5}) 환경기준 강화	28
<표 2-2> 세계 실내 공기질 시장 현황	34
<표 2-3> 실내 공기정화 관련 기업 및 기술특징	37
<표 2-4> 국내 공기청정기 시장 현황	39
<표 2-5> 지하철 공조 시스템 관련 기술 현황	40
<표 2-6> 패브릭 필터의 세계 시장 현황	42
<표 2-7> 미국 내 주목받는 상위 5 공기정화 필터 제품	43
<표 2-8> 활성탄소섬유 필터의 특징	44
<표 2-9> 활성탄소섬유 필터 제품	45
<표 2-10> 대기오염물질 측정방법 및 특성	48
<표 2-11> 실내 공기질 측정을 위한 항목별 분석법	50
<표 2-12> 국내 지하철 환기 방식	53
<표 2-13> 서울지하철의 미세먼지 제어 방법 및 효과	55
<표 2-14> 신분당선 전동차 내 자동환기 작동 범위 및 로직 (개선 전/후)	60
<표 2-15> 홍콩지하철의 실내 공기 관리 프로그램	64
<표 2-16> 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법 기준	77
<표 2-17> 특허 검색 데이터베이스 및 검색범위	80
<표 2-18> 특허 검색 분석대상의 기술 분류	80
<표 2-19> 특허 검색 분석대상의 기술검색기준	81
<표 2-20> 기술분류체계에 따른 최종 특허 검색식	82
<표 2-21> 특허 검색 대상기술의 유효특허 추출기준	86
<표 2-22> 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술의 유효특허 선 별결과	87
<표 2-23> 2014-2015년도 주요 특허 출원인	88
<표 2-24> 2014-2015년도 세부기술 특허 점유율	90

<표 2-25> 한국 특허청 2014-2015년도 주요 출원인	90
<표 2-26> 미국 특허청 2014년도 주요 출원인	91
<표 2-27> 다출원 기준 주요 특허 출원인	100
<표 2-28> 국가별 다출원 기준 주요 출원인	104
<표 2-29> 주요 특허 리스트	109
<표 2-30> 인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술 연구 아이템의 장벽도 종합 분석	138
<표 2-31> 국내 유사과제 현황	143
<표 2-32> 국내 지하철 미세먼지 관련 전문 연구인력 현황	150
<표 2-33> 과제 관련 연구기자재 및 시설 현황	151
<표 2-34> PM2.5의 화학적 성분 및 독성	154
<표 2-35> 지역별 대기오염 저감장치 시장전망	156
<표 2-36> 대기오염 관련 제품별 시장전망	157
<표 2-37> 먼지 센서의 주요 제품 및 성능	163
<표 2-38> 대기환경보전법의 시설별 먼지 배출허용기준	171
<표 3-1> 인공지능을 이용한 지하철 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발의 연구비 구성(안) ..	180
<표 3-2> 전문가 기술수요 및 기술예측 조사를 통해 제안된 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시 스템 관련 후보기술	181
<표 3-3> 전문가 기술수요 및 기술예측 조사를 통해 제안된 후보기술의 분류별 매칭	182
<표 3-4> 지하철 (초)미세먼지 노출 저감 후보기술의 우선순위 평가항목	184
<표 3-5> 지하철 공기질 모니터링 기술의 우선순위 평가 결과	185
<표 3-6> 지하철 (초)미세먼지 제거 기술의 우선순위 평가 결과	186
<표 3-7> 핵심요소기술 선정 결과	187
<표 3-8> 도시철도 운영사 수요조사 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출저감 기술개발의 세부과 제 분류	199
<표 3-9> 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출저감 기술개발의 세부과제 분류	201
<표 3-10> 인공지능 모델 기반의 (초)미세먼지 예측 관련 연구 현황 및 예측 정확도	212
<표 3-11> 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발 목표	215
<표 3-12> 도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율향상 핵심기술 개발 목표	216
<표 3-13> 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발의 세부기술 분류 및 목표 성능수준	217
<표 3-14> 지하철 (초)미세먼지 빅 데이터 변수	218
<표 3-15> 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술 개발의 추진 일정	220
<표 3-16> 재실자 기반의 사전예방대응용 공조 환기 제어기술 개발의 추진 일정	222
<표 3-17> (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 개발의 추진 일정	223

<표 3-18> 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술 개발의 추진 일정	225
<표 4-1> 인공지능 (초)미세먼지 노출 저감 기술개발에 따른 미래 지하철 변화	242
<표 4-2> 미세먼지 관련 기존 연구와 기획과제와의 차별성	248
<표 4-3> 미세먼지 저감량에 따른 진료비 예상 절감액	254
<표 5-1> 본 기획과제의 비목별 연구비 비율	264

<그림 차례>

<그림 1-1> 지하철 미세먼지 농도 관련 언론 보도	1
<그림 1-2> 서울 지하철 승객 수 상위 역사의 미세먼지 농도 (2007-2016)	5
<그림 1-3> 서울 지하철 전동차 내 미세먼지 농도 (2015-2016)	6
<그림 1-4> 지하철 오염물질 유입경로	7
<그림 1-5> 전동차 운행에 의한 (초)미세먼지 발생 메커니즘	7
<그림 1-6> 지하철 미세먼지 오염원별 발생원 분석	8
<그림 1-7> 지하철 운영기관의 미세먼지 해결방안 수요조사서	11
<그림 1-8> 지하철 역사의 공조시스템	12
<그림 1-9> 이촌역 내 공조시스템	15
<그림 1-10> 이촌역 공조시스템 필터 전, 후의 미세먼지 농도	15
<그림 1-11> 지하역사 공조실 내 공기조화기	16
<그림 1-12> 혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획	17
<그림 2-1> 국가전략 프로젝트 - (초)미세먼지 해결 기술개발 사업의 로드맵	27
<그림 2-2> 중국의 실내공기질 기준	29
<그림 2-3> 홍콩의 실내공기질 기준	29
<그림 2-4> 호주의 실내공기질 기준	30
<그림 2-5> 제3차 지하역사 공기질 개선 5개년 대책	31
<그림 2-6> 홍콩 대중교통차량 실내공기질 기준	33
<그림 2-7> 2016-2021년 실내 공기질 시장의 성장 예측	34
<그림 2-8> 2016-2020년 실내공기 정화 세계시장의 경향	35
<그림 2-9> 세계 지역별 실내 공기정화기술 시장 수준	36
<그림 2-10> 세계 지역별 실내 공기정화시장 관련 기업 현황	36
<그림 2-11> 입자상 오염물질의 측정 방법	48
<그림 2-12> M2M CDMA 무선통신을 이용한 실내환경 모니터링 시스템	49
<그림 2-13> 미세먼지 측정을 위한 베타 방사선 측정기술	51
<그림 2-14> 미세먼지 측정을 위한 레이저 회절 기술	52
<그림 2-15> 국내 지하철의 환기 시스템 개념도	53
<그림 2-16> 서울지하철 객실에 적용된 공기정화기술	54
<그림 2-17> 이온화 공기 정화 기술	55
<그림 2-18> 적외선 CO2 분석기의 기준파장 및 측정파장	57
<그림 2-19> 객차 CO2 측정용 적외선 분석기 시스템 외관	58
<그림 2-20> 지하철 객차용 CO2 센서의 상세 구성	58
<그림 2-21> 지하철 객차용 벽걸이형 공기청정기 외관	59

<그림 2-22> 신분당선 전동차 냉방 및 자동 환기 시 공기 흐름도	60
<그림 2-23> 신분당선 전동차 내 신선공기필터 부직포 추가 설치	61
<그림 2-24> 에어덕트 위치와 지하철 객실 내부의 공기흐름	62
<그림 2-25> 공기 순환을 이용한 지하철 객실 미세먼지 정화 시스템	62
<그림 2-26> 지하철 공기질 개선기술 SCAP 내 미세먼지 필터	63
<그림 2-27> 홍콩지하철 객차의 공조시스템 개략도	64
<그림 2-28> 홍콩지하철 객차의 환기시스템 개략도	65
<그림 2-29> 일본 시부야 역사의 온열 쾌적성 예측연구	66
<그림 2-30> 일본 시부야 역사의 자연환기 활용 기술	66
<그림 2-31> 호주 시드니 지하역사의 공조시스템	67
<그림 2-32> 국내 지하역사의 공조시스템 계통도	68
<그림 2-33> 극성매체 전자 공기 청정 기술 개념도	68
<그림 2-34> 공기 중 총 부유세균 포집장치	70
<그림 2-35> 홍콩지하철의 미생물 번식 예방 정화장치 및 광코팅 기술	71
<그림 2-36> 유해미생물의 열역학 멸균 기술	71
<그림 2-37> 유해미생물의 자외선 살균 기술	72
<그림 2-38> IMPROVE LIFE Project의 스페인 바르셀로나 지하철 미세먼지 성분 분석	74
<그림 2-39> Transport for London의 지하 공기질 개선 사업	75
<그림 2-40> 주요 출원국 연도별 특허 동향	89
<그림 2-41> 주요 출원국 내·외국인 특허출원 현황 ('06~'15)	92
<그림 2-42> 연도별 주요 출원국 내·외국인 특허출원 현황	93
<그림 2-43> 특허기술 성장단계별 의미	96
<그림 2-44> 주요 국가별 특허기술 성장단계	98
<그림 2-45> 다출원 기준 주요 출원인(상위 20위) 국적 및 기관특성 비중	103
<그림 2-46> SONY CORP의 기술진화 분석	106
<그림 2-47> PANASONIC CORP의 기술진화 분석	107
<그림 2-48> MITSUBISHI ELECTRIC CORP의 기술진화 분석	108
<그림 2-49> 인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 요소기술의 특허 장벽도 분석	140
<그림 2-50> 서울시 환승량, 공기질, 차량 속도 및 교통량 공공 데이터	144
<그림 2-51> 소형 미세먼지 측정 센서	145
<그림 2-52> 개발 연구 중인 (초)미세먼지 제거차량 모식도	146
<그림 2-53> 미세먼지 크기별 제거 기작 및 효율	146
<그림 2-54> 다중 크기의 입자 분포 및 응집 개념도	147
<그림 2-55> 이온 및 UV를 활용한 제균기술	147

<그림 2-56> 실제 기후 환경을 재현할 수 있는 실험용 환경 챔버	152
<그림 2-57> 미세먼지 제어시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)	158
<그림 2-58> 미세먼지 정화시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)	159
<그림 2-59> 미세먼지 예측 및 자동정화시스템 연간 글로벌 시장규모	160
<그림 2-60> 열차 미세먼지 정화시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)	160
<그림 2-61> 열차 미세먼지 예측 및 자동정화시스템 연간 지역별 시장규모 (단위: 백만 달러)	161
<그림 2-62> 미세먼지 모니터링 시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)	162
<그림 2-63> 열차 미세먼지 모니터링 시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)	162
<그림 2-64> AirVisual이 개발한 미세먼지 측정 어플리케이션	164
<그림 2-65> Oizom이 개발한 실내 오염물질 측정기	164
<그림 2-66> Honeywell이 개발한 미세먼지 레이저 센서	165
<그림 2-67> Hitachi에서 개발한 실내 공기오염도 모니터링 센서	165
<그림 2-68> SENSIRION의 PM2.5 측정 센서 (출시예정)	166
<그림 2-69> 공기오염 모니터링 센서를 탑재한 Sharp의 공기청정기	166
<그림 2-70> KAIST 장홍영 교수 연구팀이 개발한 미세먼지 제거기술	167
<그림 2-71> 기계연 연구팀이 개발한 미세먼지 플라즈마 버너 작동원리	168
<그림 2-72> GIST에서 개발한 초미세먼지 구성성분 실시간 측정 장치 모식도	168
<그림 2-73> 재료연구원에서 개발한 전도성 부직포 필터 소재 제작 개요도	169
<그림 2-74> 인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술의 SWOT 분석	176
<그림 3-1> 인공지능 기반 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발 연구의 목표 및 핵심 과제	179
<그림 3-2> 핵심 연구개발 기술의 (초)미세먼지 저감 효과	180
<그림 3-3> 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시스템 기술개발의 과제 구성 및 연구 추진체계	200
<그림 3-4> (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 제거기술의 개념도	214
<그림 3-5> 지하철 공기질 센서의 이상 감지 및 복원 개념도	219
<그림 3-6> 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술의 개념도	219
<그림 3-7> 지하철 공간별 승객 수 예측의 개념도	221
<그림 3-8> 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술의 개념도	221
<그림 3-9> 전동차 HVAC 부착형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진기술의 개념도	222
<그림 3-10> 전자분무를 이용한 (초)미세먼지 조대화 원리	224
<그림 3-11> 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술의 개념도	224
<그림 3-12> 공조 환기시스템 리트로핏 기술의 개념도	226
<그림 3-13> 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 저감기술 개발의 세부기술 간 연계관계 ..	227

<그림 3-14> 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 저감 기술개발 로드맵	228
<그림 3-15> 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출 저감 기술개발 로드맵	231
<그림 3-16> 환경산업 분야별 공급자(산업체) 현황	232
<그림 3-17> 환경지식·정보·감시 관련 기술 공급자의 매출액 추이	233
<그림 3-18> 세계 대기오염 시장 규모 및 지역별 시장 전망	235
<그림 3-19> 서울 지하철 전동차 호선별 평균 미세먼지 농도 현황(연합뉴스)	243
<그림 4-1> 인공지능 기반의 지하철 공기질 관리 미래상	247
<그림 5-1> 국토교통 R&D의 과제별 비목별 연구비	264

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

제1절 연구개발의 배경 및 필요성

1. 지하철 공기질의 현황 및 문제점

- 최근 중국을 포함한 동아시아의 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}) 오염이 국제적 이슈로 부각되어 미세먼지 오염에 대한 국민의 관심과 인식 수준이 매우 높으며, 국민이 실생활에서 체감하는 미세먼지 오염도는 매우 높은 상황임.
- 지하철은 대표적 미세먼지 오염 생활공간으로 언론매체 보도를 통해 국민의 관심사로 다뤄지고 있음.



〈그림 1-1〉 지하철 미세먼지 농도 관련 언론 보도

- 초미세먼지(PM_{2.5})의 경우 2018년부터 ‘실내공기질 관리법 (약칭: 실내공기질법)’ 권고기준에 추가됨에 따라 지하철 내 미세먼지, 초미세먼지 관리의 중요성이 증대되고 있음.
 - 실내공기질 관리법: 다중이용시설, 신축 공동주택 및 대중교통차량의 실내 공기질을 알맞게 유지·관리하여 국민의 건강을 보호하고 환경상의 위해를 예방하기 위한 사항을 규정한 법 (법률 제14486호, 일부개정 2016.12.27)
 - 지하역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실 등 불특정 다수의 사람들이 이용하는 시설 중 대통령령으로 정하는 규모의 다중이용시설을 적용대상으로 함 (법 제3조제1항).

<표 1-1> 실내공기질 관리법 기준

(ㄱ) 유지기준 (법 제5조제2항)

오염물질 항목 다중이용시설	미세먼지 (PM-10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	이산화탄소 (ppm)	폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균 (CFU/ m^3)	일산화탄소 (ppm)
가. 지하역사, 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	150 이하	1,000 이하	100 이하	-	10 이하
나. 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집	100 이하			800 이하	
다. 실내주차장	200 이하			-	25 이하
라. 실내 체육시설, 실내 공연장, 업무시설, 둘 이상의 용도에 사용되는 건축물	200 이하	-	-	-	-

(ㄴ) 권고기준 (법 제6조)

오염물질 항목 다중이용시설	이산화질소 (ppm)	라돈 (Bq/ m^3)	총휘발성 유기화합물 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	미세먼지 (PM-2.5) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	곰팡이 (CFU/ m^3)
가. 지하역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실, 여객자동차터미널의 대합실, 항만시설 중 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 도서관·박물관 및 미술관, 대규모점포, 장례식장, 영화상영관, 학원, 전시시설, 인터넷컴퓨터게임시설제공업의 영업시설, 목욕장업의 영업시설	0.05 이하	148 이하	500 이하	-	-
나. 의료기관, 어린이집, 노인요양시설, 산후조리원			400 이하	70 이하	500 이하
다. 실내주차장			1,000 이하	-	-

□ 환경부는 ‘지하역사 공기질 개선 5개년 대책’ 실시 (제1차: ‘08-’ 12, 제2차: ‘13-’ 17, 제3차: ‘18-’ 22)를 통해 지하철 실내 공기질 개선에 예산을 지속적으로 투입하고 있음.

- 환경부는 2018년 3월 ‘제3차 지하역사 공기질 개선대책’ 을 발표함. 지하철 미세먼지 오염도를 13.5% 저감(69.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$)하여 숨 쉬기 편안한 지하철 환경을 조성하는 것을 목표로 함.

<표 1-2> 제3차 지하역사 공기질 개선대책의 추진 과제 및 상세 내용

대상	추진 과제	상세 내용
지하역사 (승강장, 대합실)	지하역사 공기질 관리체계 강화	<ul style="list-style-type: none"> · 미세먼지 (PM₁₀) 유지기준 강화 (‘18) · 미세먼지 (PM_{2.5}) 기준 신설 (‘18) · 주요역사 미세먼지 자동측정기기 설치 의무화 (‘19) · 실내공기질 관리자(가칭) 전문자격 제도 도입 (‘20)
	외부 미세먼지 유입 차단	<ul style="list-style-type: none"> · 노후 환기설비(136대), 자동세정장치·필터(622대) 개선 · 외부 미세먼지 유입 억제 방풍문 추가 설치(‘20, 17개 역사) · 흡기 환기구의 1.5m 이상 높이 설치 (신설 역사 28개)
	환기설비 운영 효율성 제고	<ul style="list-style-type: none"> · 환기설비 내 필터규격 등 성능 구체화 · 「지하역사 환기설비 운영·관리 규정」 마련
	스마트 공기질 관리 시스템 도입	<ul style="list-style-type: none"> · 빅 데이터 분석을 통한 최적의 공조 시스템 운영 · 대전 정부청사역 대상 실증화 시범 사업 (‘18~’ 19)
	미세먼지 특별 관리역사 지정 관리	<ul style="list-style-type: none"> · 오염도가 상대적으로 높은 역사를 ‘특별관리역사’ 로 지정 · 환기설비 가동 및 물청소 증회 등 집중관리
터널	미세먼지 발생원 제거	<ul style="list-style-type: none"> · 잔여 자갈도상(210.2 km) 중 25.3 km 개량 추진 · 흡음몰탈 단계적 제거 (‘22, 47개 역) · 경유사용 점검용 모터카의 축전지식

		전환 ('22, 28대)
	터널 내부 물청소 강화	<ul style="list-style-type: none"> · 집진차량(2대), 고압 살수차량(2대) 도입 운영 · 연 1회 이상 인력 활용 물청소 · 터널 물청소를 위한 살수배관 설치 확대
	터널 모니터링 및 hot spot 관리	<ul style="list-style-type: none"> · 지속관리가 필요한 터널구간에 대해 정기적인 모니터링 실시 · 오염도를 토대로 터널 내 Hot Spot 구간 지정 및 집중관리
	첨단기술 활용 미세먼지 저감	<ul style="list-style-type: none"> · 전동차 하부 부착형 저감기술 적용 시범사업 추진 ('20) · 터널 본선 환기구에 양방향 집진 시스템 적용 시범사업 추진 ('18~)
지하철 객실	차량 공기질 관리체계 강화	<ul style="list-style-type: none"> · 미세먼지 권고기준(PM₁₀)을 환경부령으로 상향 및 기준치 강화 ('19) · 자가 측정 의무화 및 측정주기 강화 (2년 1회 → 1년 2회, '19)
	차량 공기질 개선장치 설치 확대	· 서울 모든 차량(3,510량)에 '차량 공기질 개선장치' 시범설치 ('19)
	차량 공기질 관리 자체 이행계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> · 지하철 기관별 「차량 청소 및 냉난방·환기설비 관리계획」 수립 · 「합동 점검단」 구성 및 주기적 추진 실적 점검, 평가
	교육 홍보 강화	<ul style="list-style-type: none"> · 대중교통 차량 운행 시 실내 공기질 관리 가이드라인 마련, 배포 (환경부) · 미세먼지 관리에 대한 홍보물 제작, 배포 (지하철 기관)

□ 환경부는 지하철, 열차, 시외버스를 대상으로 '실내공기질 관리를 위한 대중교통차량의 제작·운영 관리지침'을 마련하여 지자체 및 대중교통사업자에게 자율 준수토록 권고함.

- 「실내공기질 관리법」 제9조2에 따라 대중교통차량의 실내 공기질을 쾌적하게 유지·관리하기 위해 필요한 사항을 정하여 권고함으로써 대중교통차량을 이용하는 국민의 건강을 보호하고 환경상의 위해를 예방함을 목적으로 함 (환경부고시 제2017-10호, 일부개정 2017.1.17)

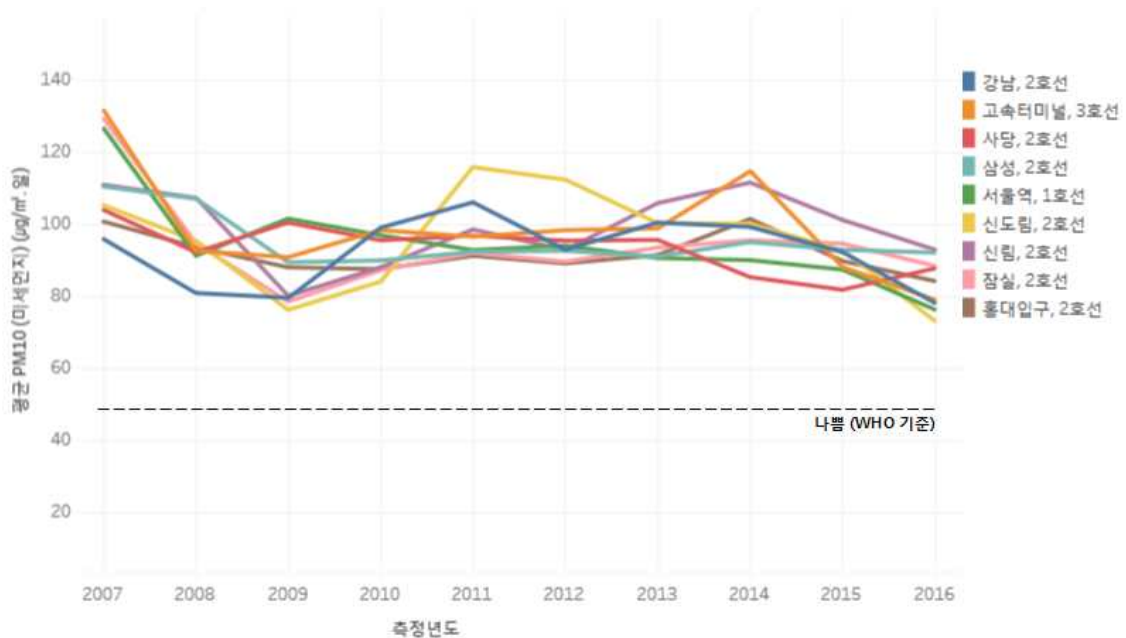
- 신규 차량 제작 시에는 냉방장치를 통해 유입되는 외부공기량이 지하철은 승객 1인당 12 m³/시간 이상, 열차·버스는 20 m³/시간 이상이 되도록 미세먼지 저감 장치를 설치하도록 권고함.
- 환경부 고시로 관리 중인 미세먼지 권고기준을 2019년 환경부령으로 상향 조정 예정임.

<표 1-3> 대중교통차량의 실내공기질 권고기준

	이산화탄소		미세먼지
	비혼잡시간대	혼잡시간대	
지하철	2,000ppm 이하	2,500ppm 이하	200 µg/m ³
철도, 시외버스	2,000ppm 이하	2,500ppm 이하	150 µg/m ³

* 혼잡시간대: 주중 07:30~09:30, 18:00~20:00
* 비혼잡시간대: 혼잡시간대 외의 시간대

□ 지하철의 실내 공기질 개선을 위한 정부의 노력에도 불구하고 지하역사 내 미세먼지 농도는 여전히 높은 것으로 보고되고 있음. 2016년 기준 인천(14개 역사), 서울(6개 역사)의 지하역사 연평균 미세먼지 농도는 80.9 µg/m³, 64.5 µg/m³로 ‘실내공기질 관리법’ 유지기준 이하이나, 세계보건기구(WHO)의 나쁨 기준(50 µg/m³)을 크게 상회하는 것으로 조사됨^{1),2)}.



<그림 1-2> 서울 지하철 승객 수 상위 역사의 미세먼지 농도 (2007-2016)

1) 동아일보, “지하철 미세먼지, 서울 충무로-동대문역 최악” (2017.04.19.)
2) 황성호, 김종오, “지하철역사의 호선별로 미세먼지의 노출특성에 대한 평가”, 한국환경보건학회지 (2017)

- 지하철 전동차 경우 2016년 기준 서울 지하철, 대구 지하철 내 평균 미세먼지 농도는 121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 ‘대중교통수단 실내공기질 가이드라인’ 권고기준 이하이나, 세계보건기구의 매우 나쁨 기준(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 상회하는 것으로 조사됨³⁾.
- 한국철도기술연구원의 2012년 조사에 따르면 서울 지하철 1호선 전동차 내 미세먼지는 199.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 초미세먼지는 168.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4호선 전동차 내 미세먼지는 96.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 초미세먼지는 73.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 세계보건기구의 나쁨 기준을 상회함.



<그림 1-3> 서울 지하철 전동차 내 미세먼지 농도 (2015-2016)

- 특히 지하철 운전실의 경우 최근 3년간 미세먼지는 평균 115.7~137.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (서울교통공사), 초미세먼지는 평균 136~160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (인천교통공사, 창문 개방 시 191.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 조사되었으며, 전국 지하철 종사자의 직업성 호흡기 관련 질환의 산업재해 발생은 근로자 10만 명당 91.3 명으로 전체사업장 4.9명 대비 18.6배에 달하는 것으로 조사됨⁴⁾.
- 한국철도기술연구원의 2015년 조사에 따르면 지하철 이용객의 이동 경로인 지하철 입구, 대합실, 승강장, 객차 중 승강장의 미세먼지 농도가 가장 높은 것으로 나타남⁵⁾.

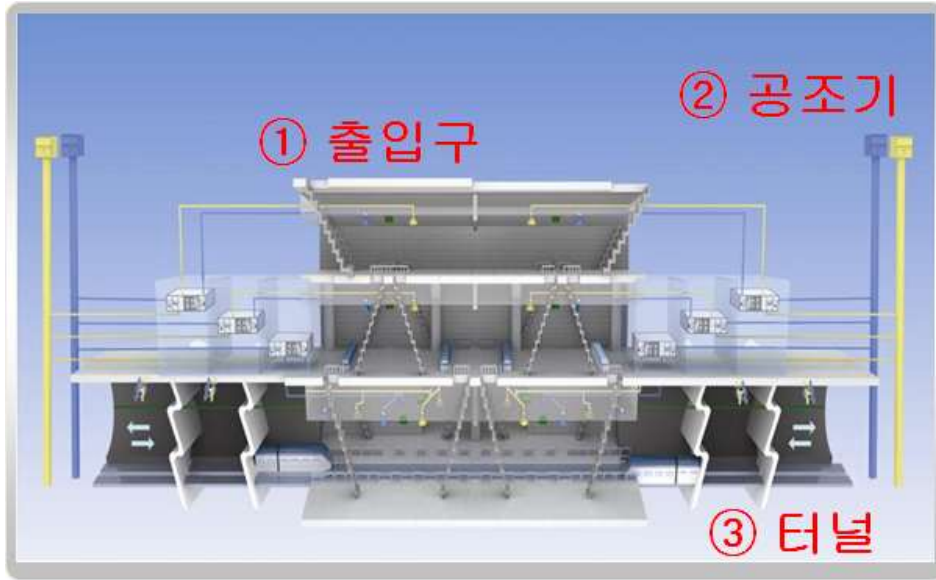
<표 1-4> 서울 지하철 1호선의 승객 이동 경로 별 미세먼지 농도

[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	지하철 입구	대합실	객차	승강장
PM ₁₀	20.8	21.9	26.6	47.1

3) 환경일보, “지하철 객실, 역사 미세먼지 심각” (2017.04.01.)

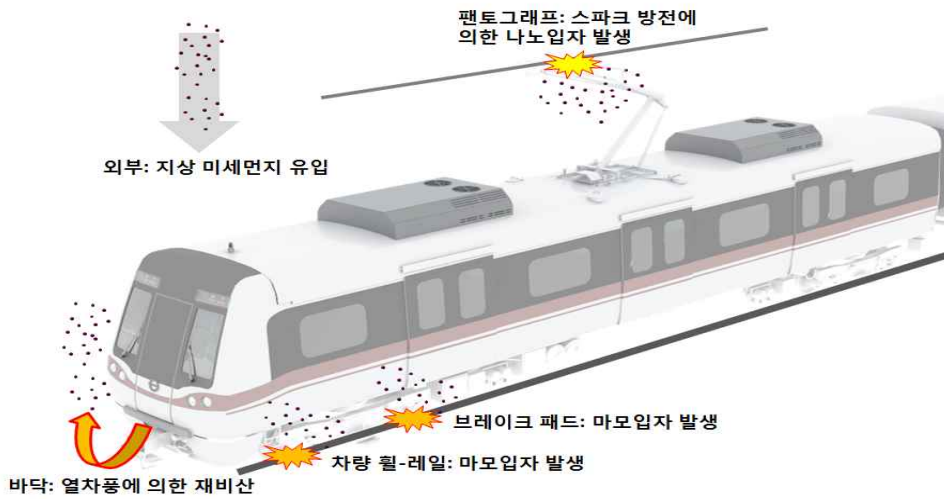
4) 환경일보, “지하철 객실, 역사 미세먼지 심각” (2017.04.01.)

5) 김민해, “지하역사 미세먼지 노출량 평가 및 인공지능기반 데이터 분석”, 과학기술연합대학원 (2018)



<그림 1-4> 지하철 오염물질 유입경로

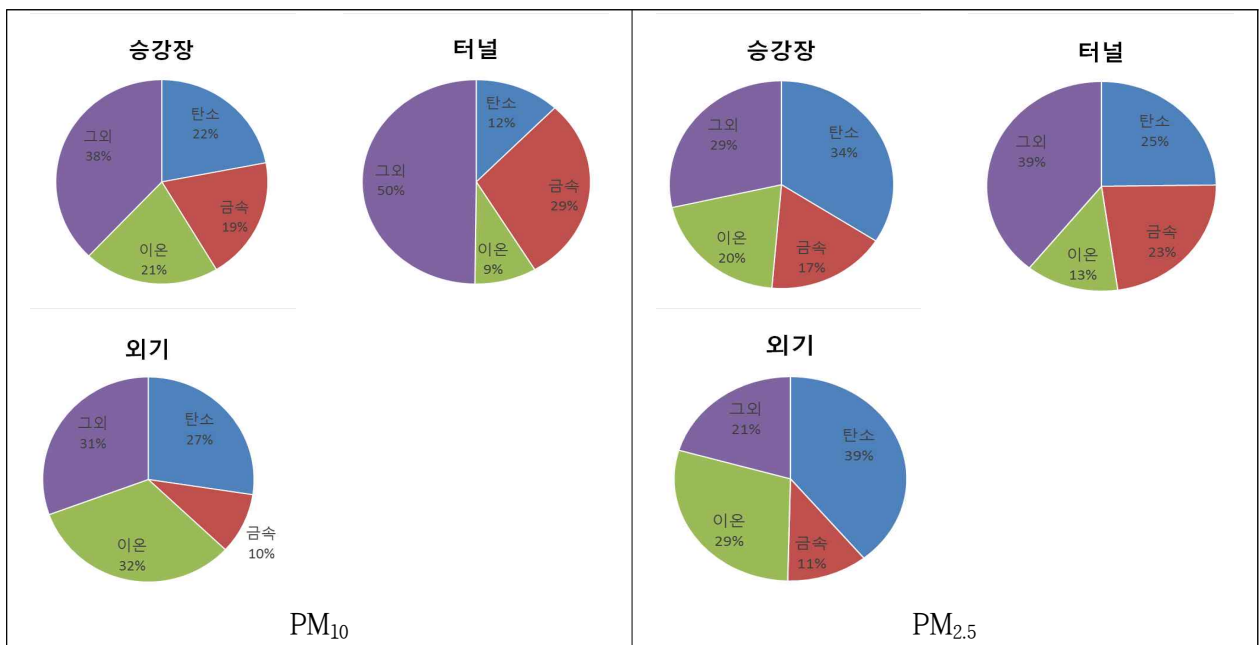
□ 열차가 운행하면서 레일과 차륜 그리고 팬토그래프와 급전시설의 마찰과 마모 등에 의해 발생하거나, 레일 연마작업과 지하구조물 유지보수작업 등으로 바닥에 쌓여있던 미세먼지가 운행하는 전동차의 열차풍에 의해 비산되는 것이 주요한 발생원임.



<그림 1-5> 전동차 운행에 의한 (초)미세먼지 발생 메커니즘

□ <그림 1-6>과 <표 1-5>는 지하철 미세먼지와 외기 미세먼지의 성분분석 결과를 나타냄.

- 한국철도기술연구원은 지하철 미세먼지의 특성을 분석하기 위하여 서울 지하철 4호선 미아사거리 역사를 대상으로 봄(2010.04.21.~28, 8일), 여름(2010.07.13.~21, 9일), 가을(2010.10.12.~19, 8일), 겨울(2011.01.11.~17, 7일) 총 32일간 미세먼지를 샘플링하여 분석을 실시함.
- 지하철 미세먼지의 경우 금속성분, 특히 철 성분의 농도가 매우 높은 것으로 나타남. 이는 레일-차륜 마찰, 레일 연마작업 등 지하철 내 철 구조물의 마모가 미세먼지의 주요한 발생원이기 때문임.
- 또한 지하철 미세먼지는 탄소성분 중 원소탄소(elemental carbon, EC)의 농도가 높은 것으로 나타남. 이는 탄소가 주성분인 팬토타그래프가 급전시설과의 마찰, 스파크 방전 등에 의해 미세입자로 마모되기 때문임.
- 이와 같이 지하철 내 미세먼지의 성분은 외기 미세먼지와 그 특성이 크게 다름. 이에 종전에 개발된 가정용, 산업용 미세먼지저감 기술을 지하철에 적용하는 것은 적합하지 않음. 따라서 지하철의 미세먼지 특성을 고려한 새로운 저감 기술개발이 필요함.



<그림 1-6> 지하철 미세먼지 오염원별 발생원 분석

<표 1-5> 지하철 미세먼지의 성분별 농도

μg/m ³	탄소 성분		금속 성분				
	유기탄소	원소탄소	철	규소	구리	망간	기타
지하철 (터널)	12.2	11.1	48.4	1.7	1.9	0.4	1.7
외기	9.8	1.9	1.5	3.2	0.1	0.02	1.2

- 지하철 미세먼지는 호흡을 통해 체내로 유입되어 호흡기계, 심혈관계 질환을 야기함. 65세 이상 노약자의 경우 초미세먼지 10 μg/m³ 증가 시 호흡기계 질환 사망률은 1.9%, 심혈관계 질환 사망률은 1.6% 증가하는 것으로 보고됨⁶⁾.
- 최신 연구결과에 따르면 초미세먼지는 2015년 사망 위험 인자(mortality risk factor) 5위에 올랐으며, 초미세먼지의 영향으로 전 세계적으로 420만 명이 사망하였으며 이는 해당 년도 전체 사망인구의 7.6%에 해당하는 것으로 보고됨⁷⁾.
- 호흡에 따른 지하철 이용객의 미세먼지 흡입량은 나이, 체력, 호흡률 등 개인에 따라 다름. 즉 동일한 미세먼지 농도라 하더라도 지하철 이용객 개인의 상태에 따라 미세먼지 노출량은 달라짐⁸⁾.
- (초)미세먼지는 노출량이 증가함에 따라 발병률과 사망률이 증가하는 유해물질로 적극적인 저감 노력이 필요함.

6) 한국환경정책평가연구원, “빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정” (2015)

7) Cohen et al., “Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015,” Lancet (2017)

8) J.Y. Jang et al., General Factors of the Korean Exposure Factors Handbook (2014)

<표 1-6> 지하철 이용객의 미세먼지 노출 시나리오

장소	시간	PM ₁₀ [μg/m ³]	활동	호흡량 [m ³ /h]		PM ₁₀ 노출량 [μg]
				20-40세	60-80세	
대합실	11분	21.9	가벼운 활동	20-40세	0.72	2.89
				60-80세	0.78	3.13
승강장	6분	44.6	정주	20-40세	0.25	1.12
				60-80세	0.3	1.34
전동차	35분	26.6	정주	20-40세	0.25	3.88
				60-80세	0.3	4.66

* 미세먼지 농도는 한국철도기술연구원의 2015년 측정값을 사용함 (서울 지하철 1호선)
 * 각 장소별 소비시간은 서울연구원의 2013년 대중교통 출근자 평균 통행시간을 근거로 함⁹⁾
 * 각 연령별 호흡량은 Jang et al. (2014)의 논문을 근거로 함

□ 한국철도기술연구원은 ‘2018 상반기 전국 지하철 운영기관 환경협의회 (2018.05.31.-06.01)’ 를 통해 미세먼지 해결방안 수요조사를 수행하였음. 각 운영기관의 수요조사를 통해 도출된 미세먼지 문제 해결의 요구 방안은 아래와 같음.

- 공기질 개선과 동시에 에너지 절감이 가능한 공기조화설비 운영·제어 기술 필요
- 지하철 터널 내 (초)미세먼지 집진을 위한 이동형 저감시스템 도입 필요
- 공기조화설비 내 필터 개량 등 미세먼지 집진 효율 제고 및 유지 관리 편의성 도모 기술 필요

9) 서울연구원, “대중교통 출근자 평균 통행 행태” (2013)

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	주요 인물	성명
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안		
1. 노후 시설 교체 : 저가		
2. PSD 설치 : 미세먼지 저감 - 노후 시설 내 기존 유입 방지 차단		
3. 필터 개발 - 정전 흡착제인 꽃유지 필터 전의성 필터 (성능에 따른 비용차 고려 필요)		
4. 공기 세척 가능 시간 연장 : 병렬화 - 전기관 증설		
5. 공기청정기 도입 - 미세먼지 입자 제거 능력 높임 유입 방지 차단 : 냉방 모드일 때 비효율적		
6. 유입 미세먼지 정진 장치 개발 - 한 입자라도 미세먼지 정진 필터 개발 필요		
7. 공기 세척 필터 교체 주기 연장 - 정전 필터 교체 주기 연장		
8. 기타 하 환경영향 개선 방안 마련 - 예) 미세먼지 저감 기술 개발 등		
9. 저가형 공기청정기 (필터 교체)		

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	이관도(원도)공사	성명
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안		
✓ 그동안 운영기관, 환경부 등에서 추진한 미세먼지 저감을 위한 선제 적 대응과 사업으로 사업 추진을 위한 방안 - 지하철 노선도 연구 조사서 - 지하철, 승강장, 대합실 미세먼지 원인 (외기, 전차용량, 승객량...) - 미세먼지 저감 대책 마련 필요성 - 미세먼지 저감장치 (필터) 도입 연구		
↳ 많은 연구 조사 노력이 있으나 효과가 없고, 필터 교체 주기 연장 으로 인한 비용(필터)은 도시철도 운영기관이 부담됨 사태가 거의 없음		
✓ 환경부의 '쾌적 지하철 조성사업' 내용을 보면 운영기관의 환경영향과 개선 사업을 실시할 수 있음 대기환경개선을 위한 정부와 자치단체의 대책 (과연발전, 차량환경) 추진도 저지부관 할		
✓ PM10, PM2.5를 저감할 수 있는 다양한 대공정인 저가형 필터에 어려워 미세먼지 저감에 관계가 있음		
✓ 미세먼지 저감을 위해 공기 유입정리 환기구에 대한 방청도 용량이 부족하여, 열사내 각종 부속물(연기, 열사내 전선물) 대한 정화 필요함		
✓ 전차와 부속물 미세먼지 제거를 위해 저가형 필터는 기존보다 대형 부속물 제거를 위한 필터를 고려해야 함		
✓ 현재 진행중인 연구와 비용을 고려하고, 기존보다 저렴한 필터를 개발할 수 있도록 필터의 성능을 지향점을 설정하여 필터의 성능을 향상		

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	이관도(원도)공사	성명
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안		
- Hot spot 제거 시설 지하철 차량 진입/퇴장할 때 승객들이나 시설의 공기 질을 개선, 미세먼지 저감 가능 방식 필터 교체 주기 연장		
그리고나서 Hot spot 제거 필터의 성능이 필요한 부분이다. 예를 들어 A~B 구간이 있을 때 A-B 구간 E-F 구간 Hot spot 현상일 때 E-F 구간 필터를 매기거나 성능이 높은 필터를 그리고나서 A-B, E-F 구간 필터의 교체 주기 연장		

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	이관도(원도)공사	성명
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안		
"지하철 차량 공기 필터 성능이 필터 교체 주기 역사 미세먼지는 환경적으로 차등 있는 필터와 필터 성능은 차등하고 업체에서 제작 납품하여 필터 교체 주기 적절하게 사용 가능하게 요청함."		

<그림 1-7> 지하철 운영기관의 미세먼지 해결방안 수요조사서

□ 현재까지 발표된 미세먼지 저감 관련 규제 및 연구는 정부가 해당 공간의 공기질을 관리하기 위한 것으로 미세먼지 노출량이 아닌 질량농도에 초점이 맞추어져 있으며, 시민의 입장에서 지하철 전체의 미세먼지 질량농도 보다는 실제 시민이 이용하는 국부 공간에서의 미세먼지 농도가 중요하므로 지하철 이용자의 건강 보호를 위해서는 이용자 개인의 미세먼지 노출에 초점을 둔 "국민 체감형 (초)미세먼지 노출 관리시스템 기술 개발"이 필요한 것으로 판단됨.

2. 지하철 공조시스템 현황 및 문제점

- 기본적으로 대합실, 승강장의 공조환경은 계절별, 시간대별로 단순하게 공조시설은 ON-OFF작동방식으로 운행중에 있음. 이러한 역사들은 인버터 방식을 통한 풍량 조절이 가능하나, 정량적인 작동기준이 없어 통상 최대 풍량 가동중에 있음. 일부 역사에서는 타이머를 작동하여 운행 중에 있으며, 최근 신설된 역사에서는 엔탈피자동제어 방식으로 운행되어지고 있음.
- 외기오염 발생시 외기를 전면 차단하도록 운영되고 있으나(지하철 환경운영지침), 승강장 내부 오염 상황을 개선시킬 수 있는 방안 부재한 상황. 또한, 고가의 환경모니터링 시스템(TMS) 일부 역사에 구축하였으나, 이를 활용한 연동제어(Feedback) 하지 못하고 있음.
- 기존 역사의 공조시스템에서는 외기에서 유입되는 미세먼지를 저감하기 위한 설비가 따로 되어있지 않은 실정이며, 일부 신설된 역사에서는 백필터와 사이클론 집진방식을 이용하여 미세먼지를 제거하고 있는 상황임.



<그림 1-8> 지하철 역사의 공조시스템

- 지하철 공조시스템의 경우, 터널구간에서의 환기가 필수적으로 요구되고 있지만, 오염된 터널공기를 정화하여 실내로 급기하지 못하고 단순히 냉방장치 보호 목적의 거름망이 적용되고 있는 실정임.
- 국내 지하철 차량의 경우 고속철도 차량과 달리 차량의 차체 기밀도가 낮아 차량운행 시 외부공기의 유입이 발생하고 있으나, 이를 통해 유입되고 있는 오염물질의 실태가 파악되지 않고 있는 실정임. 이에 국내에서는 객차 내부에 장착되는 필터와 차량 공조시스템 운행방법 등을 활용한 다양한 연구가 진행 중에 있음.
- 한국철도기술연구원의 2013년 조사에 따르면 서울시 노후 역사의 미세먼지 저감 필터 대부분은 최신형의 필터보다는 부직포와 같은 구형의 필터가 설치 운용되고 있음.

<표 1-7> 백필터를 사용한 지하철 공조시스템 운용역사

역사명	기능실명	장비명	필터규격	수량	면적	교체주기
남부터미널	A환기실	대/공	610×610	12	4.46	3회/년
			610×305	3	0.55	3회/년
		승/공	610×610	18	6.69	3회/년
			610×305	6	1.11	3회/년
	B환기실	대/공	610×610	12	4.46	3회/년
			610×305	3	0.55	3회/년
		승/공#1	610×610	18	6.69	3회/년
			610×305	6	1.11	3회/년
서울역	가환기실	대/공	610×610	10	3.72	6회/년
			610×305	5	0.93	6회/년
		승/공	610×610	18	6.69	6회/년
	나환기실	대/공	610×610	10	3.72	6회/년
			610×305	5	0.93	6회/년
		승/공	610×610	18	6.69	6회/년

<표 1-8> 롤필터를 사용한 지하철 공조시스템 운용역사

역사명	기능실명	장비명	휠터규격(mm×m)	수량 (롤)	교체주기
동대입구	A환기실	대/공	1380×20	1	4회/년
	B환기실	대/공	1680×20	2	4회/년
		승/공	1680×20	2	4회/년
금 호	A환기실	승/공	1680×20	1	4회/년
			1380×20	1	4회/년
		대/공	1380×20	1	4회/년
	B환기실	승/공	1680×20	1	4회/년
			1380×20	1	4회/년
		대/공	1380×20	1	4회/년
잠 원	A환기실	대/공	1680×20	1	4회/년
		승/공	1380×20	2	4회/년
	B환기실	대/공	1380×20	1	4회/년
		승/공	1380×20	2	4회/년
남부터미널	A환기실	대/공	1080×20	1	4회/년
		승/공	1680×20	1	4회/년
	B환기실	대/공	1380×20	1	4회/년
		승/공#1	1380×20	1	4회/년
	C환기실	승/공#2	1940×20	1	4회/년
신용산	가환기실	대/공	1380×20	1	3회/년
		승/공	1680×20	1	3회/년
	나환기실	대/공	1380×20	1	3회/년
		승/공	1680×20	1	3회/년
이 촌	가환기실	대/공	1380×20	1	3회/년
		승/공	1380×20	1	3회/년
			1680×20	1	3회/년
	나환기실	대/공	1380×20	1	3회/년
		승/공	1380×20	1	3회/년
	나환기실	승/공	1680×20	1	3회/년

□ 노후 된 역사 중 이촌역을 대상으로 필터 전단부와 필터 후단부의 미세먼지를 측정하여 공조시스템의 미세먼지 차단효율을 확인함. PM₁₀의 경우 전단에서 35.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 후단 농도는 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 약 10%의 차단효율을 나타내었으며, PM_{2.5}의 경우 전단과 후단의 농도차가 거의 없는 것을 확인하였음.



공조기 전면



공조기 내부 필터

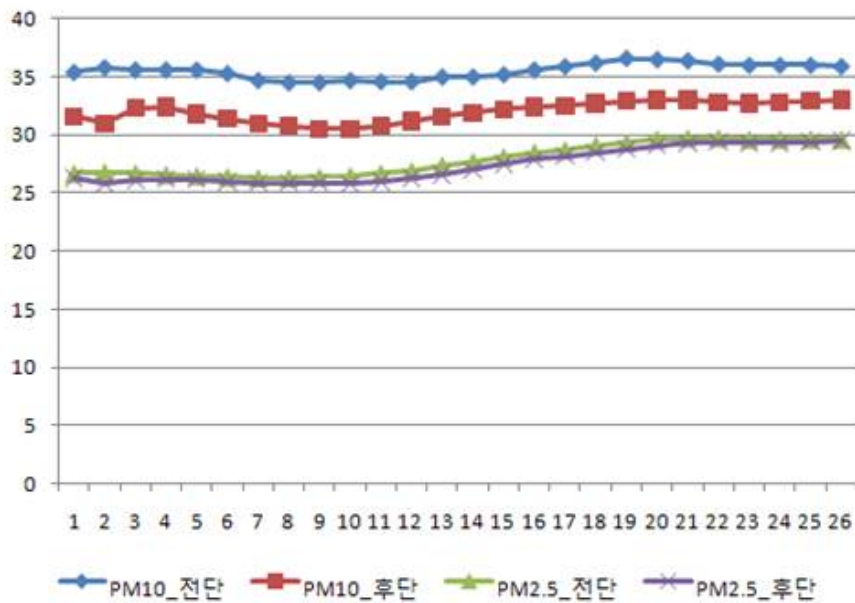


공조기 내부 필터



공조기 팬

<그림 1-9> 이촌역 내 공조시스템



<그림 1-10> 이촌역 공조시스템 필터 전, 후의 미세먼지 농도

- 지하역사 공기조화설비는 지하철 건설초기부터 현재에 이르기까지 중소기업에 의하여 설치 운영되고 있으며, 설치 납품하였던 많은 기업이 파산하여 유지보수에 어려움을 겪고 있는 실정임.
- 공조시스템 에어필터 관련 다양한 시도가 있었으나, 일본 기술을 모방하는 수준에 머물고 있으며 새로운 개념의 기술적용은 전무한 실정임.
- 환기설비에서 기존 필터는 유지보수가 어려움. 외부공기의 급기시스템에 가장 널리 사용되고 있는 여재 정전식 판넬 필터의 경우 청소 및 교체주기가 짧고(월 2회), 필터 수명이 짧은 단점이 있음. 일반적인 부직포 방식은 사용기간이 길어지면서 부착된 미세먼지에 의하여 필터의 압력손실이 증가하게 되고, 결국 충분한 공기를 공급하지 못하는 문제가 발생. 여재의 재생 시 사용되는 고압살수, 진공흡입 등 다양한 방식 모두 과도한 물 사용, 미생물 번식, 노즐 막힘, 동파, 체인/벨트 파손, 흡입분진처리용 백필터 막힘 등 유지관리상 애로사항에 직면하고 있음.



노후 역사



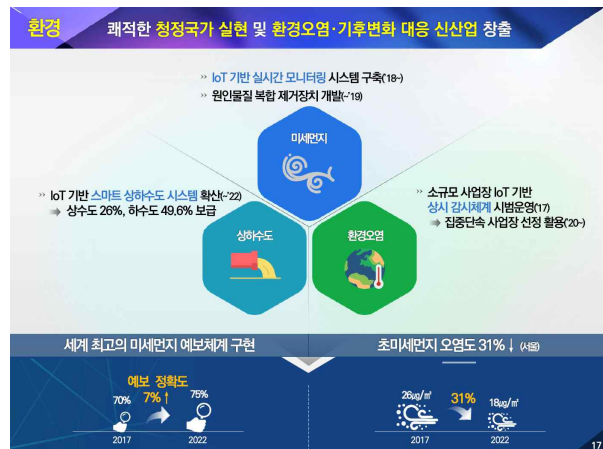
신규 역사

<그림 1-11> 지하역사 공조실 내 공기조화기

- 기존의 지하철 공조시스템은 미세먼지 차단효율이 매우 낮아 PM₁₀, PM_{2.5} 수준의 미세먼지 저감이 어려운 실정임. 따라서 시민이 이용하는 지하철 공간에서의 미세먼지 저감을 위해서는 “기존 공조시스템의 리트로핏을 통한 지하철 맞춤형 다목적 공조시스템 개발”이 필요한 것으로 판단됨.
- 리트로핏(retrofit)이란 기존 뼈대는 유지한 채 핵심 설비만 개조, 개선하여 효율과 수명을 증대하는 방법임.

3. 인공지능 기술의 적용 현황 및 문제점

- 정부는 2017년 11월 대통령 직속 4차산업혁명위원회 제2차 회의를 개최하여 ‘혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획’을 확정 발표함. 주요 내용으로 의료, 제조, 스마트시티 등 다양한 분야의 추진계획이 발표되었으며, 환경 분야에서도 IoT 기반 미세먼지 모니터링 시스템, 스마트 상하수도 시스템, 상시 환경 감시 등의 계획이 발표됨.
- 그러나 사람이 가장 오래 머무는 실내환경에 대한 4차 산업기술 육성은 대응계획에서 제외됨. 이에 정책의 실효성을 극대화하기 위해서는 실내환경에 대한 4차 산업혁명 기술 개발이 필요한 것으로 판단됨.



〈그림 1-12〉 혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획 (대통령 직속 4차산업혁명위원회)

- 최근 대기오염정보, 교통정보와 같은 수많은 공공데이터가 쌓이고 있으나 주로 단편적인 현재 상태(날씨, 교통)를 파악하는 수준에 그치고 있음. 이에 공공데이터와 인공지능 기술을 활용한 융합형 빅 데이터 발굴의 필요성이 증대되고 있음¹⁰⁾.
- 국내의 대표적 대중교통수단인 지하철은 연간 약 20억명의 국민이 이용하며, 최근 계절을 가리지 않고 나타나는 미세먼지 고농도 주의보로 인한 “미세먼지 대피처” 역할을 할 수 있는 지하 생활공간의 공기질과 이용객 생활건강 확보를 위해서는 **빅 데이터와 인공지능 기술을 활용하여 다양한 지하철 환경변화에 능동적, 지능적으로 대처하는 (초)미세먼지 노출관리 시스템 기술이 필요한 것으로 판단됨.**

10) 권순박 외, “지하철 역사 환경관리 기술 개발 - 공조환경개선을 중심으로”, 한국철도기술연구원 (2017)

4. 연구개발의 시급성 및 중요도

□ 미세먼지 노출에 의한 국민 건강 증진을 위한 방안 마련이 시급함.

- 지하역사, 전동차, 대심도 지하터널 등의 공간을 포함한 지하철은 전 국민의 생활공간으로 자리매김하고 있음.
- 근래에 사회적 문제로 대두된 (초)미세먼지 농도 증가는 지하철 내부의 공기질에 영향을 미치는 중요한 요인이 될 수 있으나, 다양한 기술적 문제점으로 인하여 공기의 쾌적성 확보에 어려움을 겪고 있음.
- 지하철은 대표적 대중교통수단임에도 불구하고 실내 공기의 쾌적성 확보에 대한 방안은 상대적으로 엄격하지 않음.
- 「대한민국 9대 국가전략 프로젝트: (초)미세먼지 해결 기술개발」, 「100대 국정과제: 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 환경 조성」에 따라 강력하고 촘촘한 (초)미세먼지 관리 대책의 수립이 필요함.

□ 실내 (초)미세먼지 저감에 필요한 기업 경쟁력 확보가 시급함.

- 전 세계적으로 실내공기질에 대한 관리기준을 강화하는 추세로, 이에 대응 가능한 기술 및 제품 확보를 통한 관련 산업의 경쟁력 강화가 필요함.
- 또한 실내 미세먼지 저감에 필요한 환기 설비 및 청정 설비에 대한 설비 기준을 세계적으로 마련하고 있으며, 이를 이용한 저감 시스템 도출 및 세계시장 창출이 예상됨.
- 그러나 실내 미세먼지 저감 기술의 현장 운용 및 실증 자료가 확보되지 않은 상황에서는 시장 진입이 어려움.
- 실내 미세먼지 저감 시스템의 세계시장 선점을 위해서는 “빅 데이터-인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시스템 기술”의 연구 개발 및 사업화 연계가 필요함.

5. 정부 지원의 필요성

- 문재인 정부 대선 공약(2017.5.1., 약속 10 안전한 대한민국 / 8. 미세먼지 저감 종합대책 마련)으로 미세먼지 관리 대책 수립 약속
 - 강력하고 촘촘한 미세먼지 관리 대책 수립 약속 : 미세먼지 측정과 예보 인프라를 대폭 강화
- 「대한민국 9대 국가전략 프로젝트 - (초)미세먼지 해결 기술개발」의 초미세먼지 노출 저감 지원을 위한 미세먼지 통합정보 서비스 및 생활체감형 보호기술 개발·보급과 관련
 - (국정과제) 국정과제 57 ‘국민 건강을 지키는 생활안전 강화’, 국정과제 58 ‘미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성’ 과 관련
 - 「제3차 지하역사 공기질 개선대책(‘18~’ 22)」의 주요 추진목표 ‘지하철 미세먼지 오염도 저감’ 과 관련 (‘18.3, 환경부)
 - 「실내공기질 관리법」, 「실내공기질 관리를 위한 대중교통차량의 제작·운영 관리지침」 과 관련 (환경부)
- 「제3차 과학기술기본계획(‘13-’ 17)」에서 5대 분야, 30개 중점기술로 ‘오염물질 제어 및 처리 기술(대기, 수질 등)을 선정’ 하고, 정부의 지원 및 육성이 필요한 분야로 규정
- 산업통상자원부는 12대 신산업* 선정.발표(2016.12.21.), 2025년까지 38만개의 일자리가 생겨날 것으로 전망함
 - * ①전기·자율차, ②스마트선박, ③IoT가전, ④로봇, ⑤바이오헬스, ⑥항공·드론, ⑦프리미엄 소비재, ⑧에너지신산업, ⑨신소재, ⑩AR·VR, ⑪차세대디스플레이, ⑫차세대반도체
- 다중이용시설에 대한 미세먼지 사업은 IoT 가전 기술과 에너지 절약형 저감설비, 미세먼지 현황을 실시간으로 제공하는 AR.VR 기술이 통합되어 구현되는 사업으로, 산업부의 12대 신산업 분야와 부합됨

제2절 기술의 정의 및 분류

1. 기술의 목표

□ ‘인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술개발’의 최종 목표는 지하철의 쾌적한 공기질을 유지하고 국민 생활건강을 확보하는 것임.

□ 국민 생활건강을 확보하기 위해서는 지하철 이용 승객의 (초)미세먼지 노출 관리시스템이 필요하며, 본 연구개발을 통해 지하철 이용 승객의 (초)미세먼지 노출을 50% 이상 저감하고자 함.

- (초)미세먼지 노출 평가 방법: 지하철 입구, 대합실, 승강장, 객차, 환승 통로 등 승객의 이동 경로에서의 (초)미세먼지 농도 및 호흡을 통해 흡입되는 (초)미세먼지 양을 지표로 승객의 노출 정도를 평가함.
- Personal sampler를 이용하여 동일한 이동 시간, 경로 상에서 기술개발 전후의 지하철 승객 (초)미세먼지 노출 정도를 비교함.

□ 연구목표 달성을 위한 기술의 정의 및 분류는 아래와 같음.

- 지하철 (초)미세먼지의 농도를 저감하기 위해서는 (초)미세먼지 농도를 정확하게 예측해야 하며, 예측 값이 신뢰성을 갖기 위해서는 예측 신뢰도가 90% 이상 되어야 함.
 - 예측 신뢰도란 실제 지하철 (초)미세먼지 농도가 인공지능 모델에 의해 얼마나 정확하게 예측되는가를 나타내는 정량적 지표임. 아래의 수식은 예측 신뢰도를 평가하기 위해 대중적으로 사용되는 수식임.

$$\text{예측 신뢰도} = 1 - \frac{\sum_t (y_t - f_t)^2}{\sum_t (y_t - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_t (e_t)^2}{\sum_t (y_t - \bar{y})^2}$$

여기서 y_t 는 시간 t 에서 측정된 실제 지하철 (초)미세먼지 농도를, f_t 는 인공지능 모델을 통해 예측된 시간 t 에서의 (초)미세먼지 농도를, \bar{y} 은 지하철 (초)미세먼지의 평균 농도를, e_t 는 인공지능 모델의 오차를 나타냄.

- 인공지능을 활용하여 지하철 내 (초)미세먼지 농도를 예측하는 연구는 초기 단계임. 이에 본 기획과제 이전의 지하철 (초)미세먼지 예측 관련 국내·외 기술수준 및 예측 신뢰도는

매우 낮음이라 할 수 있음.

- 인공지능을 활용하여 대기 중 미세먼지 농도를 예측하는 선행연구의 평균 예측 신뢰도는 50-60%임. 이에 본 연구의 (초)미세먼지 예측 정확도는 선행연구 대비 선진화 된 목표치라 할 수 있음.
- 예측된 지하철 (초)미세먼지 농도 값을 이용해서 최소 1시간 후의 (초)미세먼지 농도 값을 예측해야 공조 환기시스템 가동을 통해 (초)미세먼지 농도의 제어가 가능함.
- 공조 환기시스템의 조기 제어를 통한 사전예방대응용 지하철 (초)미세먼지 저감의 개념은 다음과 같음. 인공지능 모델을 이용하여 조기 제어 간격 이후의 (초)미세먼지 농도를 예측함. 그 후 조기 제어 간격 이후의 (초)미세먼지 농도가 목표치에 도달할 수 있도록 예측 농도와 목표 농도의 차이를 기반으로 환기 공조시스템의 운전을 제어함.
- 본 연구의 조기 대응 제어 목표는 1시간임. 즉, 인공지능 모델을 이용하여 1시간 이후의 지하철 (초)미세먼지 농도를 예측하며, 예측 농도와 목표 농도의 차이를 기반으로 1시간 후의 (초)미세먼지 농도가 목표치에 도달할 수 있도록 환기 공조시스템의 운전을 제어함.
- 환기의 효율성을 높이기 위해서는 재실자가 배출하는 이산화탄소 농도를 지시인자로 사용하여 공기질을 제어하는 것이 필요함.
- 지하철 (초)미세먼지 농도는 승객 수에 비례하는 것으로 알려짐. 이는 승객 이동에 의해 미세먼지가 발생 및 재비산 될 뿐만 아니라 외부 미세먼지가 승객의 의류, 소지품 등에 묻어 지하철로 유입되기 때문임. 이에 교통 수요자 예측 방법을 이용하여 지하철 각 공간(대합실, 승강장, 객차 등)의 승객 수를 예측하며 이에 따라 환기 공조시스템 운전을 공간별로 제어함.
- 현재 지하철의 환기 공조시스템은 실내 미세먼지 농도에 관계없이 정해진 규칙(rule-base)에 의해 작동 중임. 이에 본 기획과제 이전의 지하철 환기 공조제어 관련 기술수준은 매우 낮다고 할 수 있음. 따라서 본 연구의 사전예방대응용 미세먼지 제어 목표인 1시간은 연구개발 전 수준 대비 선진화 된 목표치라 할 수 있음.
- 지하철 (초)미세먼지는 대부분 터널에서 발생하는 것으로 밝혀졌으며, 발생한 (초)미세먼지가 지하철로 확산되기 전에 터널에서 집진.제거해야 할 필요가 있음.
- 현재 지하철 운영기관은 단전 이후(새벽 1:00~4:00) 분진 제거차량을 투입하여 지하철 터널의 (초)미세먼지를 제거하고 있음 (작업속도 2 km/h). 그러나 지하철 운행 시간에 투입되어 터널 내부를 이동하며 (초)미세먼지를 제거하는 기술은 없음. 이에 본 기획과제 이

전의 이동형 (초)미세먼지 제거기술 수준은 매우 낮음이라 할 수 있음. 따라서 본 연구의 (초)미세먼지 집진 작업속도 목표인 70 km/h은 연구개발 전 수준 대비 선진화 된 목표치라 할 수 있음.

□ 본 기획과제에서는 과업지시서의 주요 과업범위인

- 차량 객실 및 지하역사 승강장의 지하철 이용객 (초)미세먼지 노출 관리시스템 개발
- 인공지능 (AI) 및 빅데이터를 이용한 사전예방대응용 지하철 스마트 공기질 예측 및 제어 기술 개발
- 80km/h 이상 영업운전시 운용가능한 객차 연결식 고용량 집진유니트 개발
- 저비용, 고효율 (초)미세먼지 집진기술 개발,

등을 포함하고, 지하철 이용 승객의 (초)미세먼지 노출 최소화를 위한 세부기술을 도출하기 위해서 미세먼지 및 도시철도 환경분야 전문가 자문, 도시철도운영기관 전문가 자문, 설문조사 등을 실시했으며, 이를 통해서 아래의 세부기술을 도출한 후 기술의 특성에 따라 측정 및 분석, 예측, 제어, 관리 등의 카테고리로 분류하였음.

- 지하철 내·외부 환경변수 측정 기술
- 인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술
- 승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예측 기술
- 예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기술
- 시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술
- 지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술
- 인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기술
- 지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등)에 따른 노출 예측 기술
- 미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노출 최소화 경로 안내 기술
- 실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술

- 실시간 측정 데이터의 전송 기술
- 지하철 내·외부 환경변수를 포함한 데이터 플랫폼 구축 기술
- 데미스터의 미세먼지 사전 제거 기술
- 공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기술
- 공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술
- 공조 환기설비의 자율운전 기술
- 미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환기설비 제어 기술
- 공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설비 자율운전 기술
- 도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술
- 초미세먼지 전구체 저감기술
- 미세먼지 고속 흡진 기술
- 미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술
- 초미세먼지 응축 제거 기술
- 광촉매를 이용한 에너지 저감형 무필터 미세먼지 저감 기술
- 전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술
- 전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술
- 세균, 바이러스 무해화 기술
- 도심 미세먼지 주의보 발령 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술
- 역사 위치별, 시간별 맞춤형 공기질 관리 프로그램 기술
- 저에너지 소모형 필터 개발 기술
- 도시철도용 필터 소재 개발 기술
- 재해발생 실시간 알림 기술
- 승객 대피경로 네비게이션 기술
- 휴대폰 빅 데이터를 활용한 승객 정보 파악 기술

2. 세부기술의 정의

□ 지하철 (초)미세먼지 측정 및 모니터링 기술

- 지하철에 설치된 모니터링 인프라를 이용하여 대합실, 승강장, 객차 등 승객이 머무는 공간의 공기질(미세먼지, 초미세먼지, 이산화탄소, 온도, 습도 등)을 상시 모니터링 하는 기술을 의미하며, 여기에는 실시간 (초)미세먼지 측정기술, (초)미세먼지 예측기술, 인공지능 (AI) 기반 (초)미세먼지 예측 및 제어기술, 지하철 내외부 모니터링을 통한 (초)미세먼지 제어기술 등이 포함됨.

□ (초)미세먼지 노출관리시스템 관련 기술 및 재실자 연계 공기질 관리기술

- 지하철의 공기질은 다양한 요인에 의해서 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 그 중에서 지하철 이용 승객의 건강영향은 실내 공기질과 노출 시간에 의해서 좌우됨.
- 지하철 이용 승객은 교통카드 데이터로 예측이 가능하며, 지하철 각 공간(대합실, 승강장, 객차 등)에서 해당 시간에 예측되는 이용 승객의 수에 따라 공간별 환기 비율을 조절하여 지하철 이용객의 미세먼지 노출과 환기 에너지 소비를 최소화하는 기술을 의미함.

□ 인공지능 및 빅 데이터 플랫폼 기술

- 상시 모니터링 된 지하철 공기질 정보를 기반으로 ‘지하철 미세먼지 빅 데이터’ 플랫폼을 구축하는 기술을 의미함. 지하철 미세먼지 빅 데이터란 지하철 미세먼지에 영향을 미치는 변수로써 이는 승객 수, 운행 지하철 수, 환기 정도, 외부 공기질, 기상 자료 등을 포함함.

- 승객 수: 지하철 미세먼지 농도는 승객 수에 비례하는 것으로 알려짐. 이는 승객 이동에 따라 미세먼지가 발생 및 재비산 될 뿐만 아니라 승객의 옷, 신발 등에 미세먼지가 묻어 지하철로 유입되기 때문임.
- 운행 지하철 수: 지하철 미세먼지 농도는 운행 지하철 수에 비례하는 것으로 알려짐. 이는 지하철 운행 중 휠-레일 마모, 브레이크 패드 마모, 팬토타이프 스파크 방전에 의해 미세먼지가 발생될 뿐만 아니라 열차풍에 의해 미세먼지 재비산이 발생하기 때문임.
- 외부 공기질: 외기는 지하철 입구, 환기구, 승객의 유동 등 다양한 공기 유동 통로를 통해 지하철로 유입됨. 외기 공기질과 실내 공기질은 양의 상관관계를 갖는 것으로 알려져 있음. 즉, 외기의 미세먼지 농도가 높은 경우 지하철 미세먼지 농도 역시 높아짐.

- 환기 정도: 급, 배기를 통해 외부 공기를 지하철로 유입하는 환기는 실내 공기질에 직접적인 영향을 미침. 환기량이 증가할수록 실내 공기질은 개선되는 것으로 알려짐. 그러나 환기를 통해 유입되는 외부 공기의 오염도가 높은 경우 (예: 중국발 미세먼지, 황사 등) 실내 미세먼지 농도를 높일 수 있음. 이에 지하철 공기질에 대한 외부 공기질, 환기 정도의 복합적인 영향을 고려해야 함.
- 지하철 미세먼지 빅 데이터에 다양한 구조의 인공지능 예측 모델을 적용하여 객차, 승강장, 대합실 등 승객이 머무는 공간의 (초)미세먼지 농도를 예측하는 기술을 의미함.
- 또한 예측된 지하철 내 (초)미세먼지 농도를 기반으로 지하철 위치별 승객의 (초)미세먼지 노출량을 평가하여 지하철 이용객에서 mobile app 또는 web을 통해 안내하는 예보기술을 포함함.

□ 지하철 (초)미세먼지 저감기술

- 예측된 지하철 (초)미세먼지 농도를 기반으로 지하철 공기질이 악화되기 전에 사전예방대응으로 공조 환기설비를 미리 가동시키는 기술을 의미함.
- 예측된 지하철의 추후 미세먼지 농도를 바탕으로 공조장치의 작동 정도를 조절하며, 이를 위해 공조장치 작동 정도와 지하철 미세먼지 농도 변화 간의 관계 규명을 요소기술로 포함함. 또한 기존 공조시스템과의 연계를 위해 무선 기반 제어기, gateway 등 통신 장비기술 개발을 포함함.

□ 초미세먼지 전구체 저감기술

- 지하철 외부에서 터널이나 지하역사로 유입되거나 내부에서 생성된 초미세먼지 전구체의 발생 원인을 규명하고, 이를 저감하기 위해 필요한 기술을 의미함.
- 전구체에는 전동차의 운행에 의해 발생하는 나노입자와 외기에서 유입되는 질소산화물(NOx), 토양이나 터널 유출수에 의한 라돈(Rn) 등이 포함됨.

□ 지하철 터널 (초)미세먼지 포집 저감기술

- 지하철 운행시간에 사용 가능한 집진 유니트 구조의 장치기술로 최적의 흡진, 집진 구조를 지니며 전도성 섬유필터 집진기술, 연자성 필터 집진기술 등을 포함함.
- 미세먼지 집진기술에는 차량 운행속도 대응 최적 필터 시스템, 금속성 미세먼지 제거용 전

도성 섬유필터, 연자성 필터 시스템이 적용되어 미세먼지의 효율적인 제거가 가능하여야 함.

- 전도성, 연자성 섬유필터 집진기술: 지하철에서 발생하는 철(Fe)계 분진의 효과적 제거를 위해 전도성, 자성을 지닌 필터를 개발, 활용하는 기술을 의미함.
- 지점별 미세먼지 농도, 앞뒤 전동차 간격 등을 고려하여 이동 위치, 집진 강도 등을 자율적으로 판단하는 기술을 포함함.

□ 저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거 기술

- 기존 설비를 이용하면서 기존 설비의 단점인 에너지 소비를 최소화하면서 (초)미세먼지 저감효율을 높이는 기술을 의미함.
- 이 기술은 인공지능을 이용해 예측된 (초)미세먼지 농도 데이터를 이용해서 기존 설비의 환기시스템과 연계하는 기술이 포함됨.
- 동력의 사용을 최소화하여 (초)미세먼지와 이에 포함된 병원성 바이러스, 세균을 제거하는 기술을 의미함.
- 상호 응집(정전분무 기술 활용), 중력 침강 등을 활용하여 (초)미세먼지를 조대화하여 짧은 시간에 고농도의 (초)미세먼지를 응집 저감하는 기술을 의미함.

제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석

제1절 국내외 정책동향 및 분석

1. 다중이용시설 공기질 관련 국내외 정책동향

가. 국내 정책 동향

□ 대한민국 9대 국가전략 프로젝트 - (초)미세먼지 해결 기술개발 (과기정통부)

- 대한민국의 새로운 성장 동력을 확보하고 국민 삶의 질을 제고하기 위한 9대 국가전략 프로젝트에 ‘(초)미세먼지 해결 기술개발’이 포함됨.
- (초)미세먼지 생성 원인을 근본적으로 규명하고, 발생원별 효과적 집진, 저감 등 체계적 기술개발을 통해 과학적, 획기적으로 문제를 해결하는 것을 목적으로 함 (기간: 2017-2023년).
- 주요내용으로는 미세먼지 입체 관측망 구축 (2019년), 발생원 정밀 규명 (2019년), 제거 기술 개발·보완 및 대형사업장에 실증(2020년), 인공지능 기반의 정밀·장기 예측시스템 개발 (2022년) 등을 포함함.

○ (목표) 초미세먼지 생성원인 규명('19) 및 초미세먼지 노출량 50% 저감('23)



<그림 2-1> 국가전략 프로젝트 - (초)미세먼지 해결 기술개발 사업의 로드맵

□ 실내공기질 관리법 (환경부)

- 다중이용시설과 신축 공동주택 및 대중교통차량의 실내 공기질을 알맞게 유지·관리하여 국민의 건강을 보호하고 환경상의 위해를 예방하기 위한 사항을 규정한 법 (일부 개정 2016.12.27, 법률 제14486호)
- 지하역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실 등의 불특정 다수의 사람들이 이용하는 시설 중 대통령령으로 정하는 규모의 다중이용시설을 적용대상으로 함.
- 실내공기질 유지기준 항목은 미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드, 총 부유세균, 일산화탄소이며 지하철 역사의 미세먼지 유지기준은 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 임.

- 실내공기질 권고기준 항목은 이산화질소, 라돈, 휘발성 유기화합물, 석면, 오존임. 2018년 1월부터 초미세먼지(PM_{2.5})가 권고기준에 항목에 추가되나 지하철 역사는 권고대상에 포함되지 않음.

□ 환경정책기본법


- 환경정책기본법 시행령 개정안이 국무회의를 통과함에 따라 2018년 3월 27일부터 초미세먼지 예보기준이 변경됨. 일평균 기준은 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하에서 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로, 연평균 기준은 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화되며 이는 미국, 일본과 동일한 일평균 수준임.

<표 2-1> 환경정책기본법 미세먼지(PM_{2.5}) 환경기준 강화

구 분 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	한 국		주요 선진국		기 타		
	현행	개정	미국	일본	WHO	EU	중국
연평균	25	15	15	15	10	25	35
일평균	50	35	35	35	25	(없음)	75

나. 국외 정책 동향

- 중국: 실내공기질에 대한 권고기준인 GB/T 18883-2002은 2003년 3월1일자로 발효되었으며 주거건물과 상업빌딩 및 다양한 실내공간의 실내공기질 변수와 측정방법에 대해 규정하고 있음. 실내공간 이산화탄소(CO₂) 농도는 24시간 평균 0.10% (1000 ppm)이하로, 미세먼지 (PM₁₀)는 24시간 평균 0.15 mg/m³ (150 µg/m³)를 기준으로 하고 있음.



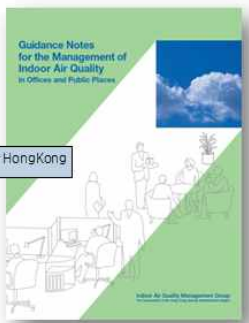
Parameter	Unit	Limit	Average
SO ₂	mg/m ³	0.50	1-hour mean
NO ₂	mg/m ³	0.24	1-hour mean
CO	mg/m ³	10	1-hour mean
CO ₂	%	0.10	24-hour mean
NH ₃	mg/m ³	0.2	1-hour mean
O ₃	mg/m ³	0.16	1-hour mean
HCHO	mg/m ³	0.1	1-hour mean
benzene	mg/m ³	0.11	1-hour mean
toluene	mg/m ³	0.20	1-hour mean
xylene	mg/m ³	0.20	1-hour mean
Benzopyrene(BaP)	ng/m ³	1.0	24-hour mean
PM ₁₀	mg/m ³	0.15	24-hour mean
TVOC	mg/m ³	0.60	8-hour mean

〈그림 2-2〉 중국의 실내공기질 기준

- 홍콩: Guidance Notes for Managing of Indoor Air Quality in Offices and Public Places는 개별오염물질의 8시간 평균 농도값을 기준으로 매우 양호와 양호로 구분하며, 이산화탄소의 경우 800 ppm 이하를 매우 양호 기준으로, 1000 ppm을 양호 기준으로 채택하고 있음. 미세먼지(PM₁₀)의 경우 20 µg/m³ 이하를 매우 양호로, 180 µg/m³을 양호 기준으로 설정함.

Table 3-2: IAQ Objectives for Office Buildings and Public Places

Parameter	Unit	8-hour average ^a	
		Excellent Class	Good Class
Room Temperature	°C	20 to <25.5 ^b	<25.5 ^b
Relative Humidity	%	40 to <70 ^c	<70
Air movement	m/s	<0.2	<0.3
Carbon Dioxide (CO ₂)	ppmv	<800 ^d	<1,000 ^e
Carbon Monoxide (CO)	µg/m ³	<2,000 ^f	<10,000 ^g
	ppmv	<1.7	<8.7
Respirable Suspended Particulates (PM ₁₀)	µg/m ³	<20 ^f	<180 ^h
	µg/m ³	<40 ^g	<150 ^h
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	ppbv	<21	<80
	µg/m ³	<50 ⁱ	<120 ^h
Ozone (O ₃)	ppbv	<25	<61
	µg/m ³	<30 ⁱ	<100 ^h
Formaldehyde (HCHO)	ppbv	<24	<81
Total Volatile Organic Compounds (TVOC)	µg/m ³	<200 ^f	<600 ^f
	ppbv	<87	<261
Radon (Rn)	Bq/m ³	<150 ^j	<200 ^f
Airborne Bacteria	cfu/m ³	<500 ^{j,k}	<1,000 ^{j,k}



〈그림 2-3〉 홍콩의 실내공기질 기준

- 호주: National Health and Medical Research Council은 실내오염물질로 라돈(Rn), 폼알데하이드(HCHO), 납(Pb), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO2), 총휘발성유기화합물질(TVOC), 개별 휘발성유기화합물질, 황산염, 이산화황, 총 부유분진, 오존의 12가지 오염물질 관리목표 농도(goal concentration)를 설정하고 있음.

Pollutant	Goal concentration	Status
Radon	200 Bq/m ³ (1 year)	Final (action level)
Formaldehyde	100 ppb (ceiling)	Final (residences, schools)
Lead	1.5 µg/m ³ (3 month)	Interim
Carbon monoxide	9 ppm (8 hour)	Interim
Nitrogen dioxide	—	Under review
Total volatile organic compounds	500 µg/m ³ (1 hour)	Level of concern
Single volatile organic compounds	≤ 50% Total volatile organic compounds	Level of concern
Sulphates	15 µg/m ³ (1 year)	Interim
Sulphur dioxide	500 ppb (10 minute) 250 ppb (1 hour) 20 ppb (1 year)	Interim Interim Interim
Total suspended particulates	90 µg/m ³ (1 year)	Interim
Ozone	120 ppb (1 hour)	Interim

<그림 2-4> 호주의 실내공기질 기준

- 미국: 연방 정부가 실내공기질 관리에 대한 직접적인 통제를 하지 않으나, 관련 기관(ASHRAE, AIHA, EPA, NIOSH, OSHA)이 실내공기질 기준을 마련하는 역할을 함.
- 아시아-태평양 지역: 비정부기구(NGO)인 APARCIE 주도로 실내공기 정화 시스템 개발, 건강 위험 평가, 실내공기질 측정 표준 지원을 수행함 (Cambodia, India, Indonesia, Laos, Mongolia, Nepal, Thailand, and Vietnam).

2. 지하철 공기질 관련 국내의 정책동향

가. 국내 정책 동향

□ 지하철역사 공기질 개선 5개년 대책 (제1차: '08-' 12, 제2차: '13-' 17, 제3차: '18-' 22)

- 환경부는 2018년 3월 제3차 사회관계장관회의에서 '제3차 지하철역사 공기질 개선대책'을 발표함. 지하철 오염원의 근원적 차단, 발생 미세먼지 저감, 잔존 석면 및 라돈 저감 등을 통해 국민이 행복한 지하철 생활환경을 조성하는 것을 목적으로 함.
- 지하철 역사 내 미세먼지 오염도를 69.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 저감하는 것을 목표로 함. 2018년까지 지하철역사 오염도 실태 조사를 거쳐 미세먼지 기준(현행 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 강화하고 초미세먼지(PM_{2.5}) 기준도 신설키로 함.
- 2019년 상반기까지 현행 지침(고시)으로 관리 중인 지하철 객실 내의 미세먼지(PM₁₀) 권고 기준(현행 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 환경부령으로 상향조정하고, 기준치도 강화할 계획임.

비전	
숨 쉬기 편한 지하철환경 조성	
목표	
미세먼지 오염도 13.5% 저감(69.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ →60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	
구분	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 차량	<ul style="list-style-type: none"> · 차량 공기질 관리체계 강화 · 차량 공기질 개선장치 설치 확대 · 차량 공기질관리 차체 이행계획 수립 및 점검 · 교육 및 홍보 강화

<그림 2-5> 제3차 지하철역사 공기질 개선 5개년 대책

□ 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인 (환경부)

- 환경부는 지하철, 열차, 고속형·직행형 시외버스를 대상으로 실내공기질 관리 가이드라인을 마련해 지자체 및 대중교통사업자에게 가이드라인을 자율 준수토록 권고함.
- 가이드라인에 따르면 지하철은 평상시 이산화탄소 2,000ppm 이하, 미세먼지 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 수준으로 유지해야하며, 출퇴근 시간에는 이산화탄소 3,000ppm 이하, 미세먼지 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 관리해야 함.
- 신규 차량 제작 시에는 냉방장치를 통해 유입되는 외부공기량이 지하철은 승객 1인당 12 $\text{m}^3/\text{시간}$ 이상, 열차·버스는 20 $\text{m}^3/\text{시간}$ 이상이 되도록 미세먼지 저감 장치를 설치해야 함.
- 차량 운행 시 공기조화설비의 적정 가동여부를 확인하고 차량 내 지표오염물질 오염도를 측정하여 권고기준 초과 시에는 설비개선 등의 적절한 조치를 취해야 함.

나. 국외 정책 동향

- 홍콩: 대중교통차량 실내공기질 관리지침(Practice Note for Managing Air Quality in Air-conditioned Public Transport Facilities)은 2003년 11월에 발표되었으며 일반철도와 버스로 구분되어 있음. 관리지침은 권고기준(guideline) 수준으로 차량 내 실내공기질 지표, 운영회사의 관리방안 및 책임, 차량 및 시설 설계 시 고려사항, 운영 시 지침, 측정/검사 및 유지보수 관련사항을 포함하고 있음.

Parameter	Air Quality Guidelines (Hourly average)	
	Level 1	Level 2
Carbon dioxide	2,500 ppm (4,500mg/m ³)	3,500 ppm (6,300 mg/m ³)

<그림 2-6> 홍콩 대중교통차량 실내공기질 기준

제2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 다중이용시설 공기질 기술관련 시장현황 및 전망

□ 세계 공기질 시장은 2021년까지 267.4억 달러 규모로 성장이 예측됨. 전체 시장 중 공기조화 설비 시장의 비중은 60%, 공기질 서비스 시장의 비중은 40%임¹¹⁾.

- 실내 공기질 시장 규모: 2016년 204.8억 달러 → 2021년 267.4억 달러
- 공기조화 설비 시장 규모: 2016년 122.6억 달러 → 2021년 158.4억 달러
- 공기질 서비스 시장 규모: 2016년 82.2억 달러 → 2021년 109억 달러



<그림 2-7> 2016-2021년 실내 공기질 시장의 성장 예측

<표 2-2> 세계 실내 공기질 시장 현황

(단위: 십억 달러)

구분	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR
실내 공기질	20.48	21.15	22.07	23.28	24.82	26.74	5.48
공기질 서비스	8.22	8.49	8.87	9.39	10.06	10.90	-
공기조화 설비	12.26	12.66	13.20	13.89	14.76	15.84	-

11) TECHNAVIO, Global Indoor Air Quality Market 2017-2021 (2016)

□ 실내 공기 정화 시장은 2020년까지 7.3% 수준의 연평균 성장률(CAGR)로 확대될 것으로 전망되며 광촉매 산화, 자율 공기 청정기, 저비용 고효율 공기 청정기술이 시장의 주요 영역으로 확대될 것으로 전망됨¹²⁾.



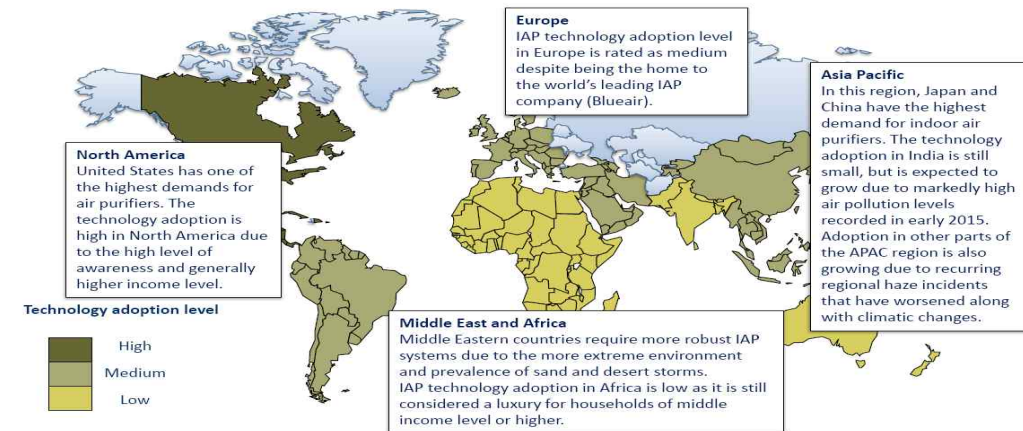
<그림 2-8> 2016-2020년 실내공기 정화 세계시장의 경향

□ 실내 공기정화기술에서 북미 지역과 동아시아 지역의 주요 기업 기술 수준은 높게 평가되고 있으며, 유럽은 중간 수준의 기술을 보유한 것으로 평가됨¹³⁾.

- 미국: 공기정화에 대한 요구가 가장 높은 곳 중 하나임. 실내공기질 시장 규모는 2016년 83.8억 달러이고, 2021년 108.1억 달러에 이를 것으로 전망됨. 시장 성장의 주된 요인은 건강에 대한 의식 증가와 관련기관 규제이며, 이에 따라 현장 상담 서비스, 실내공기질 개선을 위한 건물 설계, 환기 절차 표준화 등이 시장에 포함될 예정임.
- 유럽: 실내공기질 시장 규모는 2016년 65.4억 달러이며, 2021년 84.7억 달러에 이를 것으로 전망됨. EU는 실내공기 오염물질 수준 저감을 위한 기준을 마련 중에 있음.
- 아시아: 아시아-태평양 권역의 실내공기질 시장 규모는 2016년 55.6억 달러이며, 2021년 74.6억 달러에 이를 것으로 전망됨. 한국, 중국, 일본의 실내 공기정화에 대한 수요가 높으며 심각한 공기 오염도로 인하여 관심이 더욱 증가할 것으로 전망됨.

12) Frost & Sullivan, Technologies Enabling Indoor Air Purification (2016)

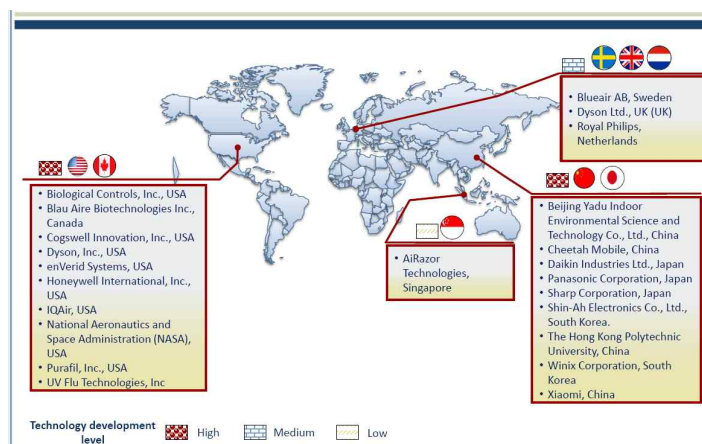
13) Frost & Sullivan, Top Technologies in Clean and Green Environment (2015)



<그림 2-9> 세계 지역별 실내 공기정화기술 시장 수준














□ 실내 공기정화 관련 기술을 선도하는 기업은 <표 2-3>과 같음.

- Akida Holdings LLC, Heaven Fresh, Sharp사 등이 산화, 이온화, 융합청정기술과 같은 새로운 기술의 상용화로 시장을 이끌어가고 있음.
- enVerid Systems, Stadler Form, PURGGO 사는 활성탄과 같은 흡착제를 이용한 정화방법 개발에서 두각을 나타내고 있음.
- 융합기술을 통한 저비용 다기능의 공기청정 기술 개발이 앞으로 시장을 선도할 것으로 전망되며 이에 대응하는 대표기업으로는 Partnering Robotics, Smart Air Filter, Panasonic, MayAir, Airfree 사 등을 꼽을 수 있음.



<그림 2-10> 세계 지역별 실내 공기정화시장 관련 기업 현황

<표 2-3> 실내 공기정화 관련 기업 및 기술특징

기업	기술특징	기술상태
	NASA가 개발한 기술에 대한 전세계 권리를 독점 보유하고 있음 필터없이 광촉매 산화 반응을 이용	Status of Technology 
	영국 Heaven Fresh는 스마트 공기정화기를 생산하고 있음. 프리필터, 대전 플라즈마 어레이, 활성탄 필터, HEPA필터, 광촉매 산화 필터, UV광 및 음이온 처리의 공기 정화장치. 냄새 및 공기의 질에 따라 정제 강도를 조절하는 스마트 모니터링 센서를 보유	Status of Technology 
	실내 공기 정화를 위한 플라즈마 클러스터 기술을 개발함 이온 발생 배출을 통한 공기 정화 및 악취 제거 기능	Status of Technology 
	Indian Institute of Technology Madras 활성탄과 UV광 및 일반적 사용되는 소자로 제작된 센서 기반의 공기 정화 장치로서 저렴하고 효과적인 실내 공기 청정기 실험 개발 중. 2~3년 후 상용화 예상	Status of Technology 
	Partnering Robotics는 이동하는 로봇이 공기의 질을 분석하고 인공지능 기술에 의한 공기정화 기술	Status of Technology 
	HEPA 필터와 팬을 이용한 DIY 공기 정화 제품으로 PM2.5 입자를 제거하는 고가의 시장제품과 동등한 기능 입증	Status of Technology 
	100% 수준의 통과 미생물의 제거 기능(열역학 살균 시스템)	Status of Technology 

 Research
  Pilot
  Commercialized

기업	기술특징	기술상태
	중국 대기오염 연합(CAAC)에서 자사의 특허인 2단계 여과 시스템으로 상을 수상 electrostatic/media 에어 필터의 조합	Status of Technology 
	보유 특허 HVAC Load Reduction (HLRTM) technology를 통한 카트리지에 포함된 흡착제를 이용한 실내 공기에서 이산화탄소, 포름알데히드 및 유기화합물 흡착	Status of Technology 
	HEPA 필터의 품질을 갖는 흡기전용 공기 청정기 HPP(High Potential Particle)필터의 자기장을 통한 정화	Status of Technology 
	100% 대나무 숲을 이용하여 활성탄 기능을 갖는 자연 친화적 자동차 공기 청정기 개발	Status of Technology 
	공기 정화 장치에 의한 2차적 오염을 방지하는 공기 정화 장치 개발 전압 필드에서 오존 발생의 극소화 연구	Status of Technology 
	싱가포르 국립대학에서 개발한 공기 정화 기술을 상용화 할 수 있는 독점 라이선스 보유. 연무(haze) 제어를 위하여 개발되었으며 일반 환기팬을 적용하여 실내환경에 적합하게 설계	Status of Technology 
	nanoe™ 기술을 이용한 공기 정화 장치 액상화학물질 이용	Status of Technology 
	CO2와 물을 이용한 광촉매 반응에 기인한 공기 살균 정화 장치의 제조	Status of Technology 
 Research  Pilot  Commercialized		

□ 국내 시장의 경우 환경산업통계조사보고서(2015)에 따르면 2014년 대기관리 부분의 매출액은 6조 1,811억원으로 전년대비 1.9% 증가했으며, 실내공기질 부분의 매출액은 7,400억원 규모임.

- 개인 수요자 위주의 실내 공기청정기 시장은 2013년 3천억 원 규모에서, 2017년 1조 5천억 원 규모 성장함.

- 건강에 대한 관심 증가와 더불어 개인 수요자 위주의 실내공기질 시장은 계속 증가할 것으로 예상됨.

- 정부 기관 및 지자체, 교육청이 잇따라 강화된 실내공기질 기준을 제시하고 있어 학교와 다중이용시설을 대상으로 하는 실내공기질 관련 시장(미세먼지 저감설비, 측정 센서 등)이 크게 증가할 것으로 전망됨.

<표 2-4> 국내 공기청정기 시장 현황

(단위: 만대, 억원)

구분	2013	2014	2015	2016	2017
대여·판매 대수	-	50	90	100	140
매출액	3,000	-	6,000	10,000	15,000

2. 지하철 공기질 기술관련 시장현황 및 전망

- 지하철, 터널, 기차 등의 공조 시스템용으로 특정한 에어 필터의 특허 검색결과 대부분 공조 시스템 전체의 기계적인 구조 중 구성품으로 필터를 포함하는 기술이 나타나 있음. 지하철 등의 공조 시스템용 에어 필터에 관한 대표 문헌은 아래와 같음.

<표 2-5> 지하철 공조 시스템 관련 기술 현황

	문헌번호	대표청구항
1	US2010-0050872	A filter, comprising: one or more nanofibers; one or more nanoparticles, wherein the nanoparticles are at least partially embedded in the one or more nanofibers; and one or more pockets, wherein the pockets at least partially surround the one or more nanoparticles.
2	JP2006-334494	マイクロ波を透過する材料に光触媒材料が混合された複合材料により多孔質体として形成され、 マイクロ波の照射に対して前記多孔質体に混合された光触媒材料がOHラジカルを生成することを特徴とするフィルター。
3	KR10-0639347	습식 에어필터에 있어서, 소정의 크기와 형상으로 프레임에 설치한 직물여과포에 고점도 오일을 도포하여 먼지 입자를 여과시키고, 상기 먼지 입자가 여과된 상기 고점도 오일을 세척액으로 세척한 후 상기 고점도 오일을 상기 직물여과포에 다시 도포하여 재사용하는데, 상기 직물여과포에 도포된 고점도오일에 살균제를 첨가하여 세균의 살균 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 재생 가능한 습식 에어필터.
4	KR10-0589480	빌딩, 공장, 병원 및 지하철 등에 적용될 수 있는 공조용 필터 여재에 있어서, 섬도 4~15데니아의 저융점 폴리에스터 또는 폴리올레핀 섬유(7)와 생분해성 폴리에스터 섬유(6), 옥수수섬유, 콩섬유, 죽섬유, 마섬유가 30:70의 부피%로 된 중간층(4); 상기 중간층(4)의 상면에 섬도 6~20데니아의 벌키층(3); 및 상기 중간층(4)의 저면에 섬도 2~4데니아의 조밀층(2)이 일체로 결합 성형하여서 된 것을 특징으로 하는 공조용 필터여재.
5	KR10-0568556	기차에 설치되는 에어필터에 있어서, 유입된 공기가 와류를 일으키도록 공기유입 방향을 향해서 개방된 볼텍스홀(vortex hole)이 형성된 다수개의 프레임을 수직

		<p>으로 배열형성하고, 인접한 복수개의 프레임 사이에는 간격을 유지하도록 함과 아울러 프레임들을 부착하기 위한 브라켓을 다수개 이격되게 설치하되,</p> <p>상기 프레임은 이물질 제거효율을 높이기 위하여 공기유출/입 방향을 향해서 반대방향으로 경사면을 갖도록 압출 혹은 사출 성형하여 지그재그 모양으로 형성하고, 각 경사면의 코너부 및 공기유출방향 종단에 와류를 일으키기 위한 볼텍스홀을 형성하며,</p> <p>상기 볼텍스홀은 프레임 본체의 경사면 코너부 및 공기 유출 방향 종단에 프레임 본체의 경사면보다 짧은 'ㄱ' 형 날개편이 일체로 형성되도록 압출 혹은 사출성형하되, 날개편의 일측종단은 본체와 일체로 부착되고 타측 종단은 공기유/출입 방향을 향해서 본체와 이격되게 돌출 형성한 것을 특징으로 하는 에어 필터.</p>
6	KR20-0321524	<p>필터틀체(110)와, 공기 중의 각종 이물질을 포집 정화하기 위한 포집망체(120)로 구성된 에어필터(100)에 있어서;</p> <p>상기 포집망체(120)는, 공기의 흐름을 제어하기 위해 고정대(121a) 사이에 공기통로(121c)를 형성하기 위한 다양한 형태의 댐퍼날개(121b)를 구비한 필터댐퍼(121)를 포함하고, 상기 필터댐퍼(121)의 외측으로는 텐션력 유지를 위한 철망(122)과, 하나 이상의 여과막(123) 및 메쉬망(124)을 순차적으로 배치한 다음 보강대(125)로 밀착 구성됨을 특징으로 하는 공기 정화장치용 에어필터.</p>

제3절 국내외 기술동향 및 법제도 분석

1. 기술현황 분석

가. 실내공기질 개선 기술

- 검증되지 않은 각종 건축자재의 무분별한 사용과 여러 화학물질을 포함한 가구류 및 집기류가 실내에 다량으로 사용되므로, 화학물질에 의한 공기오염을 초래하여 이른바 Sick House 증후군의 원인이 되고 있음.
 - 국내 전자재의 주요 방산유해물질 분류 및 실내공기질 현황 데이터는 선진외국에 비해 턱없이 부족하며, 시험시설 등도 열악한 상황임.
 - 실내공기질 기준안 만족을 위한 구체적인 대응책 마련을 위해, 각 건설회사에서는 사용 중인 전자재의 방산유해물질 분석 및 신축건물의 실내공기질 실태조사 등을 진행하고 있음.
- 패브릭 필터의 세계 시장 규모는 2013년 약 105억 달러로 평가되며, 2014-2019년 간 CAGR 5.3%로 성장하여 2019년 151억 달러에 이를 것으로 예측됨¹⁴⁾.
 - 아시아-태평양이 전체 시장의 58.3%를 차지하여 가장 큰 시장이 되고 있으며 패브릭 필터는 현재 전기집진기의 대체품으로 고려되고 있음.

<표 2-6> 패브릭 필터의 세계 시장 현황

지역	2012년	2013년	2014년	2019년	CAGR% 2014-2019
North America	2,308.2	2,368.6	2,406.3	2,649.5	1.9
Europe	1,138.5	1,176.2	1,219.2	1,530.1	4.6
Asia-Pacific	5,902.3	6,112.3	7,214.6	9,802.3	6.3
Rest of the World	790.4	821.4	845.3	1,119.7	5.8
Total	10,139.4	10,478.5	11,685.4	15,101.6	5.3

- 미국 내 공기 및 액체필터 판매가 2020년까지 연평균 3.8%씩 성장할 전망으로, 향후 5년 뒤 시장 규모가 97억 달러에 이를 전망이다.
 - 2015년 액체필터가 60% 이상 수요를 보이며 가장 큰 시장 점유율을 획득했고, 향후 공기

14) BCC Research, Air Pollution Control Equipment: Technologies and Global Markets (2015)

청정기와 카트리지 공기필터가 2020년까지 가장 빠른 성장세를 보일 것으로 전망됨.

- 이산화황 및 수은 배출 관련 환경규제와 美환경보호청(EPA) 기준에 맞는 필터를 사용해야 하므로 공기청정기 필터 판매가 증가할 전망됨.

□ 미국 내 호흡기 환자(예: 천식 및 알러지 등) 증가로 저렴하고 먼지 흡입능력이 뛰어난 HEPA 필터 수요가 증가할 전망으로, 미국 HEPA 필터 시장 2018년까지 연평균 5.1% 상승할 전망임.

- HEPA 필터가 달린 공기청정기에 대한 미국 소비자들의 큰 관심이 카트리지 공기필터의 수요 증가를 견인할 것으로 보임.

<표 2-7> 미국 내 주목받는 상위 5 공기정화 필터 제품

제 품	설 명
	<Alen BreatheSmart Customizable Air Purifier> ○ 1100제곱피트에 달하는 면적을 정화할 수 있음 ○ HEPA 필터를 장착하여 먼지 및 알러지 유발 요소를 신속히 제거 ○ 필요에 따라 4가지의 다른 필터를 바꾸어 장착할 수 있음 ○ 가격: \$599.00
	<Airocide NASA Air Purifier> ○ 곰팡이, 먼지, 바이러스, 박테리아 등 다양한 오염원 제거 ○ 오존을 생성시키지 않으며 실내 탈취기능 제공 ○ NASA에서 개발된 공기청정 기술을 응용한 제품 ○ 가격: \$599.00
	<Whirlpool AP51030K> ○ 500제곱피트 면적의 방을 정화 가능 ○ HEPA 필터를 장착했으며, 미세먼지(0.3미크론) 여과 가능 ○ 작동 시 소음이 적다는 것이 큰 장점 ○ 가격: \$279.00
	<Honeywell True HEPA Air Purifier> ○ 수명이 긴 HEPA 필터를 장착하여 3-5년간 사용 후 교체 가능 ○ 미세먼지 제거 효과가 탁월 (0.3미크론 입자 제거 가능) ○ 먼지, 털, 그리고 실내 악취에 이르기까지 다양한 오염원 제거 ○ 가격: \$143.84
	<Honeywell AirGenius5 Air Cleaner/Odor Reducer> ○ 250제곱피트의 면적을 정화 가능함 ○ 0.3미크론의 미세먼지를 제거할 수 있는 강력한 여과 기능 ○ 다섯 가지의 다른 공기청정 모드를 제공함 ○ 가격: \$249.99

□ 활성탄소섬유(ACF)는 새로운 타입의 섬유상 흡착제로 천연섬유 또는 인조유기물, 화학섬유를 원료로 소성, 부활시켜 만든 섬유상의 활성탄임.

- 표면적으로는 $1100\sim 1600\text{m}^2/\text{g}$ 으로 매우 크며 공경은 $10\sim 14\text{\AA}$ 으로 균등하며 작은 세공구조로 되어 있고 흡착속도가 매우 빠르며 활성탄의 약 10~100배임.
- 여러 분야에서 분리나 정제에 사용되고 있는 분말이나 입상 활성탄소에 비하여 10배의 높은 흡착력을 가지며 흡착제의 중량이 경량 및 소형화가 가능함.
- ACF 재생 시 표면의 이중처리로 탄분비산으로 인한 마모율이 없고 $100\sim 200^\circ\text{C}$ 온도에서 스팀이나 온풍으로 간단히 재생이 가능하여 필터를 재사용 시 3~5년의 수명이 연장되므로 일반활성탄소에 비해 유지비가 저렴하여 수요량이 증가하고 있음.
- ACF의 주 사용처는 용제회수, 폐수, 공기정화, 독성기체 또는 액체, 방사선물질 및 미생물의 흡착 탈착, 비린내 제거, 중금속의 회수, 방독면과 의류제작, 공업청정수의 처리, 의료용품, 쓰레기 악취제거 및 다이옥신 성분제거 등에 사용함.

<표 2-8> 활성탄소섬유 필터의 특징

- * 흡착과 탈착의 속도가 빠르고 이탈성이 우수함.
- * 표면적이 커서 흡착용량이 크며 많은 량을 처리할 수 있음.
- * 회수된 용제의 순도가 높아 99% 이상의 순도를 유지 할 수 있음.
- * 부식성의 용제회수가 용이함.
- * 처리용적이 적어 장치가 소형화되고 점유면적이 극소함.
- * 장치의 소형화로 장소이동이 편리하고 운반이 간단함.
- * 자동화 처리가 간단하고 전, 후 처리 시 응용면이 광범위함.
- * 사용수명이 길어 설치 관리 유지비가 절감됨.
- * 재생이 용이하여 1차 설비로 3~5년간 반복해서 사용할 수 있음.
- * 생활공기의 탈취효능, 음용수의 정화 (탈취, 탈색, 탈미) 성능이 대단히 우수함.
- * 습식, 건식 산화탈취장치의 성능이 우수함.

<표 2-9> 활성탄소섬유 필터 제품

ACF 필터	<ul style="list-style-type: none"> - 순수 ACF felt 형태로 각종 탈취 필터 및 수처리 필터로 사용 - 두께는 1-10T까지 다양 - ACF에 광촉매 또는 은나노 처리를 통해 기능성 ACF 필터로 만들 수 있음
ACF 양면 부직포 필터	<ul style="list-style-type: none"> - 순수 ACF 양면에 부직포를 처리하여 만든 필터 - 두께는 1-10T까지 다양 - 탈취필터나 수처이용 필터로 제작 사용함 - 통기성을 원활하게 하기 위해 펀칭 작업을 통해 통기성을 개선시킴
ACF 카트리지 필터	<ul style="list-style-type: none"> - ACF를 이용하여 카트리지 형태로 둘둘 말아서 쓰거나 바인더를 이용하여 정형된 형태로 만들어서 사용

□ 국내에서도 최근 대기환경 문제가 크게 부각됨에 따라 오염된 물질을 제거하는 공기청정 여과제인 섬유 필터가 주목받기 시작했으며, 필터 기능의 고성능화 및 응용에 대한 연구 및 이에 대한 시장이 매우 활발해짐¹⁵⁾.

- 섬유 에어필터의 용도를 보면 여과 목적에 따라 건식여과와 습식여과로 대별되며 필터용 소재로서는 주로 폴리에스테르(PET)와 폴리프로필렌(PP)이 가장 많이 사용.

- 양 소재는 내약품성이 우수한 점 및 열가소성이 있고 여과재 형상을 자유롭게 할 수 있는 것 등 때문에 여과 재료로서 중요성이 부각되고 있음.

- 폴리에스테르(PET)는 습식, 건식을 비롯하여 부직포, 직물, 펠트의 섬유소재로서의 광범위하게 사용되어지고, 폴리프로필렌(PP)는 내약품성 측면에서 광범위한 사용영역을 가지고 있으나 100℃가 넘는 고온하의 사용조건에서는 부적당하여 폴리에스테르(PET)로 대체되는 경우도 있으나 에어필터와 관련해서 정전처리화가 용이한 이점이 있어 사용량이 급증하고 있음.

□ 하이필터시스템은 전기집진기술과 여과집진기술을 융합해 초미세먼지제거 효율을 99.9%까지 끌어올린 집진 설비로, 세계 최고 수준 성능을 자랑함.

- 음이온을 이용하는 전기집진기는 대용량 배출가스를 빠른 유속으로 처리하는 장점을 지녔지만 분진 제거 효율은 90% 안팎이며, 특히 초미세먼지는 대부분 그대로 배출되는 단점이 있음.

15) 김주용 외, 나노섬유기술을 이용한 친환경 에어필터소재 (2010)

- 필터를 이용하는 여과집진기는 분진 제거 효율이 99%에 달하지만, 빠른 유속을 구현하지 못해 발전소 같은 대형 연소시설에선 적용하기 어려움.

- 하이필터 시스템은 바로 이 둘의 장점만 취해 일체형으로 만든 신개념 하이브리드 설비로 초미세먼지를 많이 발생시키는 석탄 화력발전소나 지역 열공급 시설 등 대규모 연소사업장에 적용하려고 현재 충남 서천 화력발전소에서 성능을 검증하는 실증 가동을 진행 중으로 안정적인 운전 성을 보이고 있음.

- 하이필터시스템은 국내외 화력발전소에 본격적으로 납품할 계획이며 중국 내 합작회사 설립 및 92억 원 설비 수출 등 해외 진출을 활발히 추진 중에 있으며 스위스국제발명전시회에서 금상을 공동 수상하는 등 세계적 수준의 초미세먼지 집진 효율을 구현했다는 평가를 받음.

□ 미래창조과학부의 사회문제 해결형 연구사업인 ‘초미세먼지 피해저감 사업단’에서는 물과 관성의 법칙을 이용한 ‘무(無) 필터’ 초미세먼지 정화장치를 연구하고 있으며 이 방식은 물을 이용해 초미세먼지 입자를 키운 뒤(응축성장) 관성충돌을 통해 제거판에 집진하는 것임¹⁶⁾.

- 관성충돌은 매개체 흐름에 따라 움직이는 입자가 관성 때문에 곡선의 유선을 쫓아가지 못하고 매개체 표면에서 벗어나는 것을 말하며 질량이 큰 물체는 빠른 속도로 코너를 돌면 밖으로 나가기 쉬운 것과 같은 원리임.

- 초미세먼지의 경우 매개체 흐름에 상관없이 불규칙하게 움직이는 ‘브라운 운동’을 하기 때문에 관성충돌 제거방식이 불가능한데, 입자를 키워 이 방식을 적용하는 것임.

16) 여국현, 미세먼지 관리 기술 동향, 한국생산기술연구원 (2016)

나. 지하철 공기질 모니터링 기술

- 프랑스 그레노블(Grenoble)에서 공기 오염도를 모니터링하기 위해 센서가 부착된 트램열차 시범운영(GreenZenTag project)이 4개월 동안 진행되었음.
 - 이 프로젝트는 열차 지붕에 10개의 마이크로 센서를 부착하여 지역별 공기오염도를 측정, 태그(geotag)하고 실시간으로 데이터를 전송함.
 - 이 센서는 A 라인의 Fontaine 역과 Echirolles 역 사이의 미세입자(PM2.5, PM10)를 6,000회 측정할 것이며, 감지된 데이터는 해당 지역 공기오염도를 모니터링하는 기관(Atmo Auvergne-Rhone Alpes)이 이미 보유하고 있는 측정치를 보완할 것임.
 - Grenoble Laborator of Mobility Research (Lemon) 의 연구진이 벤처기업 EcoLogicSense 와 Zenbus 의 지원과 Atmo Auvergne-Rhone Alpes의 후원에 기반하여 이 모니터링 도구를 개발함.

- 중국 철도역의 검정색과 흰색 빛깔의 159cm 길이, 78kg 의 보안 로봇인 AnBot은 스타워즈의 R2-D2보다는 더욱 효율적이고, (BBC TV 프로그램 캐릭터) Dalek 보다는 위협적이지 않음.
 - AnBot은 고화질 카메라 4대가 장착되어 시간당 18km의 거리를 안전하게, 독립적으로 이동할 수 있으며 2016년 2월에 보급되었음.
 - AnBot이 주요 기능 가운데 센서는 공기오염도와 온도변화를 감지하고 추적할 수 있도록 해줌.

- 지하철:철로에서 발생하는 입자상 물질 중심의 대기오염 물질 측정 및 제거를 통한 터널 중심의 공기질 관리 기술 개발 필요함.
 - 입자상 물질은 그 자체로 위해하나 특히 입자상 물질에 발암물질, 병원성 세균이 결합될 경우 위해성이 더욱 높아질 수 있음.
 - 입자상 물질은 광산란 및 베타레이 등에 기반한 실시간 공기질 측정으로 가능하나 측정 결과가 부정확한바 이를 보완할 수 있는 기술이 필요함.



<그림 2-11> 입자상 오염물질의 측정 방법

<표 2-10> 대기오염물질 측정방법 및 특성

입자성분 분석	물리적 특성	전기적 특성	광학적 특성	화학적 특성
측정 파라미터	크기, 무게, 밀도	음전하 운반, 양전하 운반, 표면저하량	특정 원소, 특정 분자, 결정구조	원소종류, 동위원소비, 무기화합물, 유기화합물, 분자구조
측정방법	레이저광산란 펄스 측정, 진공 속으로 진입하는 입자 분석	전하 유도에 의한 기전력 측정	방출광 스펙트럼, Raman 스펙트럼	질량분석 스펙트럼, 이온트랩에 의한 분자분해 분석

□ 지하철 이용 인구가 많아짐에 따라 지하철 및 지하공간의 공기질 관리에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 공기질의 관리와 제어를 동시에 실시간으로 수행하는 것이 목적인 USN 환경 센서 모니터링을 이용한 지하철역사 환기공조제어 시스템을 적용하여 공기질을 개선하기 위한 연구가 부족함.

- 국내에서는 아직 지하철역사 모니터링을 위한 통합 시스템 구축은 이루어지지 않고 있는

실정이며 환경 모니터링에 대한 IT측면에서의 시스템 구축 또한 기상청을 중심으로 해양연구원등에서 이루어지고 있으나 부족함.

- 지하철 대기환경의 미세먼지, CO2, 온도, 습도 등의 실시간 공기질 정보를 정확하게 측정하고 안정적인 네트워크 성능을 가지는 무선통신 방식을 이용하여 측정데이터를 전송하는 통합 공기질 모니터링 시스템을 구축할 필요가 있음.

□ 안정적인 네트워크 성능을 가지는 CDMA 무선통신 방식을 이용한 M2M (Machine to Machine) 통신을 사용하여 측정데이터를 전송하는 통합 공기질 모니터링 시스템을 구축함.

- 최근 증가하고 있는 M2M 기능의 요구를 수용하기 위하여 개발되었으며, 임의의 시스템에 부가적 시스템으로 장착하여 해상 시스템을 CMDA 무선망에 접속하여 음성 및 데이터 통신 기능을 갖도록 하는 무선 단말장치임.

- 통합 공기질 측정 장비는 주기적으로 온·습도, CO2, 미세먼지를 측정한 공기질 데이터를 CDMA 통신 모듈을 통해 BTS(Base Station Transceiver Subsystem)에 전달하고, 이 데이터는 통신회사의 수신 서버로 전달되며, 통신회사에서는 수신된 데이터를 M2M 플랫폼을 사용하여 데이터 수신 서버와 TCP 소켓 통신을 하여 데이터를 송신함.



<그림 2-12> M2M CDMA 무선통신을 이용한 실내환경 모니터링 시스템

□ 실내공기질을 오염시키는 다양한 물질들을 분석 측정하는 방법은 비분산 적외선 분석법과 포집 및 β선 조사 분석법, 액체 크로마토그래피 및 기체 크로마토그래핀 분석법 등인데, 이러한 기존의 방법들을 적용하기 위해서는 고가의 장비가 필요하고, 장치가 크기 때문에 휴

대가 불가능하여 시료의 포집 및 분석에 매우 많은 인력, 시간 및 비용이 들므로 소형장비 개발이 필요함.

- CO 및 CO₂의 농도를 측정하는 주시험법은 비분산 적외선 분석법으로 적외선을 방출하는 광원과 기체 고유의 흡수 스펙트럼에 맞는 파장만을 통과하게 하는 필터, 그리고 기체를 통과한 적외선을 감지하는 적외선 센서로 구성됨.
- 미세먼지인 PM₁₀의 주시험법은 소용량 공기 포집법으로 필터를 이용해 10 μ m 이상의 입자를 포집한 뒤 β 선을 조사하여 채취된 먼지를 통과할 때 흡수 소멸되는 β 선의 차이로 먼지 농도를 측정함.
- 포름알데히드의 측정방법은 정밀한 기체분석에 가장 많이 사용하고 있는 HPLC 법을 이용하며, 2,4-DNPH유도체를 역상 HPLC에 도입하여 UV 360nm에서 검출되는 크로마토그램으로부터 포름알데히드의 농도를 측정함.

<표 2-11> 실내 공기질 측정을 위한 항목별 분석법

측정항목	주시험법
일산화탄소(CO)	비분산 적외선 분석법
이산화탄소(CO ₂)	비분산 적외선 분석법
미세먼지(PM ₁₀)	소용량 공기포집법
포름알데히드(HCHO)	2,4-DNPH 유도체화 HPLC 분석법
라돈(Rn)	연속모니터 측정법

- 미세먼지 측정법 중 적외선 분석법은 입자에 빛을 비추고, 먼지 입자가 센서에 도달하면 빛의 세기가 약해짐으로 빛의 밝기에 근거하여 대기 중 입자 수의 많고 적음을 측정함.
 - 적외선 탐지기의 문제는 센서가 빛의 세기가 약해지는 원인을 정확히 설명하지 못한다는 점임.
 - 적외선 센서는 ‘좋다 혹은 나쁘다’의 평가를 내리기에는 적합하지만, 입자 수를 측정하지 못함.
- 미세먼지 측정법 중 베타 방사선 측정기술 (Beta attenuation mass monitoring technology)은 베이징의 미국 대사관이 사용하는 것으로 널리 알려져 있으며, 이 기술은 장기간 규칙적인 모니터링에 사용되며, 주변 공기질을 측정하는데 적합함.

- 우선, 필터링 페이지를 통해 주변 공기를 통과하는 공기 샘플을 얻고, 이제 모든 공기 입자는 이 페이지에 흡착되어 있음.
- 이 페이지를 베타 방사선에 노출시키면 이 입자 중 일부는 방사선을 흡수하므로, 다른 한쪽에서 그 차이를 측정하고 후에 수학적 계산으로 베타 방사선이 미약해지는 세기를 측정하고 PM 2.5로 변환함.
- 베타 방사선의 장점은 고체 물질을 통과한다는 점이고, 적외선은 입자 유입으로 빛의 세기가 약해지는지 여부만 알려주지만, 베타 방사선 측정법은 대기 중 입자의 밀집도와 크기에 대해 알려줌.
- 베타 방사선 세기는 모든 작은 입자의 영향을 받으므로, 미세한 보정 작업을 수행할 인력이 없는 경우, 측정결과가 상당히 부정확해질 가능성이 있으므로 상당한 전문기술이 필요한 방법임.

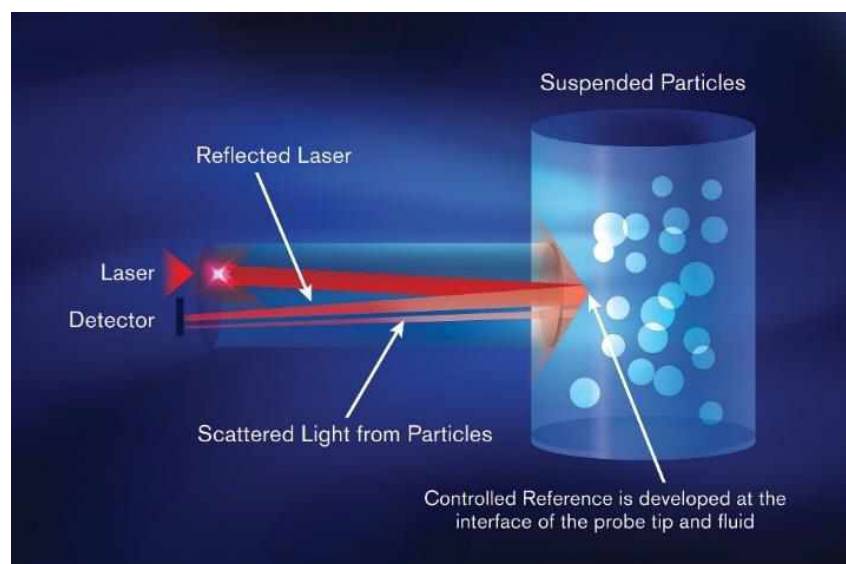


<그림 2-13> 미세먼지 측정을 위한 베타 방사선 측정기술

- 전문가용 휴대용 기기들은 레이저 회절기술 (laser diffraction technology)을 이용하여 입자 크기를 측정하고, 이 기술은 과학기술 실험용으로 사용되며, 일반적인 경우, 대기 중 액체 혹은 진공상태에서 사용할 수 있음.
- 레이저 빔이 입자에 부딪힐 때 빔의 빛이 분산되며, 이 때 크기가 큰 입자들은 작은 입자에 비해 더욱 빛이 남.
- 레이저 빔이 대기 중 입자들을 통과하면서 센서가 빔의 강도와 각도를 탐지하고 나서 알

고리즘을 통해 샘플에 나타나는 입자수와 입자크기를 측정함.

- 미세조정이 잘 된 베타 방사선 측정법 또한 이와 유사한 결과를 내놓지만 레이저 회절기술은 매우 빠른 시간 내에 수 초 단위로 입자측정 결과를 산출함.
- 이 기법은 적절한 미세 조정이 필요한데 예를 들어 재(soot)는 모래 입자와는 다른 회절 패턴을 보이므로 그에 맞추어 알고리즘을 조정할 필요가 있음.
- 하지만 2015년 ‘스마트’ 한 입자 탐지기가 중앙서버에 저장된 데이터를 활용하여 자동으로 알고리즘을 성공적으로 조정함.



<그림 2-14> 미세먼지 측정을 위한 레이저 회절 기술

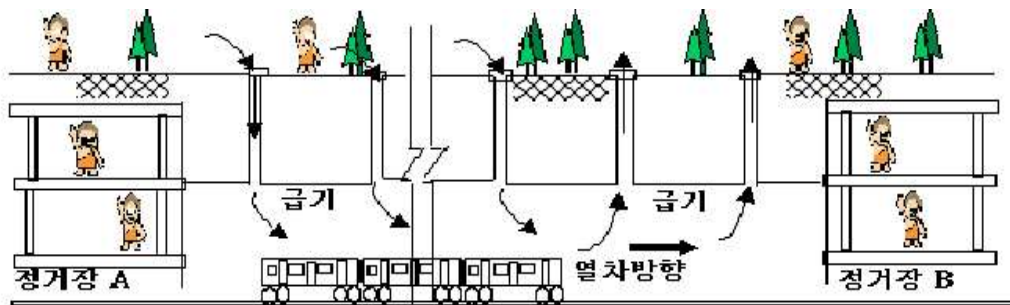
다. 지하철 공기질 제어 기술

□ 지하철역 승강장에 설치된 스크린도어(PSD)가 공기질과 소음 개선에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 서울메트로는 시공 완료한 2호선 사당역 스크린 도어 운영 결과 미세먼지의 경우 승강장과 대합실 모두 기준치보다 훨씬 낮게 나타나는 등 큰 개선효과가 있음을 밝힘.

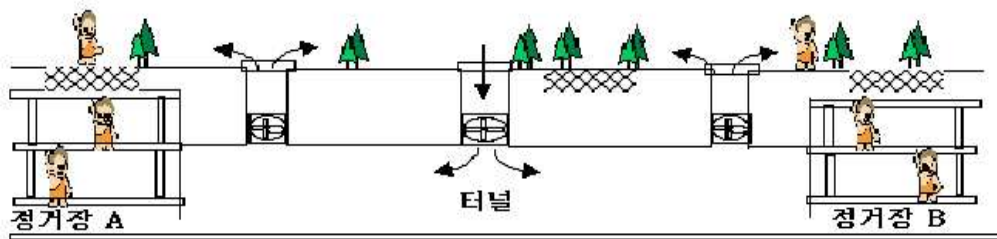
- 설치 전 $131.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이던 승강장 미세먼지는 설치 후 $85.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 35.3% 개선됐고 대합실은 $80.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $58.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 26.9% 줄음.

<표 2-12> 국내 지하철 환기 방식

	서울 메트로	서울지하철공사
환기방식	1호선 : 자연환기 2,3,4호선 : 반강제환기 (강제급기+자연배기)	강제환기 (강제급기 및 배기)



(가) 자연환기시스템 (열차풍 이용)



(나) 강제환기시스템 (송풍기 이용)

<그림 2-15> 국내 지하철의 환기 시스템 개념도

□ 한국철도기술연구원과 (주)애니텍은 각종 미세먼지와 오염물질로부터 호흡기 건강을 지키는 ‘지하철 대용량 공기정화기술’로 환경부 신기술을 획득함¹⁷⁾.

- 표면적인 넓은 다공성지지체와 알칼리 물질로 만든 흡착소재를 활용해 지하철 내부의 이산화탄소와 미세먼지 등 대용량의 공기를 정화시키는 세계 최초 지하철용 공기정화장치임.

- 전동차 천장에 매립 설치되며, 내장된 송풍팬을 시간당 약 2-3회 가동시켜 객실 공기를 깨끗이 정화시키고, 실내 이산화탄소 농도를 스스로 감지해 이산화탄소가 기준 농도 이상이 되면 흡착시스템이 자동으로 가동됨.



<그림 2-16> 서울지하철 객실에 적용된 공기정화기술

□ 이온화 공기 정화기(Ionizer purifiers)는 충전된 바늘이나 표면 전기장(electrical surfaces)를 이용하여 전기적으로 충전된 공기나 가스 이온을 발생시킴.

- 이 이온은 대기 중 입자에 흡착되어 정전기를 발생시켜 입자들이 집전판에 이끌리도록 하고 이 같은 메커니즘의 부산물로 오존 및 기타 산화제가 미량 생산됨.

- 대부분의 이온화 기술은 산업안전기준을 넘지 않는 0.05 ppm 미만의 오존을 발생시킴.

- 이온화 기술은 팬(fan) 사용유무에 따라 두 가지로 구분되며, 팬을 사용하지 않는 (fanless) 경우, 소음이 적고 전력이 덜 소모되지만, 공기 정화 효율성이 낮음.

- 반대로 팬을 사용하는(fan-based) 경우, 공기 정화 속도가 더욱 빠름.

17) 여국현, 미세먼지 관리 기술 동향, 한국생산기술연구원 (2016)



〈그림 2-17〉 이온화 공기 정화 기술

□ 지하철 내 미세먼지 제어는 지하철 운행정지 시간(새벽1시-4시)에 집중적으로 단순 살수차 운행으로 진행하고 있으나 역마다의 순환 주기가 지하철 노선과 역사의 급격한 증가로 오랜 시간이 걸리므로 터널 내 미세먼지는 계속 증가하고 있는 실정이며 이러한 문제점을 개선하고자 다양한 방법들을 사용하고 있으나 레일과 차륜의 마모로 인한 철(Fe)가루 발생을 근본적으로 막지는 못하고 있는 실정임¹⁸⁾.

〈표 2-13〉 서울지하철의 미세먼지 제어 방법 및 효과

미세먼지 제어 방법	효과
고압 및 일반 살수 차량 운행	2일정도의 효과, 3일 쯤부터 다시 비산
역사 물청소	승강장, 대합실
레일의 선형을 개선	효과 미비
레일 마찰 지점에 유활제를 분사	2~3% 정도의 저감율
자석 부착차량 이용	2~3% 정도의 저감율

□ 런던 지하철 관리회사(London Underground Limited : LUL)는 현재 공기질 개선을 위해 다음과 같은 방법을 고려하고 있음.

- 터널 청소 열차의 사용에 있어 밤에 운행하며 터널과 지표 아래 부분을 큰 진공청소기 같

18) 환경 친화적 천연고분자를 이용한 지하철 터널 내 미세먼지 제어에 대한 연구

이 작동하여 청소하고, 터널에서 먼지를 제거한다. 역사적으로 전체적인 시스템은 평균 2년에 1번 청소됨.

- 레인 마모 동안에 만들어지는 먼지에 대한 제거 효율성을 제고하기 위해 터널의 연결공간을 작업시간 동안에 일시 차단하는 팽창식 터널마개를 시험적으로 사용함.
- 브레이크 받침나무에 사용되는 재료를 변화시킨 결과, 먼지 농도는 과거 15년에 걸쳐 감소됨.
- 새로운 차량에 설치한 저항 제동기(rheostatic braking)(전기 모터들이 열차 속력을 늦추기 위한 전화되었다)가 먼지 발생을 감소시키는데 가장 큰 영향을 미친 것으로 알려짐.
- 먼지 제어 방법들이 기준들과 환경적 약정 규정을 통해 명기되었으며, 모든 직원과 도급자들이 준수해야하며, 준수사항이 현장 검사와 감사를 통해 모니터링 됨.
- 먼지 제어 설비들의 진행 적합성의 모니터링을 꾸준히 진행하며, 향후 수행되는 직원 개개인의 노출 모니터링 방법에 대한 설명을 제공하고, 시간과 시스템에 걸쳐 데이터의 일관성과 비교성을 확고히 하기 위해 현재 새로운 기준을 모색하고 있음.

□ 요코하마시 지하철은 60명(1일 30명)을 4개 조로 나누어 1역 당 1일 1회의 청소 및 월 1회 정도의 바닥 물청소를 실시하고 있으며, 1개조가 5-8개 역 정도를 담당하고 있음.

- 역 철로부의 청소를 매년 실시하고 있지만 1역을 청소하는 것은 4년에 1회 정도이며 이외 터널내의 도상청소(살수)를 실시하고 있음.
- 지하철역사 환기 시스템은 승강장 상부 흡기 및 하부 배기방식을 행하고 있으며, 배기의 경우 자연배기로 터널과 출입구로부터 외부로 배기됨.
- Concourse(역의 중앙 광장)와 승강장의 환기량은 $30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 로 하고 있으며, 냉방을 행하는 경우에 외기량 $10\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 로, 순환량을 $20\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 로 하고 있음.

□ 오사카시에서 운용되는 지하철 역사의 환기방식에는 중간환기방식과 종류환기방식이 있으며, 상자형 터널구간은 중간환기방식, 단선실드구간은 종류환기방식을 주로 채용하고 있음.

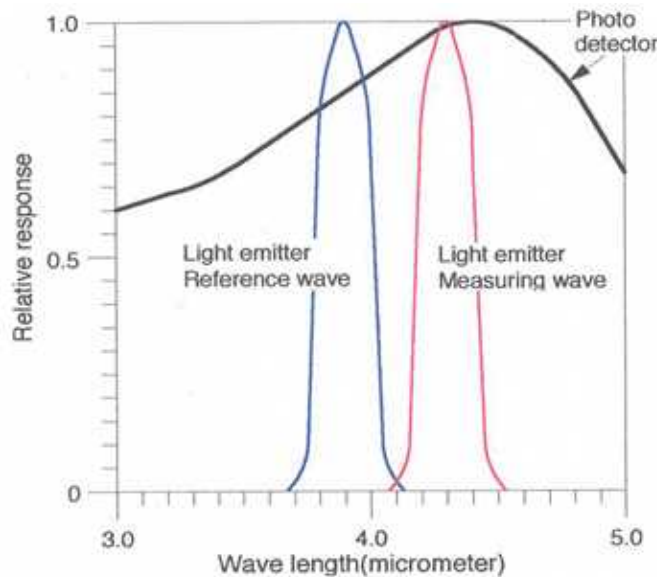
- 중간환기방식은 역과 터널을 한꺼번에 환기하는 방식이며 역에 설치된 송풍기에 의해 지하흡기탑으로부터 흡입된 공기를 역구내로 송출하고, 터널내(역중간)에 설치된 배풍기에 의해 배기탑으로부터 외부로 배출 됨.
- 종류환기방식은 역과 터널내로 구분하여 환기를 행하는 방식이며 터널 내는 열차의 진행 방향으로 기류가 흐르도록 터널송풍기, 터널배풍기를 역 양 끝단에 설치하고, 역에서 역송풍기, 역배풍기를 별도로 설치하여 환기함.

라. 객차 공기질 제어 기술

□ 국내에서는 냉난방 부하를 최적화시키고, 외부로부터의 미세먼지 및 유해물질의 도입을 최소화할 목적을 달성하기 위하여 객차 내부의 공기오염 지표로서 이산화탄소 측정 센서를 활용하여 공기질 제어 및 관리를 함.

- 이를 위하여 객차에 장착하여 객차 내부의 공기질을 상시 모니터링 할 수 있는 신뢰성 높은 이산화탄소 측정기를 개발함.

- 이산화탄소 농도를 측정할 수 있는 가장 신뢰성 높은 측정법인 비분산 적외선법이 있으며, 이산화탄소는 4.3 μm 의 중적외선(2 ~ 5 μm)을 흡수한다. 대표적인 유해가스로 알려진 VOC는 3.4 μm , SO₂는 3.9 μm , CO는 4.7 μm , NO는 5.3 μm 파장대를 흡수하고, 각 기체들의 고유한 흡수파장을 이용하여 이산화탄소를 측정할 수 있음.



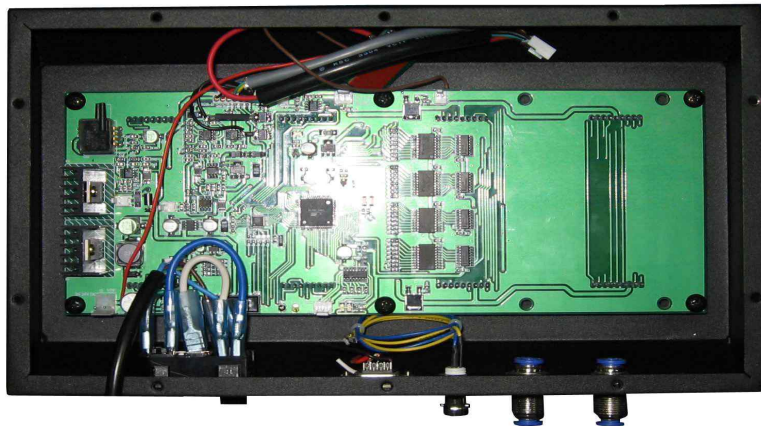
<그림 2-18> 적외선 CO₂ 분석기의 기준파장 및 측정파장

- 광원에서 방사된 두 개의 파장은 이산화탄소를 통과할 경우, 측정파장은 농도에 따라 흡수되는 광량의 변화가 발생하고, 기준파장은 흡수되지 않고 투과함. 가스 농도에 따른 측정파장의 광량(M) 변화는 기준파장의 광량(R) 변화와 함께 그 비(R/M)를 이용하여 계산되며 CO₂의 농도가 증가하면 광량(M)이 감소하고, R/M은 증가하므로 2차원 그래프에서 가로축을 R/M으로 하고, 세로축을 CO₂의 농도로 하면 비선형적으로 증가하는 특성 곡선을 얻게 됨.

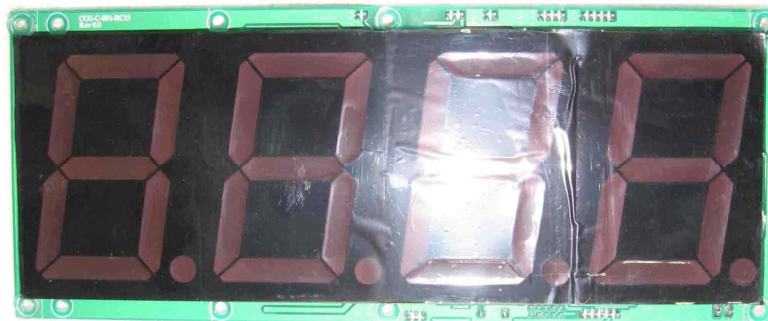


<그림 2-19> 객차 CO₂ 측정용 적외선 분석기 시스템 외관

- 지하철 객차용 고정밀 CO₂ 센서 모니터 내부에 장착된 메인 컨트롤러와 세그먼트 지시부로 나뉘어져 있으며 세그먼트 지시부는 투칼라 LED로 되어있어 객차 내부의 CO₂ 농도가 기준 값 이내에서는 초록색으로, 미리 설정된 기준을 초과할 경우에는 적색으로 표시하여 시인도를 높임.



(ㄱ) 모니터 내부



(ㄴ) 센서 세그먼트 지시부

<그림 2-20> 지하철 객차용 CO₂ 센서의 상세 구성

- 지하철 객차용 벽걸이형 공기청정기는 지면과 수직인 벽면에 부착이 가능하도록 개발되었고, 청정기 내부에는 흡입 블로워, 미세먼지를 제거할 수 있는 필터 박스, 필터박스를 살균하는 자외선 램프, 자외선 램프에서 발생하는 오존을 흡착하여 붕괴시키는 흡착제, 전력 공급 및 제어시스템, 공조 제어기, 유량을 측정하는 차압센서, 먼지센서, CO₂ 센서 인터페이스 모듈 등으로 구성됨¹⁹⁾.

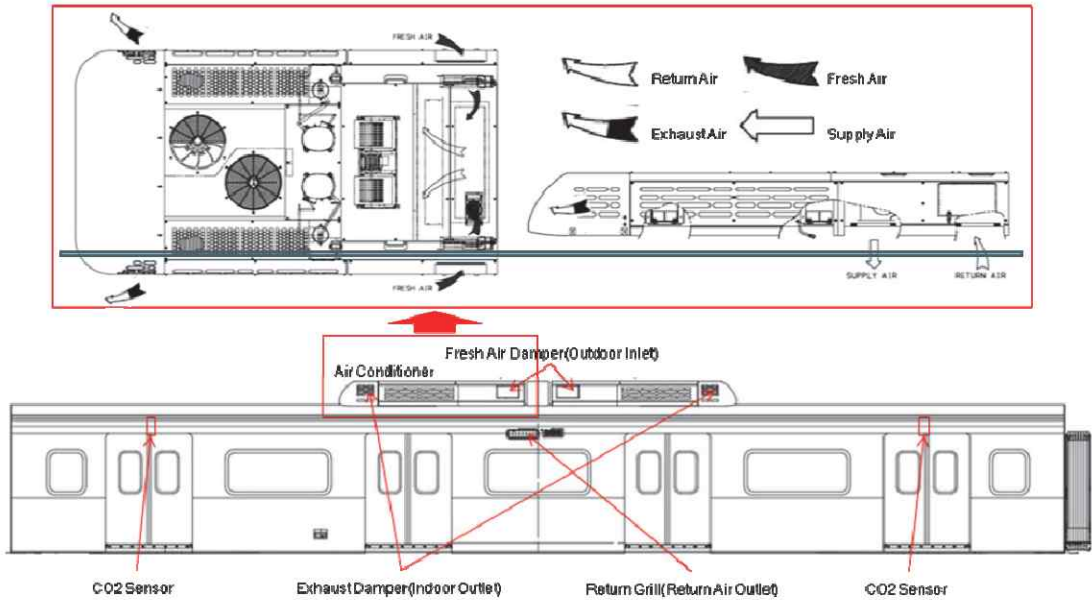


〈그림 2-21〉 지하철 객차용 벽걸이형 공기청정기 외관

- 신분당선 전동차는 배기댐퍼(Exhaust Damper)로 내부가 공기가 배출되고, 신선공기댐퍼로 외부공기와 리턴그릴로 순환공기가 유입되어 증발기 팬을 통해 객실로 공급함²⁰⁾.
 - 배기댐퍼는 평상시 닫혀 있어, 배기댐퍼를 통해서 외부 공기 유입은 차단되기 때문에, 순수하게 신선공기댐퍼를 통해서 외부 공기가 유입됨을 알 수 있음.
 - 신분당선 전동차 실내에는 이산화탄소 센서가 객차 당 2개씩 부착되어 있고 두 개 센서의 평균 이산화탄소 농도 값을 모니터링 하여 세팅된 농도 이상이 되면 자동 환기가 작동하며 배기댐퍼와 신선공기 댐퍼가 개방되고 배기팬이 가동되어 강제로 실내공기를 배출하고, 신선공기댐퍼를 통해 유입된 외부공기가 이산화탄소 농도를 낮춰줌.

19) 지하철 운송수단의 실내공기 정화기술 실용화 개발, (주)이플러스티 기술연구소 (2008)

20) 신분당선 전동차 실내공기질 향상에 관한 연구, 한국철도학회 (2014)



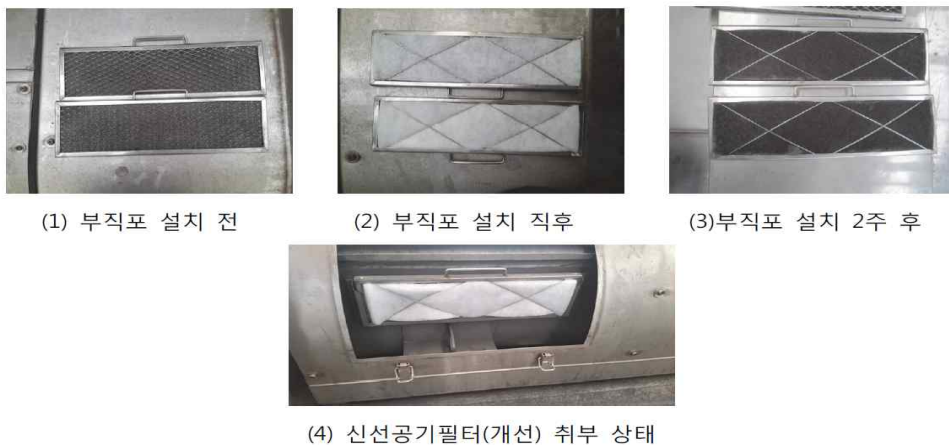
<그림 2-22> 신분당선 전동차 냉방 및 자동 환기 시 공기 흐름도

- 기존 자동환기방식은 이산화탄소 농도 검지센서의 세팅 (혼잡시/정상시 3,500/ 2,500ppm 이상 동작, 3,000/2,000ppm 이하 정지)에 맞게 동작하며, 동작방식은 배기팬으로 내부 공기를 강제배출 하여 압력 차이에 의해 외부공기를 유입시키는 방식임. 이는 이산화탄소 농도가 혼잡시/정상시 3,500/2,500 ppm 이상일 때 동작하여 공기 순환이 빠르지 않는 단점이 있음.
- 이에 이산화탄소 농도 세팅을 1,000 ppm 이하를 유지하도록 변경하고, 내부 공기 강제배출 방식이 아닌, 공기순환이 빠른 강제유입 방식으로 변경함. 이 방식은 신선공기댐퍼만 개방하여 증발기 팬을 동작시켜 외부 공기를 실내로 강제 유입, 이산화탄소 농도를 낮추는 방식이며, 자동환기방식 변경 후 전동차 실내 이산화탄소 농도는 1,000 ppm 이하로 쾌적하게 유지됨.

<표 2-14> 신분당선 전동차 내 자동환기 작동 범위 및 로직 (개선 전/후)

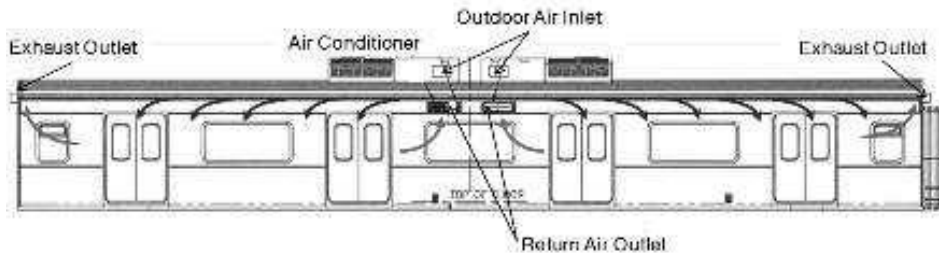
구분	개선 전	개선 후
작동범위	정상시 : 2,000~2,500ppm 혼잡시 : 3,000~3,500ppm	정상시/혼잡시 : 700~1,000 ppm
자동환기	신선공기댐퍼 : ON 증발기 팬 : OFF 배기 팬 : ON	신선공기댐퍼 : ON 증발기 팬 : ON(70% 운전) 배기 팬 : OFF

- 신분당선의 미세먼지 농도는 자동환기 가동방식 변경 전후로 구분할 수 있으며, 강제 공급 및 이산화탄소농도 기준을 낮게 셋팅하여 구동하는 방식으로 변경 후 터널 내 공기가 실내로 유입되는 비율이 높아졌으며, 이는 미세먼지 농도 증가에 원인이 되었음.
- 터널 내부의 공기가 신선공기필터를 통해 필터링 되어 증발기 코일을 거쳐 객실로 공급되며, 필터는 금속 재질의 메쉬망 구조로 되어 있어 미세먼지의 필터링은 거의 이루어지지 않음.
- 이렇게 유입된 다량의 미세먼지는 객실 공기질을 저하시키고, 증발기 코일에 고인 수분에 부착되어, 코일을 오염시키고 객실 내부 악취의 원인이 됨.
- 자동환기 방식 변경으로 외부 공기 유입이 증가되어, 실내 미세먼지 농도가 증가함에 따라 이를 방지하기 위해 신선공기필터에 부직포 필터(두께:5mm)를 추가 부착하여 미세먼지 유입을 최소화할 수 있음.



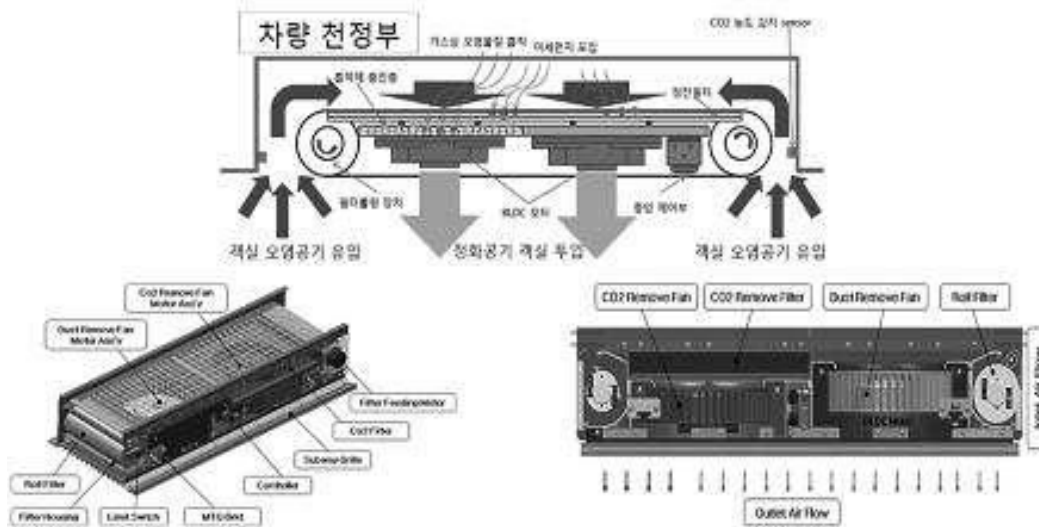
<그림 2-23> 신분당선 전동차 내 신선공기필터 부직포 추가 설치

□ 지하철 차량의 경우 2대의 냉방장치가 지붕 위에 설치되어 있고 천정 내에 설치된 2열의 에어덕트를 이용해 객실에 균등하게 공기를 분배하는 방식을 위하고 있으며, 객실 중앙부 리턴그릴로 순환공기를 유입하여 재공급하게 됨.



<그림 2-24> 에어덕트 위치와 지하철 객실 내부의 공기흐름

- 차량의 종류나 제작시기에 따라 배기구객실 단부에 위치한 배기구(exhaust outlet)의 역할은 냉방 시 유입된 외기를 자연 배기하는 것으로, 차량 내가 양압으로 유지된다는 조건에서 설계되어있으며, 강제배기방식으로 설치된 경우도 있음.



<그림 2-25> 공기 순환을 이용한 지하철 객실 미세먼지 정화 시스템

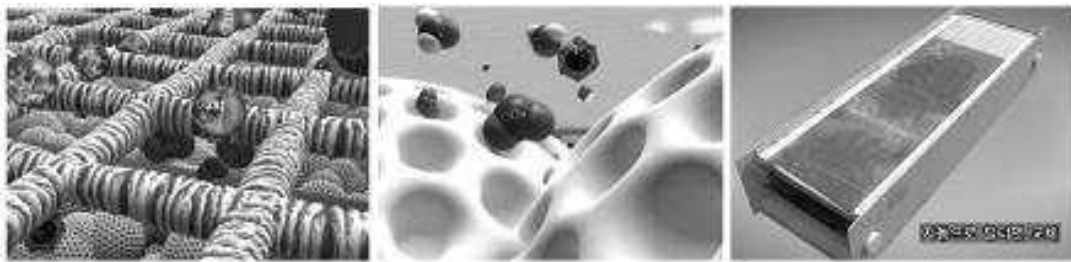
□ 차량 공기질 개선기술은 Subway Cabin Air Purifier(SCAP)으로 명명되어 우선적으로 개발이 진행되었으며 운행차량 장착평가가 완료 및 환경부 녹색기술 인증을 받은 기술이며 이 장치는 객실 내 미세먼지와 이산화탄소를 동시에 저감할 수 있으며, 기존 운행차량에 쉽게 설치될 수 있고 최소의 유지보수 비용이 소요되는 모듈형 공기정화장치임.

- 특히 출퇴근 시간대와 같이 승객이 밀집되는 시간대에 객실 내 공기를 환기에 의존하여 정화하는 것은 물리적으로 매우 어렵고, 지하 터널을 주로 운행하는 지하철의 경우 외부의 신선한 공기를 도입하는 것이 불가능하기 때문에 객실 내부에 오염공기를 정화할 수 있는 기술이 요구됨.

- 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개발된 SCAP은 두 대의 송풍기가 실내공기를 유입하여

미세먼지를 정전롤 필터(electretrol filter)로 제거하며, 이산화탄소의 경우 선택적 흡착제를 통하여 제거하는 기술임.

- 정전필터와 송풍기 사이에 이산화탄소를 선택적으로 흡착할 수 있는 흡착제가 카트리지 형식으로 삽입되며, 객실 내 이산화탄소 농도가 일정농도이상으로 증가할 경우 센서 신호를 통해 송풍기가 가동되는 방식으로 구성되고 미세먼지 포집에 의하여 오염된 필터를 자동으로 감아 재생시킴으로써 필터의 사용주기를 획기적으로 증대함.



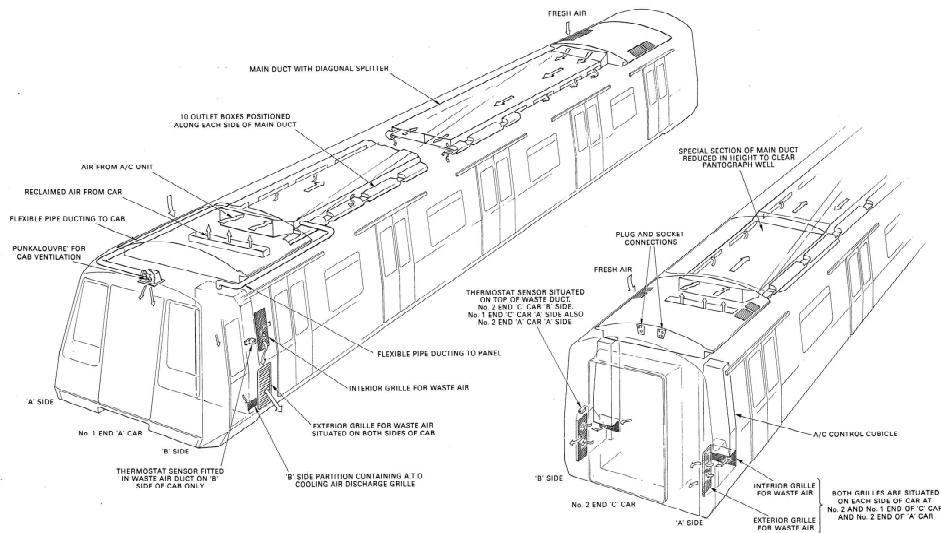
<그림 2-26> 지하철 공기질 개선기술 SCAP 내 미세먼지 필터

- 홍콩 지하철 공사는 환경보호총국의 실내공기질 관리 프로그램과는 별도로 관리프로그램 (MTR IAQ Monitoring Program)을 운영하고 있으며, 관리항목은 이산화탄소, 온도, 습도 등 임.
 - 홍콩 지하철 객차 내부에서 이산화탄소의 농도가 매우 낮게 유지되고 있으며, 온도와 습도도 이상적으로 유지되고 있는데, 지하철의 공조시스템은 난방시스템은 없고 오직 냉방시스템만 갖추어져있음.
 - 객차 내부 구조 확인 시 객차와 객차의 연결 통로가 모두 연결되어 있으며, 외부 환기가 아주 우수하며, 공조기의 구조는 객차가 주행할 경우 외부로부터의 환기가 매우 용이하도록 설계되어있음.
 - 객차 내부의 환기는 내부 공기 재순환과 외부 공기 환기의 혼합이었지만 실제 구조는 외부 공기 환기가 더 용이하도록 설계되어 있으며, 외부 공기 환기는 객차 앞부분과 뒷부분에 설치된 에어컨에서 제어하도록 되어있고, 객차가 주행할 경우에는 외부 공기 유입이 용이하도록 설계되어있음.
 - 전원 공급이 되지 않는 비상시에는 객차마다 설치된 비상 배터리를 이용하여 외부 공기만을 유입하도록 설계되어있어, 비상시의 공조에서는 내부 공기를 재순환하지 않도록 되어 있음.

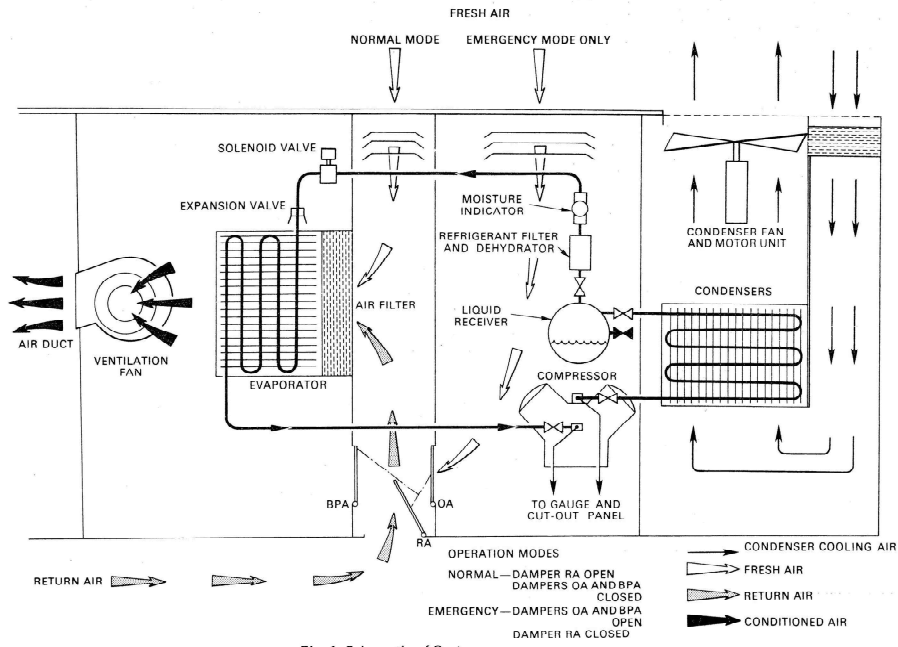
<표 2-15> 홍콩지하철의 실내 공기 관리 프로그램

	관리목표	연중 측정값	비 고
CO ₂ 농도	2500ppm	450~1250ppm	모든 노선에서 측정
온 도 (℃)	20~28	23~26	
상대습도(%)	40~70	52~72	
측정주기	1 년	매 일	
지하철 총길이	88km		
노선 수	7개 노선		
역사 수	52개소 (환승역 17개소 포함)		
이용객 수	주중 평균, 1일 이용객 240만 명		
관리법규	홍콩 IAQ와는 별도의 MTR IAQ 프로그램에 준함.		

-CO₂ 측정원리 : 비분산 적외선법 (NDIR), 모델 Q-Tank 8554



<그림 2-27> 홍콩지하철 객차의 공조시스템 개략도



<그림 2-28> 홍콩지하철 객차의 환기시스템 개략도

마. 실내공간 쾌적성 향상 기술

□ 선진 지하철의 경우, 설계 및 건설단계에서부터 지하철 역사의 환배기 시스템 및 대피 구난 시설들이 유기적으로 결합된 기능적인 공간 설계를 하고 있음.

- 특히 최근 건설된 일본 시부야 역사의 경우 지하공간에 열차풍을 활용한 자연환기를 수행함으로써, 이용객의 쾌적성을 증대시키고 냉방에너지 비용을 절감시키고 있음.

- 신규역사 건설단계에서 역사 쾌적성을 결정하는 다양한 온열환경 예측 및 모사연구를 수행하며, 운영단계에서는 실제 이용객의 설문조사 등을 통해 쾌적성지수를 산정하고, 이에 따른 냉방 에너지 관리를 수행함.

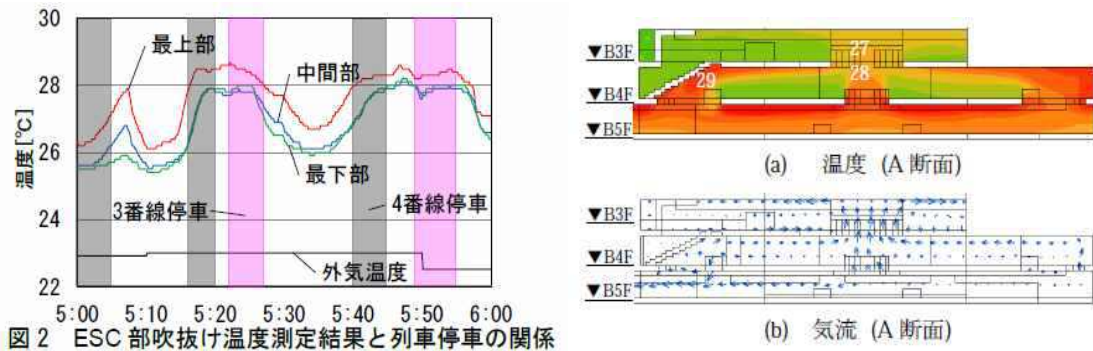
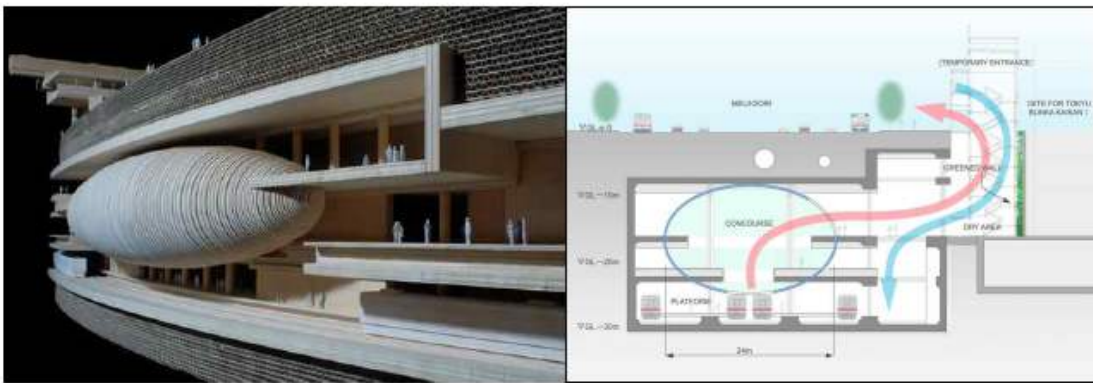


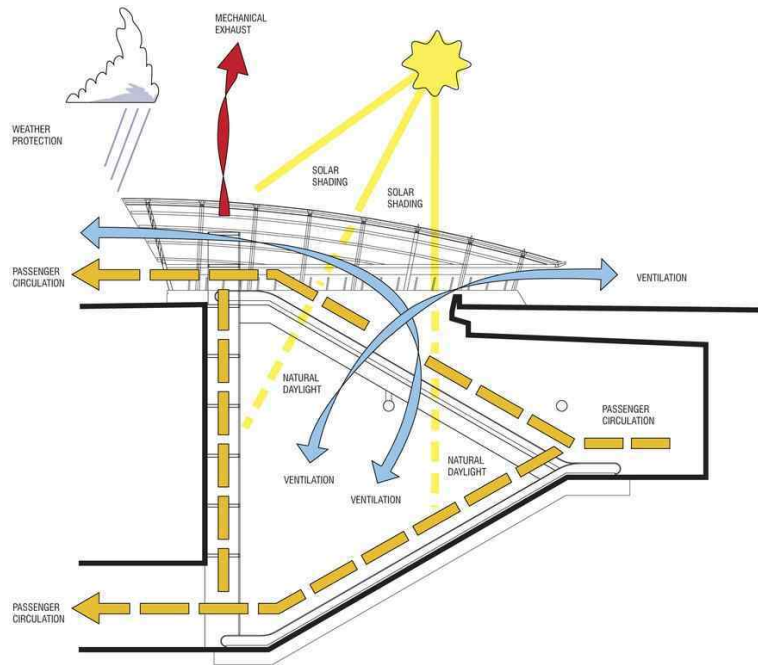
図 2 ESC 部吹抜け温度測定結果と列車停車の関係

<그림 2-29> 일본 시부야 역사의 온열 쾌적성 예측연구



<그림 2-30> 일본 시부야 역사의 자연환기 활용 기술

□ 시드니 메트로폴리탄 레일네트워크로 구축된 환승역사로 자연채광과 기계환기를 효과적으로 적용하여 친환경적이며 에너지 소비최소화 가능한 역사임.

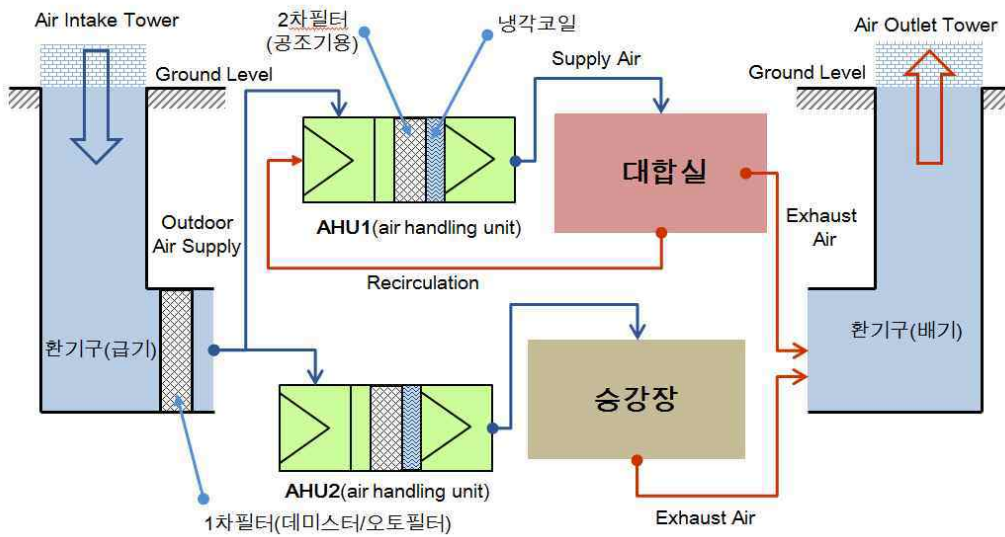


<그림 2-31> 호주 시드니 지하역사의 공조시스템

□ 기존 지하역사의 경우 대상공간에 따라 개별적인 공기조화기(AHU: air handling unit)를 적용하고 있기 때문에 대합실, 승강장 기능실 직원실, 화장실 등 적게는 4대에서 많게는 10대 이상의 대용량 공조기가 기계실에 설치되어 있어 냉방가동 시 에너지 관리에 어려움을 겪고 있음²¹⁾.

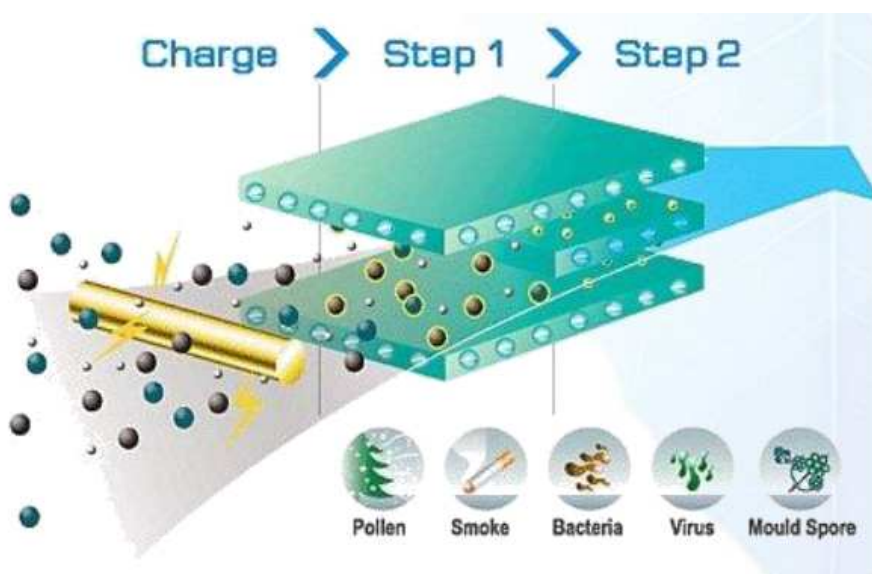
- 통상 지하역사의 양단에 두 곳의 기계실(시점 공조실/종점 공조실)이 운영되어 대합실과 승강장의 절반의 공기관리를 담당하는 구조이며 대합실의 경우 리턴공기를 다시 공조기에 주입하는 구조로 되어 있으나 승강장의 경우 급기공기 전체를 외기에서 도입하여 사용하는 방식임.
- 승강장 공기를 재순환하여 사용하기도 하나 전체적으로 냉동코일을 통과하면서 냉각된 공기를 그대로 외부로 다시 배기하면서 큰 열손실이 있음.
- 최근 구축된 신분당선의 경우 이용객의 만족도를 높이기 위한 다양한 조형물을 도입하였으나, 공조방식은 기존과 동일한 방식을 적용하여 공기질 유지를 위한 냉방에너지 및 공조 설비 유지보수 비용문제를 해결하지 못함.

21) 지하철 역사 이용 효율 향상 기술 개발 기획보고서 (2012)



<그림 2-32> 국내 지하역사의 공조시스템 계통도

- 극성매체 전자 공기청정기(Polarized-media electronic air cleaners)는 전자 공기청정기와 수동형 기계식 필터를 결합하기 위해 전자적으로 활성화된 극성 매체를 이용.
 - 대부분의 극성매체 전자 공기청정기는 24볼트 전류를 안전한 DC 볼트로 전환하여 극성 전기장(electric field)을 형성함.
 - 극성매체 전자 공기청정기는 공기저항 세기를 수동형 필터와 같거나 적게 설정하여 고효율의 여과기능을 제공할 때 그 효율성이 증가함.



<그림 2-33> 극성매체 전자 공기 청정 기술 개념도

□ HEPA(High Efficiency Particulate Arresting) 공기 정화기는 매우 대중화된 제품으로, 현재 병원이나 미용실, 일반 가정에 이르기까지 널리 사용됨.

- HEPA 필터는 대기 중 미세입자를 걸러내기 위해 3가지 장치를 사용하며, 첫 번째 필터는 대기 중 입자를 가로챈 후 그 입자들보다 큰 입자들은 필터의 밀착 과정을 통해 제거되는데 즉, 필터가 입자들이 움직이지 못하도록 압박하여 입자들을 필터에 고정시킴. 그 후 분산장치(diffusion)가 입자들의 움직임을 방해하여 필터와의 밀착을 용이하게 함.

□ 탄소섬유를 이용한 공기정화기술은 5-10 μ m급의 극미세 마이크로 탄소섬유 방전극을 이용하여 낮은 인가전압에서도 방전을 효율적으로 일으켜 오존과 같은 유해물질일 수 ppb 이하 수준의 극미량으로 줄이면서도 실내오염 초미세먼지를 고효율로 하전 시키며 고강도의 전기장이 형성된 수막형 집진판을 사용하여 필터를 사용하지 않으면서도 초미세먼지를 효율적으로 제거할 수 있는 실내용 습식정전 공기정화기술임.

- 집진판에 포집된 먼지는 포집되자마자 수막과 함께 하단부의 수조로 이동하여 저장되므로 항상 깨끗한 집진판을 유지할 수 있어 집진판 오염문제를 해결할 수 있고 수막 집진판에서의 자연가습을 통해 공기청정뿐만 아니라 가습 기능까지 부가할 수 있는 기술임.

- 중국발 초미세먼지 오염 농도 증가에 따라 실내용 공기정화장치 시장은 계속해서 성장할 것으로 예상됨에 따라 오존발생량의 국내 기준치인 50 ppb 에 비해 현저히 낮은 1-2 ppb 수준을 유지하면서도 0.3 μ m 크기의 초미세입자를 95% 이상 처리할 수 있어 최근 이슈가 되고 있는 PM2.5 초미세먼지에 대응 가능함.

- 탄소섬유를 이용한 공기정화기술은 초미세입자 오염 저감 및 실내 공기질 향상을 위한 능동형 공기정화장치, 대형 건물의 주차장, 지하상가, 공항 등을 비롯한 다중이용시설의 오염물질초미세입자 저감 설비, 실내 공간의 능동적 환기시스템의 전처리장치 등으로 활용이 가능함.

바. 바이러스 등 유해미생물 제어기술

- 일반적으로 세균들은 공기 중에 부유하거나 낙하되는 것으로 부유세균과 낙하세균으로 나누어 볼 수 있으며 측정방법 상에도 차이를 두고 있고, 공기 중에 부유하고 있는 세균은 먼지나 수증기 등에 미생물들이 부착되어 생존하고 있으며, 주로 호흡기관에 균주화 되어 영향을 주고 세균수가 먼지의 농도에 정비례된다는 사실로 미루어 보아 공기청정도와 밀접한 관계가 있는 것으로 조사됨²²⁾.
- 총 부유세균의 측정은 환경부 실내공기질 공정시험방법에서 제시하고 있는 충돌법에 의하여 이루어지고, 시료 포집 후 35℃에서 48시간동안 배양한 후 배지의 세균 집락수를 측정하여 채취한 실내공기량에 대하여 집락수를 나누어 단위 체적 당 집락수를 산출함.



<그림 2-34> 공기 중 총 부유세균 포집장치

- 우리나라보다 습도가 높은 홍콩지하철에서는 유해미생물에 의한 감염을 우려하여, 역사승강장에 살균장치를 시범설치 운영하고 있으며 지하철 차량내부에도 광촉매 코팅기술을 이용하여 유해미생물 오염저감.

22) 지하철 운송수단의 실내공기 정화기술 실용화 개발, (주)이플러스티 기술연구소 (2008)



〈그림 2-35〉 홍콩지하철의 미생물 번식 예방 정화장치 및 광코팅 기술

- 열역학 멸균(Thermodynamic Sterilization) 기술은 200℃ 까지 가열되는 모세관과 자기소체를 통해 입자를 가열살균하는 기법임.
- 이 기술은 박테리아, 바이러스, 먼지, 진드기 알레르기 유발물질, 곰팡이 포자를 포함한 99.9%의 미생물 입자들을 소각시킴.
- 유입된 공기는 자기소체를 통과한 후, 전열판을 통해 냉각되고 유출됨.
- 열역학 멸균 시스템(TTS)은 입자를 걸러 내거나 제거하는 것이 아니기 때문에, 공기 여과 기술은 아니며, TSS는 해로운 부산물을 배출하지 않으며, 오존 집중도를 감소시킴.



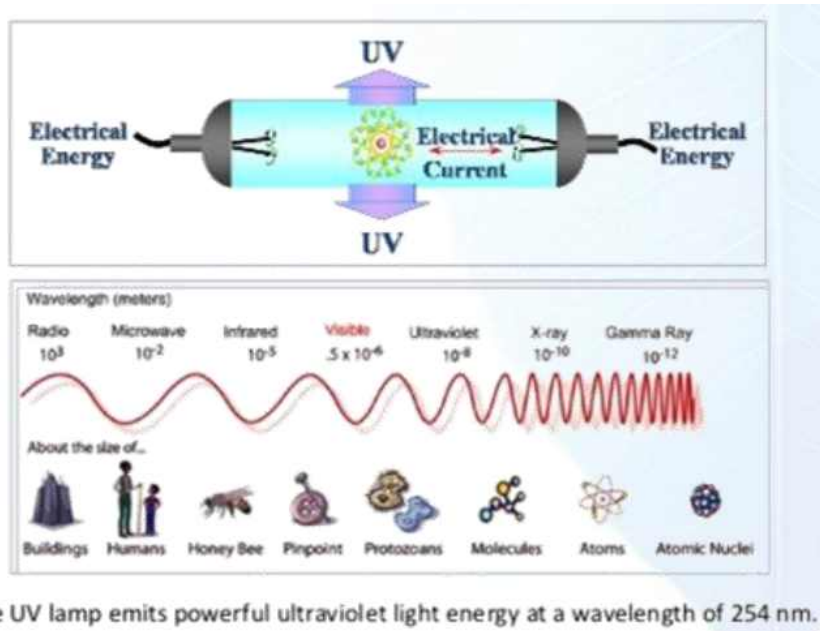
〈그림 2-36〉 유해미생물의 열역학 멸균 기술

□ 자외선 살균 (UVGI) 기술은 강제대류를 통해 자외선(UV)램프를 통과하는 공기를 살균하는데 사용되며, 자외선 살균 정화 시스템은 버팀목 없는 장치로서, 팬으로 대류를 통제하는 차폐된 자외선 램프를 사용함.

- 공기순환을 통해 미생물이 자외선 램프를 통과하도록 다른 장치들이 설치되어 있음.

- 이 기술의 핵심은 자외선램프의 배치와 미생물 사체를 제거하는 여과시스템임.

- 강제대류 시스템이 가시적 공간 조성을 방해함으로써 자외선에서 차단되는 공간이 생성되는데 냉각시스템의 코일 및 드레인 팬(drain-pan)에 위치한 자외선램프는 미생물이 습기가 찬 공간에 머물도록 할 것으로 예상됨.



The UV lamp emits powerful ultraviolet light energy at a wavelength of 254 nm.

<그림 2-37> 유해미생물의 자외선 살균 기술

2. 다중이용시설 공기질 관리 관련 기술현황 분석

□ 바르셀로나 Improve life

- 생명 + 환경, 정책 및 유럽위원회(European Commission)의 지원으로 바르셀로나 지하철의 공기의 질을 평가하고 사용자와 노동자의 이익을 위해 깨끗한 대중교통을 달성하기 위한 조치를 제안하는 것을 목적으로 연구
- 지원 규모: 813,727 유로, 기간: 2014.10.~2018.03.
- 지하철 시설 내의 미세먼지 성분 분석을 통해 미세먼지 유발 요인 분석 및 기차와 플랫폼 사이의 물리적 분리 및 HVAC 시스템의 필터 적용, 환기 공정 개선 제안



	BALLAST	CATENARY	BRUSHES	PANTOG.	BRAKES		RAIL	WHEEL
wt %					lateral	frontal		
C	<0,1	<0,1	95,4	78,7	24	40,4	0,8	0,50
ppm								
Al	83008	<0,1	0,03	719	529	22603	15	<0,1
Ba	591	10	28	85	14331	40002		0,1
Ca	23491	<0,1	0,1	1207	27857	35516		<0,1
Cu	35	950000	1000	197104	35436	193	160	1000
Fe	29705	9000	3000	1353	329000	17239	979595	980000
K	29221	<0,1	<0,1		83	2609		<0,1
Mg	9783	<0,1	<0,1	272	25800	43558		<0,1
Na	21952			1064	<0,01	3715		
S	163	<0,1	<0,1	3178	30800	17813	110	<0,1
Li	28				<0,01	7,5		
Ti	2716	53	28	43	60	1473	30	9,8
V	61	17	1	18	2,2	34	15	15
Cr	76	131	22	18	132	69	300	1173
Mn	646	40	1	16	3099	569	11300	7000
Co	5,2	1,4	<0,1	1,3	14,5	8,1		80
Ni	39	54	9,1	20	104	18	210	782
Zn	61	102	115	122	52220	10682		6
As	2,1	2,9	<0,1	2,9	22	4,9		51
Rb	112				0,8	8,0		
Sr	160	3,9	1,7	4,7	295	1905		<0,1
Cd					1,7			
Sn	2,9	0,9	15	2,9	15,3	3,1	20	95
Sb		12	4,9	30	3059	43	25	24
La	20				1,2	7,7		
Ce	43				0,9	16		
W	39	1,8	1,6		<0,01	1,8		91
Pb	17	2,4	4,2	8,6	1260	7,8		<0,1
Bi					1,6			

Frontal brake pad



Lateral brake pad



Cu catenary



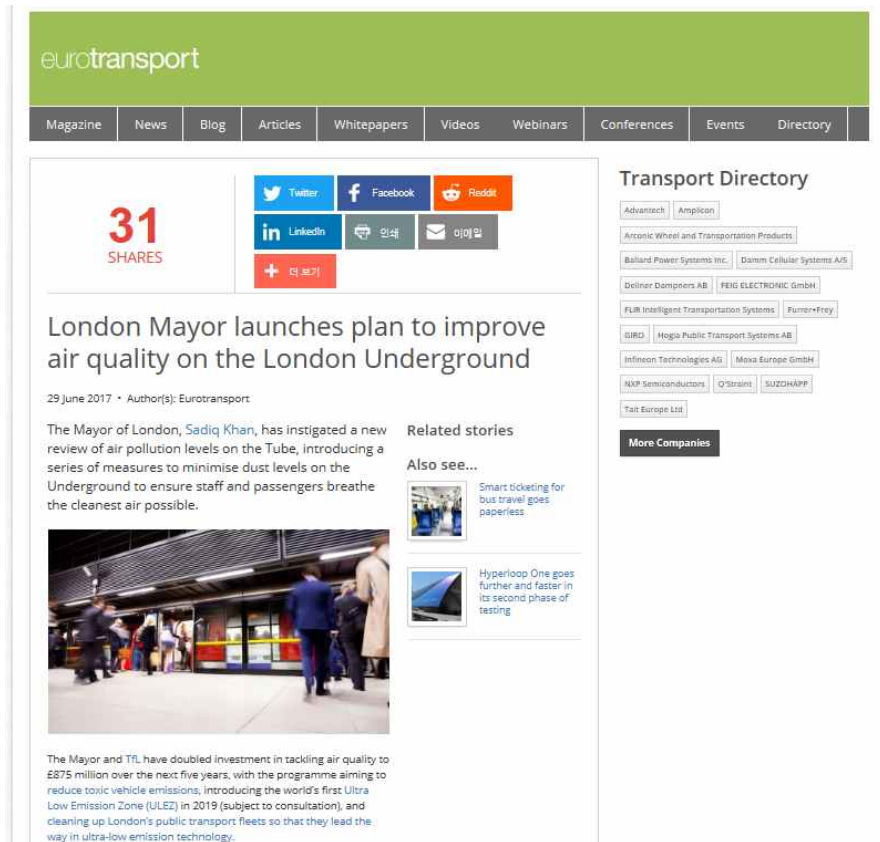
2cm

Wheels



1cm

- 교통혼잡료 (London Congestion Charges) 제도: 평일 오전 7시부터 오후 6시까지 특정 도심구간을 통행하는 차량에 세금을 부과함. LPG 등 대체연료를 사용하고 런던 교통 공사가 정한 배출가스 기준을 만족하는 차량의 경우 교통 혼잡료를 100% 면제 받을 수 있음. 대형 차량은 유로3 기준을 만족해야 하며 소형 차량은 유로4 기준의 40% 이하를 만족해야 함.



<그림 2-39> Transport for London의 지하 공기질 개선 사업

□ 독일 HEAVEN 프로젝트

- 독일 베를린 제클린 시는 자동차 배기오염 및 소음 저감 프로젝트(Healthier Environment through Abatement of Vehicle Emissions and Noise, HEAVEN)를 실시
- 추진 분야
 - 저 매연 자동차 인센티브
 - 공공차량 천연가스 자동차화 및 매연필터 장착 의무화
 - 도시 주도로 30km 속도 제한

- 매연필터 미 장착 화물차 도심 진입시간 제한
- 미세먼지 처리 부담금을 주차비에 포함
- 비산먼지 저감용 습식 도로청소

3. 지하철 공기질 관리 관련 법제도 현황

- 미국은 PM2.5와 PM10에 대한 대기질 기준을 설정해두고 있고, 유럽의 경우는 PM10에 대한 기준만이 존재하나 유럽공동체는 입자상 물질에 대한 오염기준을 재평가해야 한다는 입장임.
- 환경부에서 기존의 지하생활공간 공기질 관리법을 2003년 5월 ‘다중이용시설 등의 실내공기질 관리법’으로 개정하였고, 이 외에도 보건복지부에서 공중위생관리법, 교육인적자원부에서 학교보건법을 통해 실내공기질 관리 차원의 규제치로 기준을 제시하고 있음.

<표 2-16> 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법 기준

오염물질 항목 다중이용시설	실내공기질 유지기준					실내공기질 권고기준				
	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO2 (ppm)	HCHO (ppm)	총부유세균 (CFU/ m^3)	CO (ppm)	NO2 (ppm)	Rn (pCi/l)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	석면 (개/cc)	오존 (ppm)
지하역사, 지하도상가 여객자동차터미널의 대합실, 공항시설중 여객터미널, 항만시설중 대합실, 철도역사의 대합실, 도서관, 박물관, 미술관, 업무시설, 2이상 용도 건축물, 공연장, 대규모점포, 지하상점가, 혼인예식장, 실내체육시설, 장례식장	150 이하	1000 이하	0.10 이하 (0.12 mg/m^3)	-	10 이하	0.05 이하	4.0 이하	500 이하	0.01 이하	0.06 이하
의료기관, 보육시설, 노인복지시설, 학원	100 이하			800 이하	10 이하	0.05 이하		400 이하		0.06 이하
실내주차장	200 이하			-	25 이하	0.30 이하		1000 이하		0.08 이하

- 2013년 ‘실내공기질 관리를 위한 대중교통차량의 제작, 운행 관리지침’에서 제시하고 있는 권고기준은 이산화탄소의 경우 혼잡시 2500ppm 이하, 평상시 2000ppm 이하, 미세먼지 (PM10)는 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 (혼잡/평시 동일)로 규정하고 있음²³⁾.
 - 이 기준은 2006년 ‘대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인’에서 권고한 기준보다 강화되었음 (이산화탄소 평상시/혼잡시 2500/3500 ppm 이하, 미세먼지 평상시/혼잡시 $200/250\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 2006~2013년).
 - 지하철 내 실내공기질에 대한 권고기준치 강화는 2005년부터 수행되었던 실태조사 결과, 기존 권고기준 초과율이 낮고, 미세먼지의 경우 혼잡과 비혼잡간 유의미한 결과차이가 나타나

23) 권순박 외, 지하철 미세먼지 현황과 개선기술, 국립환경과학원 (2013)

니 않았기 때문임.

- 지하 역사는 자연환기가 어려워 공기 오염에 특히 취약할 수밖에 없는데 실제 지난해 측정 결과를 보면, 지하 역사의 미세먼지 오염도는 평균 $69.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대규모 점포, 피시방, 학원 등을 포함한 21개 다중이용시설군 가운데 실내 주자창($81.2\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 이어 두 번째로 높은 수준임.
- 그럼에도 미세먼지 PM2.5에 대해서는 기준조차 없고, PM10 기준은 현행 미세먼지 예보의 ‘나쁨’ 등급 상한선($150\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 동일해 공기질 관리가 느슨하다는 지적이 많음.
 - 이에 환경부는 2018년 3월 오염도 실내 조사를 거쳐 올해 상반기까지 미세먼지 PM10 기준을 강화하고, 미세먼지 PM2.5 기준을 신설할 계획이라고 밝히고, 현재 환경부 지침으로 관리 중인 지하철 객실 안 미세먼지 PM10 권고기준(현행 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$)도 내년 상반기까지 환경부령으로 상향 조정하고 기준치도 강화한다는 계획임.
 - 오염도가 높고 유동인구가 많은 주요 역사에는 내년부터 미세먼지 자동측정기기 설치를 의무화하고, 국민들이 지하역사의 오염도를 실시간으로 확인할 수 있는 시스템도 구축하기로 함.
 - 지하역사 내·외부 오염정보와 교통정보 등 빅데이터로 역사 안 미세먼지 농도를 예측해 환기설비를 최적으로 가동하는 스마트 공기질 관리시스템도 도입하며, 차량 공기질 개선장치를 내년 중 서울의 모든 지하철 객실에 설치하고, 단계적으로 전국 지하철로 확대하는 계획함.

제4절 특허분석

1. 특허동향분석 목적 및 범위

가. 분석 목적

- 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 관리시스템을 개발함에 있어 전문가 자문과 설문조사를 통해 도출된 세부기술을 분류하여, 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술, 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보, 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술, 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술에 대하여 특허동향분석을 실시함.
- 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술을 도출하여 전략적인 연구개발 계획 수립에 활용될 수 있도록 함으로써 중복연구를 방지하고, 관련 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 정보를 제공하기 위함임.

나. 분석 범위

- 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 관리시스템에 대하여 1996년 01월~2015년 12월까지 공개된 한국, 미국, 일본 및 유럽의 공개특허와 1996년 01월~2015년 12월까지 출원등록된 미국등록특허를 분석 대상으로 함.
- 특허 분석 해당 기술을 빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA), 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB), 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC), 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)의 구성으로 분해하였으며, 일반적인 구성요소와 특징적인 구성요소를 <표 2-19>과 같이 구별하였음.

<표 2-17> 특허 검색 데이터베이스 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	검색구간	검색범위
공개특허	한국 KIPO	WISDOMAI N	1996.01.01~ 2015.12.31	특허출원·공개 및 등록 전체문서
	미국 USPTO	WISDOMAI N		
	일본 JPO	WISDOMAI N		
	유럽 EPO	WISDOMAI N		

<표 2-18> 특허 검색 분석대상의 기술 분류

대상 기술	구성 요소	기술 정의
인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)	빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	① 다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터 널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술: 지하 철의 모든 공간에 다수의 측정 센서를 설 치하여 공기질을 상시 측정하는 기술 ② 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데 이터의 네트워킹 기술: 무선통신망을 통해 측정한 지하철 공기질 정보를 주고받으며 저장할 수 있는 네트워크 기술 ③ 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술: 측정된 데이터를 한 곳에 수집하여 가공 및 저장하는 지하철 미세먼지 빅데이 터 플랫폼 구축 기술 ④ 지하철 환경(열차 운행, 열차풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기 술: 빅데이터를 이용하여 지하철 미세먼지 농도를 예측하는 인공지능 모델 개발 기술 ⑤ 조기 대응 미세먼지 저감기술: 예측된 공기질을 기반으로 실제 공기가 악화되기 앞서 저감장치를 조기에 작동하는 조기 대 응 시스템 구축 기술
	지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)	① 지하철 미세먼지 샘플링 및 정성적 성 분 분석: 지하철 미세먼지의 유해물질 정 성분석과 이를 통한 인체 위해성 기초 자 료 확보 기술

	이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)	① 고속(70km/h) 이동형 집진기술: 지하철로와 터널을 고속(70km/h)으로 이동하며 미세먼지를 집진하는 기술 ② 고용량(5,000cmm) 이동형 집진기술: 지하철로와 터널을 이동하며 대용량(5,000cmm)으로 집진하는 기술
	저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)	① 상호 응집, 중력 침강을 활용한 초미세먼지 조대화 기술: 상호 응집, 중력 침강 등을 활용하여 동력 사용을 최소화하는 미세먼지 집진, 제거기술

<표 2-19> 특허 검색 분석대상의 기술검색기준

구성 요소	검색개요 (기술범위)
빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	지하철의 미세먼지 농도를 사전에 예측하여 공기질이 악화되기 앞서 저감장치, 환기시설 등을 조기에 작동하는 인공지능 기반 미세먼지 조기 대응 시스템 기술
지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)	지하철 미세먼지에 포함된 중금속, 병원성 바이러스, 세균 등 유해물질에 대한 정성적 성분 분석 기술
이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)	고속으로 지하철로 및 터널 내 미세먼지 이동형 집진 장치, 대용량으로 지하철로 및 터널 내 미세먼지 이동형 집진 장치
저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)	기존 백 필터, 전기집진이 아닌 상호 응집, 중력 침강 등을 활용한 미세지 집진 기술

□ 특허 검색에 사용된 검색식은 관련 기술 핵심키워드를 바탕으로 대상기술과 유사한 기술을 포함할 수 있는 검색식을 작성하였음.

<표 2-20> 기술분류체계에 따른 최종 특허 검색식

대상기술	구성요소	검색식	검색 건수					
			한국 KIPO	미국 USP TO	일본 JPO	일본 PAJ	유럽 EPO	합계
인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초) 미세먼지 노출 저 감 기술 (A)	빅데이터와 인 공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	검색식1: TAF=(((기차*버스*철도*트레인*지하철*)) (train*bus*railway*subway*)) AND ((미세먼지*먼지*더스트*공기*에어*)) (dust*"air" "particulate" matter) ("fine particle")) AND ((센서*센싱*)) (sensor*sensing*))	334	711	317	341	283	1,986
		검색식2: TAF=(((기차*버스*철도*트레인*지하철*)) (train*bus*railway*subway*)) AND ((미세먼지*먼지*더스트*공기*에어*)) (dust*"air" "particulate" matter) ("fine particle")) AND ((무선통신*무선*네트워크*네트워킹*)) (sensor*sensing*))	107	711	120	341	283	1,562
		검색식3: TAF=(((기차*버스*철도*트레인*지하철*)) (train*bus*railway*subway*)) AND ((미세먼지*먼지*더스트*공기*에어*)) (dust*"air" "particulate" matter) ("fine particle")) AND ((빅데이터*데이터*정보*인포메이션*)) (data info	270	861	416	348	342	2,237

대상기술	구성요소	검색식	검색 건수						
			한국 KIPO	미국 USP TO	일본 JPO	일본 PAJ	유럽 EPO	합계	
		rmation*(("big data") bigdata*))							
		검색식4: TAF=(((기차*버스*철도*트레인*지하철) (train*bus*railway*subway*)) AND ((환경*운행*바람*열차풍) (environment*operation*wind*(("train draft")))) AND ((인공지능*머신러닝*딥러닝*러닝*기계학습*학습*))(("artificial intelligence")("machine learning")("deep learning")) learning)))	89	1385	32	274	210	1,990	
		검색식5: TAF=(((기차*버스*철도*트레인*지하철) (train*bus*railway*subway*)) AND ((미세먼지*먼지*더스트*공기*에어*))((dust*"air"("particulate" matter) ("fine particle")))) AND ((저감*감소*축소) (decreas*reduc*diminution diminish)))	431	1,115	688	1,193	430	3,857	
		검색식1: TAF=(((기차*버스*철도*트레인*지하철) (train*bus*railway*subway*)) AND ((미세먼지*먼지*더스트*공기*에어*))((dust*"air"("particulate" matter) ("fine particle")))) AND ((분석*조사*샘플링*	111	176	111	37	67	502	
	지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자								

대상기술	구성요소	검색식	검색 건수					
			한국 KIPO	미국 USP TO	일본 JPO	일본 PAJ	유럽 EPO	합계
	료 확보(AB)	평가*)(analys* investigat* survey* sampling* evaluat*))						
	이동형 고속 대용량 미세먼 지 집진기술 (AC)	검색식1: TAF=(((미세먼지* 먼지* 더스트* 공기* 에어*)) (dust*"air" "particulate" matter) ("fine particle")) AND (((고속* 스피드* (speed "high speed" "high velocity")) W/1 ((집진* 포집* 수집* 제어* 제거* collect* sampling* gather* control* eliminate*))) 검색식2: TAF=(((미세먼지* 먼지* 더스트* 공기* 에어*)) (dust*"air" "particulate" matter) ("fine particle")) AND (((고용량* 대용량* ("high capacity" "big capacity" "high volume" "big volume") capacity volume)) W/1 ((집진* 포집* 수집* 제어* 제거* collect* sampling* gather* control* eliminate*))) 검색식1: TAF=(((미세먼지* 먼지* 더스트* 공기* 에어*)) (dust*"air" "particulate" matter) ("fine particle")) AND ((조대화* 굵어짐* 굵게* 굵어지게*) (coarsen* (c	113	1,388	63	2,652	395	4,611
	저에너지 소비 형 미세먼지 제거기술(AD)	검색식1: TAF=(((미세먼지* 먼지* 더스트* 공기* 에어*)) (dust*"air" "particulate" matter) ("fine particle")) AND ((조대화* 굵어짐* 굵게* 굵어지게*) (coarsen* (c	56	302	176	866	117	1,517

대상기술	구성요소	검색식	검색 건수					
			한국 KIPO	미국 USP TO	일본 JPO	일본 PAJ	유럽 EPO	합계
		ontrol eliminat*) w/3 (l arge* big*))))						

다. 유효특허 선별 기준 및 결과

- 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술개발의 Raw Data(〈표 2-21〉 참조)에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용함.

<표 2-21> 특허 검색 대상기술의 유효특허 추출기준

대상기술	상세기술명	노이즈제거	유효특허추출기준
빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술	지하철 공기질 감시 시스템, 터널 내 먼지 측정 기술, 터널 공기질 모니터링 기술	전동차 분사 시스템, 가드레일 도장 시스템, 정류장 빗물 이용 시스템
	무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술	미세먼지 원격 측정 네트워크 기술, USN 기반 실내 먼지 모니터링 시스템, 무선네트워크 대기 모니터링 시스템	먼지 방지 네트워크 잭, 먼지 세정 장치, 먼지 집진 장치
	지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술	미세먼지 데이터 제공 기술, 먼지량 검출 시스템, 먼지 데이터 관리 기술	로봇 청소기 관련 기술, 마스크 관련 기술, 먼지 집진 장치
	지하철 환경(열차 운행, 열차풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술	열차 운행 인공지능 시스템, 열차 지능형 제동 시스템, 기계학습을 통한 열차 상태 모니터링 장치	교육용 놀이기구 및 게임 장치, 원격 교육 시스템, 가상환경 교육 시스템
	조기 대응 미세먼지 저감기술	설정 수준 기준 미세먼지 포집 장치, 유효 경계 기준 미세먼지 저감 기술	환기장치, 철도 차량 냉난방장치, 단순 미세먼지 저감 장치
지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)	지하철 미세먼지 샘플링 및 정성적 성분 분석	지하철 터널 내 공기질 모니터링, 지하철 공기오염 모니터링 시스템, 미세먼지 분석 장치	공기정화 마스크, 레일 오염 세정 시스템, 폭발물 탐지 시스템
이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)	고속(70km/h) 이동형 집진기술	레일 이동 먼지 흡입 장치, 이동형 미세먼지 포집시스템, 고속 먼지 제거 장치	레일 미단이 창문, 태양전지레일 청소로봇, 고정형 공기정화용 흡착장치
	고용량(5,000cmm) 이동형 집진기술	대용량 입자 포집 집진기, 대용량 집진장치, 대용량 포집 필터	폐기물 수집 시스템, 다수 진공청소기, 대기오염 물질 검출기
저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)	상호 응집, 중력 침강을 활용한 초미세먼지 조대화 기술	미세먼지 응집장치, 응집방식 미세입자 포집 장치, 미세 분집 응집 유도장치	원자력 증기발생기, 응집 미립자 석탄 공급 시스템, 분진 응집 최소화 방법

<표 2-22> 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술의 유효특허 선별결과

구성요소	유효데이터 건수				
	한국 KIPO	미국 USPTO	일본 JPO	유럽 EPO	합계
빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	9	14	7	7	37
	16	15	9	5	45
	6	12	6	6	30
	6	9	4	4	23
	2	2	1	2	7
합계	39	52	27	24	142
지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)	18	36	18	14	86
합계	18	36	18	14	86
이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)	14	22	12	5	53
	6	11	15	4	36
합계	20	33	27	9	89
저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)	9	9	11	6	35
합계	9	9	11	6	35

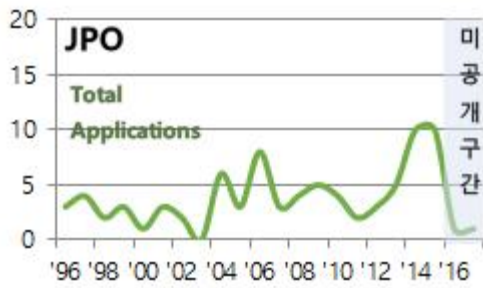
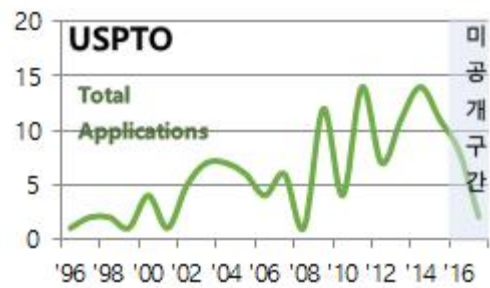
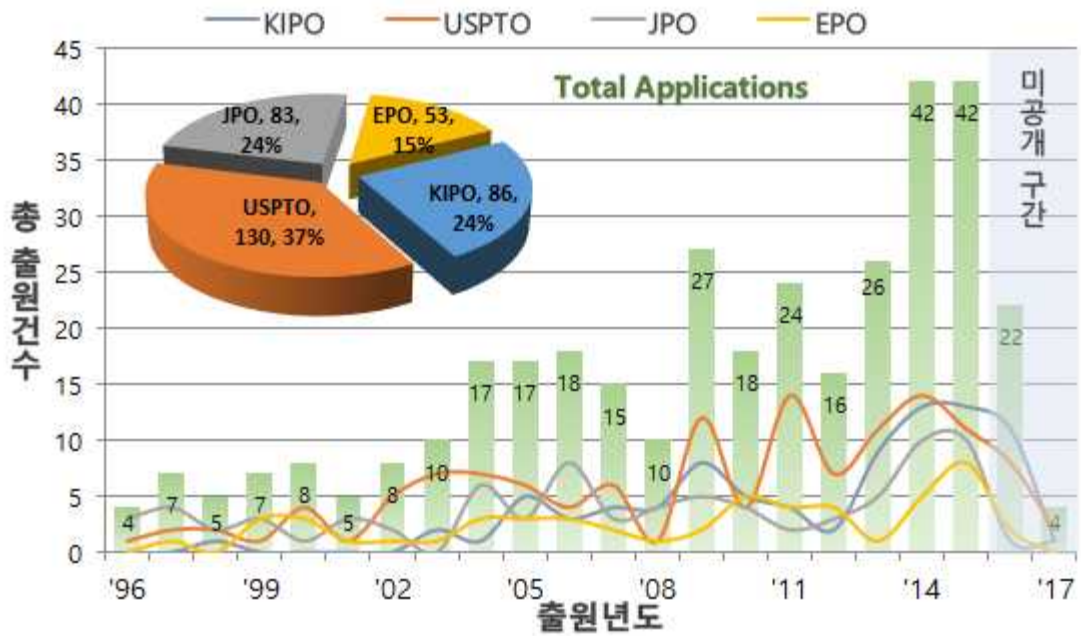
2. 특허동향

가. 주요 국가별 연도별 출원동향

- 주요 특허청의 출원 건을 기준으로 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴봄으로써, 각국에서의 특허출원 Trend를 알아보고자 함.
- 전체 특허동향을 살펴보면, 1990년대 중반부터 본격적인 특허 출원을 시작하였으며, 특허출원의 시작점이 미국, 일본의 특허출원이 시작되는 시점과 일치하는 것으로 보아 1990년대에는 미국과 일본 특허의 영향이 큰 것으로 나타남.
- 2000년대 이후에는 특허 출원이 꾸준히 증가하는 것으로 나타나는데 2000년대 초반에는 미국의 영향이 큰 것으로 추측되며, 이 시기에 한국, 일본 및 유럽 출원 비율은 낮은 것으로 나타남. 2000년대 후반에는 주요국 모두의 영향으로 특허 출원이 증가함.
- 2010년대 초반 이후 특허 출원이 꾸준히 증가하는 것으로 나타나며, 이는 미국의 적극적인 특허 출원 활동과 한국, 일본, 유럽의 꾸준한 특허 출원 증가의 영향인 것으로 나타남. 특히, 2014년도와 2015년도에는 한국, 미국, 일본, 유럽 모두의 영향으로 가장 많은 특허 출원을 진행함.

<표 2-23> 2014-2015년도 주요 특허 출원인

출원인	출원수
Panasonic Corp[JP]	5
한국철도기술연구원[KR]	4
JAPAN TRANSPORT ENGINEERING CO LTD[JP]	3



<그림 2-40> 주요 출원국 연도별 특허 동향

□ 2015-2015년도의 세부기술 점유율을 살펴보면, 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술(AAB)이 17건으로 가장 많은 연구 및 특허 출원이 되었으며 이전에 비해 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술(AAB) 기술 집중도가 증가한 것으로 분석됨.

<표 2-24> 2014-2015년도 세부기술 특허 점유율

AAA	AAB	AAC	AAD	AAE	ABA	ACA	ACB	ADA
6	17	10	8	4	13	13	7	6

□ 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)에 대한 국가별 특허 점유 현황을 살펴보면, 한국이 86건(24%), 미국이 130건(37%), 일본이 83건(24%), 유럽이 53건(15%)의 특허가 출원되어, 본 기술은 미국이 가장 많은 특허기술을 점유하고 있는 것으로 나타남.

□ 한국 특허청에서는 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)에서 86건의 특허가 출원된 것으로 나타나며, 2000년대 초반부터 특허 출원이 시작하였으며, 전체적으로 꾸준히 증가하는 모습을 나타냄. 한국 특허기술의 양적 흐름은 미국과 상당히 유사하며, 일본과는 상이한 것으로 나타나는 바, 양적 흐름으로 기술 수준의 유사 여부를 판단하기는 어려우며 이후 심층분석을 통한 특허기술의 세부 내용 파악을 통해 판단할 수 있음.

- 2014년도와 2015년도에 특허 출원이 가장 활발하며 최근까지 활발한 특허 출원 활동을 함. 가장 많은 특허 출원이 있었던 2014년도와 2015년도의 주요 출원인을 살펴보면 한국철도기술연구원[KR], 서울메트로[KR] 출원인 등의 다수의 출원인에 의한 특허 출원이 나타남.

<표 2-25> 한국 특허청 2014-2015년도 주요 출원인

출원인	출원수
한국철도기술연구원[KR]	2
서울메트로[KR]	2

□ 미국 특허청에서는 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)에서 130건의 특허가 출원된 것으로 나타나며, 1990년대 중반부터 특허 출원이 시작하였으며 특허 출원 활동이 꾸준히 증가함. 미국의 경우, 특허 출원 이후 최근까지 전체 특허기술의 출원 증감 흐름에 영향을 주고 있는 것으로 나타남.

- 미국 특허청에서는 초반에는 일본과 비슷한 수준의 양적 특허 출원을 진행하였으나 2000년대 초반 이후 특허 출원이 활발해지면서 양적 격차를 보이는 것으로 나타남. 특허 출원 이후 최근까지 꾸준히 특허 출원이 증가하고 있으며 향후 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A) 분야에서 특허 출원 활동이 지속적으로 증가할 것으로 분석됨.

- 최고치에 도달한 2014년의 주요 출원인을 살펴보면 SONY CORP[JP], Martin; David[US] 출원인 등이 각각 상위권을 차지하였으며 다수의 출원인이 2건 이하의 특허 출원을 진행하는 것으로 나타남.

<표 2-26> 미국 특허청 2014년도 주요 출원인

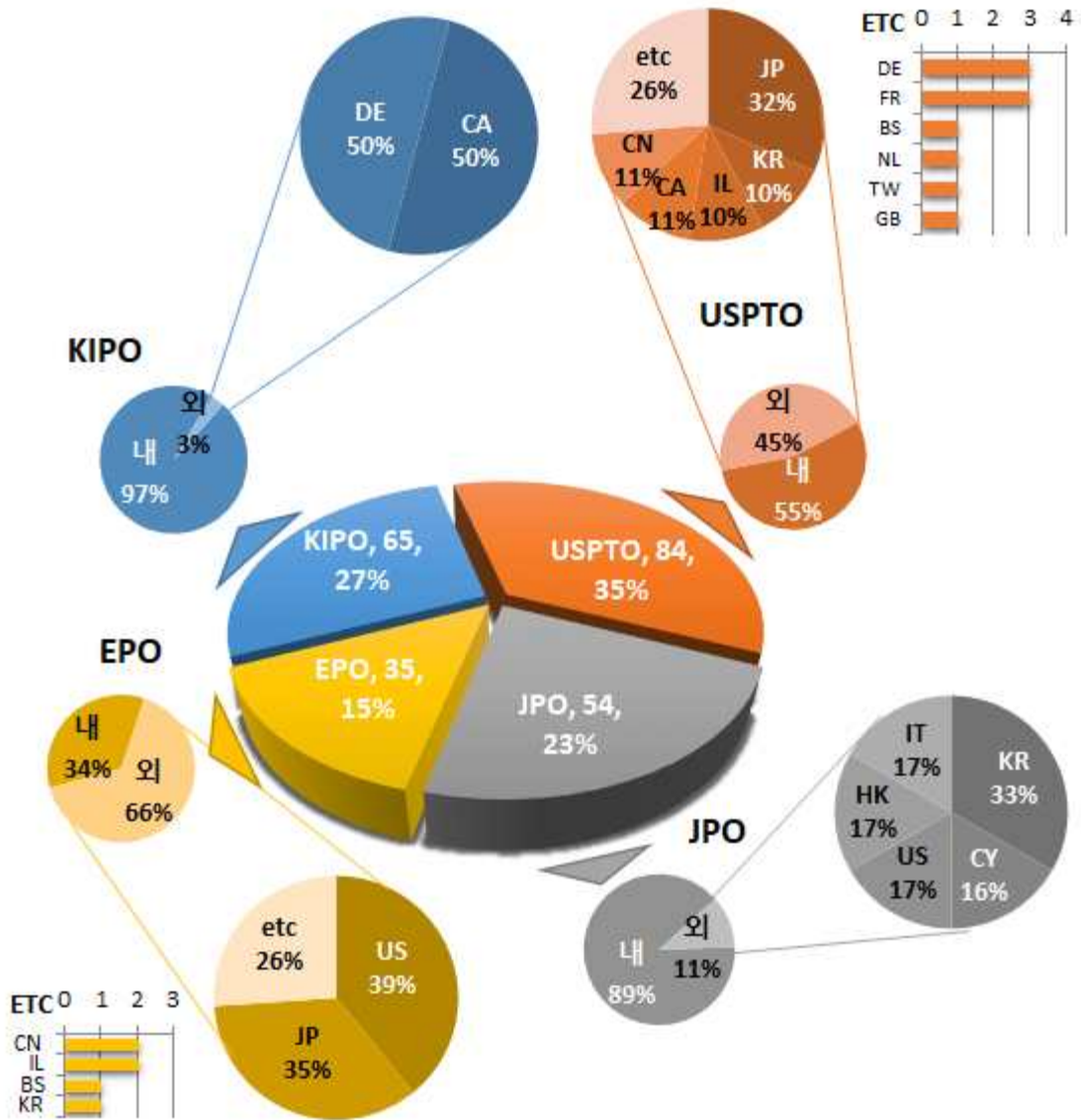
출원인	출원수
SONY CORP[JP]	2
Martin; David[US]	1

□ 일본 특허청에서는 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)에서 83건의 특허가 출원된 것으로 나타나며, 1990년대 중반부터 본격적인 특허 출원이 시작되었으며 꾸준히 특허 출원 활동을 유지함. 일본은 초반 특허 출원이 미국과 비슷하게 나타났으나 2000년대 초반 이후 미국과 격차를 보이며 소극적인 특허 출원을 보임. 특허 출원 증가세가 한국과 미국에 비해 낮으나 최근까지 꾸준한 특허 출원의 증가를 보이고 있음.

□ 유럽 특허청에서는 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)에서 53건의 특허가 출원된 것으로 나타나며, 1990년대 중반부터 특허 출원이 시작되었으며 소극적인 특허 활동을 보임. 전체적으로 많은 출원 건수가 분포하고 있지 않으며 2015년을 제외하고는 특허 출원이 매년 5건 이하의 특허 출원을 진행함.

나. 주요 국가별 내·외국인 출원동향

□ 전체 구간에서의 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A) 분야의 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 미국이 전체 분석대상 국가 출원규모의 37%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 한국과 일본이 전체 분석대상 국가 출원규모의 각각 23%, 25%를 차지하였으며 유럽은 15%로 가장 낮은 비중을 차지하였음.

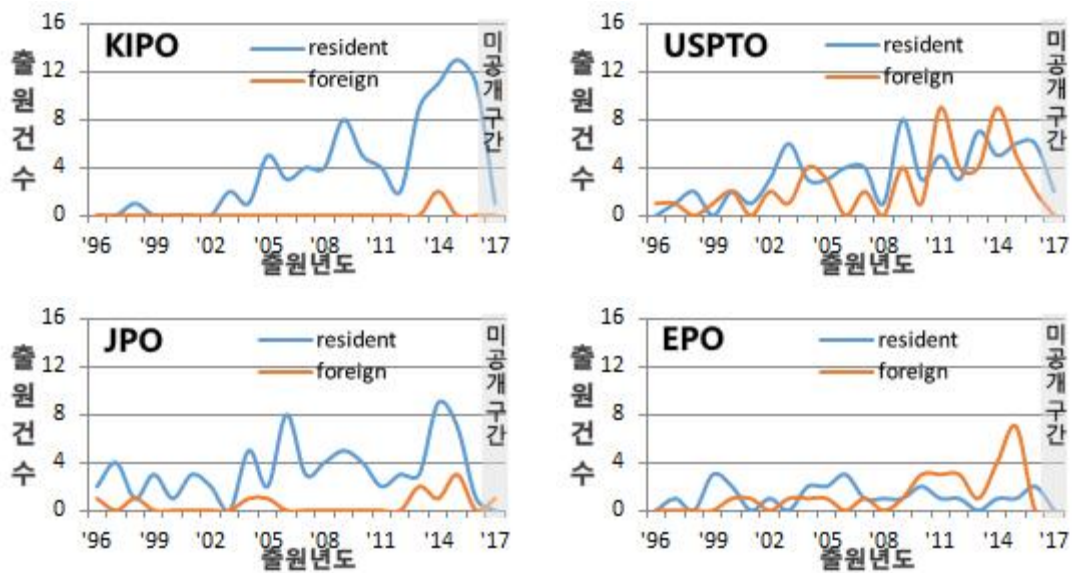


<그림 2-41> 주요 출원국 내·외국인 특허출원 현황 ('06~' 15)

□ 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A) 분야는 대부분 미국에 의해 주도되고 있는 것으로 보이며, 주요 시장국 중 한국, 미국, 일본은 내국인의 특허출원 비중이 56% 이상을 차지하며 높은 것으로 나타나며, 특히 한국은 내국인의 특허출원

비중이 97%로 매우 높은 점유율을 보임. 유럽은 내국인과 외국인의 특허 출원 비중이 각각 45%, 55%로 비슷한 비중을 차지하는 것으로 나타남.

- 미국의 경우 외국인 출원 중에는 일본, 한국 순으로 가장 높은 것으로 나타났으며, 한국의 외국인 출원은 캐나다와 독일이 각각 50%를 차지하였으며, 일본의 경우 한국과 이탈리아가 가장 높은 비중을 차지하였으며, 유럽의 경우 미국이 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타남.



<그림 2-42> 연도별 주요 출원국 내·외국인 특허출원 현황

- 주요시장국 중 한국에서의 출원은 내국인과 외국인의 출원 비중이 각각 97%, 3%로 내국인의 특허 출원 비중이 높게 나타났으며, 이는 한국에서의 출원 이후 전반적으로 내국인의 활발한 출원의 영향인 것으로 나타남. 최근 10년 구간에서의 내국인의 출원 비율이 전체 구간 대비 내국인 출원 비중과 같아 한국에서의 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A) 분야는 자국 중심의 출원 경향이 강한 것으로 분석됨.

- 한국특허청의 연도별 특허 출원 동향을 살펴보면, 외국인 특허 출원은 매우 저조하며, 내국인의 특허 출원의 경우 2000년대 초반에 본격적인 특허 출원을 시작하였으며 최근까지 꾸준히 특허 출원이 증가하고 있으며 전체에 영향을 미치고 있음. 이는 해당 기술의 자국 중심 연구 및 개발 특성이 강하다는 것을 시사하는 것으로 해석할 수 있음.

- 한국특허청에 출원한 외국인의 국적을 살펴보면, 전체 구간 및 최근 10년 구간 모두 독일과 캐나다의 특허 출원이 있었으며, 두 구간 모두 동일한 점유율을 보인 것으로 보아 한국에서 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)은 내국인에 의

해 주도되다 최근 외국인의 특허 출원이 진입한 것으로 분석됨.

□ 주요시장국 중 미국에서의 출원은 내국인과 외국인의 출원 비중이 각각 56%, 44%로 내국인과 외국인의 특허 출원 비중이 비슷하게 나타났으며, 최근 10년 구간에서의 내국인의 출원 비율이 55%로 과거 대비 내국인 출원 비중이 다소 감소한 것과 외국인 출원의 지속적인 증가로 미루어 보아 미국에서의 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A) 분야는 점차 외국인의 특허 출원이 증가하는 것으로 분석됨.

- 미국특허청의 연도별 특허 출원 동향을 살펴보면 특허 출원 이후 최근까지 내국인과 외국인 모두의 적극적인 특허 출원 활동의 영향으로 전체 특허 출원이 증가하는 것으로 나타남.

- 미국특허청에 출원한 외국인의 국적을 살펴보면, 전체 구간 및 최근 10년 구간 모두 일본, 한국 순의 특허 출원이 있었으나, 최근 구간에서 점유율이 증가한 것으로 보아 미국에서 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)은 내국인에 의해 주도되나 최근 외국인의 특허 출원이 점차 적극적인 것으로 분석됨.

□ 주요시장국 중 일본에서의 출원은 내국인과 외국인의 출원 비중이 각각 88%, 12%로 내국인의 출원 비중이 높게 나타났으며, 이는 일본에서의 출원 이후 전반적으로 내국인의 활발한 출원의 영향인 것으로 나타남. 최근 10년 구간에서의 내국인의 출원 비율이 전체 구간 대비 내국인 출원 비중과 비슷하여 일본에서의 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A) 분야는 내국인 출원의 영향이 지속적인 것으로 보이며, 외국인의 특허 출원은 전반적으로 저조한 것으로 분석됨.

- 일본특허청의 연도별 특허 출원 동향을 살펴보면, 외국인의 특허 출원은 소극적이며, 내국인의 특허 출원은 1990년대 중반부터 최근까지 꾸준히 특허 출원이 유지되고 있는 것으로 나타남. 이는 해당 기술의 자국 중심 연구 및 개발 특성이 강하다는 것을 의미로 해석할 수 있음.

- 일본특허청에 출원한 외국인의 국적을 살펴보면, 전체 구간 및 최근 10년 구간 모두 한국이 가장 많은 비중을 차지하였으며, 최근 한국 출원인에 의한 특허 출원이 과거 대비 증가하였으며 이는 일본으로의 특허 출원에 최근 다소 집중하는 것으로 분석됨. 일본에서 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)은 내국인에 의해 주도되나 최근 한국 등의 특허 출원이 점차 적극적인 것으로 분석됨.

□ 주요시장국 중 유럽에서의 출원은 내국인과 외국인의 출원 비중이 각각 34%, 66%로 외국인의 특허 출원 비중이 높게 나타났으며, 1990년대 중반부터 내국인과 외국인의 특허 출원 활동이 있었으며 최근 외국인의 특허 출원이 활발하게 증가하는 것으로 분석됨.

- 유럽특허청에 출원한 외국인의 국적을 살펴보면, 전체 구간 및 최근 10년 구간 모두 미국

과 일본의 특허 출원이 있었으며, 최근 점유율이 다소 증가한 것으로 보아 유럽에서의 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술(A)은 최근 외국인의 특허 출원이 활발한 것으로 분석됨.

- 동일한 기술개발에 대해 상이한 국가에서 획득한 특허는 각각 독립적으로 해당국가의 법률에 따라 존속·소멸함에 따라 독립적으로 권리의 효력이 발생하며, 해외 출원은 자국 출원에 비해 시간 및 비용이 많이 소요됨을 감안할 때, 아직까지는 한국은 내국인의 특허 비중이 높아 본격적으로 기술 시장이 성장하고 있는 단계는 아닌 것으로 판단됨.

다. 특허기술(연구내용) 성장단계

- 특허기술 성장단계 분석에서 출원건수의 증가는 기술개발이 활발한 것을 의미하고 출원인수의 증가는 기술시장에의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미하며, 종합적으로 출원건수와 출원인수의 동시 증가는 해당 기술 시장이 확대되고 있다는 것을 의미함.
- 특허기술 성장단계 중 태동기 단계는 출원인과 출원건수의 증가가 시작되는 형태로 이후 연구개발 활동이 활발해질 것으로 예상할 수 있는 단계이며, 성장기 단계는 출원인과 출원건수가 급격하게 증가하는 형태로 본격적으로 해당 기술분야의 연구개발 활동이 이루어지고 있는 단계로 해석할 수 있음. 태동기와 성장기의 구분은 분석 데이터의 모수 대비 해당 구간의 증가 건수, 기술분야의 특성 및 출원인의 성격 등을 고려하여 판단할 수 있음. 성숙기 단계는 출원건수의 증가가 다소 주춤하고 출원인수가 감소하는 형태로 일부 선진 출원인만이 출원을 유지하고 그 외 진입자들은 도태가 되는 단계임. 쇠퇴기 단계는 출원건수 및 출원인수 모두 감소하는 형태로 해당 기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있으며, 회복기 단계는 원천기술을 이용하여 최근 기술 트렌드 및 신규 아이디어 등에 부합하는 기술이 개발되어 시장이 재형성되는 단계로 판단할 수 있음.
- 특허기술 성장단계 분석구간의 설정은 전체 기간을 일정한 연간 단위로 구간을 구분하되, 최근 급부상하거나 이슈가 있는 기술분야의 경우, 최근 기간 등으로 한정하여 구간을 설정하여 분석하는 것이 유의미할 수 있음.

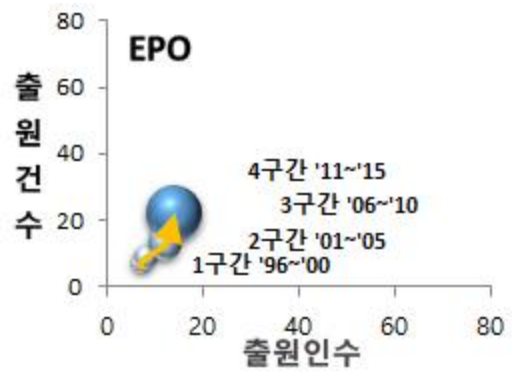
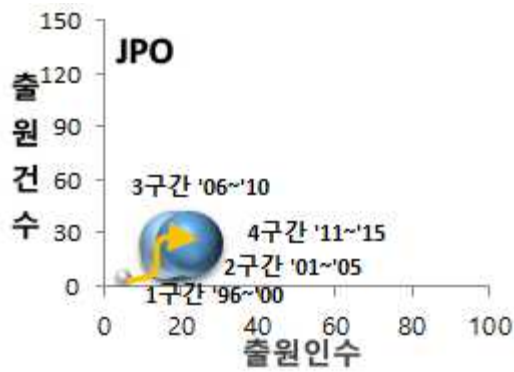
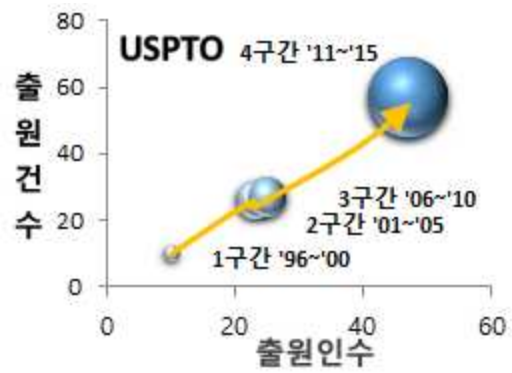
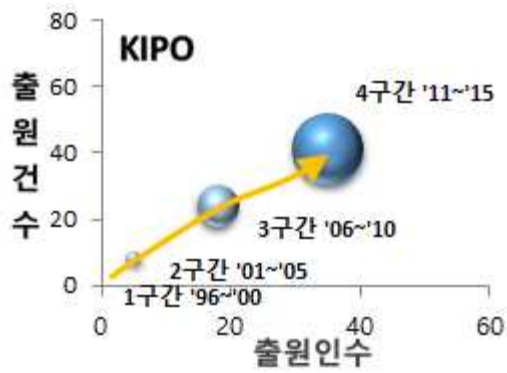
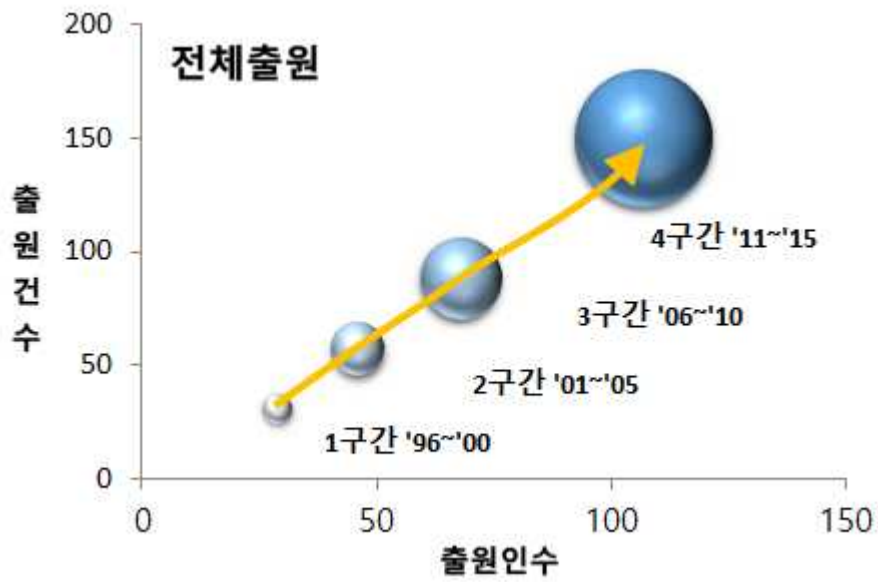


〈그림 2-43〉 특허기술 성장단계별 의미

- 본 그래프는 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발 기획 (A) 분야의 전체 및 해당 국가의 기술 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로 전체 출원 중 최

근의 출원 동향을 4개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음. 각 구간은 1구간(1996년~2000년), 2구간(2001년~2005년), 3구간(2006년~2010년), 4구간(2011년~2015년)으로 나누었음.

- 포트폴리오로 나타낸 전체특허의 기술 위치는 전반적으로 1구간(1996년~2000년)에서부터 4구간(2011년~2015년)까지 출원인수와 출원건수가 모두 꾸준히 증가하는 모습을 나타내며 성장기 단계에 있는 것으로 판단됨. 이것은 주요 출원국 중 미국과 한국의 영향으로 전체적인 구간별 성장단계 그래프가 미국의 성장단계 그래프와 유사하며 한국, 일본, 유럽 국가에 비해 미국의 특허 출원인수와 특허건수가 높기 때문인 것으로 판단됨.
- [KIPO] 포트폴리오로 나타낸 한국특허의 기술위치는 1구간(1996년~2000년)에서 최근 구간인 4구간(2011년~2015년)까지 출원인수 및 출원건수가 꾸준히 증가하는 것으로 보아 성장기 단계에 있는 것으로 판단되며, 구간별 성장률에는 차이가 있으나 최근구간까지 출원인수와 출원건수가 증가하는 것으로 보아 향후 한국의 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발 기획(A) 분야의 지속적인 연구 및 특허 출원 활동으로 특허건수와 출원인수의 증가가 계속될 것으로 판단됨.
 - 한국특허청의 특허기술 성장단계는 미국(USPTO)과 가장 유사한 형태인 것으로 나타나는 바, 한국 기술의 성장 속도가 미국보다 약 한 구간 가량 느리게 진행되고 있음이 그래프 상에서 나타남.
 - 한국의 특허기술 성장단계 분석 대상 데이터는 74건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 볼 수 있음.



〈그림 2-44〉 주요 국가별 특허기술 성장단계

□ [USPTO] 포트폴리오로 나타난 미국특허의 기술위치는 1구간(1996년~2000년)에서부터 4구간(2011년~2015년)까지 출원인수와 출원건수가 모두 꾸준히 증가하는 모습을 나타나며 성장기 단계에 있는 것으로 판단되며 한국과 마찬가지로 구간별 성장률에는 차이가 있으나 최근구간까지 출원인수와 출원건수가 증가하는 것으로 보아 향후 미국의 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발 기획(A) 분야의 지속적인 연구 및 특허 출원 활동으로 특허건수와 출원인수의 증가가 계속될 것으로 판단됨.

- 미국의 특허기술 성장단계 분석 대상 데이터는 120건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 볼 수 있음.

□ [JPO] 포트폴리오로 나타난 일본특허의 기술위치는 1구간(1996년~2000년)에서 3구간(2006년~2010년)까지 출원인수와 출원건수가 증가하다 최근 구간인 4구간(2011년~2015년)에서 출원건수는 비슷하나 출원인수가 증가하는 그래프를 보임. 성장단계 판단이 용이하지 않으며 향후 일본특허의 출원건수 및 출원인수의 변화를 살펴볼 필요가 있음.

- 일본의 특허기술 성장단계 분석 대상 데이터는 81건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 볼 수 있음.

□ [EPO] 포트폴리오로 나타난 유럽특허의 기술위치는 1구간(1996년~2000년)에서 최근구간인 4구간(2011년~2015년)까지 출원인수와 출원건수가 증가하는 것으로 나타났으며 다른 주요국에 비해 특허 출원 건수가 적으나 출원인수 및 출원건수가 증가하는 성장기 단계에 있는 것으로 판단되며 향후 유럽의 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발 기획(A) 분야의 지속적인 연구 및 특허 출원 활동으로 특허건수와 출원인수의 증가가 있을 것으로 판단됨.

- 유럽의 특허기술 성장단계 분석 대상 데이터는 51건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 볼 수 있음.

□ 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발 기획(A) 분야의 주요 국가별 특허기술 성장단계를 살펴본 결과, 국가별 성장단계 형태가 상이한 것으로 나타났으며, 이에 대한 원인을 짚어볼 필요가 있음. 한국(KIPO)과 미국(USPTO)의 경우, 성장기의 유사한 그래프 형태로 초기 구간에서 출원건수 및 출원인수가 함께 증가한 이후 최근까지 한국 및 미국에서 다수의 출원인에 의한 연구 및 특허 출원이 나타나는 것으로 분석됨. 일본(JPO)의 경우, 초기 구간에 출원을 진행한 출원인의 최근 소극적 특허 출원 활동의 영향으로 전 기술분야에서 특허 출원이 다소 감소하고 있는 추세임. 유럽(EPO)은 데이터 건수가 적어 성장단계 분석의 효용성이 다소 낮은 것으로 판단됨.

3. 주요 출원인 분석

가. 주요 출원인 현황

□ 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술개발 기획(A) 분야의 주요출원인 Top20을 추출한 결과, SONY CORP[JP]가 전체 다출원인 1위로 나타났으며, 그 뒤를 이어 한국철도기술연구원[KR], Panasonic Corp[JP], MITSUBISHI ELECTRIC CORP[JP] 등이 이 분야에서 다수의 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남. 특히, 주요출원인 Top20 중 일본국적의 출원인이 8명으로 나타나 해당 기술 분야에서 일본이 두각을 나타내는 것으로 분석됨. 다수의 일본 기업이 상위를 차지하고 있는 것은 일본에서 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발 기획(A) 분야에 대한 다방면의 기술 연구가 진행되고 있기 때문인 것으로 판단됨. 국내 기관 및 기업은 한국철도기술연구원, 삼성광주전자 대한민국, 리트코 출원인이 다출원 기준 순위 내 진입하고 있음.

<표 2-27> 다출원 기준 주요 특허 출원인

순위	출원인	국적	기관 성격	출원 건수	주요IP 출원국 (건수,%)				최근5년 출원 증가율	주력 기술분야
					KIPO	USPTO	JPO	EPO		
1	SONY CORP	일본	산	12	0 (0%)	6 (50%)	1 (8.33%)	5 (41.67%)	없음	AAC,ABA
2	한국철도기술연구원	한국	연	11	9 (81.82%)	0 (0%)	1 (9.09%)	1 (9.09%)	75.0%	AAD
3	Panasonic Corp	일본	산	8	0 (0%)	0 (0%)	7 (87.5%)	1 (12.5%)	없음	ACB
4	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	일본	산	6	0 (0%)	1 (16.67%)	3 (50%)	2 (33.33%)	100.0%	ACB
5	FUJITSU LTD	일본	산	5	0 (0%)	0 (0%)	5 (100%)	0 (0%)	없음	ABA
6	SHARP CORP	일본	산	4	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	없음	ADA
7	Delphi Technologies, Inc.	미국	산	4	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)	2 (50%)	없음	ADA
8	Suncoke Tech. and Development	미국	산	4	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)	2 (50%)	없음	AAEE
9	TOSHIBA CORP	일본	산	4	0 (0%)	1 (25%)	3 (75%)	0 (0%)	-66.7%	AAA,ABA

순위	출원인	국적	기관 성격	출원 건수	주요IP 출원국 (건수,%)				최근5년 출원 증가율	주력 기술분야
					KIPO	USPTO	JPO	EPO		
10	University of California	미국	학	4	0 (0%)	3 (75%)	0 (0%)	1 (25%)	200.0%	AAB,ABA
11	Greenvision Systems Ltd	이스라엘	산	4	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)	2 (50%)	없음	AAC,ABA
12	New York Air Brake	미국	산	4	0 (0%)	3 (75%)	0 (0%)	1 (25%)	없음	AAD
13	JAPAN TRANSPORT ENG.	일본	산	3	0 (0%)	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	없음	고른출원
14	Xtralis Technologies Ltd	바하마	산	3	0 (0%)	2 (66.67%)	0 (0%)	1 (33.33%)	없음	ACB
15	삼성광주전자	한국	산	3	0 (0%)	2 (66.67%)	0 (0%)	1 (33.33%)	-100.0%	ACA
16	Siemens AG	스위스	산	3	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (100%)	100.0%	고른출원
17	대한민국	한국	산	3	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	없음	ABA
18	HORIBA LTD	일본	산	3	0 (0%)	1 (33.33%)	1 (33.33%)	1 (33.33%)	없음	AAC,ABA
19	리트코	한국	산	3	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	없음	고른출원
20	서울메트로	한국	산	3	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	없음	ACA

중략

2	한국철도기술연구원	한국	연	11	9 (81.82%)	0 (0%)	1 (9.09%)	1 (9.09%)	75.0%	AAD
13	JAPAN TRANSPORT ENG.	일본	산	3	0 (0%)	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	없음	고른출원
17	대한민국	한국	산	3	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	없음	ABA
-	안찬용	한국	산	2	1 (50%)	1 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	200%	ACA,ADA

순위	출원인	국적	기관 성격	출원 건수	주요IP 출원국 (건수,%)				최근5년 출원 증가율	주력 기술분야
					KIPO	USPTO	JPO	EPO		

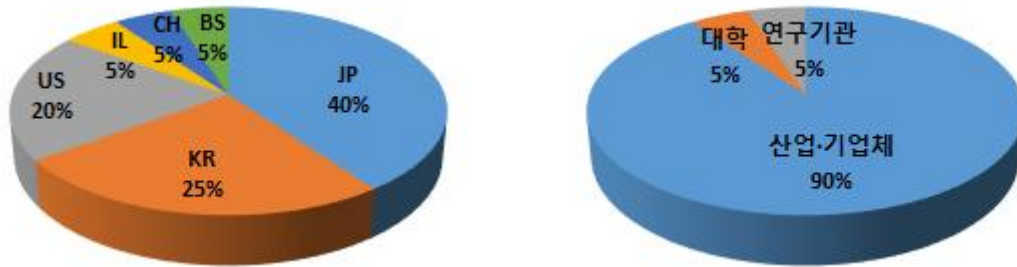
* 기관특성: (산) 산업계, (학) 학계, (연) 연구계

* 최근5년 출원 증가율: 최근 10년 범위 내에서 과거 5년 대비 최근 5년의 출원 증가율

$$= \left(\frac{\text{최근5년 특허출원건수} - \text{과거 5년 특허출원건수}}{\text{과거 5년 특허출원건수}} \right) \times 100 (\%)$$

* 주력 기술분야: (AAA) 다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술, (AAB) 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, (AAC) 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, (AAD) 지하철 환경(열차 운행, 열차풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술, (AAE) 조기 대응 미세먼지 저감기술, (ABA) 지하철 미세먼지 샘플링 및 정성적 성분 분석, (ACA) 고속(70km/h) 이동형 집진기술, (ACB) 고용량(5,000cmm) 이동형 집진기술, (ADA) 상호 응집, 중력 침강을 활용한 초미세먼지 조대화 기술

- 다출원 기준 상위 20위에 해당하는 주요 출원인의 국적 비중을 살펴본 결과, 일본 국적의 기관 및 기업이 40%, 한국 국적의 기관 및 기업이 25%, 미국 국적의 기관 및 기업이 20%, 이스라엘 국적의 기관 및 기업이 5%, 스위스 국적의 기관 및 기업이 5%, 바하마 국적의 기관 및 기업이 5%의 점유율을 차지하였음. 주요 출원인의 기관특성 비중을 살펴본 결과, 출원인 중 90%가 산업계, 5%가 연구계, 5%가 학계로 나타나, 해당 기술은 산업계의 연구개발 활동이 활발한 것으로 판단할 수 있음.
- 다출원 기준 상위 20위의 주요 출원인 중 타 국가 대비 한국, 미국, 일본 등 국적 기업이 자국 외 출원건을 보유하고 있는 것으로 나타남. 미국 국적 기업인 Delphi Technologies, Inc., Suncoke Tech. and Development 등은 자국 외 유럽에도 특허를 출원하였으며, 일본 국적 기업의 경우, SONY CORP, MITSUBISHI ELECTRIC CORP가 자국 외 미국에 특허를 출원하였음. 한국 국적 기관인 한국철도기술연구원은 자국 외 일본, 유럽 등에 특허를 출원하였음.
- 다출원 주요 출원인별 최근 5년 출원 증가율은 최근 10년 범위 내에서 과거 5년 대비 최근 5년의 출원 증가율로 각 출원인별 보유 특허기술의 부상도를 가늠할 수 있음. 미국의 University of California의 경우, 최근 5년 출원 증가율이 다소 높아 보유 특허 기술 중 최근 부상하고 있는 기술의 비중이 다소 높은 것으로 판단할 수 있음.



〈그림 2-45〉 다출원 기준 주요 출원인(상위 20위) 국적 및 기관특성 비중

□ 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술개발 기획(A)과 관련하여 한국, 미국, 일본, 유럽 특허청별 다출원 기준 주요 기관 및 기업을 살펴본 결과, 한국 (KIPO)은 한국철도기술연구원, 리트코 등 자국 국적의 기관 및 기업이 다수의 특허를 출원한 것으로 나타남. 미국(USPTO)의 경우, New York Air Brake, Univ. of California 등의 미국 국적 기업 외 일본 국적 기관인 SONY CORP이 특허를 출원한 것으로 나타남. 일본(JPO)은 Panasonic Corp, FUJITSU LTD 등의 자국 국적의 기관 및 기업이 특허를 출원하고 있으며, 유럽(EPO)은 일본 국적 기업인 SONY CORP[JP], 스위스 국적 기업인 Siemens AG[CH] 등 다양한 국적의 기관 및 기업이 특허 출원을 한 것으로 나타남.

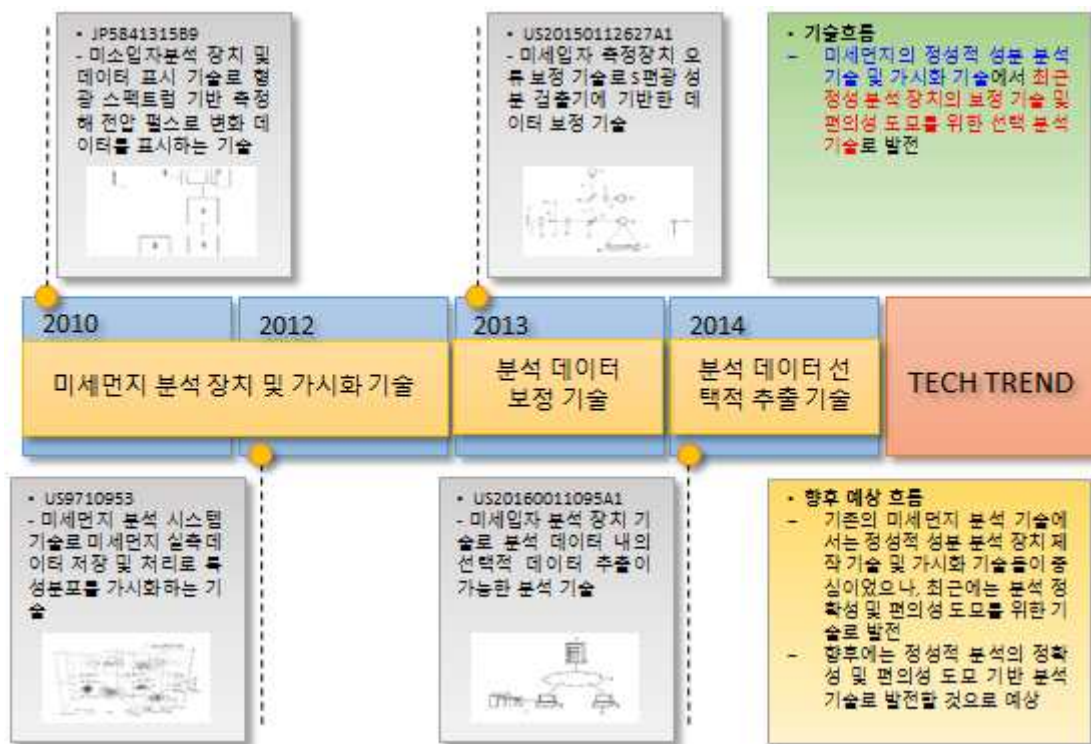
<표 2-28> 국가별 다출원 기준 주요 출원인

순 위	KIPO			USPTO			JPO			EPO		
	출원인 (국적)	기관 성격	출원 건수	출원인 (국적)	기관 성격	출원 건수	출원인 (국적)	기관 성격	출원 건수	출원인 (국적)	기관 성격	출원 건수
1	한국철도기 술연구원(K R)	연	9	SONY CORP(JP)	산	6	Panasonic Corp(JP)	산	7	SONY CORP(JP)	산	5
2	리트코(KR)	산	3	New York Air Brake(US)	산	3	FUJITSU LTD(JP)	산	5	Siemens AG(CH)	산	3
3	포스코(KR)	산	3	Univ. of California(U S)	학	3	SHARP CORP(JP)	산	4	MP S.R.L.(IT)	산	2
4	대한민국(K R)	산	3	AirAdvice, Inc.(US)	산	2	mitsubishi ELECTRIC CORP(JP)	산	3	Lucas, Richard(US)	산	2
5	서울메트로(KR)	산	3	USA as Represente d by the Secretary of the Army(US)	산	2	JAPAN TRANSPOR T ENG.(JP)	산	3	Delphi Technologie s, Inc.(US)	산	2
6	군산대학교 산학협력단(KR)	학	2	Caterpillar Inc.(US)	산	2	TOSHIBA CORP(JP)	산	3	Greenvision Systems Ltd(IL)	산	2
7	한양대학교 에리카산학 협력단(KR)	학	2	Delphi Technologie s, Inc.(US)	산	2	Toppan Printing Co., Ltd.(JP)	산	2	Suncoke Tech. and Developme nt(US)	산	2
8	한국기계연 구원(KR)	산	2	National Steel Car Limited(CA)	산	2	MATSUSHIT A ELECTRIC IND CO LTD(JP)	산	2	Kingclean Electric Co., Ltd.(CN)	산	2
9	휴텍이일(K R)	산	2	GM Global Tech.(US)	산	2	SHINWA CORP(JP)	산	2	MITSUBISHI ELECTRIC (JP)	산	2
10	현영구(KR)	산	2	Robert Bosch(DE)	산	2	RICOH CO LTD(JP)	산	2	Ga and Lo, S.L.(ES)	산	1

- 타 기술분야에서 통상적으로 나타나는 주요 출원인의 기관 성격이 한국(KIPO)의 경우, 산업계의 특허 출원이 활발하고, 미국(USPTO), 일본(JPO)과 유럽(EPO) 역시 한국(KIPO)과 마찬가지로 산업계의 특허 출원 활동이 활발함. 본 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술개발 기획(A) 분야는 주요국 모두 산업·기업체의 출원 비중이 매우 높아, 해당 기술 분야는 타 기술분야 대비 산업계의 연구개발 및 출원 활동이 매우 활발한 분야인 것으로 판단할 수 있음.
- 한국(KIPO)을 비롯한 미국(USPTO), 일본(JPO) 및 유럽(EPO) 모두 다출원 기준 주요 출원인으로 산업·기업체의 비중이 높은 것으로 나타나는 것으로 보아, 국가 전체에서 본 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발 기획(A)의 시장성 및 상업화 가능성이 높은 것으로 해석할 수 있음.

나. 주요 출원인 기술 트렌드

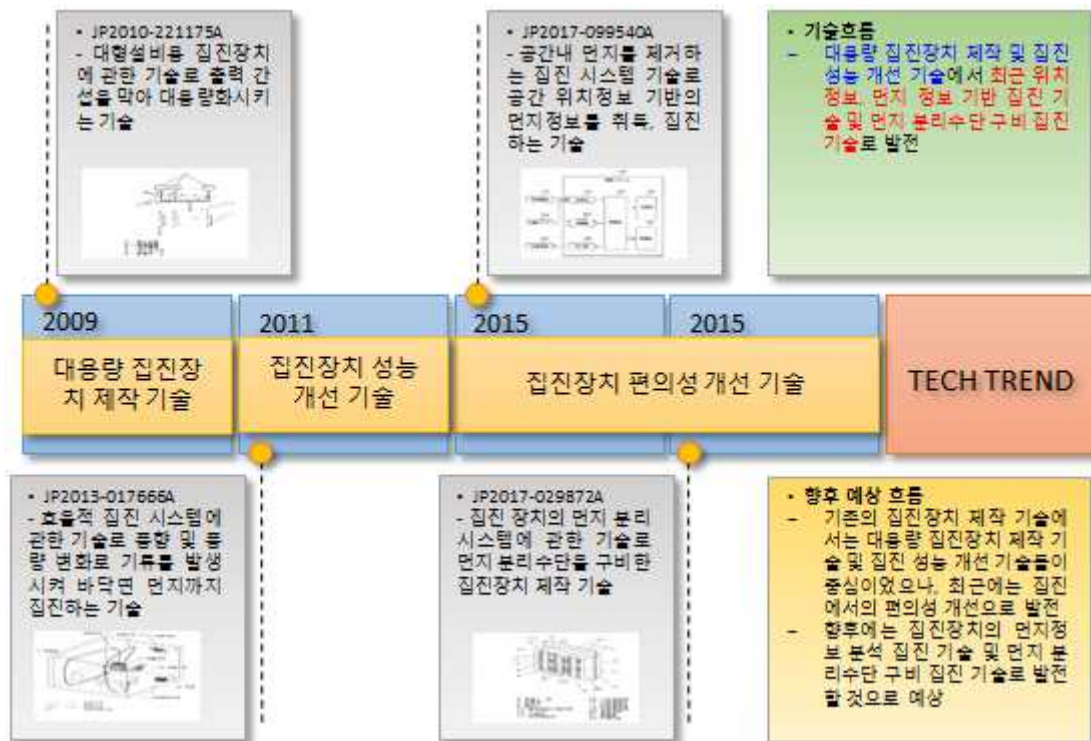
- SONY CORP은 2010년 및 2012년에 미세먼지 분석 장치 및 가시화 기술을 중심으로 개발되었으며, 2013년에 미세먼지 분석 데이터 보정 기술을 출원하였음. 2014년에는 미세먼지 분석 데이터의 선택적 추출 기술로 개발됨.
- SONY CORP은 미세먼지의 정성적 성분 분석 기술 및 가시화 기술에서 정성 분석 장치의 보정 기술 및 편의성 도모를 위한 선택 분석 기술로 연구개발이 진행되었으며, 향후 정성적 분석의 정확성 및 편의성 도모 기반 분석 기술로 발전할 것으로 예상됨.



<그림 2-46> SONY CORP의 기술진화 분석

□ PANASONIC CORP은 2009년에 대용량 집진장치 제작 기술을 중심으로 개발되었으며, 2011년에 집진장치 성능 개선 기술을 출원하였음. 2015년에는 집진장치 편의성 개선 기술로 개발됨.

□ PANASONIC CORP은 대용량 집진장치 제작 및 집진 성능 개선 기술에서 위치 정보, 먼지 정보 기반 집진 기술 및 먼지 분리수단 구비 집진 기술로 연구개발이 진행되었으며, 향후 집진장치의 먼지정보 분석 집진 기술 및 먼지 분리수단 구비 집진 기술 등이 지속적으로 출현할 것으로 예상됨.



<그림 2-47> PANASONIC CORP의 기술진화 분석

□ MITSUBISHI ELECTRIC CORP은 2005년에 공기 분석을 통한 공기제어 시스템이 개발되었으며, 2010년에 공기 데이터의 네트워크 기술이 개발되었으며, 2014년, 2015년에 성능을 개선시킨 집진장치 및 공기제어장치 기술이 개발됨.

□ MITSUBISHI ELECTRIC CORP은 공기 분석을 통한 공기 제어 및 데이터의 네트워크 기술로 연구개발이 진행되었으며, 향후 고속 및 고용량 미세먼지 집진장치 또는 공기제어장치 등이 지속적으로 출현할 것으로 예상됨.



<그림 2-48> MITSUBISHI ELECTRIC CORP의 기술진화 분석

4. 특허기술 장벽도 분석

<표 2-29> 주요 특허 리스트

연번	세부 기술	특허(등록/공개) 번호	출원일자	출원인	권리 상태	발명의 명칭
1	AA	KR20100117751	09.04.27	현영구	거절	SNMP를 이용한 지하철 공기질 감시방법 및 시스템
2	AA	KR 1387998	13.10.24	한국기계연구원	등록	지하철 터널 내부 미세먼지 저감장치
3	AA	JP2015-192982	14.09.25	JAPAN TRANSPORT ENGINEERING	공개	철도 차량용 집진장치
4	AA	US9494564	13.12.13	SICK AG	등록	Tunnel monitoring sensor
5	AB	KR 1561096	13.07.18	주식회사 상상	등록	유해가스 검출 알람장치
6	AB	KR 1721606	16.11.10	대한민국	등록	릴형 미세먼지 성분 분석 장치 및 그를 이용한 분석 방법
7	AB	JP5527676	13.04.04	SATO; Ayako	등록	미세먼지중의 탄소성분 측정 시스템
8	AB	US20160116405	15.10.20	Isle Management	공개	METHOD OF ANALYZING AIR QUALITY
9	AC	KR20160097896	15.02.10	한국철도공사	미심사 청구	선로 세척 장치
10	AC	KR 1351011	13.08.16	케이에이치특장 주식회사	등록	철도 도상 청소용 흡입청소장치
11	AC	JP5616113	10.04.22	Furukawa Industrial Machinery Systems	등록	터널공사용 전기집진기
12	AC	US8460443	09.10.27	Jet Flow Dynamics, LLC	등록	Portable dust collector
13	AD	KR 1731323	16.05.11	박도현	등록	친환경 미세먼지 필터링 장치
14	AD	KR20150116217	14.04.07	안찬용	미심사 청구	전동차 분사시스템
15	AD	JP2017-159848	16.03.11	Kawasaki heavy industries	미심사 청구	철도 차량용 환기장치의 먼지분리장치
16	AD	US9744538	15.09.22	Anderson; Robert C.	등록	Loading apparatus for dust collection containers

가. 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)

< IP장벽도 및 기술경쟁력 분석 >

조사대상 기술	특허장벽					
	구분	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA) : 지하철의 미세먼지 농도를 사전에 예측하여 공기질이 악화되기 앞서 저감장치, 환기시설 등을 조기에 작동하는 인공지능 기반 미세먼지 조기 대응 시스템 기술	국내			<input checked="" type="checkbox"/>		
	국외		<input checked="" type="checkbox"/>			
	구분					

국가	특허번호	출원인 (논문저자)	출원일 (등록일)	유사도 (중요도)
국내	KR20100117751	현영구	2009-04-27	★★★☆☆
	KR 1387998	한국기계연구원	2013-10-24 (2014-04-16)	★★☆☆☆
국외	JP2015-192982	JAPAN TRANSPORT ENGINEERING	2014-09-25	★☆☆☆☆
	US9494564	SICK AG	2013-12-13 (2016-11-15)	★★☆☆☆

< 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA) 주요장벽특허 유사도 분석 >

기술명		구성 요소	
빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)		① 다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술 ② 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술 ③ 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술 ④ 지하철 환경(열차 운행, 열차풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술 ⑤ 조기 대응 미세먼지 저감기술	
유사특허 비교분석			
구 분	특허(등록.출원) 번호	비 고	권리비교
국내	KR20090036375 (출원인: 현영구)	유사점	SNMP를 이용한 지하철 공기질 감시방법 및 시스템에 관한 특허로, SNMP를 이용하여 공기오염 센서 모듈로부터 데이터를 수신하고 상기 데이터를 관련 기관으로 송신하여 지하철 역사 내 공기를 관리하는 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	미세먼지 측정에 관한 기술이 아니며 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술, 조기 대응 미세먼지 저감 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
	KR 1387998 (출원인: 한국기계연구원)	유사점	지하철 터널 내부 미세먼지 저감장치에 관한 특허로, 지하철 터널내의 기존 환기 시설을 활용하여 두 대의 환기 팬 중 한 대에 미세먼지 저감장치를 설치하여 환기와 집진이 동시에 가능하게 하는 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	이미 발생한 미세먼지를 집진하는 기술로 조기 제어 기술이 아니며 다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술, 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음

해외	JP2014-195267 (출원인: JAPAN TRANSPORT ENGINEERING CO LTD)	유사점	철도 차량용 집진장치에 관한 특허로, 철도 차량에 설치되는 사이클론식 집진 장치의 구조 및 집진 기술로 흡기관, 배기관, 바이패스부 등을 포함하는 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	이미 발생한 먼지를 집진하는 기술로 조기 제어 기술이 아니며 다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술, 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
	US9494564 (출원인: SICK AG)	유사점	터널 모니터링 센서에 관한 특허로, 터널 내의 환경을 모니터링하기 위해 센서를 이용하여 터널 내 가스 농도를 측정하는 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	미세먼지를 포함하는 공기질 측정 기술이 아니며 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경(열차 운행, 열차풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술, 조기 대응 미세먼지 저감기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
검토 의견	<p>상기 기재된 일부 유사한 선행문헌들은 다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술, 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 조기 대응 미세먼지 저감기술에 관한 것으로, 지하철 공간의 공기질을 센서를 이용하여 측정하고 데이터를 네트워킹을 이용하여 송수신하는 기술과 미세먼지 제어 기술에 관한 것임</p> <p>빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)이 기출원된 KR20100117751, KR 1387998, JP2015-192982 및 US9494564에 관련된 기술이 언급되어 있으나, 이는 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경(열차 운행, 열차풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술 내용을 포함하고 있지 않으며 미세먼지 측정 및 데이터 송수신 기술과 미세먼지 조기 제어 기술이 아니라는 점에서, 선행문헌과는 상이함. KR20100117751 특허의 SNMP를 이용한 지하철 공기질 감시 시스템 기술을 활용할 가능성이 있을 것으로 판단되며, 또한, 그 외에도 빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)과 관련된 일부 기술이 선행문헌을 통하여 공지되어 있음</p> <p>국내외 모두 빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)에 대한 핵심특허가 일부 있을 것으로 분석되므로, 연구개발 수행의 과정에서, 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술 및 지하철 환경(열차 운행, 열차풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술 관련한 IP 창출의 필요성이 높을 것으로 사료됨</p>		
대응 방안	<p>빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)에 관련하여 한국공개특허 20100117751의 등록과정을 살펴볼 필요성이 있으므로, 향후 연구개발 시 해당 특허의 기술내용을 참조하는 것이 바람직할 것으로 사료됨</p>		

< 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	SNMP를 이용한 지하철 공기질 감시방법 및 시스템		
출원인	현영구	출원국가	KR
출원번호/공개번호	20090036375 / 20100117751	출원일	2009-04-27
기술 분야	빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	법적상태	거절
기술요약	<p>본 고안은 SNMP(Simple Network Management Protocol)를 이용한 지하철 공기 오염상태의 감시방법 및 시스템에 관한 것으로 SNMP를 이용하여, ㉠지하철 역사 내에 공기오염 센서 모듈(CO₂,VOC,오존,SO_x,NO_x 등)으로부터 데이터를 수신하는 단계; ㉡수신된 데이터를 MIB로 송신하는 단계; ㉢환경청 관리기준을 초과하면 관련 기관으로 통보하는 단계; ㉣승객 출입통제까지 포함하는 것을 특징으로 하는 SNMP를 이용한 지하철 역사 공기 오염도 감시방법을 제공한다.본 고안에 의하면, SNMP를 이용하여 지하철 역사 내부 공기의 오염도를 실시간으로 측정하며, 지하철 역사 내부의 오염도가 기준치에 적합하지 판단하고, 지하철 역사의 공기 오염상태를 반영하여 쾌적한 지하철 역사를 개선 유지할 수 있다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 SNMP를 이용한 지하철 공기질 감시방법 및 시스템에 관한 특허로, SNMP를 이용하여 공기오염 센서 모듈로부터 데이터를 수신하고 상기 데이터를 관련 기관으로 송신하여 지하철 역사 내 공기를 관리하는 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2009년 4월 27일 출원되고 2010년 11월 4일 공개된 후 거절된 한국 특허로써 지하철 역사 내 공기질을 측정하고 데이터를 네트워크를 통해 송수신하는 기술이라는 점에서 유사하나, 미세먼지 측정에 관한 기술이 아니며 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술, 조기 대응 미세먼지 저감기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 공개된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	지하철 터널 내부 미세먼지 저감장치		
출원인	한국기계연구원	출원국가	KR
출원번호/공개번호	20130127158A / -	출원일	2013-10-24
기술 분야	빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	법적상태	등록
기술요약	본 발명에 따른 지하철 터널 내부 미세먼지 저감장치는 지하철 터널 내의 기존의 환기실 설비를 이용하고 공급전력의 증설 없이 제작 및 설치되며, 환기실 내에 구비된 두 대의 환기팬 중 한 대만 사용하여 본 발명의 장치를 구성할 수 있으며 나머지 한 대의 환기팬을 기존 목적대로 환기수단으로 활용함으로써 환기와 집진이 동시에 이루어질 수 있어 터널 공기질 개선 효과가 뛰어난 지하철 터널 내부 미세먼지 저감장치이다.		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 지하철 터널 내부 미세먼지 저감장치에 관한 특허로, 지하철 터널내의 기존 환기 시설을 활용하여 두 대의 환기팬 중 한 대에 미세먼지 저감장치를 설치하여 환기와 집진이 동시에 가능하게 하는 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2013년 10월 24일 출원되고 2014년 4월 16일에 등록된 한국 특허로써 지하철 터널 내부의 미세먼지 저감 기술이라는 점에서 유사하나, 이미 발생한 미세먼지를 집진하는 기술로 조기 제어 기술이 아니며 다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술, 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	철도 차량용 집진장치		
출원인	JAPAN TRANSPORT ENGINEERING CO LTD	출원국가	JP
출원번호/공개번호	2014-195267 / 2015-192982	출원일	2014-09-25
기술 분야	빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	법적상태	공개
기술 요약	<p>사이클론식의 집진장치를, 마루 밑에 설치되는 철도 차량용 집진장치에 채용한다. 흡기관 18로부터 원통형본체 12내부에 빨아 들어진 외기는, 원통형본체 12내부로 원통형내벽에 따라 회전한다. 통형본체 12내부로 회전하면서 원심력에 의해 원통형본체 12의 벽면에 유도된 먼지는, 유도부 26에 의해, 원통형본체 12의 원형벽, 흡기관 18이 설치된 범위를 제외하는 부분에 형성된 바이 패스부 24에 유도된다. 바이 패스부 24은, 원형벽의 외측을 경유하고, 축지름부 14의 하단에 설치된 개구부 16에 이르는 것부터, 바이 패스부 24에 유도된 먼지는, 축지름부 14의 하단에 설치된 개구부 16로부터 수집된다. 그리고, 먼지가 제거된 공기만이, 배기관 22로부터 배출된다. 이렇게, 먼지는, 원통형본체 12의 내부벽면으로부터 하단근방부에 형성된 깔때기형의 축지름부 14을 타서 하강하고, 축지름부 14의 하단에 설치된 개구부 16로부터 수집 될과 동시에, 바이 패스부 24을 통과하고, 개구부 16로부터 수집된다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 철도 차량용 집진장치에 관한 특허로, 철도 차량에 설치되는 사이클론식 집진 장치의 구조 및 집진 기술로 흡기관, 배기관, 바이패스부 등을 포함하는 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2014년 9월 25일 출원되고 2015년 11월 05일 공개된 일본 특허로써 철도 차량의 먼지를 제거하는 기술이라는 점에서 유사하나, 이미 발생한 먼지를 집진하는 기술로 조기 제어 기술이 아니며 다수 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술, 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단되며 향후 심사 과정을 지켜 볼 필요가 있음</p>		

< 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	Tunnel monitoring sensor		
출원인	SICK AG	출원국가	US
출원번호/공개번호	14/105502 / 20140174153	출원일	2013-12-13
기술 분야	빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)	법적상태	등록
기술요약	A tunnel monitoring sensor for monitoring environmental conditions in a tunnel comprises a first sensor module which outputs an obscuration signal, a second sensor module which outputs a first gas concentration signal, a common housing for the first and second sensor modules and an electronic logic unit which is preferably accommodated in the housing, which receives the obscuration signal and the gas concentration signal and which outputs a combined environmental condition signal on the basis of a link of the obscuration signal and of the gas concentration signal.		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 터널 모니터링 센서에 관한 특허로, 터널 내의 환경을 모니터링하기 위해 센서를 이용하여 터널 내 가스 농도를 측정하는 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2013년 12월 13일 출원되고 2016년 11월 15일 등록된 미국 특허로써 센서를 이용하여 철도 터널 내의 가스 농도를 측정하는 기술이라는 점에서 유사하나, 미세먼지를 포함하는 공기질 측정 기술이 아니며 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경(열차 운행, 열차풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술, 조기 대응 미세먼지 저감기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

나. 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)

< IP장벽도 및 기술경쟁력 분석 >

조사대상 기술	특허장벽					
	구분	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB) : 지하철 미세먼지에 포함된 중금속, 병원성 바이러스, 세균 등 유해물질에 대한 정성적 성분 분석 기술	국내		<input checked="" type="checkbox"/>			
	국외		<input checked="" type="checkbox"/>			

국가	특허번호	출원인 (논문저자)	출원일 (등록일)	유사도 (중요도)
국내	KR 1561096	주식회사 상상	2013-07-18 (2015-10-12)	★☆☆☆☆
	KR 1721606	대한민국	2016-11-10 (2017-03-24)	★★☆☆☆
국외	JP5527676	SATO; Ayako	2013-04-04 (2014-04-25)	★★☆☆☆
	US20160116405	Isle Management Co.	2015-10-20	★☆☆☆☆

< 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보 (AB) 주요장벽특허 유사도 분석 >

기술명		구성 요소	
지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)		① 지하철 미세먼지 샘플링 및 정성적 성분 분석	
유사특허 비교분석			
구 분	특허(등록·출원) 번호	비 고	권리비교
국내	KR 1561096 (출원인: 주식회사 상상)	유사점	유해가스 검출 알림장치에 관한 특허로, 지하공간에 존재하는 공기 성분을 분석하여 유해성분이 검출될 때 알림을 제공하는 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술과 미세먼지에 국한된 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
	KR 1721606 (출원인: 대한민국)	유사점	필형 미세먼지 성분 분석 장치 및 그를 이용한 분석 방법에 관한 특허로, 미세먼지 성분을 분석하는 기술로 X선 형광분석부를 포함하는 필형 분석장치 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
해외	JP5527676 (출원인: SATO; Ayako)	유사점	미세먼지중의 탄소성분 측정 시스템에 관한 특허로, 대기중의 미세먼지의 탄소성분을 측정하는 기술로 화로를 이용해 가열하는 연소식 분석 측정 시스템 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
	US14/887819 (출원인: Isle Management Co.)	유사점	공기질 분석 방법에 관한 특허로, 공기의 온습도 측정 및 광학적 데이터를 이용하여 공기 입자를 모니터링하는 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술과 미세먼지에 국한된 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음

<p>검토 의견</p>	<p>상기 기재된 일부 유사한 선행문헌들은 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)에 관한 것으로 미세먼지 또는 공기질 분석 기술에 관한 것임</p> <p>지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)가 기출원된 KR 1561096, KR 1721606, JP5527676 및 US20160116405에 관련된 기술이 언급되어 있으나, 이는 지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서, 선행문헌과는 상이함. KR 1721606 특허의 릴형 미세먼지 성분 분석 기술과 JP5527676 특허의 미세먼지중 탄소성분 분석 기술을 활용할 가능성이 있을 것으로 판단되며, 또한, 그 외에도 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)와 관련된 일부 기술이 선행문헌을 통하여 공지되어 있음</p> <p>국내외 모두 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)에 대한 핵심특허가 일부 있을 것으로 분석되므로, 연구개발 수행의 과정에서, 지하철에 적용되는 미세먼지 분석 및 샘플링 기술과 관련한 IP 창출의 필요성이 높을 것으로 사료됨</p>
<p>대응 방안</p>	<p>지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)에 관련하여 한국등록특허 1721606 및 일본등록특허 5527676의 등록과정을 살펴볼 필요성이 있으므로, 향후 연구개발 시 해당 특허의 기술내용을 참조하는 것이 바람직할 것으로 사료됨</p>

< 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보 (AB) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	유해가스 검출 알람장치		
출원인	주식회사 상상	출원국가	KR
출원번호/공개번호	20130084519 / 20150010073	출원일	2013-07-18
기술 분야	지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)	법적상태	등록
기술요약	<p>본 발명은 공사현장에서 관로나 지하공간에 존재하는 공기 성분을 분석하여 유해성분이 검출될 때, 이를 경보하여 줌으로써 안전사고에 미리 대처할 수 있도록 하되, 매우 간단한 구조로 설치 및 이동이 자유롭고 생산 단가가 저렴하도록 한 유해가스 검출 알람 장치에 관한 것으로, 안내케이블에 면접되어 상호 회전 구동되는 제1회전롤러와 제2회전롤러를 포함하는 구동수단을 포함하고; 상기 구동수단의 제1회전롤러에는 구동모터의 회전력이 전달되도록 구성되고, 상기 제2회전롤러에는 제1회전롤러의 동작을 검출하는 엔코더가 더 설치되며; 상기 구동모터를 구동하는 모터구동부와, 상기 엔코더를 통해 입력되는 펄스 값을 검출하는 펄스검출부와, 가스센서를 통해 공기 중의 가스성분을 검출하는 가스검출부와, 공기 중의 유해가스 검출 시 경보를 발하는 경보부와, 공기 중의 유해가스 검출 시 빛을 발산하는 경광등부와, 유해가스 검출 알람장치의 이동거리와 이동거리에 따른 검출된 가스 성분 데이터를 기록 및 저장하는 저장부와, 상기 펄스검출부를 통해 엔코더 신호를 검출하여 장치의 이동거리를 산출 및 저장하고, 상기 가스검출부를 통해 가스센서로부터 입력된 가스성분을 분석하고, 분석 결과 유해가스가 검출된 경우 경보부로 경보명령을 출력하고, 동시에 경광등부로 경광등을 점등명령을 출력하는 제어부를 포함한다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 유해가스 검출 알람장치에 관한 특허로, 지하공간에 존재하는 공기 성분을 분석하여 유해성분이 검출될 때 알람을 제공하는 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2013년 7월 18일 출원되고 2015년 10월 12일 등록된 한국 특허로써 공기 중의 유해성분을 분석하여 경보하는 기술이라는 점에서 유사하나, 지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술과 미세먼지에 국한된 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보 (AB) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	릴형 미세먼지 성분 분석 장치 및 그를 이용한 분석 방법		
출원인	대한민국	출원국가	KR
출원번호/공개번호	20160149204 / -	출원일	2016-11-10
기술 분야	지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)	법적상태	등록
기술요약	<p>시료 공기를 제공하는 분립장치부; 상기 분립장치부와 시료 공기 유입로로 연결된 제 1 중공부를 구비하는 제 1 데크, 상기 제 1 데크 하부에 위치하되, 상기 제 1 중공부와 대응하는 위치에 제 2중공부가 형성된 제 2 데크, 상기 제 1 데크와 상기 제 2 데크 사이에 개재된 여과지 필름, 상기 제 2 데크의 측부에 각각 위치하되 상기 여과지 필름을 연속적으로 제공하는 제 1 릴과 상기 여과지 필름을 권취하는 제 2 릴, 상기 제 1릴 또는 제 2 릴의 회전을 조절하는 스텝모터, 상기 제 2 데크 상부에 상기 제 1 데크와 나란히 위치하는 X-선 형광분석부, 및 상기 제 1 데크, 상기 제 2 데크, 상기 스텝모터 및 상기 X-선 형광분석부를 제어하는 데크 제어부로 구성된 데크 스테이지부; 및 상기 제 2 중공부는 배기기와 연결되고, 상기 배기기는 펌프부와 연결되는 것을 포함하는 릴형 미세먼지 성분 분석 장치 및 그를 이용한 미세먼지 성분 분석 방법을 제공한다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 릴형 미세먼지 성분 분석 장치 및 그를 이용한 분석 방법에 관한 특허로, 미세먼지 성분을 분석하는 기술로 X선 형광분석부를 포함하는 릴형 분석장치 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2016년 11월 10일 출원되고 2017년 3월 24일 등록된 한국 특허로써 미세먼지 성분을 분석하는 기술이라는 점에서 유사하나, 지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보 (AB) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	미세먼지중의 탄소성분 측정 시스템		
출원인	SATO; Ayako	출원국가	JP
출원번호/공개번호	2013-078269 / 2014-202576	출원일	2013-04-04
기술 분야	지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)	법적상태	등록
기술요약	<p>대기중의 미세먼지 (PM2. 5)의 탄소성분이 단순한 측정 방법을 제공한다. 대기중의 미세먼지 (PM2. 5)의 탄소성분의 측정 시, 탄소 프랙션의 조건에서 가열했을 경우, 유기탄소성분이 연소 불완전해져서 EC (원소탄소)로서 검출하므로 광학식 보정이 필요한 것으로, 각 중 표준 시료의 취급에서 진값을 비교할 수 없는 문제에 대해 유기 원소 분석계의 원리를 이용해서 제1의 화로로 탄소 프랙션의 조건에서 가열한 것을 제2의 화로로 완전히 탄산 가스로 하고, 탄소 프랙션마다 정확하게 분별 측정하는 것으로, TCD검출기의 저농도를 측정할 수 없었던 문제에 대해 기존의 원소 분석계로 연소가스를 150배에 희석하고 있는 것을 희석하지 않는 방법에서 FID검출기에 가까운 검출능력에 할 수 있고, 하나의 표준 시료를 이용하는 동일한 단순한 방법에서 국제규격SI단위에 따른 국제규격기로서 개발한다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 미세먼지중의 탄소성분 측정 시스템에 관한 특허로, 대기중의 미세먼지의 탄소성분을 측정하는 기술로 화로를 이용해 가열하는 연소식 분석 측정 시스템 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2013년 4월 4일 출원되고 2014년 4월 25일 등록된 일본 특허로써 미세먼지의 성분을 측정 및 분석하는 기술이라는 점에서 유사하나, 지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보 (AB) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	METHOD OF ANALYZING AIR QUALITY		
출원인	Isle Management Co.	출원국가	US
출원번호/공개번호	14/887819 / 20160116405	출원일	2015-10-20
기술 분야	지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)	법적상태	공개
기술요약	A method for monitoring air particulates, including positioning a particulate capture medium, flowing a predetermined volume of air over a particulate capture medium to yield a test sample, measuring the temperature and humidity of the air to generate environmental information, generating optical interrogation data from the test sample, storing the optical interrogation data, and analyzing the optical interrogation data to identify and quantify particulates.		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 공기질 분석 방법에 관한 특허로, 공기의 온습도 측정 및 광학적 데이터를 이용하여 공기 입자를 모니터링하는 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2015년 10월 20일 출원되고 2016년 4월 28일 공개된 미국 특허로써 미세먼지를 분석하는 기술이라는 점에서 유사하나, 지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술과 미세먼지에 국한된 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단되며 향후 심사 과정을 지켜볼 필요가 있음</p>		

다. 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)

< IP장벽도 및 기술경쟁력 분석 >

조사대상 기술	특허장벽					
	구분	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC) : 지하철로와 터널을 고속으로 이동하며 미세먼지를 대용량으로 진집하는 기술	국내		<input checked="" type="checkbox"/>			
	국외	<input checked="" type="checkbox"/>				

국가	특허번호	출원인 (논문저자)	출원일 (등록일)	유사도 (중요도)
국내	KR20160097896	한국철도공사	2015-02-10	★★☆☆☆
	KR 1351011	케이에이치특장 주식회사	2013-08-16 (2014-01-02)	★★☆☆☆
국외	JP5616113	Furukawa Industrial Machinery Systems	2010-04-22	★☆☆☆☆
	US8460443	Jet Flow Dynamics, LLC	2009-10-27 (2013-06-11)	★☆☆☆☆

< 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC) 주요장벽특허 유사도분석 >

기술명		구성 요소	
이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)		① 고속(70km/h) 이동형 집진기술 ② 고용량(5,000cmm) 이동형 집진기술	
유사특허 비교분석			
구 분	특허(등록·출원) 번호	비 고	권리비교
국내	KR20150020355 (출원인: 한국철도공사)	유사점	선로 세척 장치에 관한 특허로, 철도 레일을 따라 이동하며 공기를 분사하여 먼지를 제거하는 장치 제작 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	집진 장치의 속도에 대한 기술적 명시가 없으며 미세먼지의 대용량 집진 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
	KR 1351011 (출원인: 케이에이치특장 주식회사)	유사점	철도 도상 청소용 흡입청소장치에 관한 특허로, 미세먼지 등 오염물질을 흡입하여 제거하는 이동형 집진 장치로 브러쉬부 및 포집부로 구성된 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	고속 작업에 관한 기술적 언급이 없으며 대용량 미세먼지 집진 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
해외	JP5616113 (출원인: Furukawa Industrial Machinery Systems)	유사점	터널공사용 전기집진기에 관한 특허로, 먼지를 극판에 포집하는 집진 유닛과 팬 유닛, 토출 덕트 유닛으로 구성된 터널용 전기집진기 제작 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	이동형 집진 장치가 아니며 고용량 집진 기술에 대한 내용을 포함하고 있지 않으며 철도 적용에 대한 기술적 명시를 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
	US8460443 (출원인: Jet Flow Dynamics, LLC)	유사점	휴대용 집진기에 관한 특허로, 운반가능한 집진장치 제작 기술로 필터부를 포함하는 흡입구, 집진부 등으로 구성된 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	이동형이 아닌 휴대용 집진 장치 제작 기술이며 지하철 공간 등 대형 환경에서 사용이 적합하지 않는 기술이라는 점에서 차이가 있음

<p>검토 의견</p>	<p>상기 기재된 일부 유사한 선행문헌들은 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC) 중 지하철로 내 이동형 집진 기술에 관한 기술임</p> <p>이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)이 기출원된 KR20160097896, KR 1351011, JP5616113 및 US8460443에 관련된 기술이 언급되어 있으나, 이는 집진 장치의 속도에 대한 기술적 명시가 없으며 미세먼지의 대용량 집진 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서, 선행문헌과는 상이함. KR20160097896 및 KR 1351011 특허의 선로 이동형 집진기술을 활용할 가능성이 있을 것으로 판단되며, 또한, 그 외에도 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)과 관련된 일부 기술이 선행문헌을 통하여 공지되어 있음</p> <p>국내외 모두 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)에 대한 핵심특허가 소수 있을 것으로 분석되므로, 연구개발 수행의 과정에서, 고속 이동 및 대용량 집진 기술과 관련한 IP 창출의 필요성이 높을 것으로 사료됨</p>
<p>대응 방안</p>	<p>이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)에 관련하여 한국공개특허 20160097896 및 한국등록특허 1351011의 등록과정을 살펴볼 필요성이 있으므로, 향후 연구개발 시 해당 특허의 기술내용을 참조하는 것이 바람직할 것으로 사료됨</p>

< 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	선로 세척 장치		
출원인	한국철도공사	출원국가	KR
출원번호/공개번호	20150020355 / 20160097896	출원일	2015-02-10
기술 분야	이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)	법적상태	미심사청구
기술요약	<p>본 발명은 철도차량의 전방에 설치되어 철도차량과 함께 레일을 따라 이동하며 선로 상의 먼지를 제거하는 선로 세척 장치에 관한 것으로, 선로 측으로 공기를 분사하여 먼지를 비산시켜 외기와 함께 흡입하는 흡입프레임, 흡입프레임으로부터 이송된 흡입공기를 여과하여 청정공기를 생성하는 집진프레임, 집진프레임에서 생성된 청정 공기를 외부로 배출하는 배출프레임, 흡입프레임과, 집진프레임과, 배출프레임에 전원을 공급하는 전원공급장치, 흡입프레임과, 집진프레임과, 배출프레임 중 적어도 어느 하나 이상의 저면에 설치되어 레일을 따라 이동 가능하게 구비되는 바퀴를 포함하여 구성되어, 선로 상의 먼지를 효과적으로 제거할 수 있고 쉽게 설치 및 해체가 가능하다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 선로 세척 장치에 관한 특허로, 철도 레일을 따라 이동하며 공기를 분사하여 먼지를 제거하는 장치 제작 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2015년 2월 10일 출원되고 2016년 8월 18일 공개된 한국 특허로써 이동형 먼지 집진 기술이라는 점에서 유사하나, 집진 장치의 속도에 대한 기술적 명시가 없으며 미세먼지의 대용량 집진 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 미심사청구 특허이며 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	철도 도상 청소용 흡입청소장치		
출원인	케이에이치특장 주식회사	출원국가	KR
출원번호/공개번호	20130097093 / -	출원일	2013-08-16
기술 분야	이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)	법적상태	등록
기술요약	<p>본 발명은 철도 도상 청소용 흡입청소장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 지하철 승강장의 도상 및 터널 내에 존재하는 쇄가루, 미세먼지, 슬러지, 퇴적물 등 오염물질을 흡입하여 제거함으로써, 전동차를 이용하는 이용객에게 쾌적한 환경을 제공할 수 있도록 한 철도 도상 청소용 흡입청소장치에 관한 것이다. 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명은 차체부를 포함하여 구성되는 철도 도상 청소용 흡입청소장치에 있어서, 상기 차체부에 설치되어 관로 및 도상에 고착된 오염물질을 탈착시키는 브러쉬부와, 상기 차체부에 설치되어 브러쉬부에 의해 탈착된 오염물질을 포집하는 포집부로 이루어진 것을 특징으로 한다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 철도 도상 청소용 흡입청소장치에 관한 특허로, 미세먼지 등 오염물질을 흡입하여 제거하는 이동형 집진 장치로 브러쉬부 및 포집부로 구성된 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2013년 8월 16일 출원 및 공개된 후 2014년 1월 2일 등록된 한국 특허로써 지하철로 이동형 미세먼지 집진 장치 제작 기술이라는 점에서 유사하나, 고속 작업에 관한 기술적 언급이 없으며 대용량 미세먼지 집진 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	터널공사용 전기집진기		
출원인	Furukawa Industrial Machinery Systems	출원국가	JP
출원번호/공개번호	2010-099219 / 2011-224515	출원일	2010-04-22
기술 분야	이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)	법적상태	등록
기술요약	<p>각 부의 압력손실을 저감할 수 있고, 팬 동력을 대폭으로 저감할 수 있는 터널공사용 전기집진기를 제공한다. 터널공사용 전기집진기 1은, 대전시킨 가루(먼지)를 집진 극판에 포집하는 집진 유닛2과, 이 집진 유닛2에 가루(먼지)를 유인하는 팬 유닛6과, 이 팬 유닛6로 유인한 공기를 배출하는 토출 덕트 유닛7을 갖추고, 집진 유닛2은, 그 처리 풍량이 2400m³/min이상 동시에 그 유인하는 처리 풍속이 7m/s미만이다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 터널공사용 전기집진기에 관한 특허로, 먼지를 극판에 포집하는 집진 유닛과 팬 유닛, 토출 덕트 유닛으로 구성된 터널용 전기집진기 제작 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2010년 4월 22일 출원되고 2011년 11월 10일 공개된 후 2014년 9월 19일 등록된 일본 특허로써 먼지 집진기 제작 기술이라는 유사하나, 이동형 집진 장치가 아니며 고용량 집진 기술에 대한 내용을 포함하고 있지 않으며 철도 적용에 대한 기술적 명시를 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	Portable dust collector		
출원인	Jet Flow Dynamics, LLC	출원국가	US
출원번호/공개번호	12/998476 / 20110197767	출원일	2009-10-27
기술 분야	이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)	법적상태	등록
기술요약	<p>A portable dust collector comprises a rectangular box-shaped housing containing a rectangular box shaped filter chamber having a dust collection volume in a lower portion thereof and providing plenums for operative gas circulation in a compact environment. The filter chamber shares a portion of the floor with the housing and has a pair of internal parallel sidewalls spaced inwardly from the outside sidewalls of the housing. The internal sidewalls define a plurality of filter chamber dirty gas inlets located just under an apertured cell plate from which the filters hang. The system is provided with a pulse jet cleaning system located in the clean air plenum above the cell plate.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 휴대용 집진기에 관한 특허로, 운반가능한 집진장치 제작 기술로 필터부를 포함하는 흡입구, 집진부 등으로 구성된 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2009년 10월 27일 출원되고 2011년 8월 18일 공개된 후 2013년 6월 11일 등록된 미국 특허로써 이동형 집진장치 제작 기술이라는 점에서 유사하나, 이동형이 아닌 휴대용 집진 장치 제작 기술이며 지하철 공간 등 대형 환경에서 사용이 적합하지 않는 기술이라는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단될 필요가 있음</p>		

라. 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)

< IP장벽도 및 기술경쟁력 분석 >

조사대상 기술	특허장벽					
	구분	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) : 상호 응집, 중력 침강 등을 활용하여 동력 사용을 최소화하는 미세먼지 집진, 제거기술	국내		<input checked="" type="checkbox"/>			
	국외	<input checked="" type="checkbox"/>				

국가	특허번호	출원인 (논문저자)	출원일 (등록일)	유사도 (중요도)
국내	KR 1731323	박도현	2016-05-11 (2017-04-24)	★☆☆☆☆
	KR20150116217	안찬용	2014-04-07	★★☆☆☆
국외	JP2017-159848	Kawasaki heavy industries	2016-03-11	★☆☆☆☆
	US9744538	Anderson; Robert C.	2015-09-22 (2017-08-29)	★☆☆☆☆

< 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) 주요장벽특허 유사도분석 >

기술명		구성 요소	
저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)		① 상호 응집, 중력 침강을 활용한 초미세먼지 조대화 기술	
유사특허 비교분석			
구 분	특허(등록·출원) 번호	비 고	권리비교
국내	KR 1731323 (출원인: 박도현)	유사점	친환경 미세먼지 필터링 장치에 관한 특허로, 친환경적, 에너지 절감 효과가 있는 지하철 또는 터널 내 미세먼지 제거 기술로 빗물 저장을 통한 미세먼지 필터링 장치 제작 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	상호 응집, 중력 침강 등의 집진 기술에 대한 구체적 기술 내용을 명시하고 있지 않으며 백 필터, 전기집진에 대한 대체 기술을 명확히 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
	KR20140041142 (출원인: 안찬용)	유사점	전동차 분사시스템에 관한 특허로, 지하철 터널 내 부유하는 미세먼지를 포집하여 도상으로 침강시켜 제거하는 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	물분사에 따른 침강 기술을 사용하나 그 대상이 오염물질을 포괄하며 초미세먼지의 제거의 구체적 내용을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
해외	JP2016-048011 (출원인: Kawasaki heavy industries)	유사점	철도 차량용 환기장치의 먼지분리장치에 관한 특허로, 입자지름이 다른 여러종류의 먼지를 분리가능한 구성으로 제거하는 장치 제작 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	상호 응집, 중력 침강 등을 활용에 대한 기술적 명시가 없으며 기존 제거 기술에 대한 대안 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음
	US9744538 (출원인: Anderson; Robert C.)	유사점	집진 컨테이너 로딩 장치에 관한 특허로, 사이클론 방식의 먼지 집진 기술을 이용한 시스템 기술에 관하여 기재하고 있음
		차이점	기술의 대상이 지하철 또는 터널 내 사용에 두고 있지 않으며 상호 응집, 중력 침강 등의 활용 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있음

<p>검토 의견</p>	<p>상기 기재된 일부 유사한 선행문헌들은 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) 중 대부분의 기술이 먼지 분리 또는 제거 기술에 관한 기술임</p> <p>저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)이 기출원된 KR 1731323, KR20150116217, JP2017-159848 및 US9744538에 관련된 기술이 언급되어 있으나, 이는 기술의 대상이 지하철 또는 터널 등에 두고 있지 않거나 미세먼지 제거 기술에 대한 구체적인 내용을 포함하고 있지 않다는 점에서, 선행문헌과는 상이함. KR20150116217 특허의 지하철 내부 유 미세먼지 침강 기술을 활용할 가능성이 있을 것으로 판단되며, 또한, 그 외에도 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)과 관련된 일부 기술이 선행문헌을 통하여 공지되어 있음</p> <p>국내외 모두 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)에 대한 핵심특허가 소수 있을 것으로 분석되므로, 연구개발 수행의 과정에서, 지하철 기반 상호 응집, 중력 미세먼지 제거 기술과 관련한 IP 창출의 필요성이 높을 것으로 사료됨</p>
<p>대응 방안</p>	<p>저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)에 관련하여 한국공개특허 20150116217의 등록과정을 살펴볼 필요성이 있으므로, 향후 연구개발 시 해당 특허의 기술내용을 참조하는 것이 바람직할 것으로 사료됨</p>

< 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	친환경 미세먼지 필터링 장치		
출원인	박도현	출원국가	KR
출원번호/공개번호	20160057566 / -	출원일	2016-05-11
기술 분야	저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)	법적상태	등록
기술요약	<p>본 발명은 빗물을 받아 저장하도록 마련되는 빗물저장탱크와, 상기 빗물 저장탱크에 저장된 빗물을 일부 또는 전체가 폐쇄된 시설 내에 형성된 수로에 공급하는 빗물배출부와, 상기 빗물저장탱크의 외벽에 설치되어 상기 빗물배출부의 구동을 위한 전기에너지를 자가 발전하는 태양광발전부를 포함하고, 상기 수로에 공급되어 이송되는 빗물은 일부 또는 전체가 폐쇄된 시설 내에 존재하는 미세먼지를 필터링하여 공기를 정화시키는 것을 특징으로 친환경 미세먼지 필터링 장치를 제공한다. 본 발명의 실시예에 따르면, 버려지는 빗물을 받아 활용하고 태양광 에너지로 발전된 전기를 이용하여 자가 구동함으로써 환경친화적이며, 시간의 제약없이 24시간 구동이 가능할 뿐만 아니라 관리유지비용이 적게 들어 경제성이 우수한 효과가 있다. 또한, 지하시설, 지하철 역사, 지하주차장, 터널, 공장 등 미세먼지가 많이 발생하는 장소에 설치하여 흐르는 빗물에 미세먼지 및 유해물질이 흡착되어 제거되도록 함으로써 공기의 질을 개선시키는 효과가 있다. 특히, 사람들이 많이 이용하는 지하철 선로에 설치시 지하철 공기 질의 개선시킬 수 있어 지하철을 이용하는 사람들의 건강을 지킬 수 있는 효과가 있다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 친환경 미세먼지 필터링 장치에 관한 특허로, 친환경적, 에너지 절감 효과가 있는 지하철 또는 터널 내 미세먼지 제거 기술로 빗물 저장을 통한 미세먼지 필터링 장치 제작 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2016년 5월 11일 출원 및 공개된 후 2017년 4월 24일 등록된 한국 특허로써 에너지 절약형 지하철 미세먼지 제거 기술이라는 점에서 유사하나, 상호 응집, 중력 침강 등의 집진 기술에 대한 구체적 기술 내용을 명시하고 있지 않으며 백 필터, 전기집진에 대한 대체 기술을 명확히 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	전동차 분사시스템		
출원인	안찬용	출원국가	KR
출원번호/공개번호	20140041142 / 2015116217	출원일	2014-04-07
기술 분야	저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)	법적상태	미심사청구
기술요약	<p>본 발명은 전동차에 장착한 분사시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 상용 전동차나 신조 전동차 편성 중 무동력 차량(T카)에 분사시스템을 장착하고 전동차가 상시 운행하면서 물을 분사하여 지하철 터널 내에 부유하는 오염물질과 열차운행시 발생하는 미세먼지를 포집하여 도상으로 침강시켜 터널 내 공기질을 획기적으로 개선할 수 있는 분사시스템에 관한 것이다. 또한 본 발명의 기술인 전동차 분사시스템은 실시간으로 운행하며 지상선로 레일 주변온도를 감지(센서)하여 자동으로 레일 표면을 집중 분사를 실시하여 레일 온도를 냉각시킬 수 있게 구성되므로, 레일이 위로 부상하거나 옆으로 휘어지는 장출로 인해 열차가 탈선하는 사고를 예방할 수 있어, 도시 지하철은 물론 광역철도선, 산업선, 고속철도선등에 폭넓게 적용이 가능할 것이다. 또한 본 발명의 기술인 전동차 분사시스템을 효과적으로 운영하기 위해 급수장치를 다양하게 구성할 수 있으며, 더 바람직하게는 도시지하철 시점 및 종착역 유치선 중 Y선로 설치함으로써 해당노선 전 편성열차가 순차적으로 상, 하선 전환 후 대기시간을 이용하여 급수를 실시하게 되므로 철도운영기관에서는 저비용으로 분사시스템의 효율성을 배가시킬 수 있게 구성된 친환경 전동차 분사시스템을 제공하는데 있다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 전동차 분사시스템에 관한 특허로, 지하철 터널 내 부유하는 미세먼지를 포집하여 도상으로 침강시켜 제거하는 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2014년 4월 7일 출원되고 2015년 10월 15일 공개된 한국 특허로써 급수탱크의 분사를 통한 미세먼지 침강 기술이라는 점에서 유사하나, 물분사에 따른 침강 기술을 사용하나 그 대상이 오염물질을 포괄하며 초미세먼지의 제거의 구체적 내용을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 미심사청구된 특허이며 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상된다. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	철도 차량용 환기장치의 먼지분리장치		
출원인	Kawasaki heavy industries	출원국가	JP
출원번호/공개번호	2016-048011 / 2017-159848	출원일	2016-03-11
기술 분야	저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)	법적상태	미심사청구
기술요약	<p>외측 테이퍼 실린더부에서 공기를 선회시키는 구성의 철도 차량용 환기 장치의 먼지분리장치에 있어서, 유속이 고속이어질 경우이어도, 입자지름의 다른 여러 종류의 먼지를 효율적으로 분리가능한 구성을 제공한다. 철도 차량용 환기장치의 먼지분리장치 11은, 빨아들여 부와, 제1 외측 원통부 39a와, 외측 테이퍼 실린더부 36과, 안쪽실린더부 34과, 연결부 46과, 를 갖춘다. 제1 외측 원통부 39a는, 빨아들여 부가 빨아 들인 공기가 선회하면서 흐른다. 외측 테이퍼 실린더부 36은, 제1 외측 원통부 39a를 흐른 공기가 선회하면서 흘러, 제1 외측 원통부 39a로부터 축방향에 멀어짐에 따라서 지름이 작아지는 테이퍼 형의 실린더이며, 해당 테이퍼 형의 실린더 안쪽에서 외측에 연결되는 개구부가 형성되고 있다. 안쪽실린더부 34은, 적어도 일부가 제1 외측 원통부 39a의 안쪽에 위치하게 배치되고 있어, 외측 테이퍼 실린더부 36을 흐른 공기가 흐른다.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 철도 차량용 환기장치의 먼지분리장치에 관한 특허로, 입자지름이 다른 여러종류의 먼지를 분리가능한 구성으로 제거하는 장치 제작 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2016년 3월 11일 출원되고 2017년 9월 14일 공개된 일본 특허로써 지하철 내 미세먼지 제거 기술이라는 점에서 유사하나, 상호 응집, 중력 침강 등을 활용에 대한 기술적 명시가 없으며 기존 제거 기술에 대한 대안 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 미심사청구된 특허이며 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

< 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) 주요특허 권리분석 >

발명의 명칭	Loading apparatus for dust collection containers		
출원인	Anderson; Robert C.	출원국가	US
출원번호/공개번호	14/860751 / 20160088990	출원일	2015-09-22
기술 분야	저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)	법적상태	등록
기술요약	<p>A loading apparatus lowers or raises a dust or particulate collection container for ease of extraction and installation. This apparatus is disposed within a rigid frame structure capable of mounting to a wall or mobile device. A U-shaped member supports the dust collection container, the container typically being a cylindrical bucket or container with integral rim or handles. The U-shaped member orthogonally translates up into a first position and down into a second position with activation of a lever. The mechanics of the apparatus effects linear vertical travel of the dust collection container and when in a first position, mates the rim of the container onto a compliant gasket member disposed with in the rigid frame structure, thus forming a vacuum-tight interface necessary for vacuum systems, in particular but not limited to, dust collection vacuum systems that utilize a cyclone dust separator.</p>		
대표도면			
분석결과 종합	<p>기술의견 - 본 발명은 집진 컨테이너 로딩 장치에 관한 특허로, 사이클론 방식의 먼지 집진 기술을 이용한 시스템 기술에 관한 것임</p> <p>법적상태 - 2015년 9월 22일 출원되고 2016년 3월 31일 공개된 후 2017년 8월 29일 등록된 미국 특허로써 먼지 집진 장치 제작 기술이라는 점에서 유사하나, 기술의 대상이 지하철 또는 터널 내 사용에 두고 있지 않으며 상호 응집, 중력 침강 등의 활용 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서 차이가 있으므로, 등록된 특허이나 향후 그 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서, 본 특허는 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨</p>		

5. 연구 아이템 장벽도 종합 분석 결과

□ 인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출저감 기술(A)은 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA), 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB), 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진 기술(AC) 및 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) 분야로 나누어질 수 있으며 전체 기술 분야 IP 장벽도는 낮음인 것으로 평가되었음.

〈표 2-30〉 인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 기술 연구 아이템의 장벽도 종합 분석

구성요소	연구 아이템 장벽도				
	매우낮음 / 1	낮음 / 2	보통 / 3	높음 / 4	매우높음 / 5
빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)			0		
지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)		0			
이동형 고속 대용량 미세먼지 집진 기술(AC)		0			
저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)		0			

□ 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA)

- 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술, 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 조기 대응 미세먼지 저감기술에 관한 특허가 일부 존재하지만 이는 지하철 미세먼지 빅데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경(열차 운행, 열차 풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서, 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상됨. 따라서 선행 특허들은 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨.
- 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술 전체 장벽도를 살펴보면, 국내 보통, 국외 낮음으로 해당 기술분야 IP 장벽도는 보통인 것으로 평가되었음. 전체적인 장벽도가 보통으로 나타났으나 국내 장벽도가 보통으로, 이는 국내에서 빅 데이터와 인공지능 기술을 활용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기 제어 기술(AA) 분야에 대한 집중된 연구 활동의 영향인 것으로 판단됨. 따라서 강한 특허 권리 확보를 위한 노력이 필요할 것이며, 향후 연구 개발 시 선행기술을 참조하여 회피설계를 해야 할 것으로 사료됨.

□ 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보 (AB)

- 미세먼지 또는 공기질 분석 기술에 관한 특허가 일부 존재하지만 이는 지하철에 적용된 기술이 아니며 미세먼지 샘플링 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서, 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상되며 선행 특허들은 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨.
- 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB) 전체 장벽도를 살펴보면, 국내외 모두 장벽도가 낮음으로 향후 지하철 미세먼지의 정성적 성분 분석을 통한 인체 위해성 기초 자료 확보(AB)에 대한 국내외 권리 확보를 위한 연구가 필요한 것으로 사료됨.

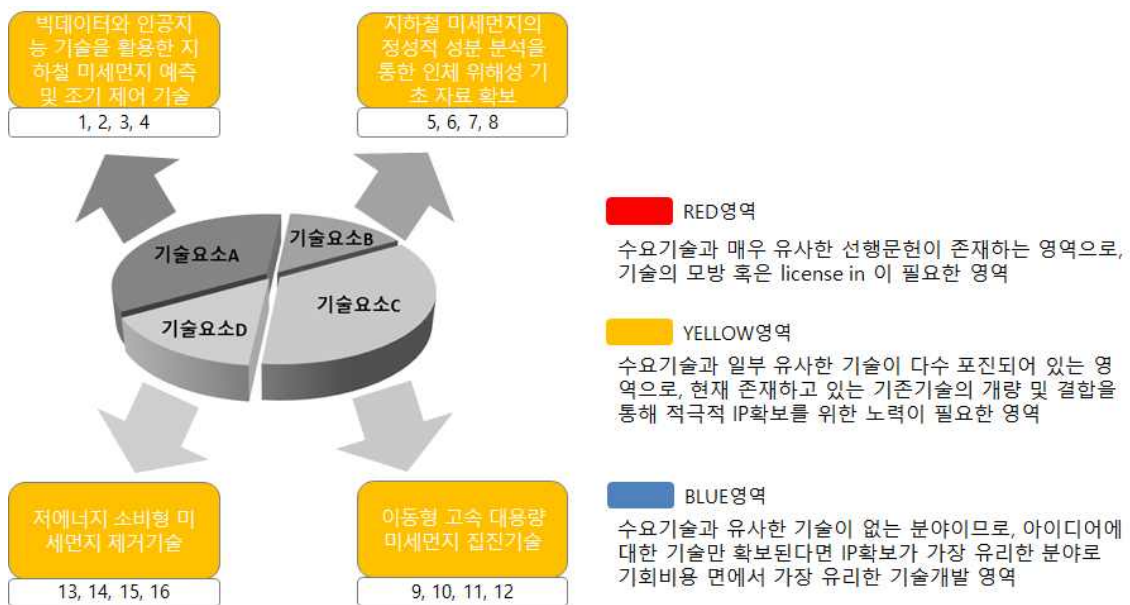
□ 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술 (AC)

- 지하철로 내 이동형 집진 기술에 관한 특허가 일부 존재하지만 이는 집진 장치의 속도에 대한 기술적 명시가 없으며 미세먼지의 대용량 집진 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서, 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상되며 선행 특허들은 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨.
- 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC) 전체 장벽도를 살펴보면, 국내 낮음, 국외 매

우 낮음으로 해당 기술분야 IP 장벽도는 낮음인 것으로 평가되었음. 국내외 모두 장벽도가 낮음 또는 매우 낮음으로 향후 이동형 고속 대용량 미세먼지 집진기술(AC)에 대한 국내외 권리 확보를 위한 연구가 필요한 것으로 사료됨.

□ 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술 (AD)

- 대부분의 기술이 먼지 분리 또는 제거 기술에 관한 특허가 일부 존재하지만 이는 기술의 대상이 지하철 또는 터널 등에 두고 있지 않거나 미세먼지 제거 기술을 포함하고 있지 않다는 점에서, 권리범위에 저촉되지 않을 것으로 예상되며 선행 특허들은 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨.
- 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD) 전체 장벽도를 살펴보면, 국내 낮음, 국외 매우 낮음으로 해당 기술분야 IP 장벽도는 낮음인 것으로 평가되었음. 국내외 모두 장벽도가 낮음 또는 매우 낮음으로 향후 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술(AD)에 대한 국내외 권리 확보를 위한 연구가 필요한 것으로 사료됨.



<그림 2-49> 인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감 요소기술의 특허 장벽도 분석

제5절 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성

1. 유사과제 분석

□ NTIS를 통해 ‘먼지’, ‘실내’, ‘지하’, ‘모니터링’, ‘예보’, ‘제거’ 등의 키워드로 검색한 결과, 약 40여개의 과제가 검색되었으며, 이 가운데 공공·다중이용시설 실내 미세먼지 저감 설비 실증 사업과 관련하여 유사과제 10개를 도출함.

- 국토교통부 ‘미래지하철기술개발사업 - 지하철 터널 및 차량의 공기질 개선 기술개발 (2009.03~2014.03)’은 지하철 터널에서 발생하는 미세먼지의 제거기술 개발 및 지하철 차량으로의 유입 차단 및 차량 내부 공기질 개선 기술 개발을 통해 실증사업을 수행하기 위한 원격 모니터링 및 설비 제어 기술을 개발하였으며, 터널 내부 저감설비를 구축하고, 터널 내부의 저감설비 원격제어 운전을 수행함.

- 국토교통부 ‘철도기술연구사업 - 지하철 터널 Hot spot 구간 공기질 관리기술 개발 (2014.09~2019.02)’에서는 지하철 터널 공기질 Map 작성 및 Hot Spot 구간 공기질 관리기술 개발, 전동차 부탑형 지하철 터널 오염물질 제거기술 개발 및 초미세먼지 제거차량 시스템 개발을 수행 중에 있음.

- 국토교통부 ‘주거환경연구사업 - 생활문제 해결 및 미래대응 실내공기질 향상기술 개발 (2014.09~2021.02)’에서는 공동주택을 대상으로 입주 전 오염물질 저감 방안, 냉난방 공조와 연계한 환기 설비 개발을 수행 중에 있음.

- 환경부 ‘환경정책기반공공기술개발사업 - 실내외 초미세먼지 실시간 모니터링 진단기술 개발(2015.12~2017.09)’에서는 기기-서버간 무선 통신 기술을 이용한 원격 제어 모듈 개발 및 모듈 통합 시제품 제작 저압 다단 임팩터를 이용한 입자 분리 모듈 및 코로나 하전 장치를 적용한 입자 측정 모듈 개발을 개발함.

- 환경부 ‘차세대에코이노베이션기술개발사업’ - 로봇을 이용한 지하환경 덕트 크리닝 및 통합관리시스템 개발(2011.05~2014.03)’에서는 지하역사 및 지하상가의 에너지 절감 및 환경관리를 위한 공간단위 공기질과 에너지 사용량을 진단/평가하는 시스템을 개발하고, 로봇을 이용한 덕트 클리닝 디바이스/프로세스를 개발하여 지하공간 내 통합 에너지/공기질 관리 시스템을 개발함.

- 환경부 ‘환경산업선진화기술개발사업’ - ‘초음파를 이용한 실내환경 오염물질(박테리아, 바이러스, 초미세먼지 등) 저감장치 기술개발(2014.04~2018.04)’에서는 초음파를 이용한 미세먼지 응집기술 개발, 입자 조대화 및 병원성 미생물 제거기술을 개발하고 있음.

- 환경부 ‘그린패트를 측정기술개발사업단’ - ‘X선 형광법을 이용한 대기 중 중금속 물

질 연속분석 장치 개발(2014.12~2018.04)'에서는 대기 중 중금속 성분의 실시간 분석이 가능한 측정장비를 개발.

- 과학기술정보통신부 '공공복지안전기술개발사업' - '특수 대기 환경위해물질의 초고속, 고감도, 실시간 광학적 검출기술 개발(2010.08~2015.07)'에서는 대기 중에 존재하는 인체에 위협한 무기 및 유기가스분자들을 동시에 실시간 고감도로 분석할 수 있는 기술을 개발하였음.

- 환경부와 중소기업청 사업 중, 특정 분야에 대한 요소 기술 개발 과제는 차별성 및 연계 추진방안 분석 대상에서 제외함.

- 교육부 사업은 소규모(총 연구비 1억원 이내)로 진행되는 개인기초연구 및 인력양성 사업으로 차별성 및 연계 추진방안 분석 대상에서 제외함.

□ NTIS를 통한 유사 과제 검색 외에 현재 추진 중인 사업으로 미래창조과학부, 환경부, 보건복지부의 국가 R&D 역량을 집중하여 (초)미세먼지 발생·유입, 집진·저감, 측정·예보, 보호·대응 등 4대 분야의 근본적·과학적 솔루션을 마련하기 위해 「미세먼지 국가전략프로젝트」를 추진하고 있으며, 국민 건강을 위협하는 (초)미세먼지의 근본적·과학적 문제해결을 위해 과학기술을 개발, 깨끗한 대기환경의 실현과 미세먼지 대응 신산업 창출을 동시 지원, 초미세먼지 생성 원인 규명 및 발생원별 효과적 집진·저감, 측정·예보, 보호·대응 등 4대 분야로 나누어 위해성 해소에 초점을 맞춘 미세먼지 대응 기술 개발을 목적으로 함.

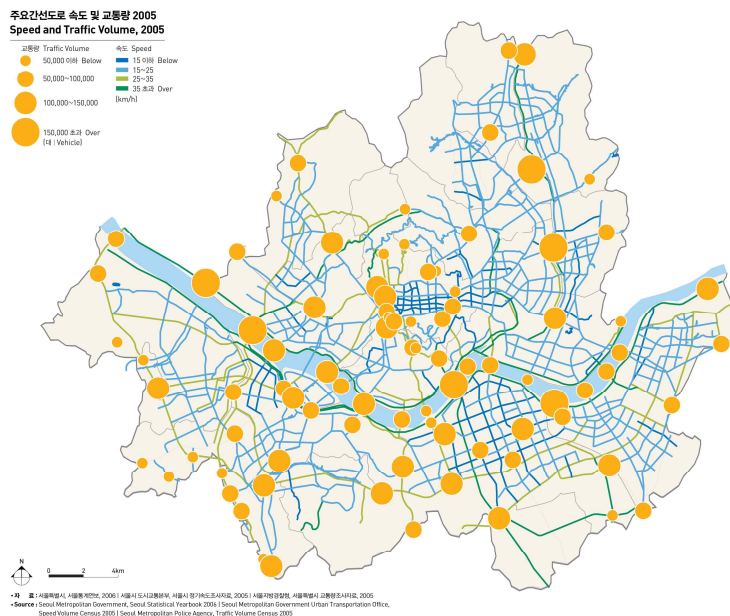
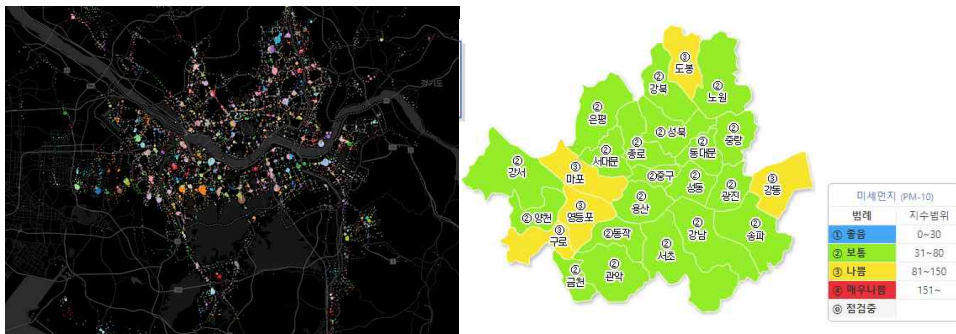
□ 본 기획은 기존에 **개발된 기술을 응용하여 모니터링 및 예측 시스템을 개발하고 이를 상용화** 하고자하며 학교 교실, 체육관 및 지하역사 대상 미세먼지 저감 관련 실증사업 추진에 대한 중복성은 없음.

<표 2-31> 국내 유사과제 현황

No.	연도	부처명	사업명	과제명	과제기간
NTIS 미등록	2017	환경부	환경산업선진화 기술개발사업	공동주택 환기설비와 레인지후드 통합형 스마트 환기시스템 개발(한국건설기술연구원)	2017-04-20 ~ 2019-12-31
NTIS 미등록	2017	환경부	환경산업선진화 기술개발사업	사물인터넷(IoT) 실내공기질 센서 기반 다중이용시설 생활환경 개선 기술개발(주드웰링)	2017-06-19 ~ 2018-12-31
1	2015	환경부	환경정책기반공공 기술개발사업	실내외 초미세먼지 실시간 모니터 링 진단기술 개발	2015-12-01 ~ 2017-09-30
2	2015	환경부	환경산업선진화 기술개발사업	초음파를 이용한 실내환경 오염물 질 (초미세먼지 등) 저감장치 기술 개발	2015-04-01 ~ 2018-03-31
3	2014	국토교통부	주거환경연구사업	생활문제 해결 및 미래대응 실내공 기질 향상기술 개발	2014-09-21 ~ 2021-02-20
4	2014	국토교통부	철도기술연구사업	지하철 터널 Hot spot 구간 공기질 관리기술 개발	2014-09-03 ~ 2019-02-28
5	2009	국토교통부	미래지하철기술개 발사업	지하철 터널 및 차량의 공기질 개 선 기술개발	2009-03-31 ~ 2014-03-30

2. 기존 기술(연구)와의 차별성

- 지하철 미세먼지의 인공지능 기반 예측을 위해서는 지하철 공기질 정보, 지하철 기초 환경 정보 (승객 수, 운행 지하철 수 등), 외부 공기질 정보, 도로교통 정보, 기상 정보 등의 핵심 데이터 (‘지하철 미세먼지 빅 데이터’라 명명) 확보가 필요함.
- 현재 데이터의 수집, 전송을 위한 데이터 네트워킹의 요소기술 개발은 활발히 진행 중에 있음. 그러나 지하철 운행에 따른 진동, 열차풍 발생 등에 의해 혹독한 실내 환경을 가진 지하철에 이를 설치하여 데이터를 수집한 사례는 전무함.



<그림 2-50> 서울시 환승량, 공기질, 차량 속도 및 교통량 공공 데이터(<http://inspatiotemporal.blogspot.kr/>, 에어 코리아, 서울통계연보)

- 기존에 개발된 미세먼지 모니터링 시스템의 경우 지하철의 특성에 적합한 네트워크 기술 및 소형 미세먼지 센서개발이 주류를 이루고 있음.

- 측정 센서를 이용한 승강장, 터널, 객차 내 공기질 상시 측정 기술, 무선통신망 기반의 지하철 미세먼지 데이터의 네트워킹 기술, 조기 대응 미세먼지 저감기술에 관한 특허가 일부 존재하지만 이는 **지하철 미세먼지 빅 데이터 플랫폼 구축 기술, 지하철 환경(열차 운행, 열차 풍 등)을 고려한 지하철 맞춤형 인공지능 모델링 기술**을 포함하고 있지 않음.
- 인공지능을 이용한 지하철 미세먼지 예측 및 조기제어 기술은 모니터링 시스템에서 획득한 데이터와 외부 공기질 정보, 도로교통 정보 등 다양한 공공데이터를 활용하여 **미세먼지의 농도를 예측하고, 지하철 이용객에 대한 미세먼지 노출 정도를 파악할 수 있음.**



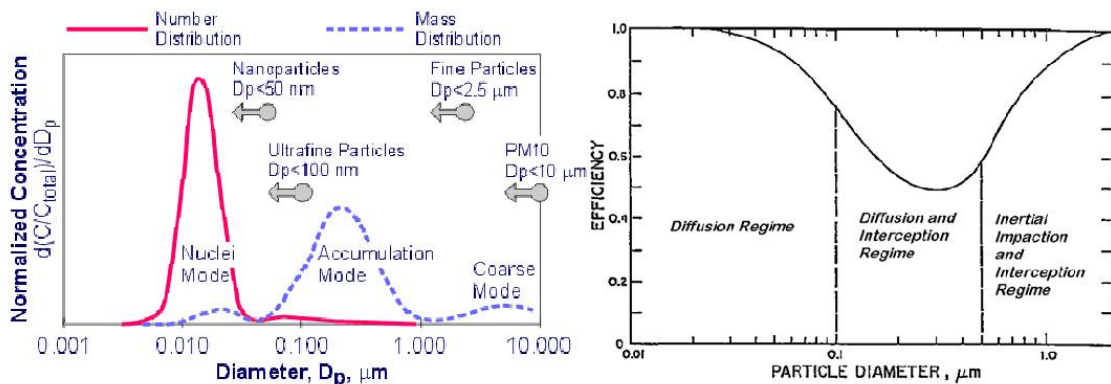
<그림 2-51> 소형 미세먼지 측정 센서 (Trueeyes, Honeywell, Shinyei Technology)

- 현재 개발되고 있는 (초)미세먼지 제거차량의 경우 전동차 운행이 종료된 시점부터 가동이 가능하며, 미세먼지 농도가 높은 열차 운행시간에는 활용할 수 없음.
- 열차 운행시간의 미세먼지 제거를 위해 전동차 부착형 미세먼지 제거장치를 개발하고 있으나, 편성 당 최대 2대 설치 및 처리용량이 제한되어 큰 효과를 보기에 어려움이 있음.
- 이동배출원인 전동차의 운행 경로를 따라 움직이며 미세먼지를 제거하는 기존의 이동형 미세먼지 제거 기술은 속도의 한계로 그 적용이 제한적임.
- 이동배출원에서 발생한 미세먼지를 즉각적으로 제거하기 위해 **70 km/시간 이상의 속도로 운행하며 미세먼지를 집진할 수 있는 고속 대용량 집진기술을 개발하는 것을 연구범위에 포함시키고자 함.**

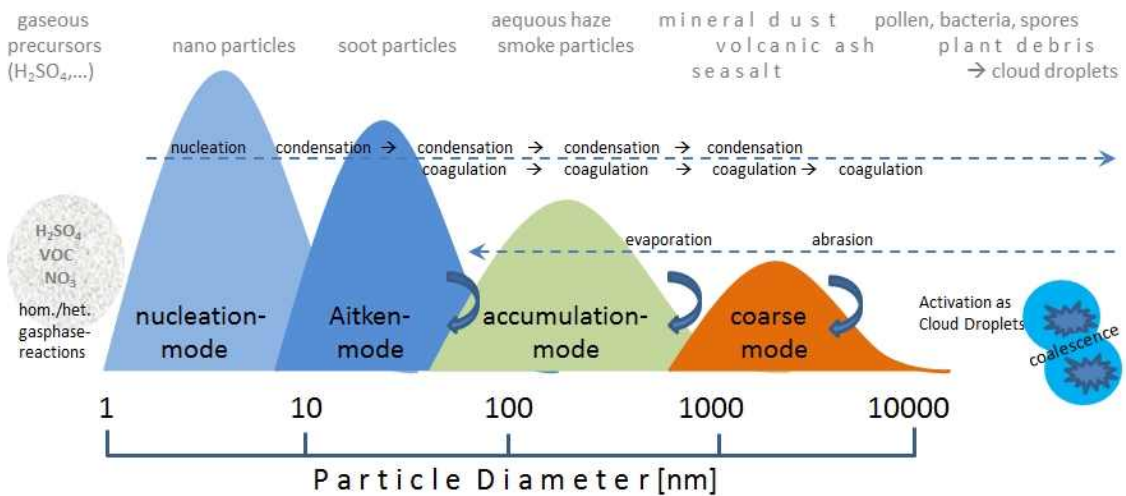


〈그림 2-52〉 개발 중인 (초)미세먼지 제거차량 개념도

- 에너지 소비를 저감하기 위해 자연 동력(상호 응집, 중력 침강 등)을 활용하여 미세먼지를 집진하는 기술의 개발은 초기 상태임.
- 또한, 자연 동력으로 미세먼지를 제거하는 경우, 기타 에너지를 사용하여 미세먼지를 제거하는 시스템 보다 입자크기가 상대적으로 큰 입자를 제거하는 데 용이함.
- (초)미세먼지 제거기술로는 **전기적 인력을 활용하여 (초)미세먼지의 크기를 키워 중력침강시키는 기술을 개발**하고자 함.

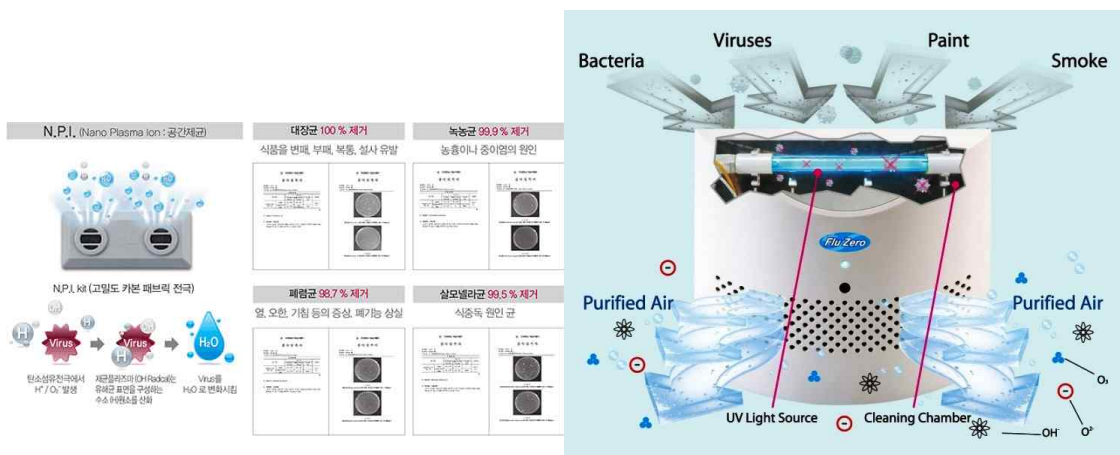


〈그림 2-53〉 미세먼지 크기별 제거 기작 및 효율



<그림 2-54> 다중 크기의 입자 분포 및 응집 개념도

- 공기 중 바이러스, 세균 제거기술로는 자외선, 저온플라즈마, 제균필터를 이용하는 기술이 일반적으로 상용화 되어 있음
- 바이러스, 세균 제거기술로는 초음파 캐비테이션 등 **화학약품 미사용형 기술을 지하철 환경에 적합하도록 보완, 활용**하고자 함.
- 이에 에너지의 사용을 최소화하여 (초)미세먼지와 이에 포함된 바이러스, 세균을 제거하는 기술을 개발하는 것을 연구범위에 포함시키고자 함.



<그림 2-55> 이온 및 UV를 활용한 제균기술

제6절 연구개발 인프라 분석

1. 분야/세부 기술 분류별 기술수준 평가

□ 빅 데이터와 인공지능을 이용한 사전예방대응용 지하철 미세먼지 예측 및 조기제어 기술

- 지하철 미세먼지의 인공지능 기반 예측을 위해서는 지하철 공기질 정보, 지하철 기초 환경 정보 (승객 수, 운행 지하철 수 등), 외부 공기질 정보, 도로교통 정보, 기상 정보 등의 핵심 데이터 (‘지하철 미세먼지 빅 데이터’라 명명) 확보가 필요함.
- 현재 데이터의 수집, 전송을 위한 데이터 네트워킹의 요소기술 개발은 활발히 진행 중에 있음. 그러나 **지하철 운행에 따른 진동, 열차풍 발생 등에 의해 혹독한 실내 환경을 가진 지하철에 이를 설치하여 데이터를 수집한 사례는 전무함.**
- 지하철 미세먼지 빅 데이터는 측정 위치, 시간, 방법 등의 차이로 인해 데이터의 형태가 상이함. 상이한 형태의 데이터를 하나의 모델에 적용하기 위해서는 데이터 간 형태 통일이 필요함. 또한 데이터의 효율적 사용을 위해서는 데이터를 저장 및 다운로드 할 수 있는 공간이 필요함. 그러나 각기 다른 형태의 데이터를 가공하여 저장하는 **지하철 미세먼지 빅 데이터 플랫폼을 구축한 사례는 전무함.**
- 과거의 측정 데이터를 인공지능 모델에 적용하여 추후의 공기질을 예측하는 이론 기반의 학술 연구는 활발히 진행 중에 있음. 그러나 실제 운영 중인 지하철 현장에 인공지능 모델을 적용하여 공기질을 예측하는 실적용 기술개발은 초기 상태임.
- 지하철의 특수한 환경(좁은 공간의 승객 밀집, 주기적 출입문 개폐, 철계 분진 발생 등)을 고려하며 실시간 측정 데이터를 사용하여 **미세먼지를 예측하는 지하철 맞춤형 인공지능 알고리즘은 전무함.**
- 지하철 미세먼지에 포함된 유해물질의 정성적 성분을 분석한 사례는 전무하며 이에 지하철 미세먼지의 유해물질 포함 유무 및 위해성에 대한 파악이 불가함.

□ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술

- 이동배출원인 전동차의 운행 경로를 따라 움직이며 미세먼지를 제거하는 기존의 이동형 미세먼지 제거 기술은 속도의 한계로 그 적용이 제한적임.
- 현재 개발되고 있는 (초)미세먼지 제거차량의 경우 전동차 운행이 종료된 시점부터 가동이 가능하며, 미세먼지 농도가 높은 열차 운행시간에는 활용할 수 없음.

- 전동차 부착형 미세먼지 제거장치의 경우 열차 운행시간에 가동할 수 있는 장점이 있으나, 편성당 최대 2대 설치로 인해 처리용량이 제한적임.
- 이에 이동배출원에서 발생한 미세먼지를 즉각적으로 제거하기 위해 **70 km/시간 이상의 속도로 운행하며 미세먼지를 집진할 수 있는 집진기술을 개발**하는 것을 연구범위에 포함시키고자 함.

□ 저에너지 소비형 미세먼지 제거 기술

- 에너지를 저감하기 위해 자연 동력(상호 응집, 중력 침강 등)을 활용하여 미세먼지를 집진하는 기술의 개발은 초기 상태임.
- 이에 에너지의 사용을 최소화하여 (초)미세먼지와 이에 포함된 바이러스, 세균을 제거하는 기술을 개발하는 것을 연구범위에 포함시키고자 함.
- (초)미세먼지 제거기술로는 **전기적 인력을 활용하여 (초)미세먼지의 크기를 키워 중력침강시키는 기술**을 개발하고자 함.
- 바이러스, 세균 제거기술로는 초음파 캐비테이션 등 **화학약품 미사용형 기술**을 지하철 환경에 적합하도록 보완, 활용하고자 함.

2. 전문인력 및 장비 인프라 현황

□ 국내 지하철 미세먼지 관련 전문 연구 인력을 아래와 같이 정리하였음.

<표 2-32> 국내 지하철 미세먼지 관련 전문 연구인력 현황

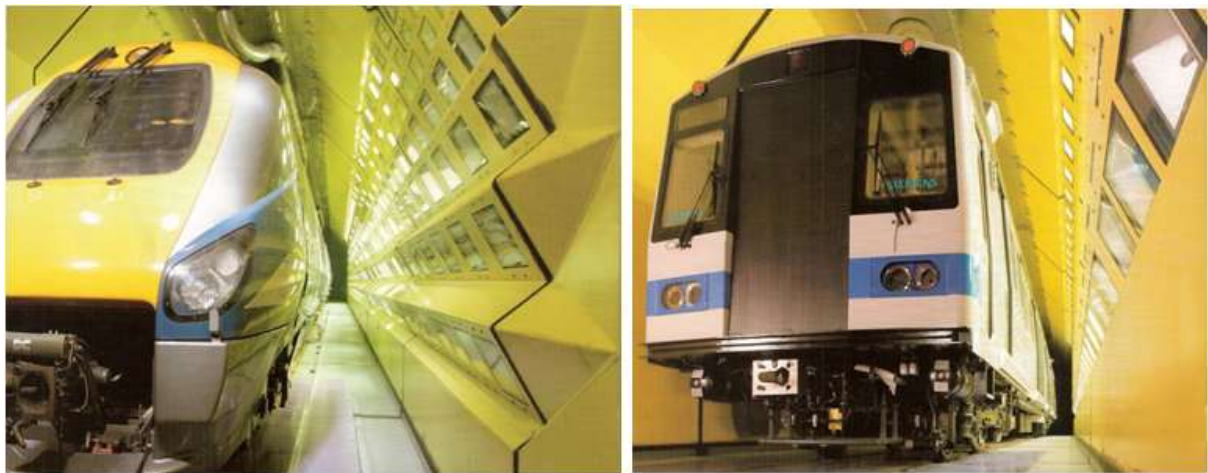
기관명	전문 인력현황 (명)		연구분야
한국철도기술연구원	박사급	3	- 미세먼지 모니터링 및 분석 - 미세먼지 오염원 파악 및 원인규명 - (초)미세먼지제거 원천기술 개발
	석사급	2	
	학사급	3	
	합계	8	
한국과학기술연구원	박사급	4	- 전동차 부착형 제거장치 개발 - 동력 및 무동력 집진장치 개발
	석사급	2	
	학사급	3	
	합계	9	
한국기계연구원	박사급	2	- 터널 환경용 전기집진기 개발
	석사급	1	
	학사급	1	
	합계	4	
한국기계연구원 부설 재료연구소	박사급	1	- 전기 및 자기적 특성을 지닌 기능성 필터 개발
	석사급	1	
	학사급	-	
	합계	2	
경희대학교	박사급	2	- 터널 오염원 규명 및 오염유형에 따른 공기질 관리기술 개발 -미세먼지측정 및 분석
	석사급	0	
	학사급	3	
	합계	5	
성균관대학교	박사급	1	- 터널 내 미세먼지 이동 수치해석
	석사급	1	
	학사급	1	
	합계	3	
가천대학교	박사급	1	- 터널 미세먼지에 대한 위해성 평가 - 저감효과에 따른 경제성평가
	석사급	1	
	학사급	2	
	합계	4	
한양대학교	박사급	1	- 전동차 운행에 따른 유동 특성 분석
	석사급	1	
	학사급	1	
	합계	3	
동양대학교	박사급	1	- 터널 내 입자 발생원인 조사
	석사급	-	
	학사급	1	
	합계	2	
연세대학교	박사급	1	- 터널 내 미세입자 응집기술 개발
	석사급	2	
	학사급	1	
	합계	4	
합계	박사급	17	
	석사급	11	
	학사급	16	
	합계	44	

□ 국내 연구기관에서 아래 표와 같이 본 연구과제 수행에 필요한 연구장비 및 시설을 보유하고 있는 것으로 조사되었음.

<표 2-33> 과제 관련 연구기자재 및 시설 현황

연구기자재 및 연구시설	규격	수량	활용용도	보유기관
SEM/EDX	-	1	입자 분석	한국철도기술연구원
Environmental Chamber(S)		1	환경시험	〃
Environmental Chamber		1	항온·항습 시험	〃
Cone-Calorimeter		1	발열량 분석	〃
Mass Balance	1ug Resolution	1	정밀질량 측정	〃
Air flow generator		1	풍동 측정	〃
풍속계		1	풍동 측정	〃
Particle Remover as Prefilter		1	입자제거 효율, 차압, 유속 등 측정	〃
GCMS Spectrometer		3	휘발성 유기화합물 정성·량 분석	〃
Inductively coupled plasma		1	원소분석	〃
Ion Chromatography		1	이온분석	〃
Smoke Gas Analyzer		1	가스상 물질 정량 분석	〃
Oxygen Index Tester		1	산소농도 평가	〃
Monodisperse Aerosol Generator		1	표준입자 방생을 통한 관련장비 성능 평가	〃
Emission Chamber		1	크기 및 용도에 따른 방출시험 및 인증	〃
대형챔버		1	크기 및 용도에 따른 방출시험 및 인증	〃
Environmental Clean Room		1	표준입자 방생을 통한 관련장비 성능 평가	〃
Solid Aerosol Generator		1	시험분진 공급시스템	〃
High Volume Air Sampler		1	대기 미세먼지 시료 포집	서울시보건환경연구원

연구기자재 및 연구시설	규 격	수 량	활용용도	보유기관
Dust Spectrometer		3	미세먼지 측정	한국철도기술연구원
Fast Mobility Particle Sizer		1	나노입자 측정	〃
Mini Pump		5	VOCs 및 HCHO 포집	〃
CO2 측정기		2	CO2 농도 측정	〃
TVOC Monitor		1	실내 대기오염 농도 측정	〃
Flow Meter		2	풍량 측정	〃
Nano Particle Sampler		1	나노입자 입경별 포집	〃
Mini Volume Air sampler		5	대기 미세먼지 포집	〃
Ultrasonic generator		2	초음파 발생기	〃



<그림 2-56> 실제 기후 환경을 재현할 수 있는 실 대형 환경 챔버

3. 성과물 활용 인프라 - 성과물에 대한 수요처 및 적용가능성 여부 판단

- 지하철 미세먼지의 인공지능 기반 예측을 위해서는 지하철 공기질 정보, 지하철 기초 환경 정보 (승객 수, 운행 지하철 수 등), 외부 공기질 정보, 도로교통 정보, 기상 정보 등의 핵심 데이터 (‘지하철 미세먼지 빅 데이터’ 라 명명) 확보가 필요함.
- 현재 데이터의 수집, 전송을 위한 데이터 네트워킹의 요소기술 개발은 활발히 진행 중에 있음. 그러나 지하철 운행에 따른 진동, 열차풍 발생 등에 의해 혹독한 실내 환경을 가진 지하철에 이를 설치하여 데이터를 수집한 사례는 전무함.
- 학교, 지하상가 등 실내공간에 대한 공기질을 예측함으로써 기계환기 및 자연환기를 제어할 수 있음.
- 본 과업의 성과물은 지하역사에 대한 미세먼지 제거 및 환기설비 제어로써 지하철을 이용하는 이용객의 미세먼지 노출량을 감소시킬 수 있음.
- 해당 성과물은 다양한 역사에 적용가능 할 수 있는 H/W 및 S/W 통합 플랫폼으로 개발하여 해외 지하철 운영기관에서도 적용할 수 있도록 개발한다면 해외 수출이 가능할 것으로 사료됨.

제7절 종합분석

1. 환경 분석

가. 미세먼지의 인체 유해성

- 미세먼지에 노출되는 환경은 날씨, 계절, 지형, 발생원 등 지역적 특성과 개인의 호흡 특성에 의해 달라지나 미세먼지의 크기가 인체에 미치는 유해성은 직접적인 상관관계가 있음. 일반적으로 작은 입자는 호흡기 계통으로의 침투가 더 용이함. 비강내의 섬모는 매우 유용한 먼지 제거 기능을 가지고 있어 PM10 이상의 대부분 먼지를 제거할 수 있음.
- 그러나 10 μ m 이하의 먼지(PM10)는 기도부터 허파파리까지 침투할 수 있다고 알려져 있으며, 약 5~10 μ m 크기의 먼지는 기관기에 침착되며, 1~5 μ m 먼지는 세기관지와 허파파리에 침착되고 심하면 폐까지 침투할 수 있음. 또한 1 μ m 보다 작은 입자는 기체와 비슷한 거동을 하기 때문에 허파파리로 침투하고 더 진행되면 세포조직까지 전이할 수 있음.
- 세계보건기구(WHO)에서는 2014년 한 해에 미세먼지로 인해 기대수명보다 일찍 사망하는 사람이 700만 명에 이른다고 보고하였으며, 국제암연구소(IARC)에서는 2013년 10월 초미세먼지(PM2.5)를 암과 직접적인 상관관계에 있는 발암물질 1군으로 분류함.
- PM2.5를 형성하는 화학적 성분은 인체에 유해한 영향을 미치며, 주요 성분의 유해성은 다음과 같음.

<표 2-34> PM2.5의 화학적 성분 및 독성

화학적 성분	독성
유기탄소 및 원소 탄소	동맥혈관 크기의 변화, 심장박동수의 변화, 지질의 산화 등이 탄소 성분에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있음
황산염 및 질산염(2차 생성물질)	인체 내에 흡수되어 강한 산성을 띄기 때문에 건강에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있음

- 일단 미세먼지가 우리 몸속으로 들어오면 면역을 담당하는 세포가 먼지를 제거하여 우리 몸을 지키도록 작용하게 되는데, 이때 부작용인 염증반응이 나타나게 되며, 기도, 폐, 심혈관, 뇌 등 우리 몸의 각 기관에서 이러한 염증반응이 발생하면 천식, 호흡기, 심혈관계 질환 등이 유발될 수 있음.

□ 미세먼지와 호흡기질환

- 환경부에서 질병관리본부 자료를 정리한 결과에 따르면, 미세먼지(PM10) 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 만성 폐쇄성 폐질환(COPD: Chronic Obstructive Pulmonary Disease)으로 인한 입원율은 2.7%, 사망률은 1.1% 증가함.
- 또한, 덴마크 연구팀은 유럽 9개 나라 30만명의 건강자료와 2095명의 폐암환자를 대상으로 초미세먼지(PM2.5)농도가 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높아질 때마다 폐암 발생위험이 18%씩 증가하고, 미세먼지(PM10)는 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높아질 때마다 폐암발생위험이 22% 증가한다는 내용의 연구논문을 2013년 8월 유럽의 저명한 의학학술지 란셋(Lancet)에 게재함.

□ 미세먼지와 심혈관질환

- 미세먼지는 크기가 매우 작아 폐포를 통해 혈관에 침투하여 염증을 일으킬 수 있는데, 이 과정에서 혈관에 손상을 주어 협심증, 뇌졸중으로 이어질 수 있음. 특히, 심혈관 질환을 앓고 있는 노인은 미세먼지가 쌓이면 산소 교환이 원활하지 못해 병이 악화될 수 있음.
- 질병관리본부에 따르면 미세먼지(PM2.5)에 장기간 노출될 경우 심근경색과 같은 허혈성심질환의 사망률은 30~80% 증가하는 것으로 나타남.

□ 미세먼지와 천식

- 미세먼지는 기도에 염증을 일으켜 천식을 유발하거나 악화시킬 수 있음. 질병관리본부에 따르면 미세먼지에 장기간 노출될 경우 폐 기능을 떨어뜨리고 천식 조절에 부정적 영향을 미치며, 심한 경우에는 천식 발작으로 이어질 수 있음.

나. 대기오염 관련 시장현황 및 전망²⁴⁾

(1) 지역별 전망

- 대기오염 저감장치 시장은 높은 성장률을 보이는 아시아, 태평양 시장으로 중심이 이동함.
- 대기오염 측정장치 시장 성장률은 아시아, 태평양이 높으나, 시장 중심은 북미 지역임.
- 시장규모가 3배 정도 더 크고, 이미 과점상태인 대기오염 측정장비 시장보다 진입이 용이하며, 아시아-태평양 지역이 시장의 중심이 되는 대기오염 저감장치 시장이 우리가 처한 미세 먼지 문제해결의 연장선상에서 접근하기 쉬운 편임.

<표 2-35> 지역별 대기오염 저감장치 시장전망

지역(백만 달러, %)		2015	2016	2021	CAGR('16~21)
대기오염 저감장치	아시아-태평양	4,680	5,070	7,590	8.4
	북미	3,710	4,000	5,760	7.6
	유럽	3,320	3,560	5,090	7.4
	중동	1,060	1,140	1,630	7.4
	남미	490	540	800	8.2
	전체	13,260	14,310	20,870	7.8
대기오염 측정장치	아시아-태평양	930.2	995.8	1,582	9.7
	북미	1,670.2	1,747.2	2,489.8	7.3
	유럽	1,286.6	1,339.1	1,995.2	8.3
	기타	349.7	358.9	478.2	5.96
	전체	4,128.7	4,441.5	6,545.2	8.1

24) BCC Research (2017), Transport Market Research(2016)

(2) 제품별 전망

□ 대기오염 저감장치 시장

- 집진기 시장에 다양한 필터기술 혁신이 적용되고, 고효율 필터가 적용되는 시장을 중심으로 높은 성장률을 나타내며 시장변화를 주도할 것으로 전망됨.
- HEPA 필터 관련 시장은 아시아·태평양 지역을 중심으로 급속하게 성장하며, 2015년 세계 대기오염 저감장치 시장 점유율 40%에서 2021년 43%로 성장할 것으로 예상됨.
- HEPA 필터는 0.3 μ m보다 크기가 작은 오염물질을 제거할 수 없으므로, 활성탄 등과 결합된 다중 필터 관련 기술개발에 대한 전망이 밝음.

□ 대기오염 측정장치 시장

- 시장규모는 가스분석기 및 검출기, 시장성장률은 입자계수기가 가장 높을 것으로 전망됨.

<표 2-36> 대기오염 관련 제품별 시장전망

지역(백만 달러, %)		2015	2016	2021	CAGR('16~21)
대기오염 저감장치	집진기 및 진공장치	5,870	6,370	9,540	8.4
	미스트 제거기	1,220	1,430	2,100	8.0
	화재용 가스배출기	1,040	1,150	1,680	7.9
	집연기	2,450	2,650	3,890	8.0
	차량용 배기장치	2,120	2,300	3,430	8.3
	기타	560	410	230	-10.9
	전체	13,260	14,310	20,870	7.8
대기오염 측정장치	샘플러	651.9	675.8	914.6	6.2
	풍속계	613.5	636.9	876.6	6.6
	가스분석기 및 검출기	1,487.1	1,574.8	2,381.9	8.6
	입자계수기	862.6	913.8	1,392.4	8.8
	기타	603.6	640.1	979.7	8.9
	전체	4,218.8	4,441.5	6,545.2	8.1

(3) 용도별 전망

□ 대기오염 저감장치 시장

- 주거용(8.4%), 차량용(8.2%), 건축용(8.1%) 대기오염 저감장비 시장은 시장 평균성장률인 7.8%를 상회하며, 시장 성장을 주도할 것으로 전망됨.
- 대기오염 저감장비 시장에서의 점유율은 차량용, 건축용, 주거용 순서임.

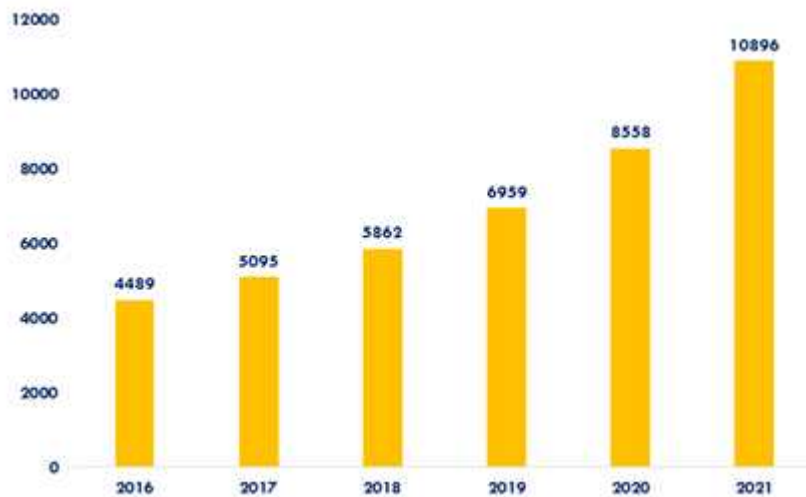
□ 대기오염 측정장치 시장

- 화학공업(10.0%)과 건축업(9.6%)에서 성장률이 높을 것이며, 현재 시장점유율이 가장 높은 발전 부문의 성장은 둔화되나 가장 높은 점유 수준은 유지될 전망이다.

(4) 미세먼지 제거·제어 관련 시장

□ 미세먼지 제어시스템

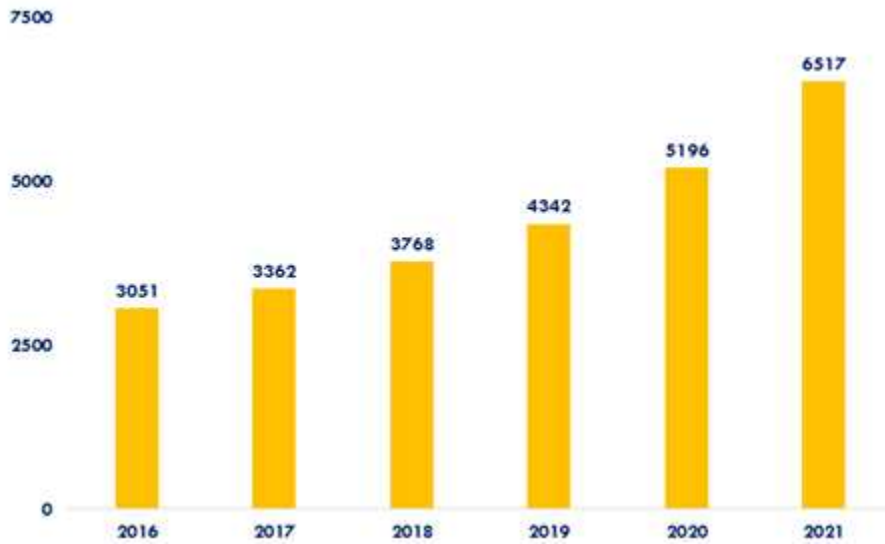
- 미세먼지 제어시스템 시장은 19.41%의 연평균성장률을 보이며, 2016년 44억 9,800만 USD 에서 2021년까지 108억 9,600만 USD 규모로 성장할 것으로 전망됨. 이와 같은 성장을 이끄는 주요 요인은 미세먼지 위해성에 대한 의식 증가 및 각국 정부규제에 따른 것으로 판단됨.



<그림 2-57> 미세먼지 제어시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)

□ 미세먼지 정화시스템

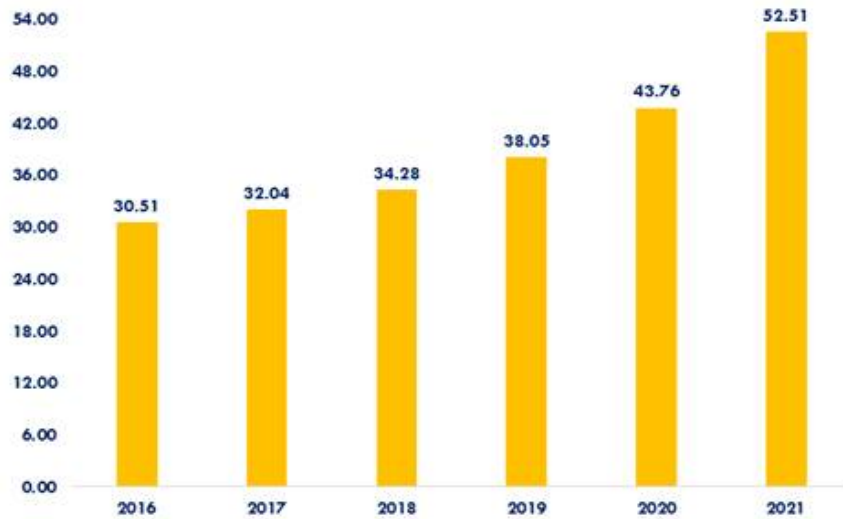
- 미세먼지 정화시스템 시장은 16.39%의 연평균성장률을 보이며 2016년 30억5,100만 USD에서 2021년까지 65억1,700만 USD로 성장할 것으로 전망됨.



<그림 2-58> 미세먼지 정화시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)

□ 미세먼지 예측 및 자동정화시스템

- 미세먼지 예측 및 자동정화시스템 시장은 11.47%의 연평균성장률을 보이며 2016년 3,051만 USD에서 2021년 5,251만 USD로 성장할 것으로 전망됨.



<그림 2-59> 미세먼지 예측 및 자동정화시스템 연간 글로벌 시장규모

□ 열차 미세먼지 정화시스템

- 열차 미세먼지 정화시스템 시장은 4.15%의 연평균성장률을 보이며 2016년 3,051만 USD에서 2021년까지 3,739만 USD로 성장할 것으로 전망됨. 이 부문 성장전망치가 낮은 이유는 미세먼지 모니터링 시스템이 아직 철도산업에 널리 보급되지 않았기 때문인 것으로 판단됨.



<그림 2-60> 열차 미세먼지 정화시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)

□ 열차 미세먼지 예측 및 자동정화시스템

- 유럽지역이 이 시장에서 가장 비중이 큰 것으로 추정됨. 이와 같은 전망의 주요 근거는 유럽지역이 선진적 철도시스템을 보유하고 있으며, 공기오염문제 해결을 위해 의식적인 노력을 기울이고 있기 때문임. 아시아태평양 지역은 4.4%의 가장 빠른 연평균 성장률을 보이고 있음.

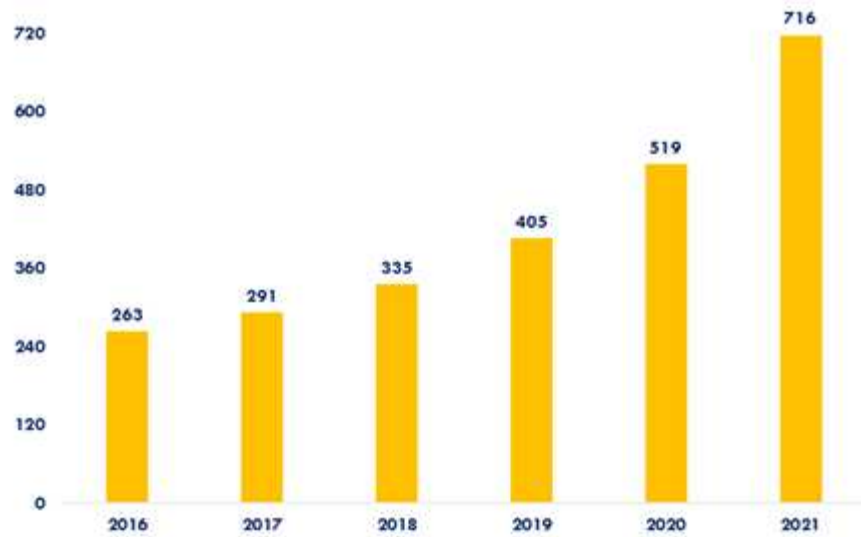


<그림 2-61> 열차 미세먼지 예측 및 자동정화시스템 연간 지역별 시장규모 (단위: 백만 달러)

(5) 미세먼지 측정 관련 시장

□ 미세먼지 모니터링 시스템

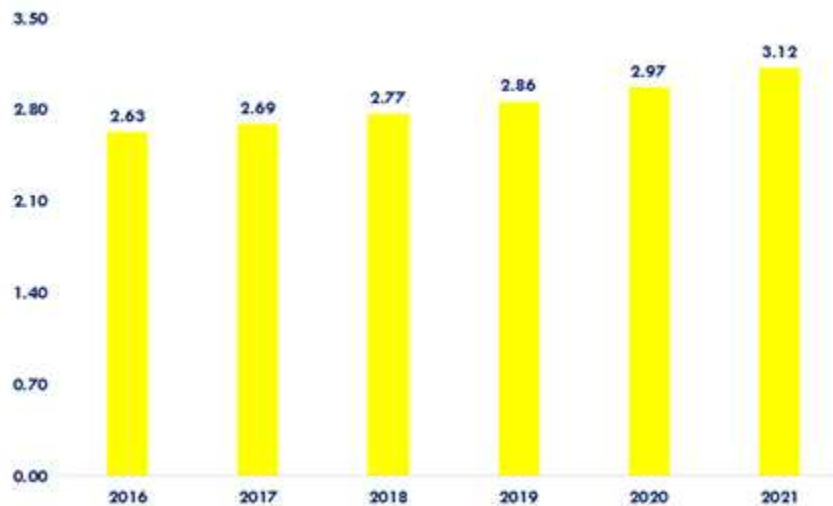
- 미세먼지 모니터링 시스템 시장은 22.18%의 연평균성장률을 보이며 2016년 2억 6,300만 USD에서 2021년까지 7억 1,600만 USD로 성장할 것으로 전망됨.



<그림 2-62> 미세먼지 모니터링 시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)

□ 열차 미세먼지 모니터링 시스템

- 열차 미세먼지 모니터링 시스템 시장은 3.52%의 연평균성장률을 보이며 2016년 262만 USD에서 2021년까지 312만 USD로 성장할 것으로 전망됨.



<그림 2-63> 열차 미세먼지 모니터링 시스템 연간 글로벌 시장규모 (단위: 백만 달러)

다. 주요 기업 및 제품개발 동향

- 소득수준이 높은 선진국을 중심으로 소비자들이 쾌적한 생활환경에 대한 요구가 증가하면서 벤처기업을 중심으로 개인 휴대용 공기질 측정 제품의 시장출시가 증가하는 추세임.
- 먼지 센서의 제품 경쟁력은 내구성, 동작 안정성 및 가격에 의해 결정되는데, 다른 환경 센서에 비해 상대적으로 동작 성능 사양은 단순한 편임.

<표 2-37> 먼지 센서의 주요 제품 및 성능

제조사(국적)	Sharp (JP)	Shinyei Technology (JP)	Amphenol Advanced Sensors (US)
모델명	GP2Y1010AUOF	PPD42NJ/PPD60PV	SM-PWM-01A
제품사진			
크기	46 × 30 × 18mm ³	59 × 45 × 22mm ³ (PPD42NJ) 88 × 60 × 22mm ³ (PPD60PV)	59 × 45 × 18mm ³
공급전압	5V	5V	5V
동작온도	-10~65℃	0~45℃	-10~60℃
소모전류	최대 20mA@5V	90mA(PPD42NJ) 최대 150mA(PPD60PV)	100mA
측정먼지	PM1.0, PM2.5, PM10	PM0.5(PPD60PV) PM1.0, PM2.5(PPD42NJ)	PM1.0, PM2.5, PM10
민감도	0.5V/(0.1mg/m ³)	-	-
인터페이스	디지털	디지털	아날로그(PWM)

(1) 해외

□ AirVisual

- AirVisual이 개발한 공기오염도 모니터인 AirVisual Node는 최신 레이저 기술을 사용하여 대기 중 PM2.5 수준의 미세먼지 입자를 측정함.
- 이 제품은 저비용 소비자용 기기로서, 자동집계 기능은 즉각적으로 온도, 습도, 이상치(outlier)와 같은 요소를 측정함.



<그림 2-64> AirVisual이 개발한 미세먼지 측정 어플리케이션

□ Oizom

- 사물인터넷 기술 기반 공기정화 모니터링 시스템인 Polludrone을 개발한 기업으로, Polludrone은 미세먼지 입자, 유해가스, 주변 소음, 악취, 무선전파와 같은 다양한 변수들을 측정함.
- 또한, Polludrone이 수집한 데이터는 클라우드 기반 소프트웨어인 Oizom Terminal에 저장되며, 실시간 공기오염도 데이터 모델링 및 분석, 자동 리포팅, 스마트 공지, 실시간 공기오염도 매핑, 예측, 오염원 검색 등의 서비스를 제공함.



<그림 2-65> Oizom이 개발한 실내 오염물질 측정기

□ Honeywell

- Honeywell HPM Series Particle Sensor는 레이저 기반 센서로서, 빛의 산란효과를 이용하여 $0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위내의 입자수를 탐지하고 집계함.



<그림 2-66> Honeywell이 개발한 미세먼지 레이저 센서

□ Hitachi

- Amphenol 스마트 센서는 대기 중 미세먼지, 실내 공기오염도 탐지 및 모니터링을 위해 고안되었으며, 이 센서는 IR 차광센서의 축소판으로서, 대형 센서 수준의 정확성과 신뢰성을 갖고 있음. 특히, 특수 알고리즘을 사용하여 소규모 입자와 대규모 입자간 차이를 구별하고 이전에 감지하지 못했던 공기오염도를 정확히 반영함.



<그림 2-67> Hitachi에서 개발한 실내 공기오염도 모니터링 센서

□ SENSIRION

- 곧 출시될 Sensirion의 PM2.5 센서는 그 정확성과 신뢰성으로 PM2.5와 PM10 공기오염도 측정센서의 새로운 기준으로 등장할 것으로 전망됨.



<그림 2-68> SENSIRION의 PM2.5 측정 센서 (출시예정)

□ SHARP

- PM2.5를 ZERO mcg/m³에 가까운 수준으로 줄일 수 있는 HEPA 필터가 장착되어 있으며, 플라즈마 클러스터 이온 (Plasma-cluster Ion) 기술을 기반으로 악취와 감염위험을 제거할 수 있음.
- 또한, 시간당 480m³/h의 청정공기 도달율(CADR: Clean Air Delivery Rate)을 제공하고, 공기오염도 모니터링 센서와 자동 작동 기능이 탑재되어 있음.

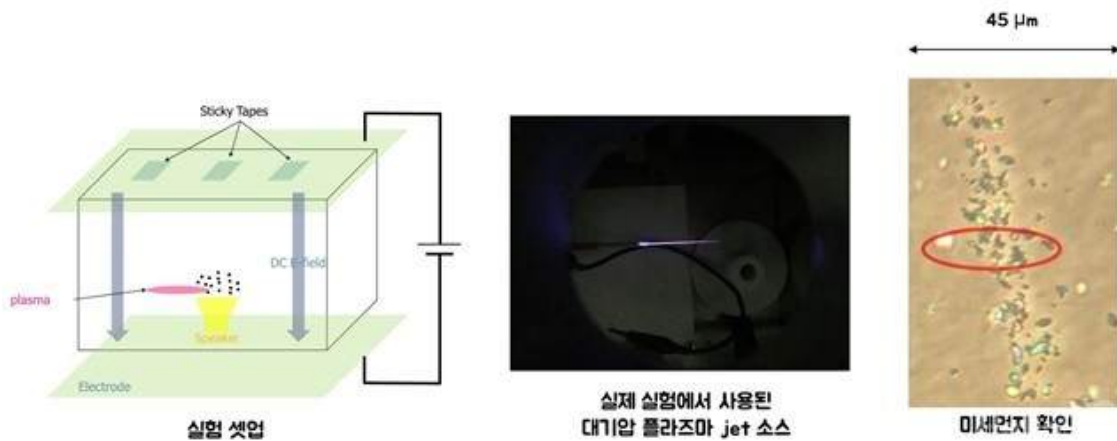


<그림 2-69> 공기오염 모니터링 센서를 탑재한 Sharp의 공기청정기

(2) 국내

□ 한국과학기술원(KAIST)

- 장홍영 물리학과 교수 연구팀이 '대기압 플라즈마를 통한 미세먼지 제거' 연구를 통해 저온 플라즈마 실험실에서 작은 규모 실험을 통해 플라즈마로 미세먼지가 제어되는 것을 확인함.
- 장홍영 교수 연구팀은 우리나라 예비전력의 1% 에너지를 사용해 서울 규모 미세먼지를 한번에 집진(기체 중 부유 입자를 기체에서 분리·제거하는 조작)할 수 있다는 이론을 제시함.



<그림 2-70> KAIST 장홍영 교수 연구팀이 개발한 미세먼지 제거기술

□ 한국기계연구원

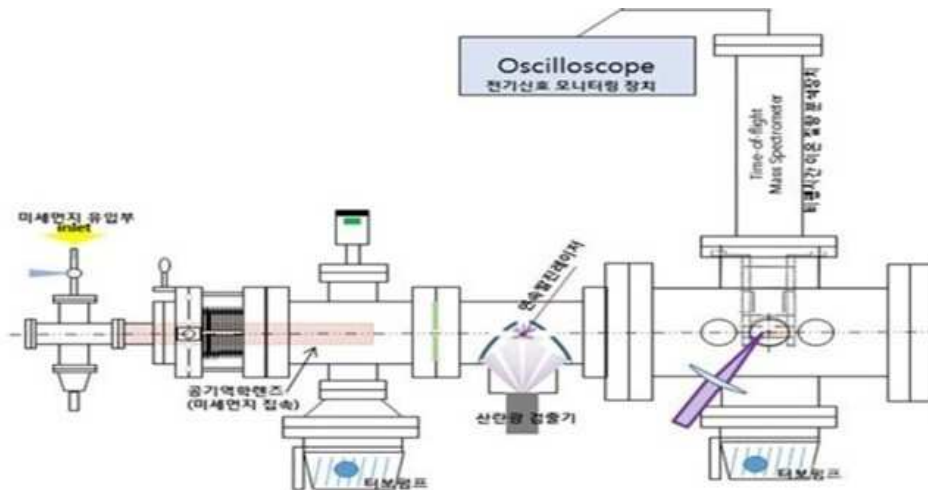
- 한국기계연구원의 환경시스템연구본부 플라즈마연구실 연구팀은 소형차량·대형차량 매연에서 발생하는 미세먼지를 태우는 '플라즈마 버너' 기술을 개발함.
- 연구팀이 개발한 플라즈마 버너 크기는 일반 연소기 10분의 1 크기에 불과하여, 지금은 대형선박이나 발전소는 물론 소형 승용차에도 적용될 수 정도로 활용 폭을 확대할 수 있을 것으로 기대됨.



<그림 2-71> 한국기계연구원 연구팀이 개발한 미세먼지 플라즈마 버너 작동원리

□ 광주과학기술원(GIST)

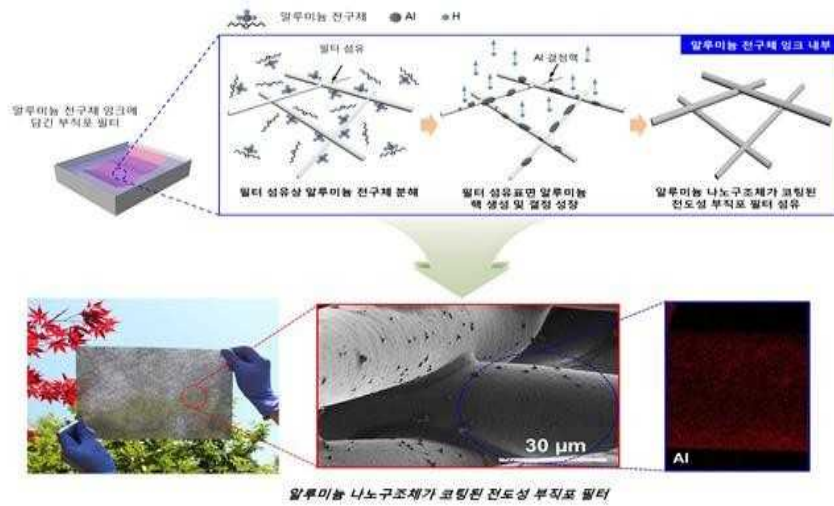
- 박기홍 지구환경공학부 교수 연구팀이 실시간으로 초미세먼지 성분을 측정 시스템을 개발한 바 있으며, 레이저 기술, 에어로졸 제어기술, 이온질량분석 기술 등을 융합해 단일입자 구성 성분을 실시간으로 파악하는 '에어로졸 질량분석시스템'을 개발함.



<그림 2-72> GIST에서 개발한 초미세먼지 구성성분 실시간 측정 장치 모식도

□ 재료연구소

- 분말·세라믹연구본부 연구팀은 기존 미세먼지 필터보다 10배 높은 효율의 미세먼지 필터를 개발함.
- 연구팀은 일반 부직포 필터에 알루미늄 나노 구조체를 코팅할 수 있는 기술을 개발했다. 이를 기반으로 미세먼지를 높은 효율로 제거할 수 있는 전도성 섬유 필터 소재를 제조함.



<그림 2-73> 재료연구소에서 개발한 전도성 부직포 필터 소재 제작 개요도

라. 미세먼지 관련 규제현황

(1) 국내 정책 현황

- 제2차 수도권 대기환경관리 기본계획('15-' 24)수립 (환경부, '13.12)
 - PM2.5, O₃를 관리 대상 오염물질에 신설하고, 정책방향을 인체 위해성 중심으로 전환함.
 - 1차 관리 대상 물질(PM10, NO_x, SO_x, VOCs)중 PM10, NO₂의 대기개선 목표※ 강화함.
※대기개선 목표도 : PM10 40 → 30 μm^3 . NO₂ 22 → 21 ppb
- 미세먼지 국가전략프로젝트 선정 (미래부, '16.09)
 - 「과학기술기반 미세먼지 대응전략」 발표 및 범부처 단일사업단을 구축하여 구체적인 세부 이행계획 수립함 ('17년~' 23년).
 - 미세먼지 대응 중점기술 개발, 기술사업화 및 글로벌 협력, 정부R&D중장기 투자전략의 3대 부문으로 구성함.
- '18년도 정부연구개발 9대 중점투자방향 발표 (미래부, ' 17.02)
 - 미세먼지, 탄소자원화 분야 등을 포함하여 과학기술을 기반으로 기존 기술의 패키지화, 공백기술 확보 및 기술실증 등 가시적 성과 창출을 위한 전략적 지원함.
 - (초)미세먼지 생성 원인 규명과 핵심 대응기술 조기 확보 등 국민 삶의 질 향상을 위해 중점 지원함.

(2) 권고 기준

- 우리나라 미세먼지 농도는 세계보건기구(WHO) 권고 수준이나 주요국에 비해 높은 수준임. 2015년 기준 서울 미세먼지(PM10) 농도는 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 WHO 권고 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 도쿄 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 런던 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높음.

(3) 배출 규제 기준

- 「대기환경보전법」에 따른 대기오염물질의 배출허용기준(대기환경보전법 시행규칙)을 살펴보면 '먼지'에 대한 배출허용기준은 <표 2-35>와 같음.
- 국내는 시설용량별 '먼지'에 대한 배출허용기준은 있으나, PM10 또는 PM2.5에 대한 배출

기준이 없는 상태임.

□ 이에 따라 정부는 지난해 4월 미세먼지 컨트롤 타워인 미세먼지대책 특별기구를 대통령 직속으로 신설하고, 5년 내 미세먼지 배출량을 30% 감축하겠다고 발표하였으며, 이어 9월에는 구체적으로 산업, 발전, 수송, 생활 4개 부문에 대한 ‘미세먼지 대책’을 내놓음.

(초미세먼지 기준 산업부문 목표 감축량 51%, 수송 28%, 발전 12%, 생활 9% 순)

<표 2-38> 대기환경보전법의 시설별 먼지 배출허용기준

시설구분 1	시설구분 2	시설구분 3	배출허용기준(mg/Sm ³)
일반보일러	액체연료 사용시설 증발량 ≥150톤/hr	2001.6.30. 이전 설치	25(4) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	20(4) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	10(4) 이하
	액체연료 사용시설 20≤증발량<150톤/hr	2007.1.31. 이전 설치	30(4) 이하
		2007.2.1. 이후 설치	30(4) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20(4) 이하
	액체연료 사용시설 5≤증발량<20톤/hr	2014.12.31. 이전 설치	40(4) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20(4) 이하
	액체연료 사용시설 증발량<5톤/hr	2014.12.31. 이전 설치	50(4) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20(4) 이하
	고체연료 사용시설 증발량 ≥20톤/hr	2014.12.31. 이전 설치	20(6) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	10(6) 이하
	고체연료 사용시설 5≤증발량<20톤/hr	2014.12.31. 이전 설치	40(6) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20(6) 이하
고체연료 사용시설 증발량 <5톤/hr	2014.12.31. 이전 설치	50(6) 이하	
	2015.1.1. 이후 설치	20(6) 이하	
발전시설	액체연료 사용시설 발전용 내연기관	2001.6.30. 이전 설치	30(15) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	30(15) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20(15) 이하
	액체연료 사용시설 설비용량 ≥100MW	2001.6.30. 이전 설치	20(4) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	20(4) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	10(4) 이하
	액체연료 사용시설 설비용량 <100MW	2001.6.30. 이전 설치	30(4) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	20(4) 이하

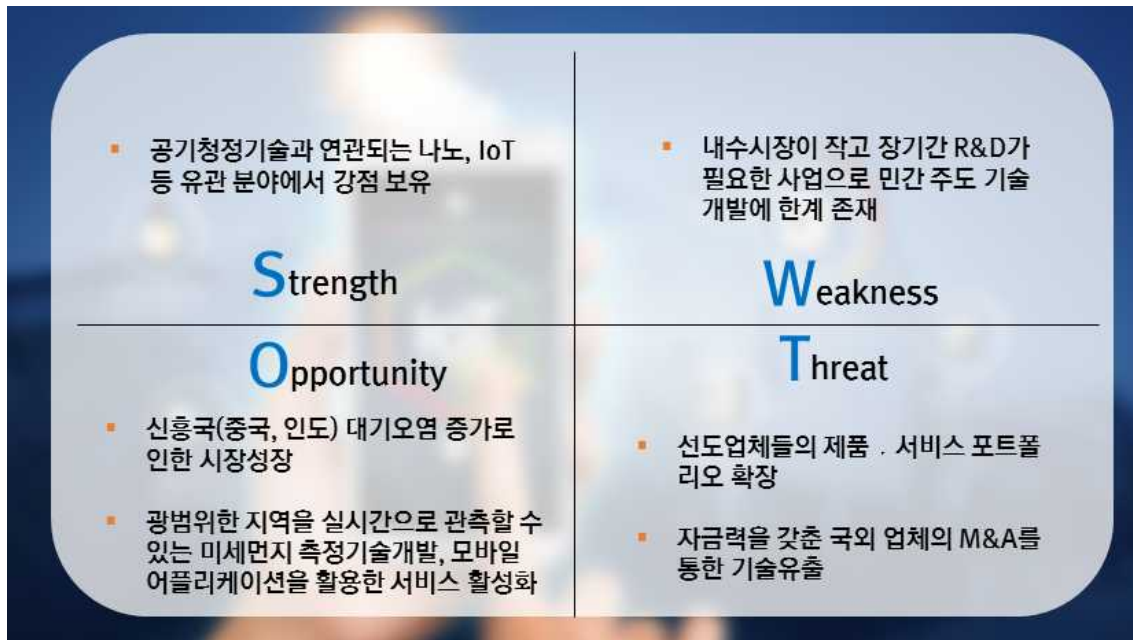
시설구분 1	시설구분 2	시설구분 3	배출허용기준(mg/Sm ³)
	고체연료 사용시설 설비용량 ≥100MW	2015.1.1. 이후 설치	20(4) 이하
		2001.6.30. 이전 설치	25(6) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	20(6) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	10(6) 이하
	고체연료 사용시설 설비용량 <100MW	2001.6.30. 이전 설치	40(6) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	30(6) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	30(6) 이하
	기체연료 사용시설 발전용 내연기관	2001.6.30. 이전 설치	15(15) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	15(15) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	10(15) 이하
	기체연료 사용시설 열병합 발전시설 중 카본블랙 제조시설의 폐가스 재이용시설	2001.6.30. 이전 설치	35(6) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	35(6) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	15(6) 이하
	기체연료 사용시설 그 밖의 발전시설	2001.6.30. 이전 설치	40(4) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	40(4) 이하
2015.1.1. 이후 설치		10(4) 이하	
폐수· 폐기물· 폐가스 소각처리시설 (소각보일러 포함)	소각용량 ≥2톤/h	2014.12.31. 이전 설치	20(12) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	10(12) 이하
	200kg≤소각용량<2톤 /h	2014.12.31. 이전 설치	30(12) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20(12) 이하
	소각용량<200kg/h	2014.12.31. 이전 설치	40(12) 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20(12) 이하
1차금속 제조시설· 금속가 공제품· 기계· 기 기· 운송장비· 가 구 제조시설의 용융· 용해시설 또는 열처리시설	전기아크로 (유도로 포함)	1998.12.31. 이전 설치	20 이하
		1999.1.1 이후 설치	10 이하
		2015.1.1. 이후 설치	10 이하
	용선로, 용광로, 용선 예비처리시설, 전로, 정련로, 제선로, 용융로, 용해로, 도가니로 및 전해로	2007.1.31. 이전 설치	40 이하
		2007.2.1. 이후 설치	20 이하
		2015.1.1. 이후 설치	10 이하
	소결로	2014.12.31. 이전 설치	30(15) 이하

시설구분 1	시설구분 2	시설구분 3	배출허용기준(mg/Sm ³)
		2015.1.1. 이후 설치	10(15) 이하
	원료장입, 소결광 후처리시설, 배소로, 환형로	2014.12.31. 이전 설치	30 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20 이하
	가열로, 열처리로, 소둔로, 건조로, 열풍로	2014.12.31. 이전 설치	30(11) 이하
2015.1.1. 이후 설치		20(11) 이하	
	주물사처리시설, 탈사시설 및 탈청시설	2014.12.31. 이전 설치	50 이하
		2015.1.1. 이후 설치	20 이하
화학비료 및 질소화합물 제조시설 중 소성시설, 건조시설	-	-	40(10) 이하
코크스 제조시설 및 저장시설	석탄코크스 제조시설 코크스로	-	20(7) 이하
	석탄코크스 제조시설 인출시설, 건식냉각시설, 저장시설	-	20 이하
	석유코크스 제조시설 연소시설	-	30(4) 이하
	석유코크스 제조시설 인출시설, 건식냉각시설, 저장시설	-	20 이하
아스콘(아스팔트 포함) 제조시설 중 가열·건조·선별 ·혼합시설	-	-	40(10) 이하
석유 정제품 제조시설, 기초유기화합물 제조시설	황 회수시설 (석탄가스화 시설포함)	-	30(4) 이하
	가열시설 및 축매재생시설	-	30(4) 이하
	중질유 분해시설의 일산화탄소	-	50(12) 이하

시설구분 1	시설구분 2	시설구분 3	배출허용기준(mg/Sm ³)
	소각보일러		
석탄가스화 연료 제조시설	건조시설 및 분쇄시설	-	40(8) 이하
	연소시설	-	20(7) 이하
	황 회수시설	-	30(4) 이하
	황산 제조시설	-	20(8) 이하
유리 및 유리제품 제조시설(재생용 원료가공시설을 포함)의 용융·용해시설	연속식 탱크로 또는 전기로	-	50(13) 이하
	그 밖의 배출시설	-	50 이하
도자기·요업제품 제조시설 중 용융·용해시설, 소성시설 및 냉각시설	-	-	70(13) 이하
시멘트·석회·플 라스터 및 그 제품 제조시설	소성시설(예열시설을 포함한다), 용융·용해시설, 건조시설 냉각시설	2001.6.30. 이전 설치	30(13) 이하
		2001.7.1. 이후 설치	30(13) 이하
	(직접 배출시설만 해당)	-	40 이하
	슬래그 시멘트 열풍 건조시설	-	30 이하
그 밖의 비금속광물제품 제조시설의 석면 및 암면제품제조 가공시설	방사시설, 집면시설 및 탈판시설	-	30 이하
	그 밖의 배출시설	-	50 이하
도장시설(분무·분 체·침지도장시설, 도장의 경우 동력을 이용한 연마시설을 포함) 및 부속 건조시설	-	-	50 이하
반도체 및 기타 전자부품	-	-	50 이하

시설구분 1	시설구분 2	시설구분 3	배출허용기준(mg/Sm ³)
제조시설 중 표면가공 및 처리시설(증착시설 , 식각시설을 포함)			
연마·연삭시설, 고체입자상물질 포장·저장·혼합 시설, 탈사시설 및 탈청시설	-	-	50 이하
선별시설 및 분쇄시설	-	-	50 이하
고형연료제품 제조·사용시설 및 관련시설	고형연료제품 사용량 ≥2톤/hr	-	20(12) 이하
	200kg/hr≤고형연료 제품 사용량<2톤/hr	-	30(12) 이하
	일반 고형연료제품(SRF) 제조시설 중 생활폐기물 건조·가열시설	-	50(15) 이하
	바이오매스 및 목재펠릿 제조시설 중 건조·가열시설	-	50 이하
	바이오매스 및 목재펠릿 사용시설	-	50(12) 이하
	금속 표면처리시설	-	-
화장로시설	-	2009.12.31. 이전 설치	70(12) 이하
	-	2010.1.1. 이후 설치	20(12) 이하
그 밖의 배출시설	-	-	50 이하

2. SWOT 분석



〈그림 2-74〉 인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 관리시스템의 SWOT 분석

가. 강점

□ 공기청정기술과 연관되는 나노, IoT 등 유관 분야에서 강점 보유

- 우리나라 사물인터넷(IoT) 기술 수준은 미국 대비 82.9% 수준으로, 최고 기술국가인 미국(100%)과 일본(84.5%)보다 낮으나, 높은 성장 잠재력을 바탕으로 앞으로의 정보통신 산업 발전을 주도하는 한편 디지털화, 초연결, 빅데이터, 지능화 기반을 형성해 4차 산업혁명 시대를 열어 갈 핵심 요소임.
- 초미세 먼지까지 감지하는 첨단 센서와 사물인터넷(IoT)을 탑재한 스마트 기능을 내세운 공기청정기 개발하는 등 미세먼지 제어·저감 기술 수준 및 시장점유율이 상승할 것으로 기대됨.

나. 약점

- 내수시장이 작고 장기간 R&D가 필요한 사업으로 민간 주도 기술개발에 한계 존재
 - 국내 환경전문 업체의 규모는 영세하거나 제품·서비스 제공 범위가 좁아 시장에서 의미 있는 기술을 맺기 어려움.

다. 기회

- 신흥국(중국, 인도) 대기오염 증가로 인한 시장성장
 - 인도 뉴델리에서는 5개 주요 교통 혼잡 지역에 바람을 활용한 정화장치, 안개분수, 가상굴뚝으로 구성된 대기정화 시스템을 시범적으로 설치함.
 - 중국 베이징에서는 7미터짜리 공기정화탑을 설치하여, 시간당 3만㎡의 지역에 있는 PM2.5와 PM10의 75%를 제거함.
 - 다목적 기능이 포함된 대기정화장치, 사물인터넷 기술이 접목된 대기정화장치, 양모(wool)를 활용한 새로운 필터기술, 대기질 개선 기능을 탑재한 자전거, 식물의 생육기능을 이용한 공기청정기, 웨어러블 기기와 접목하여 이동성을 향상시킨 공기정화기 등 다양한 신제품 아이디어들이 제안되는 추세임.

- 광범위한 지역을 실시간으로 관측할 수 있는 미세먼지 측정기술개발, 모바일 어플리케이션을 활용한 서비스 활성화
 - 즉시 사용할 수 있도록 기술적으로 진보된 대기질 관측장비 선호함.
 - 적용 범위가 넓은 원격 센서, 광대역 센서와 같은 신기술이 대기질 관측에 도입함.
 - 대기질을 측정하는 모바일 어플리케이션은 시장 성장 기회를 제공함.

라. 위기

□ 선도업체들의 제품·서비스 포트폴리오 확장

- 선도업체들(DAIKIN)은 시장의 주도권을 확보하기 위해 다양한 제품 및 서비스 포트폴리오를 구축하려 노력하고 있으나, 우리나라 대기업은 특정 분야의 제품군에만 국한될 뿐 종합적으로 관련된 제품 및 서비스를 제공하고 있지 않음.
- 국내 기술력이 시장에서 결실을 맺기 위해서는 선도 업체와의 경쟁에서 생존할 수 있어야 하며, 이를 위해서 시장경쟁력을 갖춘 국내 대형 종합 환경 서비스 업체의 존재는 필수적임.

□ 자금력을 갖춘 국외 업체의 M&A를 통한 기술유출

- 중국과의 기술격차가 축소되고 있는 추세로 국내 중소기업장이 자금력을 갖춘 중국기업으로 M&A 될 가능성을 배제하기 어려운 상황임.

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

- 본 연구개발을 통해 쾌적한 지하철 공기질 유지 및 지하철 이용자의 (초)미세먼지 노출을 50% 저감함으로써 국민 생활건강을 확보하고자 함.
- 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발, (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발 등을 연구목표로 함.

비전	지하철 이용 승객의 초미세먼지 노출 최소화로 국민 건강 보호
목표	<p>지하철 이용 승객의 (초)미세먼지 노출 50% 저감</p> <ul style="list-style-type: none"> - 승객 이동 경로*의 (초)미세먼지 농도 저감 (*대합실, 승강장, 객차, 환승 통로 등 승객이 머무르는 지하철 공간) - 호흡을 통한 승객의 (초)미세먼지 흡입 저감
세부목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하철 (초)미세먼지 예측 및 사전예방대응용 공조 제어 <ul style="list-style-type: none"> - 초미세먼지 예측신뢰도 90% 이상 달성 - 초미세먼지 사전 예측 및 조기 제어 1시간 ○ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 <ul style="list-style-type: none"> - 70km/h 이상 운전속도에서 초미세먼지 50% 이상 저감 기술개발 - 저에너지 집진기술의 에너지 효율 50% 이상 향상 - 집진효율 50% 이상의 비여과식 초미세먼지 제거기술 개발 - 초미세먼지 제거효율 50% 이상의 공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발
핵심 연구개발 과제	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출저감 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 인공지능 예측기술 - 재실자 기반의 사전예방대응용 공조 환기 제어기술 - (초)미세먼지 전구체 저감기술 - (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 ○ (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 응집, 조대화 기술 - 공조 환기시스템 구조별 최적 리트로핏 기술 - 공조 환기시스템 리트로핏 모듈의 현장 적용.구축 기술

<그림 3-1> 인공지능 기반 (초)미세먼지 노출저감 기술개발 연구의 목표 및 핵심 과제



<그림 3-2> 핵심 연구개발 기술의 지하철 (초)미세먼지 저감 효과

<표 3-1> 인공지능을 이용한 지하철 (초)미세먼지 노출저감 기술개발의 연구비 구성(안)

[단위: 백만원]

연구비: (총 연구비) 20,000백만원 (정부 15,000백만원 / 민간 5,000백만원)						
구분	총 연구비	'19	'20	'21	'22	'23
정부투자	15,000	1,000	3,500	4,100	4,000	2,400
민간투자 (추정치)	5,000	333	1,311	1,511	1,511	667

제2절 핵심요소기술 선정

1. 후보기술 도출

□ 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시스템 개발을 위한 핵심요소기술을 선정하기 위해 미세먼지 및 철도 관련 분야 전문가를 대상으로 기술수요 및 기술예측을 수행함. 본 기술수요 및 기술예측 조사는 자유 양식, 서술형으로 실시됨.

□ 기술수요 및 기술예측 조사를 통해 제안된 후보기술은 아래 표와 같음 (기술수요조사서 원본은 [붙임 1. 철도 환경 및 미세먼지 분야 전문가의 기술 수요조사서] (188 페이지) 참조).

<표 3-2> 전문가 기술수요 및 기술예측 조사를 통해 제안된 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시스템 관련 후보기술

1. 지하공간 미세먼지의 실시간 측정 및 데이터 수집 기술
2. 인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지의 예측, 제어 기술
3. 미세먼지의 실시간 정보 제공을 통해 승객의 경로 선택을 돕는 네비게이션 기술
4. 공조환기장치(데미스터)의 미세먼지 사전 제거 기술
5. 도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지를 제거하는 기술
6. 도시철도 운행 속도에서 미세먼지를 흡진하는 기술
7. 미세먼지, 세균 및 바이러스의 동시 측정 기술
8. 지하역사의 위치별, 시간별 맞춤형 공기질 관리 기술
9. 환기 공기의 오염물질 제거 기술
10. 지하철 재해 발생 시 핸드폰 big data를 활용한 승객 정보(성별, 주소, 나이) 파악 기술
11. 지하철 재해 발생 시 승객의 대피경로 네비게이션 기술
12. 공기정화설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술
13. 지하공간 미세먼지의 인체 위해성 모니터링 기술
14. 공기정화설비의 자율운전 기술
15. 미세먼지 실시간 측정 데이터의 전송 기술
16. 전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술
17. 저에너지 소모형 필터 개발 기술
18. 인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기술
19. 초미세먼지 응축 및 제거 기술
20. 초미세먼지 전구체 저감기술

21. 미세먼지 실시간 제거를 위한 차량 부착형 집진 모듈 개발 기술
22. 도시철도용 필터 소재 개발 기술
23. 전동차 내부(에어컨, 의자 밑 등)에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술
24. 광촉매를 이용한 에너지 저감형 무필터 미세먼지 저감 기술
25. 도시철도 공기 내 세균, 바이러스 무해화 기술
26. 승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예측 기술
27. 예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기술
28. 미세먼지 예측 모델과 연계한 인공지능형 공조장치 제어 기술
29. 도심 미세먼지 주의보 발령 시 승강장, 대합실의 양압 조성 기술
30. 센서를 활용한 (초)미세먼지 모니터링 기술
31. 지하철 내·외부 환경변수 측정 기술
32. 지하철 내·외부 측정변수의 데이터 플랫폼 구축 기술
33. 공기질 측정 센서와 연동된 환기시스템 및 공기정화장치 운전 제어 기술
34. 도시철도 시간별, 호선별 공기 오염도 예측 및 승객 예보 기술
35. 실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 열차지연도 등) 기반의 승객 최적 경로 알림 기술

□ 기술수요 및 기술예측 조사를 통해 제안된 후보기술을 분류별로 매칭한 결과는 아래 표와 같음.

<표 3-3> 전문가 기술수요 및 기술예측 조사를 통해 제안된 후보기술의 분류별 매칭

중분류	소분류	도시철도 운영사의 수요기술
지하철 공기질 모니터링 기술	센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술
		미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술
		지하철 내·외부 환경변수 측정 기술
	예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술
		승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예측 기술
		예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기 술
		시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술
	승객의 노출 위해성 모니터링 기술	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술
		인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기 술

		지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등)에 따른 노출 예측 기술	
		미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노출 최소화 경로 안내 기술	
		실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술	
	모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	
		지하철 내·외부 환경변수의 데이터 플랫폼 구축 기술	
지하철 (초)미세먼지 제거기술	기존 도시철도 설비 활용 기술	데미스터의 미세먼지 사전 제거 기술	
		공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기술	
		공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	
		공조 환기설비의 자율운전 기술	
		미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환기설비 제어 기술	
		공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설비 자율운전 기술	
	터널 (초)미세먼지 저감 기술	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술	
		미세먼지 고속 흡진 기술	
		초미세먼지 전구체 저감기술	
		미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진 모듈 개발 기술	
		초미세먼지 응축 제거 기술	
		광촉매를 이용한 에너지 저감형 무필터 미세먼지 저감 기술	
	객실 (초)미세먼지 저감 기술	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	
		전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	
		세균, 바이러스 무해화 기술	
	대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	도심 미세먼지 주의보 발령 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술	
		역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	
	필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	저에너지 소모형 필터 개발 기술	
		도시철도용 필터 소재 개발 기술	
	지하철 환경관리 기술	재해발생 시 승객 위해성 저감 기술	재해발생 실시간 알림 기술
			승객 대피경로 네비게이션 기술
휴대폰 big data를 활용한 승객 정보 파악 기술			

2. 우선순위 도출

- 후보기술로부터 우선순위를 도출하기 위하여 1) 우선순위 조사항목 도출 → 2) 중요도 전문가 설문조사 → 3) 조사결과 분석을 통한 연구 분야별 우선순위 도출 순으로 진행함.
- (우선순위 조사항목 도출) 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시스템 후보기술의 우선순위 조사항목은 정책 적합성, 실현 가능성, 사업화 가능성, 파급성으로 구성됨.

<표 3-4> 지하철 (초)미세먼지 노출 저감 후보기술의 우선순위 평가항목

항목	정의
정책 적합성	국가의 중장기 R&D 전략에 부합하고 사회적, 정책적, 기술적 변화에 의해 수요가 증가할 가능성에 대한 평가
실현 가능성	현재의 기술수준, 과제가 추구하는 목표 등의 국내·외 기술수준을 고려할 때 해당기술의 구체성과 실현될 가능성에 대한 평가
사업화 가능성	해당기술이 개발된 후 실제 지하철 미세먼지 노출저감 기술로서 사업화 가능성 및 기술의 개발투자로 인한 수익창출 가능성에 대한 평가
파급성	해당기술에 대한 경제적, 기술적, 사회적 파급성에 대한 평가

- (전문가 설문조사) 철도 환경분야 전문가를 대상으로 후보기술에 대한 우선순위 조사를 수행함.
 - 평가 기준: 매우 높음 (5점), 높음 (4점), 보통 (3점), 낮음 (2점), 매우 낮음 (1점)
 - 평가결과 20점 만점 중 15점 이상인 기술을 연구개발 우선 기술로 선정함
- (조사결과 분석 및 우선순위 도출) 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시스템 후보기술의 연구개발 우선순위는 <표 3-4>, <표 3-5>와 같음 (전문가 설문조사 원본은 [붙임 2. 철도환경 전문가의 우선순위 설문조사 결과] (195 페이지) 참조).

<표 3-5> 지하철 공기질 모니터링 기술의 우선순위 평가 결과

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도				합계	순위
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성		
센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	4.6	4.4	4.0	4.2	17.2	1
	미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술	3.2	3.1	3.3	3.3	13.0	10
	지하철 내·외부 환경변수 측정 기술	3.0	3.1	3.1	3.1	12.3	14
예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	4.2	3.7	3.7	3.9	15.4	3
	승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예측 기술	3.7	3.4	3.3	3.2	13.7	8
	예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기술	3.6	3.1	3.3	3.0	13.0	10
	시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술	3.6	4.0	3.7	3.8	15.0	6
승객의 노출 위해성 모니터링 기술	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술	4.1	3.6	3.8	3.7	15.1	5
	인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기술	4.2	3.7	3.7	3.9	15.4	3
	지하철 이용행태 (이용시간, 환승역 등)에 따른 노출 예측 기술	4.0	3.6	3.2	2.9	13.7	8
	미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노출 최소화 경로 안내 기술	3.7	2.7	3.1	3.2	12.7	13
	실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술	4.0	2.6	2.9	3.3	12.8	12
모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	4.2	4.2	3.9	3.7	16.0	2
	지하철 내·외부 환경변수의 데이터 플랫폼 구축 기술	3.8	4.1	3.8	3.3	15.0	6

<표 3-6> 지하철 (초)미세먼지 제거 기술의 우선순위 평가 결과

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도				합계	순위
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성		
기존 도시철도 설비 활용 기술	데미스터의 미세먼지 사전 제거 기술	3.8	3.8	3.6	3.1	14.2	11
	공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기술	4.3	4.1	3.8	3.4	15.7	4
	공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	3.6	3.4	3.2	3.0	13.2	17
	공조 환기설비의 자율운전 기술	3.4	4.6	3.6	3.6	15.1	7
	미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환기설비 제어 기술	4.3	3.9	3.7	4.1	16.0	2
	공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설비 자율운전 기술	3.8	3.7	3.4	3.7	14.6	10
터널 (초)미세먼지 저감 기술	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 및 초미세먼지 전구체 제거 기술	4.6	3.4	3.9	4.1	16.0	2
	미세먼지 고속 흡진 기술	2.4	3.7	4.0	3.4	15.3	6
	미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	4.6	3.4	3.9	3.7	15.6	5
	초미세먼지 응축 제거 기술	3.7	3.3	3.6	3.3	13.9	13
	광촉매를 이용한 에너지 저감형 무필터 미세먼지 저감 기술	3.9	3.2	3.3	3.4	13.9	13
객실 (초)미세먼지 저감 기술	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	4.0	3.3	3.9	3.7	14.9	9
	전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	4.3	3.8	4.1	4.1	16.3	1
	세균, 바이러스 무해화 기술	3.9	2.6	3.2	3.7	13.3	15
대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	도심 미세먼지 주의보 발령 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술	3.3	3.2	3.1	3.3	13.0	18
	역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	3.6	3.2	3.3	3.2	13.3	15
필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	저에너지 소모형 필터 개발 기술	3.7	3.9	4.1	3.3	15.0	8
	도시철도용 필터 소재 개발 기술	3.6	3.3	3.7	3.4	14.0	12

3. 핵심요소기술 선정

□ 기술수요 및 기술예측 조사를 통해 제안된 후보기술의 우선순위 평가를 바탕으로 선정된 핵심요소기술은 <표 3-7>과 같음. 우선순위 평가를 통해 도출된 기술 13개의 유사도를 고려하여 그룹핑 함으로써 6개의 핵심요소기술을 선정함.

<표 3-7> 핵심요소기술 선정 결과

기술수요조사 제안 기술명	핵심요소기술
지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	지하철 공기질 측정 및 빅 데이터 구축 기술
실시간 측정 데이터의 전송 기술	
지하철 내·외부 환경변수의 데이터 플랫폼 구축 기술	
인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 예측 기술
인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기술	
시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술	
공조 환기설비의 자율운전 기술	조기 대응형 공조 환기 제어기술
미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환기설비 제어 기술	
도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 및 전구체 저감기술	(초)미세먼지 고속, 고용량 집진 제거기술
미세먼지 고속 흡진 기술	
미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	
공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기술	공조 환기시스템 리트로핏(retrofit) 기술
저에너지 소모형 필터 개발 기술	저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술

[붙임 1] 철도 환경 및 미세먼지 분야 전문가의 기술 수요조사서

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	서울교통공사	성명	
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안			
<p>- Hot spot 구간에서 지능형 공기 질 측정기 도입을 통한 실시간 모니터링을 실시한다.</p> <p>실시간 모니터링을 위한 센서 및 데이터 전송 장비 도입을 추진한다.</p> <p>그리고 Hot spot 구간에서 실시간 모니터링을 위한 센서 및 데이터 전송 장비 도입을 추진한다.</p> <p>A-B 구간 E-F 구간 Hot spot 구간에서 실시간 모니터링을 위한 센서 및 데이터 전송 장비 도입을 추진한다.</p> <p>A-B 구간 E-F 구간 Hot spot 구간에서 실시간 모니터링을 위한 센서 및 데이터 전송 장비 도입을 추진한다.</p>			

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	서울연구원	성명	
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안			
<p>• 차량 주행 중 차량에서 발생하는 미세먼지 측정</p> <p>- 차량의 주행 중 차량에서 발생하는 미세먼지 측정</p> <p>• 차량의 주행 중 차량에서 발생하는 미세먼지 측정</p> <p>- 차량의 주행 중 차량에서 발생하는 미세먼지 측정</p> <p>• 차량의 주행 중 차량에서 발생하는 미세먼지 측정</p> <p>- 차량의 주행 중 차량에서 발생하는 미세먼지 측정</p>			

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	부산교통공사	성명	
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안			
<p>- 노후(노후, 필터) 교체에 대한 주기 지원.</p> <p>- 도시철도 차량에 대한 공기청정기 도입을 통한 미세먼지 유입을 차단하는 방안(필터 교체 주기 지원)</p> <p>- 도시철도 차량에 대한 공기청정기 도입을 통한 미세먼지 유입을 차단하는 방안(필터 교체 주기 지원)</p> <p>- 도시철도 차량에 대한 공기청정기 도입을 통한 미세먼지 유입을 차단하는 방안(필터 교체 주기 지원)</p> <p>- 도시철도 차량에 대한 공기청정기 도입을 통한 미세먼지 유입을 차단하는 방안(필터 교체 주기 지원)</p> <p>- 도시철도 차량에 대한 공기청정기 도입을 통한 미세먼지 유입을 차단하는 방안(필터 교체 주기 지원)</p> <p>- 도시철도 차량에 대한 공기청정기 도입을 통한 미세먼지 유입을 차단하는 방안(필터 교체 주기 지원)</p> <p>- 도시철도 차량에 대한 공기청정기 도입을 통한 미세먼지 유입을 차단하는 방안(필터 교체 주기 지원)</p>			

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	부산교통공사	성명	
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 차량의 공기청정기 성능 강화 <ol style="list-style-type: none"> 1) 필터 교체 주기 지원 2) 공기청정기 성능 강화 2. 차량의 공기청정기 성능 강화 <ol style="list-style-type: none"> 1) 공기청정기 성능 강화 2) 공기청정기 성능 강화 3. 차량의 공기청정기 성능 강화 4. 차량의 공기청정기 성능 강화 5. 차량의 공기청정기 성능 강화 6. 차량의 공기청정기 성능 강화 7. 차량의 공기청정기 성능 강화 			

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	대선외연도사	성명	
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안			
<p>✓ 그동안 운영기관, 할지면 등에서 추진한 '미세먼지 저감을 위한 선과 들을 집대성'과 서로 공유할 필요가 있습니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시라역사 운영도 연구 조사사례 - 지하철, 중랑강, 대림천 미세먼지 원인 (와기, 전동차운영, 승객유동...) - 미세먼지 농도 측정 방법 및 측정 방법 분석 - 미세먼지 제거장치 (필터) 활용 연구 <p>↳ 많은 연구 조사 노력이 있으나 줄이려 하고, 할지면 등이 연구사업으로 진행한 선과(장차)들이 도시철도 운영기관에 확대 적용된 사례가 거의 없음</p>			
<p>✓ 환경부의 '쾌적차 지하철 공공개선대책' 내용을 보면 운영기관의 환경영향과 개선 사업을 살펴볼 수 있음</p> <p>대기환경 개선을 위한 정부와 자치단체의 대책 (과역발전, 차량관리) 추진도 지리부인 함</p>			
<p>✓ PM10, PM2.5를 제거할 수 있는 필터는 다양한 지하철에 적용하기 어려워 미세먼지 저감에 한계가 있음</p>			
<p>✓ 미세먼지 저감을 위해 공기 유입경로인 환기구에 대한 방정도량과 동점도가 우선되어야 하며, 역사내 각종 부속물(전기시설, 선배안, 전장판)에 대한 검토가 필요함</p>			
<p>✓ 전동차 부속물 미세먼지 제거장치의 선택을 위해서는 간단한 유지보수에 대한 부속물들을 점검할 수 있는 안전성을 고려해야 함</p>			
<p>✓ 현재 진행 중인 연구와 저출을 종합하고, 기관별로 도입, 적용 예산을 지원받을 수 있도록 할기면의 협조를 부탁.</p>			

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	대선외연도사	성명	
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안			
<p>· 전동차 부속물 미세먼지 제거 기술은 개발하는게 가장 중요한 것으로 생각됨.</p> <p>· 배기구 흡입분말이나 전동차용 필터로 개선하는 것으로 검토할 것 같습니다.</p>			

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	강원철도공사	성명	
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안			
<p>1. 배기구 역사내 미세먼지 저감장치 도입을 위한 미세먼지 농도의 영향을 확인하기</p> <p>개선방안 => 역사 출입구에 드림의 대면 등이 유입됨에 따라 역내 미세먼지 농도 측정 및 인공구역 인내 측정차 급기구역 측정 (제2구역)</p> <p>→ 출입구 변경 및 인공구역 인내 측정차 급기구역 측정 (제2구역)</p>			
<p>2. 환기장치 기존 시설 제거 및 교체</p> <p>제거 가능한 필터 성능 연구 제안.</p>			

도시철도 미세먼지 해결방안 수요조사서(RFP)

소속	강원철도(주)	성명	
도시철도 미세먼지 문제 해결을 위한 방안			
<p>1. 배기구 미세먼지 (터미널 역사)</p> <p>: 환기구에서 (역사) 역내측으로 유입 방지 하는 시설이 있으면 좋겠습니다</p>			
<p>2. 차량내부 미세먼지</p> <p>: 환기구내부 먼지가 차량내부로 유입되는 현차 특성을 제거하는 기구가 필요할 것 같습니다</p>			

자문의견서

2018년 1월 2일

- 지하철 미세먼지 제방 기술은 적용하기 위해서는 지하철간의 미세먼지 기술은 필수인만큼 즉각하여 데이터를 수집하고 예측, 제어하는 기술이 필요함.
- 시범의 미세먼지 제거기술은 동하시 승객에게 실시간 미세먼지 정보를 제공하여 강조선택은 1명이 직접 할 수 있도록 광동.
- 리미스터에서 미세먼지가 아닌 제거할 수 있도록 기술 개발 필요.
- 기존 수배에 제와 능동성 감소로 차명집이 부착될 수 있는 대안 기술 개발 필요.

자문의견서

2018년 1월 1일

- 지하철본선의 은별적인 초미세먼지의 감소 효과를 위해서는 운영시간중에 즉위한 초미세먼지를 최우라는 것이 효과적이다.
- 기존본선의 속도 내서로 미세먼지를 흡수시킬수있는 시스템을 개발 적용하면 효과적이다.

자문의견서

2018년 1월 1일

1. 지하철 공기질과 관련한 자료와 연구결과 [지하철 내, 승강장, 대합실 및 실외자료의 PM₁₀ (미세먼지) 및 PM_{2.5} (초미세먼지)의 농도 및 성분자료]를 활용하여, 상관성 분석 및 수송모델을 수행하고, 이 결과를 활용하여 IoT를 개발. 특히 수송모델 중 인공지능의 한 부류인 형태인지법 (pattern recognition)을 이용하면 big data의 활용을 배가할 수 있음. 이 결과를 이용하면 역사별 맞춤형 환기시스템의 개발이 가능함.
2. 각종 자료를 이용하여 역사별 맞춤형 관리시스템을 개발할 경우, 현재까지 지하철이 PM_{2.5}를 처리한 후 내부로 급기하지 않으므로, 외기 PM_{2.5} 농도를 고려하여 급배기 환기시스템을 효율적으로 가동할 수 있음. 간단한 예를 들면, 외기 PM_{2.5} 농도가 극심하거나 극심할 경우 급기를 차단하며, 외기 PM_{2.5} 농도가 충분히 저감되어 안정화될 때 (보통 2-3일 후) 급기를 시작함.
3. 그럼에도 현재 지하철 시스템에서는, 객실 또는 터널 내에서 적극적으로 PM_{2.5} 정화설비를 갖춰야 하며, 외기 농도가 상대적으로 충분히 낮을 때는 승강장 및 대합실의 환기시스템을 충분히 활용하여야 함.
4. 그동안의 역사별 실내외 자료와 결과를 활용하여 익일 호선별 및 시간대별 오염도 및 복잡도를 예방할 수 있음. 이를 지하철 IoT 앱, 승강장 전광판 및 객실내 TV를 통해서도 제공함.
5. IoT 개발항목: 수도권 각 역사에서 지하철 열차별, 객실별 복잡도를 파악하여 (CO₂ 센서 또는 열차내 출입구 센서 또는 인터넷 사용자 신호를 통해 가능) 덜 복잡한 객차 번호로 승객들을 유인. 또한 실시간 대합실 및 실외자료를 이용하여 실시간으로 출발역 및 도착역에 대한 대기질 상태, 복잡도, 열차지연도를 좋음, 보통, 양호 등으로 제공함. 승객은 지하철 타기 전 모든 정보를 집에서 파악함.

자문의견서

2018년 1월 1일

- 지하철 역사의 위치 및 시간대이 따라서 역사내 공기질이 서로 다르므로 각각의 역사에 맞춤 공기질 관리 Program이 운영되어야 한다.
- 열차내의 공기질은 CO₂를 중심으로 관리되어야 하며, 방지장치 보다는 환기를 적극적으로 이용하는 방안을 모색하고, 이 환기되는 공기질을 확보하여 내부의 깨끗이 유드하는 방안이 경제적으로 생각된다.
- 지하철 내에 재해가 생기면 핸드폰의 Big Data를 내부에 있는 사람의 성별, 주소, 나이등을 파악하고 대비하는 계획을 미리미리 가상성으로 준비하고 재해시 당황치 말고 이행되도록 준비하여야 한다.

자문의견서

2018년 3월 26일

- 지하철은 도심 교통량 증가에 따른 정시성과 편리성의 관점에서 가장 효과적으로 이용할 수 있는 대중교통이다. 그러나 지하공간에서 운행함에 따라 미세먼지 발생 및 환기의 어려움으로 지하철 역사 및 터널의 공기질 관리가 매우 중요하다.
- 수도권을 비롯한 광역시에 위치한 도심지하철은 넓은 지역에 광역적으로 분포하며, 지하철 역사마다 오염패턴의 차이로 전체 지하철 역사에 대한 효율적인 공기질관리에 어려움이 따른다.
- 따라서 1단계로 전체 지하철 역사에서 초미세먼지 및 온도 등 여러 가지 공기질 및 환경변수를 측정할 빅데이터를 이용하여 각 지하철 역사의 특성을 분석하고 집중관리가 필요한 지하철 역사를 파악하여 이에 적절한 관리방안을 마련한다.
- 또한 집중관리 대상 역사에 초미세먼지 센서를 설치 원격감시하며 유무선 통신 및 네트워크와 연동된 환기시스템이나 공정정화장치를 지하철 역사나 터널의 공기질 상태에 따라 운영하므로 적절한 공기질 관리뿐만 아니라 에너지 절감효과도 확보할 수 있다.

자문의견서

2018년 01월 11일

- 미세먼지 예측을 인공지능(AI)을 활용할 시에, artificial neural network(ANN)을 이용할 수 있는데, 아래 그림에서 보는 바와 같이 크게 Input layer, Hidden layer, Output layer로 구성이 되며, 이때 Input layer에 PM_{10} 뿐만이 아닌, $PM_{2.5}$ 또는 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 값의 도입이 필요하다고 봄. 이외 input layer에 대한 정확도를 높이기 위해 다양한 정보에 기반한 data가 필요함.

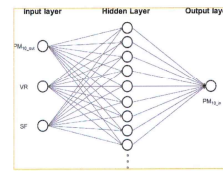


그림 1. Artificial neural network(ANN) 구조

- 특히 지하철 미세먼지에 관해 터널과 역에 대한 미세먼지 예측과 저감에 대한 연구와 노력은 이루어지고 있으나, 지하철 객실 하나하나에 대한 미세먼지 모니터링과 미세먼지 저감에 대한 연구가 미흡함. 나아가 세균 및 바이러스에 대한 탐지와 무해화에 대한 기술이 IoT와 연관하여 연구할 필요가 있음.
- 인공지능을 이용한 미세먼지 농도 예측이 최우선 과제이긴하나, 이에 못지 않게 미세먼지의 효과적인 저감 기술, 가령 에너지 저감형 무필터 광촉매를 이용한 미세먼지 저감 등에 대한 기술도 함께 다루는 것이 바람직하다고 봄. 나아가 세균 및 바이러스에 대한 센싱과 이의 무해화 기술도 함께 고려하는 방향이 필요하다고 판단함.
- 최근 인공지능을 이용한 미세먼지 농도 예측 기술에 대한 관심이 증대되고 있는바 연관학계의 국제논문도 서서히 이와 맞추어 증가하는 추세이므로, 지속적인 문헌 조사 모니터링이 필요하다고 봄.

자문의견서

2018년 4월 4일

1. 지하철 등 대중교통수단에 대한 실내공기질(미세먼지, 이상하탄소 등) 관리의 중요성이 점점 커지고 있음.
2. 대개의 공기질을 개선하기 위해서는 오염원을 근본적으로 제거하는 것이 최선이나 많은 사회적 비용이 소요됨. 따라서 상대적으로 많은 승객이 이용하는 지하철의 실내공기질 개선을 위해 터널내부의 미세먼지를 제거하는 장치의 개발은 비용대비 효율성이 크다고 사료됨.
3. 지하터널 내 미세먼지 제거장치와 공조장치의 형입설계가 이루어지는 것이 바람직해 보임.
4. 과제의 사업화를 감안하여 에어컨 업체, 차량제조사 등 과제에 참여시킬 수 있는 방안 모색 검토 요망

자문의견서

2018년 6월 1일

1. 대수 지하철 터널의 경우 전기집진기가 설치되어 있는 것으로 하는데 만약 초미세먼지 저감에 효과가 있다면 이를 확장시켜야 할 듯.
2. 지하철 터널도 실내 공간이라고 볼 때 깨끗한 외기가 들어오고 먼지로 오염된 공기는 배기 시 깨끗하게 걸러져야 함. 너무나 당연한 이야기이지만 결국 압력 손실이 매우 낮아서 에너지 비용이 절약되는 필터 개발이 중요하다고 생각됨. 그러기 위해서는 필터 파이버 재질 선정, 파이버 국내 자체 생산 등 소재 중심의 연구개발이 필요함.

자문 의견서

일 시 : 2018. 4. 4.

소 속 :

직 위 :

성 명 :

자문 의견

지하철 내의 미세먼지는 다양한 환경에서
 부터 영향을 받으며 시간적, 공간적 변이가
 다양하다. 이런 미세먼지의 농도 변이를 위하여
 이용역의 이용 형태 (환승, 환승역, 이용시간 등)
 도 노출에 영향을 미칠 수 있다.
 노출은 농도나 형태(시간)에 영향을 받기 때문에
 이런 인자들은 지속적으로 평가할 수 ^{기준} 따른
 이용하거나, 기준의 차이를 활용하는 방법으로
 인공능을 확보하여 예측 / 관리할 수 있는
 방법은 구상할 필요가 있다.

자문의견서

2018년 3월 15일

- 지하철 공간 및 객차 실내공기질 승객 수 대비 미세먼지 농도값 측정
- 모터카 운행에 따른 질소산화물 농도변화량 비교측정 (낮시간 : 야간)
- 승객 수에 따른 객차 내 미세먼지 농도의 상관관계 (모델식) 도출
- 모델 알고리즘에 의한 인공지능적 feedback 프로그램 도출
- 모델식에 의한 객차 내부 공기여과장치 가동 (미세먼지 센서 활용 X)
- 도심 미세먼지 주의보, 경보 발령 시 플랫폼과 대합실 양압 조성 기술 개발
- 지하철 환경안전 패키지 platform 구축 필요

자문의견서

2018년 4월 4일

1. 편제 개정하고 있는 "인공지능 기반의 ~ 보정시스템"에 대한 의견.
 - IoT 기반의 미세먼지 사전예측시스템 구축은 예측하는 시스템 자체론 비전, 정확도, 성능, 등업도 등을 고려하여 신사업 예측하고, 이를 제어하는 시스템으로 간주.
 - 미세먼지도 제어하고 예측하여 운영되는 실용적 사업은 기획마세이 그가
 - 맞춤형 교육용 장비로 개발할 자량 만큼 실제 운영되는 노선에 직접적으로 주어하여 실시간으로 미세먼지 제거하는 PSD, 인공모노, 역용비행기 등으로 편성적인 사업은 예상.
 - * 실시간 모니터링을 자량 상부에 모두 산위로 주어하여 실시간으로 제어할 수 있도록 변경 검토 필요.
 - 고이세 먼지 응축 및 제거 기술은 변화 OK 필요.
 - 운영사 공익이 운영비, 유지비, 운영, 등업 제업도 등을 고려한 기획 및 예산 내용 주사 필요 (경제성 분석도 포함)

자문의견서

2018년 3월 15일

- 공간 개념의 공간 원천기호(필터224, 제업도)등이 주사될 필요가 있음
- 기존 기호와 AI 기반의 제업도와의 연계성을 강화시킬 방안이 주사될 필요가 있음
- AI 기반의 제업도 기반의 제업도, 목표는 제업도 관련 필연이 있음
- Deep learning 에 필요한 data 확보 방안이 주사될 필요가 있음

[붙임 2] 철도환경 전문가의 우선순위 설문조사 결과

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
기존 도시철도 설비 활용 기술	네이스터의 미세먼지 사선 제거 기술	3	5	3	3
	공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기술	5	5	5	3
	공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	3	4	2	1
	공조 환기설비의 자율운전 기술	4	5	5	3
	미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환기설비 제어 기술	5	5	5	5
	공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설비 자율운전 기술	5	5	5	5
터널 (초)미세먼지 저감 기술	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술	5	5	5	5
	미세먼지 고속 흡진 기술	4	3	3	3
	미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	4	3	4	4
	초미세먼지 응축 제거 기술	3	2	2	2
	광촉매를 이용한 에너지 저장형 무필터 미세먼지 저감 기술	3	2	2	2
객실 (초)미세먼지 저감 기술	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	4	4	3	3
	전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	5	5	5	4
	세균, 바이러스 무해화 기술	3	2	3	2
대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	도심 미세먼지 주입보 발령 시 대합실, 승강장 양압 조정 기술	4	5	2	3
	역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	5	2	4	5
필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	저에너지 소모형 필터 개발 기술	3	3	3	2
	도시철도용 필터 소재 개발 기술	4	3	4	2

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음: 2점, 매우 낮음: 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	5	4	4	5
	미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술	3	3	3	2
	지하철 내-외부 환경변수 측정 기술	4	3	3	3
예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	4	4	4	5
	승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예측 기술	3	2	2	1
	예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기술	3	3	3	2
승객의 노출 위해성 모니터링 기술	시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술	4	4	4	4
	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술	5	5	5	5
	인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기술	5	5	5	5
	지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등)에 따른 노출 예측 기술	4	3	2	2
	미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노출 최소화 경로 안내 기술	4	3	5	5
모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	5	5	5	3
	지하철 내-외부 환경변수의 데이터 플랫폼 구축 기술	5	5	4	3

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음: 2점, 매우 낮음: 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
기존 도시철도 설비 활용 기술	네이스터의 미세먼지 사선 제거 기술	4	5	5	4
	공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기술	5	5	4	5
	공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	5	4	4	5
	공조 환기설비의 자율운전 기술	5	5	4	5
	미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환기설비 제어 기술	5	5	4	5
	공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설비 자율운전 기술	5	5	5	5
터널 (초)미세먼지 저감 기술	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술	4	3	4	5
	미세먼지 고속 흡진 기술	4	4	5	4
	미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	5	4	3	4
	초미세먼지 응축 제거 기술	5	4	5	4
	광촉매를 이용한 에너지 저장형 무필터 미세먼지 저감 기술	5	4	4	5
객실 (초)미세먼지 저감 기술	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	4	5	4	4
	전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	5	4	5	4
	세균, 바이러스 무해화 기술	4	4	5	5
대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	도심 미세먼지 주입보 발령 시 대합실, 승강장 양압 조정 기술	5	4	4	4
	역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	4	4	4	4
필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	저에너지 소모형 필터 개발 기술	4	4	5	5
	도시철도용 필터 소재 개발 기술	4	4	4	4

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음: 2점, 매우 낮음: 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	5	4	4	5
	미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술	3	4	4	5
	지하철 내-외부 환경변수 측정 기술	4	4	4	4
예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	5	5	5	5
	승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예측 기술	5	4	4	5
	예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기술	5	4	4	4
승객의 노출 위해성 모니터링 기술	시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술	4	5	5	5
	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술	5	4	4	4
	인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기술	5	4	3	4
	지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등)에 따른 노출 예측 기술	5	4	4	4
	미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노출 최소화 경로 안내 기술	5	4	4	5
모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	5	4	4	5
	지하철 내-외부 환경변수의 데이터 플랫폼 구축 기술	4	4	5	5

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음: 2점, 매우 낮음: 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 적합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	4	5	4	4
	미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술	4	4	3	4
	지하철 내 외부 환경변수 측정 기술	3	3	2	2
예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	5	3	3	4
	승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예측 기술	3	3	3	3
	예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기술	3	2	2	2
	시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술	4	3	3	4
승객의 노출 위해성 모니터링 기술	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술	5	3	3	4
	인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기술	5	3	2	4
	시화철 이용행태(이용시간, 환승역 등)에 따른 노출 예측 기술	4	4	3	4
	미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노출 최소화 경로 안내 기술	4	2	2	2
	실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차 지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술	3	1	2	2
모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	5	5	4	2
	지하철 내 외부 환경변수의 데이터 플랫폼 구축 기술	4	4	3	3

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음 2점, 매우 낮음 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 적합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
기존 도시철도 설비 활용 기술	데미스터의 미세먼지 사선 제거 기술	5	4	4	3
	공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기술	5	3	4	4
	공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	4	4	4	3
	공조 환기설비의 자율운전 기술	5	3	4	3
	미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환기설비 제어 기술	5	3	4	3
터널 (초)미세먼지 저감 기술	공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설비 자율운전 기술	4	3	3	3
	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술	4	2	3	3
	미세먼지 고속 흡진 기술	5	3	4	3
	미세먼지 실시간 제어를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	5	4	4	3
객실 (초)미세먼지 저감 기술	초미세먼지 응축 제거 기술	4	4	4	4
	광축매를 이용한 에너지 저감형 무펄티 미세먼지 저감 기술	4	3	4	4
	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	5	3	4	4
	전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	5	3	4	4
대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	세균, 바이러스 무해화 기술	4	2	3	3
	도심 미세먼지 주위보 발생 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술	3	2	3	4
필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	4	3	3	3
	저에너지 소모형 필터 개발 기술	4	3	4	4
도시철도용 필터 소재 개발 기술	도시철도용 필터 소재 개발 기술	4	3	4	4

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음 2점, 매우 낮음 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 적합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	5	5	5	4
	미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술	4	3	3	3
	지하철 내 외부 환경변수 측정 기술	4	3	4	4
예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	4	3	3	3
	승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예측 기술	4	5	4	4
	예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기술	4	3	4	4
	시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술	3	4	3	4
승객의 노출 위해성 모니터링 기술	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술	4	3	4	4
	인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기술	3	4	3	3
	지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등)에 따른 노출 예측 기술	4	5	4	4
	미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노출 최소화 경로 안내 기술	5	3	4	4
	실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차 지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술	4	3	3	4
모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	3	4	3	4
	지하철 내 외부 환경변수의 데이터 플랫폼 구축 기술	4	3	3	4

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음 2점, 매우 낮음 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 적합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
기존 도시철도 설비 활용 기술	데미스터의 미세먼지 사선 제거 기술	4	4	4	4
	공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기술	3	5	3	3
	공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	4	4	3	4
	공조 환기설비의 자율운전 기술	3	5	3	4
	미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환기설비 제어 기술	4	4	3	4
터널 (초)미세먼지 저감 기술	공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설비 자율운전 기술	3	5	4	3
	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술	5	3	5	4
	미세먼지 고속 흡진 기술	5	4	4	3
	미세먼지 실시간 제어를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	4	3	4	4
객실 (초)미세먼지 저감 기술	초미세먼지 응축 제거 기술	4	3	4	4
	광축매를 이용한 에너지 저감형 무펄티 미세먼지 저감 기술	4	5	4	5
	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	3	3	4	3
	전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	3	3	3	4
대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	세균, 바이러스 무해화 기술	4	2	3	4
	도심 미세먼지 주위보 발생 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술	3	2	3	3
필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	3	4	4	3
	저에너지 소모형 필터 개발 기술	4	4	4	3
도시철도용 필터 소재 개발 기술	도시철도용 필터 소재 개발 기술	3	2	3	4

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음 2점, 매우 낮음 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	4	4	3	3
	미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술	3	2	4	2
	지하철 내·외부 환경변수 측정 기술	2	3	4	2
예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	4	4	4	3
	승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미 세먼지 예측 기술	5	4	5	4
	예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기 질 측정 기술	3	2	4	2
	시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술	3	5	4	3
승객의 노출 위해성 모니터링 기술	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술	3	4	4	3
	인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노 출 예측 기술	5	4	4	4
	지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등) 에 따른 노출 예측 기술	5	4	5	2
	미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노 출 최소화 경로 안내 기술	3	2	3	1
	실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차 지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술	4	3	2	2
모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	4	5	3	2
	지하철 내·외부 환경변수의 데이터 플 랫폼 구축 기술	4	4	2	2

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음: 2점, 매우 낮음: 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
기존 도시철도 설비 활용 기술	데미스터의 미세먼지 사전 제거 기술	3	2	1	1
	공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물 질 제거 기술	4	3	2	2
	공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	3	2	1	1
	공조 환기설비의 자율운전 기술	2	4	2	1
	미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능 형 공조 환기설비 제어 기술	4	4	3	3
터널 (초)미세먼지 저감 기술	공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설 비 자율운전 기술	2	1	1	1
	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술	5	3	2	3
	미세먼지 고속 흡진 기술	4	3	4	2
	미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	5	3	4	2
	초미세먼지 응축 제거 기술	3	4	2	1
객실 (초)미세먼지 저감 기술	광촉매를 이용한 에너지 저감형 무필터 미세먼지 저감 기술	4	3	4	2
	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	3	4	5	3
	전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	4	5	3	5
	세균, 바이러스 무해화 기술	5	3	2	4
	도심 미세먼지 주위보 발생 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술	4	5	4	4
대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	3	2	1	2
	필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	3	4	5	1
필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	저에너지 소모형 필터 개발 기술	3	4	5	1
	도시철도용 필터 소재 개발 기술	3	3	4	2

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음: 2점, 매우 낮음: 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	6	6	4	5
	미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술	4	3	3	3
	지하철 내·외부 환경변수 측정 기술	3	3	3	3
예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	4	4	3	4
	승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미 세먼지 예측 기술	3	3	2	2
	예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기 질 측정 기술	3	3	3	3
	시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술	4	3	3	4
승객의 노출 위해성 모니터링 기술	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술	3	4	2	2
	인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노 출 예측 기술	3	3	3	2
	지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등) 에 따른 노출 예측 기술	4	3	2	2
	미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노 출 최소화 경로 안내 기술	3	2	2	3
	실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차 지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술	4	3	3	4
모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	3	4	4	4
	지하철 내·외부 환경변수의 데이터 플 랫폼 구축 기술	3	4	4	3

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음: 2점, 매우 낮음: 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
기존 도시철도 설비 활용 기술	데미스터의 미세먼지 사전 제거 기술	3	2	2	2
	공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물 질 제거 기술	4	3	3	3
	공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	3	4	4	3
	공조 환기설비의 자율운전 기술	3	4	3	3
	미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능 형 공조 환기설비 제어 기술	3	3	2	3
터널 (초)미세먼지 저감 기술	공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설 비 자율운전 기술	3	3	2	3
	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술	4	2	2	3
	미세먼지 고속 흡진 기술	3	3	2	2
	미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	3	2	2	2
	초미세먼지 응축 제거 기술	3	2	2	2
객실 (초)미세먼지 저감 기술	광촉매를 이용한 에너지 저감형 무필터 미세먼지 저감 기술	3	2	2	2
	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	3	2	2	3
	전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	3	3	3	3
	세균, 바이러스 무해화 기술	4	2	2	3
	도심 미세먼지 주위보 발생 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술	3	3	2	3
대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	4	4	4	4
	필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	3	3	3	3
필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	저에너지 소모형 필터 개발 기술	3	3	3	3
	도시철도용 필터 소재 개발 기술	3	2	3	3

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음: 2점, 매우 낮음: 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술	5	5	3	4
	미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술	3	3	2	4
	지하철 내 외부 환경변수 측정 기술	1	4	2	3
예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술	4	4	3	4
	승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미 세먼지 예측 기술	3	3	3	3
	예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기 질 측정 기술	2	2	2	3
	시간별, 요선별 공기 오염도 예측 기술	3	3	3	3
승객의 노출 위해성 모니터링 기술	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술	4	3	3	4
	인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노 출 예측 기술	4	4	3	4
	지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등) 에 따른 노출 예측 기술	3	2	2	3
	미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노 출 최소화 경로 안내 기술	4	2	2	4
	실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차 지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술	5	3	3	5
모니터링 데이터 수집, 구축 기술	실시간 측정 데이터의 전송 기술	5	4	4	5
	지하철 내 외부 환경변수의 데이터 플 랫폼 구축 기술	3	4	4	3

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음 2점, 매우 낮음 1점)

중점분야	기술수요조사 제안 기술명	중요도			
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성
기존 도시철도 설비 활용 기술	데미스터의 미세먼지 사전 제거 기술	4	4	3	3
	공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물 질 제거 기술	4	4	3	3
	공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주기 예측 기술	3	3	3	2
	공조 환기설비의 자율운전 기술	4	4	3	3
	미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능 형 공조 환기설비 제어 기술	5	3	2	4
터널 (초)미세먼지 저감 기술	공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설 비 자율운전 기술	5	4	3	4
	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술	5	4	4	4
	미세먼지 고속 흡진 기술	3	4	4	4
	미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진모듈 개발 기술	5	4	4	4
	초미세먼지 응축 제거 기술	3	4	3	3
	광속매를 이용한 에너지 저장형 무필터 미세먼지 저감 기술	3	3	2	3
객실 (초)미세먼지 저감 기술	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술	4	3	3	3
	전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술	5	3	4	4
	세균, 바이러스 무해화 기술	3	3	3	4
대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	도심 미세먼지 주의보 발령 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술	2	3	3	2
	역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술	2	3	3	2
필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	저에너지 소모형 필터 개발 기술	3	4	4	3
	도시철도용 필터 소재 개발 기술	3	4	4	4

(매우 높음: 5점, 높음: 4점, 보통: 3점, 낮음 2점, 매우 낮음 1점)

제3절 연구개발과제 구성

- 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시스템 기술개발 과제는 표 3-8와 같이 지하철 공기질 모니터링 기술, 지하철 (초)미세먼지 제거기술, 지하철 환경관리기술 등으로 중분류할 수 있고, 해당 기술에 대한 소분류는 지하철 공기질 모니터링 기술의 경우 센서 기반의 공기질 모니터링 기술, 예측 기반의 공기질 모니터링 기술, 승객의 노출 위해성 모니터링 기술, 모니터링 데이터 수집, 구축 기술 등으로 분류할 수 있음.

- 중분류인 지하철 (초)미세먼지 제거기술에는 기존 도시철도 설비 활용기술, 터널의 (초)미세먼지 저감 기술, 객실 (초)미세먼지 저감 기술, 대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술, 필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술 등으로 나눌 수 있으며, 중분류인 지하철 환경관리 기술에는 재해 발생시 승객 위해성 저감 기술이 포함됨.

- 전체 연구내용을 살펴보면 인공지능을 이용해서 지하철 (초)미세먼지 농도를 예측하고 농도를 단시간에 저감할 수 있는 고속저감기술과 도시철도에 설치되어 있는 기존 시설물의 효율성을 높이기 위해서 예측된 (초)미세먼지 농도 값을 활용하는 기술로 크게 나눌 수 있음.

- 두 그룹의 연구과제는 특성상 단일 과제로 하기 보다 유기적인 관계를 유지하면서 2개의 세부과제로 나누어서 추진하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨.

<표 3-8> 도시철도 운영사 수요조사 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출저감 기술개발의 세부 과제 분류

중분류	소분류	도시철도 운영사의 수요기술
지하철 공기질 모니터링 기술	센서 기반의 공기질 모니터링 기술	지하공간 미세먼지 실시간 측정 기술
		미세먼지, 세균 및 바이러스 동시 측정 기술
		지하철 내·외부 환경변수 측정 기술
	예측 기반의 공기질 모니터링 기술	인공지능을 활용한 지하공간 미세먼지 예측 기술
		승객 수 데이터를 이용한 전동차 내 미세먼지 예 측 기술
		예측모델 기반의 무센서형 지하철 공기질 측정 기 술
		시간별, 호선별 공기 오염도 예측 기술
	승객의 노출 위해성 모니터링 기술	지하공간 미세먼지의 인체 위해성 예측 기술
		인공지능을 활용한 승객의 미세먼지 노출 예측 기 술
		지하철 이용행태(이용시간, 환승역 등)에 따른 노 출 예측 기술
		미세먼지 실시간 정보 기반의 승객 노출 최소화 경로 안내 기술
		실시간 환경 정보(공기질, 복잡도, 연차지연 등) 기반의 승객 최적 경로 안내 기술
		실시간 측정 데이터의 전송 기술
	모니터링 데이터 수집, 구축 기술	지하철 내·외부 환경변수를 포함한 데이터 플랫 폼 구축 기술
		기존 도시철도 설비 활용 기술
공조 환기설비의 급기 공기 내 오염물질 제거 기 술		
공조 환기설비 내 필터 상태 모니터링 및 교체주 기 예측 기술		
공조 환기설비의 자율운전 기술		
미세먼지 예측모델과 연계한 인공지능형 공조 환 기설비 제어 기술		
공기질 측정센서와 연동된 공조 환기설비 자율운 전 기술		
지하철 (초)미세먼 지 제거기술	터널 (초)미세먼지 저감 기술	도시철도 운행시간 중 부유 미세먼지 제거 기술
		미세먼지 고속 흡진 기술
		미세먼지 실시간 제거를 위한 전동차 부착형 집진 모듈 개발 기술
		초미세먼지 응축 제거 기술
		광촉매를 이용한 에너지 저감형 무필터 미세먼지 저감 기술

	객실 (초)미세먼지 저감 기술	전동차 에어컨을 활용한 미세먼지 제거 기술
		전동차 내부에 설치 가능한 미세먼지 저감 기술
	세균, 바이러스 무해화 기술	
	대합실, 승강장 (초)미세먼지 저감 기술	도심 미세먼지 주의보 발령 시 대합실, 승강장 양압 조성 기술
		역사 위치별, 시간별 맞춤 공기질 관리 프로그램 기술
	필터 기반 (초)미세먼지 저감 기술	저에너지 소모형 필터 개발 기술
		도시철도용 필터 소재 개발 기술
지하철 환경관리 기술	재해발생 시 승객 위해성 저감 기술	재해발생 실시간 알림 기술
		승객 대피경로 네비게이션 기술
		휴대폰 big data를 활용한 승객 정보 파악 기술

		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발	지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술 개발	핵심요소기술개발			실용화기술개발	
	재실자 기반 조기 대응형 공조 환기 제어기술 개발	핵심요소기술개발				
	(초)미세먼지 고속, 고용량 저감기술 개발	핵심요소기술개발			- 테스트 베드 구축 및 시험 평가 - 핵심기술 보완 및 실용화 기술 개발 - 핵심기술 실증화 기술 개발	
도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발	저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술 개발	핵심요소기술개발				
	공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발	핵심요소기술개발				

<그림 3-3> 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 노출 관리시스템 기술개발의 과제 구성 및 연구추진체계

- 1 세부과제는 지하철 이용 승객의 (초)미세먼지 노출을 저감하기 위해서 기존 정부나 지하철 운영기관에서 관리하고 있는 공기질 모니터링 망의 데이터를 이용하여 수집된 공기질 데이터를 인공지능을 이용하여 현재 지하철에 설치된 환기시스템의 운영에 필요한 시간이라고 판단되는 1시간 후의 (초)미세먼지 농도를 예측하고자 함. 현재 설치된 공기질 모니터링 망의 수나 수준이 떨어진다고 판단될 경우 측정센서를 측정이 필요하다고 판단되는 대합실, 승강장, 외기 및 터널 등에 추가로 설치하고, 센서의 관리에 필요한 기술을 개발하여 빅 데이터 수집 플랫폼으로 활용하고자 함. 또한 예측된 (초)미세먼지 농도 데이터는 1세부과제의 고속, 고용량 집진기술 및 2세부과제의 기존 환기시스템 리트로핏 기술과 연계되도록 구성하여 지하철 운영기관의 예산을 보다 효율적으로 사용하기 위하여 (초)미세먼지 집진이 필요한 지하철 터널 구간이나 지하철 역사에 개발된 기술을 우선적으로 사용할 수 있도록 함.
- 2 세부과제에서는 지하철 역사에 설치된 환기시스템을 최대한 활용할 수 있도록 리트로핏 기술 개발 위주로 구성되며, 기존 환기시스템의 문제점으로 지적된 초미세먼지 제거와 조기 대응이 가능하도록 하며, (초)미세먼지 농도가 급증하는 출퇴근 시간 등에 (초)미세먼지 농도를 단시간에 줄일 수 있는 기술의 개발이 포함됨. 연구의 4~5 차 년도에는 과제의 최종 목표인 ‘지하철 이용 승객의 (초)미세먼지 노출 50% 저감’ 달성도 평가를 위한 지하철 시범 노선 구축 및 시험평가를 수행하고자 함.

<표 3-9> 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출저감 기술개발의 세부과제 분류

최종목표: 지하철 이용 승객의 (초)미세먼지 노출 50% 저감		
세부과제명	최종성과물	성과물 유형
인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발	지하철 (초)미세먼지 예측 시스템	시스템
	조기 대응형 공조 제어 시스템	시스템
	(초)미세먼지 고속, 고용량 집진장치	장비/장치
도시철도 (초)미세먼지 저감 시설의 효율 향상 핵심기술 개발	기존설비의 (초)미세먼지 효율 향상 핵심장치	장비/장치
	저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거장치	장비/장치
	공조 환기설비 리트로핏	시스템

□ 「인공지능 예측 기반의 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발」의 세부과제별 R&D 과제카드는 아래와 같음.

< 제 1 세부과제 >

세부과제명	인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발
-------	-------------------------------------

과제구분	기존과제(계속)	신규과제	예타과제
			V
기술개발 및 상용화 유형	기술개발 유형		상용화 가능 시기
	□기초 □응용 ■개발		□단기(3년 이내) ■중·장기

연구배경	필요성	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 승강장, 전동차, 터널 등의 공간을 포함한 지하철은 전 국민의 생활공간으로 자리매김하고 있으나, 실내 공기의 쾌적성 확보에 어려움을 겪고 있음 ◦ 지하철 내 (초)미세먼지 저감을 위해 필터 기반 제거기술, 전기집진 기술 등을 적용하고 있으나 이는 발생한 미세먼지를 사후 제거하는 기술로써 승객은 제거 시간 동안 (초)미세먼지에 노출됨. 이에 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 저감을 위해 미세먼지가 발생하기 앞서 추후 농도를 예측하여 제거 대책을 제안하는 사전예방대응용 공기질 관리 기술 개발이 필요함 ◦ 지하철 터널에 부유하는 (초)미세먼지를 제거하기 위해서는 기존의 고정형 처리장치에 비해 동적 배출원인 전동차의 운행 경로를 따라 움직이며 (초)미세먼지를 집진 제거하는 효율적인 이동형 시스템이 요구됨
	국내외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 국내 지하철 운영기관의 경우 대상 공간 내 공기질 상태에 관계없이 공조환기설비의 용량을 증대하여 일평균 17시간(승강장, 대합실), 16시간(터널 본선) 상시 가동함. 이는 지하철 공기질 변화에 대한 능동적 대응이 불가할 뿐만 아니라 에너지 소비를 증가시키는 주된 요인임 ◦ 국내 지하철 운영기관의 경우 터널 내 고농도의 (초)미세먼지 저감을 위해 집진차량, 살수차량을 운행하나 운영속도가 2 km/h 이하이며 지하철 운행정지 시간(새벽 1시-4시)에만 투입이 가능하므로 적용이 제한적임. 더불어 다양한 (초)미세먼지 저감 방법을 적용하고 있으나 그 효과는 미비한 실정임(아래 표 참조)

	<p>표. 국내 지하철 운영기관의 (초)미세먼지 제어 방법 및 효과</p> <table border="1" data-bbox="359 286 1356 698"> <thead> <tr> <th data-bbox="359 286 858 353">미세먼지 제어 방법</th> <th data-bbox="858 286 1356 353">저감 효과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="359 353 858 443">고압 및 일반 살수 차량 운행</td> <td data-bbox="858 353 1356 443">2일정도 효과, 3일 째부터 다시 비산</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 443 858 510">역사 물청소</td> <td data-bbox="858 443 1356 510">승강장, 대합실</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 510 858 577">레일의 선형을 개선</td> <td data-bbox="858 510 1356 577">효과 미비</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 577 858 645">레일 마찰 지점에 윤활제 분사</td> <td data-bbox="858 577 1356 645">2~3% 정도의 저감</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 645 858 698">자석 부착차량 이용</td> <td data-bbox="858 645 1356 698">2~3% 정도의 저감</td> </tr> </tbody> </table>	미세먼지 제어 방법	저감 효과	고압 및 일반 살수 차량 운행	2일정도 효과, 3일 째부터 다시 비산	역사 물청소	승강장, 대합실	레일의 선형을 개선	효과 미비	레일 마찰 지점에 윤활제 분사	2~3% 정도의 저감	자석 부착차량 이용	2~3% 정도의 저감
미세먼지 제어 방법	저감 효과												
고압 및 일반 살수 차량 운행	2일정도 효과, 3일 째부터 다시 비산												
역사 물청소	승강장, 대합실												
레일의 선형을 개선	효과 미비												
레일 마찰 지점에 윤활제 분사	2~3% 정도의 저감												
자석 부착차량 이용	2~3% 정도의 저감												
과제목표	<ul style="list-style-type: none"> ◦ (초)미세먼지를 포함한 지하철 공기질을 실시간 측정하여 빅 데이터를 수집하며, 이를 기반으로 1시간 이후의 (초)미세먼지 농도를 예측하는 인공지능 기반의 예측기술 개발 ◦ 예측된 (초)미세먼지 농도를 기반으로 실제 공기질이 악화되기 앞서 공조 환기 설비를 운전·제어하는 사전예방대응형 (초)미세먼지 저감기술 개발 												
연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 공기질 상시 모니터링 기술 개발 - 공기질 측정 센서 이상진단 및 보정기술 개발 - (초)미세먼지 예측 인공지능 모델 개발 (사전 예측 간격 1시간, 예측 정확도 90% 이상) ◦ 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공간별 재실자 수 예측 모델 개발 - 조기 대응형 공조 환기제어 알고리즘 개발 - 공조 환기제어 알고리즘과 공조 설비 간 연동체계 구축 ◦ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 제거기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고속 운행속도 대응 최적 흡진기술 개발 (운행속도 70 km/h, 흡입유량 3,500 CMH) - 고속 운행속도 대응 최적 집진기술 개발 (초미세먼지 집진효율 30% 이상) - (초)미세먼지 고속, 고용량 집진장치 설계 및 제작 - 초미세먼지 전구체 저감기술 												
산출물	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 사전예방대응용 지하철 (초)미세먼지 저감기술 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공기질 상시 모니터링 및 빅 데이터 수집 기술 - 인공지능 기반의 지하철 공기질 예측모델 (예측 정확도 90% 이상) - 조기 대응형 공조 환기제어 알고리즘 - 공조 환기제어 알고리즘과 공조 설비 간 연동기술 - (초)미세먼지 고속, 고용량 집진장치 												

총 소요금액: 113.4억원 (정부출연금 85억원 / 민간 28.4억원)

(단위: 억원)

예산

	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	계
정부	6.5	20.0	23.0	23.0	12.5	85.0
기업	2.1	6.7	7.7	7.7	4.2	28.4
계	8.6	26.7	30.7	30.7	16.7	113.4

산출내역

구분	예산 (억원)	연차별 연구내용	성과목표 및 평가
1차 년도	8.6	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지하철 공기질 빅 데이터 수집기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 공기질 모니터링 기술 개발 - 지하철 공기질 측정센서의 이상 진단 및 보정기술 개발 ◦ 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공기질의 영향변수 도출 및 상관관계 규명 ◦ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고속 고용량 집진시스템 설계 요구사항 분석 - 초미세먼지 전구체 현황과악 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 논문 게재 2건 (환경관련 SCI(E) 저널) <ul style="list-style-type: none"> - 공기질 측정센서 이상 진단 및 보정기술 - 지하철 공기질 영향변수 도출 및 상관성 규명 ◦ 분석보고서 1건 <ul style="list-style-type: none"> - 고속 고용량 집진시스템의 설계 요구사항
2차 년도	26.7	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지하철 공기질 예측기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 인공지능 기반의 (초)미세먼지 예측모델 개발 ◦ 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공간별 승객 수 예측모델 개발 - 조기 대응형 공조 환기 제어 알고리즘 개발 ◦ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 흡진 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 논문 게재 3건 (환경관련 SCI(E) 저널) <ul style="list-style-type: none"> - 인공지능 기반 (초)미세먼지 예측기술 - 지하철 공간별 승객 수 예측기술 등 ◦ 특허 출원 2건 <ul style="list-style-type: none"> - 조기 대응형 공조 환기 제어 시스템 - 이동형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진장치

		<ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 집진 기술 개발 - 초미세먼지 전구체 발생원인 규명 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 단품 성능평가 - (초)미세먼지 흡진장치 - (초)미세먼지 집진장치
3차 년도	30.7	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지하철 공기질 예측기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 인공지능 기반의 (초)미세먼지 예측모델 개발 - 빅 데이터 기반 공기질 예측 시스템 시제품 제작 ◦ 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 조기 대응형 공조 환기제어 알고리즘 개발 - 공조 제어 알고리즘과 공조 설비 간 연계 운전기술 개발 ◦ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고속 고용량 집진장치 설계 및 시제품 제작 - 초미세먼지 전구체 제거기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 시제품 제작 2건 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공기질 예측시스템 - 고속 고용량 (초)미세먼지 집진장치 ◦ 논문 게재 2건 (환경관련 SCI(E) 저널) <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 고속 흡진, 집진기술 - 조기 대응 공조 환기제어 알고리즘 ◦ 특허 출원 1건 <ul style="list-style-type: none"> - 초미세먼지 전구체 제거기술
4차 년도	30.7	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 빅 데이터 기반 지하철 공기질 예측 시범노선 구축 및 시험 평가 ◦ 재실자 기반의 사전예방대응용 공조 환기제어시스템 시제품 제작 ◦ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진시스템 시운전 및 안정성 평가 ◦ 초미세먼지 전구체 저감기술 시범노선 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 시제품 제작 1건 <ul style="list-style-type: none"> - 조기 대응형 공조 환기 제어시스템 ◦ 시범노선 구축 및 현장 성능평가 3건 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공기질 예측시스템 - 고속 고용량 집진장치의 현장 안정성 평가 - 초미세먼지 전구체 저감 ◦ 논문 게재 1건 (환경관련 SCI(E) 저널) <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 고속 흡진, 집진장치 설계 및 CFD 해석

	5차 년도	16.7	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 빅 데이터 기반 지하철 공기질 예측시스템의 상용화 및 지하철 확대 적용 ◦ 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어 시범노선 구축 및 시험 평가 ◦ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진저감 시범노선 구축 및 시험 평가 ◦ 초미세먼지 전구체 저감기술 시범노선 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 시범노선 구축 및 현장 성능평가 3건 <ul style="list-style-type: none"> - 조기 대응형 공조 환기 제어 - 고속 고용량 (초)미세먼지 집진저감 - 초미세먼지 전구체 저감 ◦ 특허 등록 2건 <ul style="list-style-type: none"> - 조기 대응형 공조 환기 제어 시스템 - 이동형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진장치
--	----------	------	--	--

<p>활용방안 및 기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지하철 공기질을 상시 모니터링 하여 구축된 빅 데이터를 기반으로 인공지능 예측시스템을 구축하며, 이를 통해 예측된 지하철 (초)미세먼지 농도를 근거로 오염도가 높은 특정 구간 및 노선에 공조환기설비, 고속 고용량 집진장치를 우선적, 집중적으로 적용함으로써 실질적인 지하철 공기질 개선효과를 구현함 ◦ 고속, 고용량 (초)미세먼지 집진시스템을 오염도가 높은 노선, 출·퇴근 시간 등에 우선적으로 적용함으로써 지하철 터널의 신속한 공기질 개선효과를 구현함 ◦ 지하철 공기질 개선을 통해 승객의 (초)미세먼지 노출을 저감함으로써 국민건강 증진 및 삶의 질 향상에 기여함 <ul style="list-style-type: none"> - 실내 미세먼지에 대한 정보 제공과 조기 저감으로 지하철 이용객의 불안 해소 - 다중이용시설의 미세먼지 노출 조기 제어를 통한 국민 건강 증진 ◦ ‘인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술’ 을 개발함으로써 실내 환경에 대한 4차 산업기술 개발에 이바지하며, 궁극적으로는 (초)미세먼지 해결을 위한 국가 정책 및 프로젝트의 실효성을 극대화 할 수 있음 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 관련 국가 정책 및 프로젝트 <ul style="list-style-type: none"> · 대한민국 9대 국가전략 프로젝트: (초)미세먼지 해결 기술개발 · 제3차 지하역사 공기질 개선 5개년 대책 (‘18-’ 22) · 혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획
----------------------------	---

< 제 2 세부과제 >

세부과제명	도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발
-------	----------------------------------

과제구분	기존과제(계속)	신규과제	예타과제
		V	
기술개발 및 상용화 유형	기술개발 유형		상용화 가능 시기
	□기초 □응용 ■개발		□단기(3년 이내) ■중·장기

연구배경	필요성	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 승강장, 전동차, 터널 등의 공간을 포함한 지하철은 전 국민의 생활공간으로 자리매김하고 있으나, 실내 공기의 쾌적성 확보에 어려움을 겪고 있음 ◦ 노후 된 지하철 공조 환기시스템의 경우 미세먼지 제거효율이 10% 미만임. 이에 공조 환기시스템의 기존 뼈대는 유지하되 핵심 설비만 개조, 개선하여 (초)미세먼지 저감 성능을 증대하는 리트로핏(retrofit)이 필요함 ◦ 지하철에 설치된 기존 환기시스템의 효율을 증대시키는 동시에 초미세먼지까지 제거하며 에너지 소비를 최소화할 수 있는 (초)미세먼지 저감효율 향상 핵심기술 개발이 필요함. 특히 지하철의 (초)미세먼지 농도는 출퇴근 시간 등 특정 시간에 급격히 높아지는 경향이 있으므로 기존의 저감시설을 최대한 활용하면서 (초)미세먼지 농도를 낮출 수 있는 기술개발이 요구됨
	국내외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 국내 지하철의 경우 일부 신설된 역사의 공조 환기시스템은 백필터와 사이클론 집진방식을 이용하여 미세먼지를 제거하나, 노후 역사의 공조 환기시스템은 부직포와 같은 구형 필터가 설치 운용되어 미세먼지(PM₁₀ 기준) 제거효율이 10% 미만임 ◦ 국내 지하철 운영기관은 터널 및 기계 환기실에 전기집진기를 가동하여 미세먼지를 제거하나 초미세먼지(PM_{2.5})는 제거효율이 20% 미만임. 실제 지하철 터널에 부유하는 미세먼지 중 초미세먼지는 70%를 차지하므로 이를 응집하여 조대화한 후 기존 전기집진시설과 연계 운전하여 효율을 향상하는 기술이 필요한 실정임
과제목표	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지하철에 설치된 기존의 공조환기시설의 성능을 향상시켜서 (초)미세먼지를 효율적으로 집진·제거하는 저감기술 개발 	
연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 응집, 조대화 기술 개발 - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거장치 설계 및 제작 - 지하철 내 기존 집진장치와의 연계 운전체계 구축 	

	<ul style="list-style-type: none"> 공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> (초)미세먼지 제거장비의 모듈화 기술 개발 모듈 상호 결합 및 환기 공조설비 인터페이스 기술 개발 공조 환기설비 구조, 형태별 최적 모듈 조합 도출 (초미세먼지 제거효율 50% 이상) 리트로핏 모듈 제작 및 현장 적용·구축 기술
산출물	<ul style="list-style-type: none"> (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심장치 <ul style="list-style-type: none"> 저에너지 소모형 (초)미세먼지 응집, 조대화 장치 공조 환기시스템 구조별 최적 리트로핏 모듈 공조 환기시스템 리트로핏 모듈의 현장 적용·구축기술

예산	총 소요금액: 86.6억원 (정부출연금 65억원 / 민간 21.6억원)						
	(단위: 억원)						
		2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	계
	정부	3.5	16.0	19.0	19.0	7.5	65.0
	기업	1.2	5.3	6.3	6.3	2.5	21.6
	계	4.7	21.3	25.3	25.3	10.0	86.6

산출내역	구분	예산 (억원)	연차별 연구내용	성과목표 및 평가
	1차 년도	4.7	<ul style="list-style-type: none"> 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거시스템의 설계 요구사항 분석 지하철 공조환기설비의 현황 파악 <ul style="list-style-type: none"> 지하철 공조 환기설비 조사 및 구조 형태별 분류 	<ul style="list-style-type: none"> 분석보고서 2건 <ul style="list-style-type: none"> 저에너지 소모형 미세먼지 제거장치의 요구사항 지하철 공조 환기설비 조사 및 분류
2차 년도	21.3	<ul style="list-style-type: none"> 저에너지 소모형 (초)미세먼지 응집, 조대화 핵심기술 개발 공조 환기설비의 리트로핏 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> (초)미세먼지 제거기술의 모듈화 기술 개발 (*모듈: 독립적인 기능을 갖는 시스템 구성요소) 	<ul style="list-style-type: none"> 논문 게재 2건 (환경관련 SCI(E) 저널) <ul style="list-style-type: none"> (초)미세먼지 조대화 기술 (초)미세먼지 제거기술의 모듈화 기술 리트로핏 모듈의 (초)미세먼지 제거성능 평가 <ul style="list-style-type: none"> 공인시험기관과 공동으로 평가하여 성능을 교차 	

			검증함
3차 년도	25.3	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 응집, 조대화 기술 개발 - (초)미세먼지 조대화 기술과 기존 집진장치와의 연계 운전 기술 개발 (인터페이스 등) ◦ 공조 환기설비의 리트로핏 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 제거 모듈 간 상호결합 및 운전기술 개발 - 리트로핏 모듈과 기존 공조 환기시스템 간 상호결합 및 운전기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 특허 출원 2건 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 조대화 기술 - (초)미세먼지 제거기술의 모듈화 기술 ◦ 논문 게재 2건 (환경관련 SCI(E) 저널) <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 조대화와 집진장치 연계를 통한 미세먼지 저감효과 - 리트로핏 모듈과 공조 시스템 간 인터페이스 기술 ◦ 저에너지 소모형 (초)미세먼지 조대화 기술의 성능 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 공인시험기관과 공동으로 평가하여 성능을 교차 검증함
4차 년도	25.3	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 저에너지 소모형 (초)미세먼지 저감장치 설계 및 시제품 제작 ◦ 공조 환기설비의 리트로핏 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 공조 환기설비 형태별 최적 리트로핏 모듈 조합 도출 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 시제품 제작 1건 <ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 저감장치 ◦ 특허 출원 1건 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공조 환기설비의 리트로핏 기술 ◦ 운용 지침서 1건 <ul style="list-style-type: none"> - 공조 환기설비 형태별 리트로핏 지침서
5차 년도	10	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 저에너지 소모형 (초)미세먼지 저감 시범노선 구축 및 시험 평가 ◦ 시범노선의 공조 환기설비 리트로핏 및 시험 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 시범노선 구축 및 현장 성능평가 2건 <ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 저감 - 지하철 공조 환기설비 리트로핏 ◦ 특허 등록 2건 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 조대화 기술

				<p>- (초)미세먼지 제거기술의 모듈화 기술</p>
--	--	--	--	-----------------------------------

<p>활용방안 및 기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지하철 터널 내 초미세먼지를 응집 조대화하는 기술을 개발하여 이를 지하철에 설치된 기존의 공조환기설비, 전기집진설비 등과 연계 운전함으로써 터널 오염도가 급격하게 높아지는 시점의 공기질을 경제적이며 신속하게 개선함 ◦ 노후 된 지하역사의 공조 환기시스템의 뼈대는 유지하되 핵심 설비만 개조, 개선하는 리트로핏을 통해 역사 내 (초)미세먼지를 저감함으로써 경제적이며 효율적인 공기질 개선을 구현함 ◦ 지하철 공기질 개선을 통해 승객의 (초)미세먼지 노출을 저감함으로써 국민건강 증진 및 삶의 질 향상에 기여함 <ul style="list-style-type: none"> - 실내 미세먼지에 대한 정보 제공과 조기 저감으로 지하철 이용객의 불안 해소 - 다중이용시설의 미세먼지 노출 조기 제어를 통한 국민 건강 증진 ◦ ‘도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술’ 을 개발함으로써 (초)미세먼지 해결을 위한 국가 정책 및 프로젝트의 실효성을 극대화 할 수 있음 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 관련 국가 정책 및 프로젝트 <ul style="list-style-type: none"> · 대한민국 9대 국가전략 프로젝트: (초)미세먼지 해결 기술개발 · 제3차 지하역사 공기질 개선 5개년 대책 (‘18-’ 22)
----------------------------	--

□ 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발을 위한 1 세부과제는 ① 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술, ② 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어 기술 개발, ③ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술을 포함함. 각 세부 요소기술의 개발 목표는 다음과 같음.

- 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술

- 목표성능: (초)미세먼지 예측 정확도 90% 이상
- 본 기획과제에서 정의하는 지하철 공기질 빅 데이터의 목록 및 상세 사항은 다음과 같음.

: 수집(예측) 데이터 목록

- 지하철 (초)미세먼지 예측에 필요한 데이터로써, 인공지능 기반 예측모델의 유입변수로 사용 예정임.

- 현재 지하철 공기질(PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO_2 , 온도, 습도), 승객 수, 운행 지하철 수, 공조설비 운전 정보, 외부 공기질, 기상 자료 등을 포함함. 각 변수의 선정 근거는 「3.4. 세부과제별 주요내용 및 추진전략 - <표 3-10>」에 기재함.

: 데이터 수집 대상 장소

- 지하철 공기질: 지하철 입구, 대합실, 승강장, 환승 통로, 터널 등
 - 공조설비 운전 정보: 대합실, 승강장, 환승 통로, 터널 등
 - 외부 공기질, 기상 자료: 공공 데이터 활용
- 본 기획과제에서 정의하는 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 예측의 상세 사항은 다음과 같음.

: 예측 대상 장소

- 대합실, 승강장, 환승 통로, 터널 및 전동차 객실의 PM_{10} , $PM_{2.5}$

: 예측 시점 및 간격

- 향후 1시간의 PM_{10} , $PM_{2.5}$ 농도를 예측
- 공기질 빅 데이터를 인공지능 기반 예측 모델에 적용하여 (초)미세먼지 농도를 예측하는 연구는 국내·외 모두 활발히 진행 중이나 예측 정확도는 70-80% 수준임. 이에 본 과제의 목표인 예측 정확도 90% 이상은 선행연구 대비 선진화 된 목표라 할 수 있음.

<표 3-10> 인공지능 모델 기반의 (초)미세먼지 예측 관련 연구 현황 및 예측 정확도

분류	저자	예측 모델	예측 변수	유입 변수	예측 정확도
외기 공기질	구윤서 외 (2010)	신경망 모델, 의사결정나무 모델	서울 PM ₁₀	대기질, 기상 변수	77-80%
	Hur et al. (2016)	신경망 모델	서울 미세먼지 등급	서울 PM ₁₀ , 중국 PM ₁₀ , 기상 변수	69%
	Ong et al. (2016)	심층 순환 신경망 모델	일본 PM _{2.5}	기상 변수	63%
실내 공기질	Challoner et al. (2015)	신경망 모델	공공 건물 PM _{2.5}	외기 공기질, 기상 변수	71-77%
	Liu et al. (2016)	서포트 벡터 회귀모델	지하철 PM _{2.5}	실내 공기질, 온도, 습도	72-80%
	Park et al. (2018)	신경망 모델	지하철 PM ₁₀	외기 PM ₁₀ , 열차 수, 환기 정보	67-80%

(1) 구윤서 외(2010), 미세먼지 예보시스템 개발, 한국대기환경학회지, 26(6)
 (2) Hur et al.(2016), Evaluating the predictability of PM₁₀ grand in Seoul, Korea using a neural network model based on synoptic patters, Environ. Pollution, 218
 (3) Ong et al.(2016), Dynamically pre-trained deep recurrent neural networks using environmental monitoring data for predicting PM_{2.5}, Neural Computing Appl., 27
 (4) Challoner et al.(2015), Prediction of indoor air exposure from outdoor air quality using an artificial neural network model for inner city commercial buildings, Int. J. Environ. Res. Public Health, 12
 (5) Liu and Yoo(2016), A robust localized soft sensor for particulate matter modeling in Seoul metro systems, J. Hazard. Mater., 305
 (6) Park et al.(2018), Predicting PM₁₀ concentration in Seoul metropolitan subway stations using artificial neural network (ANN), J. Hazard. Mater., 341

- 인공지능 예측 모델의 정확도 제고를 위해서는 다양한 변인을 포괄하는 대규모 데이터의 확보 및 데이터 특성에 적합한 예측모델의 타입·구조 선정이 필요함. 공기질 빅 데이터 확보를 위해서는 지하철 공기질 실시간 모니터링 시스템을 구축하여 (또는 지하철에 기 설치된 tele-monitoring system(TMS)을 보완 활용하여) 데이터의 주기적 측정 및 업데이트가 필요함. 이러한 지하철 공기질 데이터의 지속적인 확보 및 업데이트를 통해 예측모델을 주기적으로 업데이트하며, 다양한 구조의 인공지능 모델을 커스터마이즈(기 개발된 인공지능 모델을 지하철 공기질 데이터 특성에 맞춰 수정) 함으로써 예측모델의 정확도 제고가 가능함²⁵⁾. 이에 본 과제의 목표인 예측 정확도 90% 이상은 실현 가능한 목표치라 할 수 있음.

25) 한국환경정책·평가연구원, 환경 빅데이터 분석 및 서비스 개발 (2017)

- 재실자 기반의 사전예방대응용 공조 환기 제어기술

- 목표성능: 사전 예측 및 조기 제어 1시간
- 재실자는 호흡으로 이산화탄소를 배출하고, 활동에 의해 미세먼지를 유입하거나 비산시켜서 실내공기질에 영향을 미침. 재실자의 수는 교통카드 데이터로 추산할 수 있으며, 이렇게 수집한 데이터를 분석하면 해당 시간 및 공간에 몇 명의 지하철 이용 승객이 특정 공간에 존재하는지를 추정할 수 있음.
- 조기 대응형 공조 환기 제어란 인공지능 모델을 이용하여 1시간 이후의 지하철 (초)미세먼지 농도를 예측하며, 예측 농도와 목표 농도의 차이를 기반으로 1시간 후의 농도가 목표치에 도달할 수 있도록 환기 공조시스템의 운전을 제어하는 기술임. 현재 지하철의 환기 공조시스템은 정해진 규칙(rule- base)에 의해 작동 중임. 이에 본 기획과제 이전의 지하철 환기 공조제어 관련 기술수준은 매우 낮음이라 할 수 있음. 따라서 본 연구의 (초)미세먼지 사전 예측 및 조기 제어 목표인 1시간은 연구개발 전 수준 대비 선진화 된 목표치라 할 수 있음.
- 본 기획과제에서 정의하는 조기 대응형 공조 환기제어의 상세 사항은 다음과 같음.

: 공조 환기제어 대상 장소

- 대합실, 승강장, 환승 통로, 터널 등

: 조기제어 시점 및 간격

- 1시간 후의 PM₁₀, PM_{2.5} 농도를 목표치에 도달할 수 있도록 제어함

- (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 기술

- 목표성능: 집진 작업속도 70 km/h 이상, 초미세먼지 제거효율 50% 이상, 처리용량 시간당 3,500m³
(기존 집진차량 대비 작업속도 12배 이상, 작업시간 3배 이상의 기대효과가 예상됨)
- 현재 지하철 운영기관은 작업속도 2 km/h인 분진 제거차량을 단전 이후 터널에 투입하여 (초)미세먼지를 제거하고 있음. 그러나 지하철 운행 시간에 투입되어 터널 내부를 이동하며 (초)미세먼지를 제거하는 기술은 없음. 이에 본 기획과제 이전의 이동형 (초)미세먼지 제거기술 수준은 매우 낮음이라 할 수 있음. 따라서 본 연구의 (초)미세먼지 집진 작업속도 목표인 70 km/h은 연구개발 전 수준 대비 선진화 된 목표치라 할 수 있음.
- 본 기술은 전동차의 상부, HVAC에 부착 가능한 형태로써 지하철 터널 내 (초)미세먼지

를 집진 제거할 뿐만 아니라 (초)미세먼지가 제거된 신선공기를 객실 내부로 유입하는 장치임. 한국철도기술연구원의 2017년 조사에 따르면 서울 지하철 5호선 전동차의 HVAC를 통해 객실로 유입되는 PM₁₀, PM_{2.5} 평균 농도는 128 µg/m³, 80 µg/m³임 (측정일시: 2017.11.14.). 본 연구개발을 통해 전동차 HVAC로부터 객실로 유입되는 지하철 터널 (초)미세먼지를 50% 이상 제거하며 이를 통해 객실 내 승객의 (초)미세먼지 노출을 저감함.



<그림 3-4> (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 제거기술의 개념도

- 본 기술의 경우 1 세부과제에서 개발되는 핵심기술 중 빅 데이터 및 인공지능을 이용한 지하철 노선별 (초)미세먼지 농도 예측 데이터를 근거로 특정 노선에 우선적으로 적용함으로써 출퇴근 시간 등 (초)미세먼지 농도가 높은 시간대의 농도를 낮출 수 있을 것으로 기대됨.
- **(연구개발 변경 사항)** 과업지시서 상에는 ‘객차 연결식 고용량 집진유니트(1량)’ 이 기술개발 목표이나, 지하철 운영기관 전문가들의 자문의견을 반영하고, 실제 전동차 최고 운행속도인 70 km/h로 목표 수치를 변경하여 1세부과제에서 인공지능 기반으로 예측된 (초)미세먼지 측정 데이터와 연동하여 (초)미세먼지 농도가 높은 터널구간에 개발된 기술을 우선 적용하고자 함 (전문가 자문의견서 첨부).

<표 3-11> 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발 목표

세부 기술	목표치	개발 전 국내·외 수준	측정 방법	검증 방법
지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술	예측 정확도 90% 이상	80%	예측 정확도 지표 - 결정계수(R^2) - 백분율 오차 (mean absolute percent error)	현장 측정값과 예측값 비교
재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술	사전 예측 및 조기 제어 1시간	기술 없음	-	1시간 후 예측 농도에 따른 제어 동작신호 도출 여부 확인
(초)미세먼지 집진 기술	집진 작업속도 70 km/h 이상	2 km/h	이동 속도 70 km/h에서 (초)미세먼지 집진여부 확인	테스트베드 운용 시 현장 검증
	작업시간 10시간/일 이상	3시간/일 (단전 시간)	일일 작업시간 측정	
	(초)미세먼지 제거효율 50% 이상	10%	미세먼지 중량법 측정 (GB/T 18883-2002)	공인시험기관 평가보고서 또는 성적서

□ 도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발 위한 2 세부과제는 ① 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술, ② 공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발을 포함함.

- 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술

- 목표성능: 초미세먼지 집진 효율 30% 이상
- 지하철 터널의 기존 집진기술을 이용할 경우 초미세먼지($PM_{2.5}$) 제거효율이 20% 미만임. 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술은 전기적 인력 등을 이용하여 초미세먼지를 조대화한 후 기존의 집진기술을 활용하여 제거하는 기술임. 본 연구의 목표성능인 초미세먼지 집진 제거효율 30% 이상은 연구개발 전 수준 대비 선진화 된 목표치라 할 수 있음.

- 공조 환기시스템 리트로핏 기술

- 목표성능: (초)미세먼지 제거 효율 50% 이상
- 한국철도기술연구원의 조사에 따르면 노후 역사 공조시스템 내 필터의 PM₁₀ 제거효율은 약 10%*임. 현재 지하철의 공조 환기설비는 노후 되었으며 이에 본 기획과제 이전의 공조 환기시스템 (초)미세먼지 제거 수준은 낮음이라 할 수 있음. 따라서 본 연구의 목표성능인 공조 환기시스템 (초)미세먼지 제거효율 50% 이상은 현재 수준 대비 선진화된 목표치라 할 수 있음.

*측정 역사: 이촌역 (2013년)

- PM₁₀: 공조시스템 필터 전단 평균 농도 35.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ → 후단 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- PM_{2.5}: 공조시스템 필터 전단 평균 농도 27.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ → 후단 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

<표 3-12> 도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율향상 핵심기술 개발 목표

세부 기술	목표치	개발 전 국내·외 수준	측정 방법	검증 방법
저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술	(초)미세먼지 제거효율 30% 이상	20%	미세먼지 중량법 측정 (GB/T 18883-2002)	공인시험기관 평가보고서 또는 성적서
공조 환기시스템 리트로핏 기술	(초)미세먼지 제거효율 50% 이상	10%	미세먼지 중량법 측정 (GB/T 18883-2002)	

<표 3-13> 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발의 세부기술 분류 및 목표 성능수준

세부과제명	세부기술명	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE* 여부
인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발	지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술	예측 정확도 90% 이상	시스템	TRL 7	
	재실자 기반 조기 대응형 공조 환기 제어기술	조기 제어 간격 1 시간	시스템	TRL 7	○
	지하철 터널 이동형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진 제거기술	집진속도 70 km/h 이상, 처리용량 3,500 CMH 이상	장비/장치	TRL 7	○
지하철 (초)미세먼지 저감기술 개발	저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술	초미세먼지 집진 효율 30% 이상	장비/장치	TRL 7	
	공조 환기시스템 리트로핏 기술	(초)미세먼지 제거효율 50% 이상	시스템	TRL 7	

*CTE(critical technology element): 세부목표의 성공여부를 결정짓는 장치, 소재, 부품, 시스템으로 그 자체로 시연이 가능한 핵심 세부기술

제4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

□ 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발에서는 ① 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술, ② 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술, ③ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 기술을 포함하며 주요 연구내용은 다음과 같음.

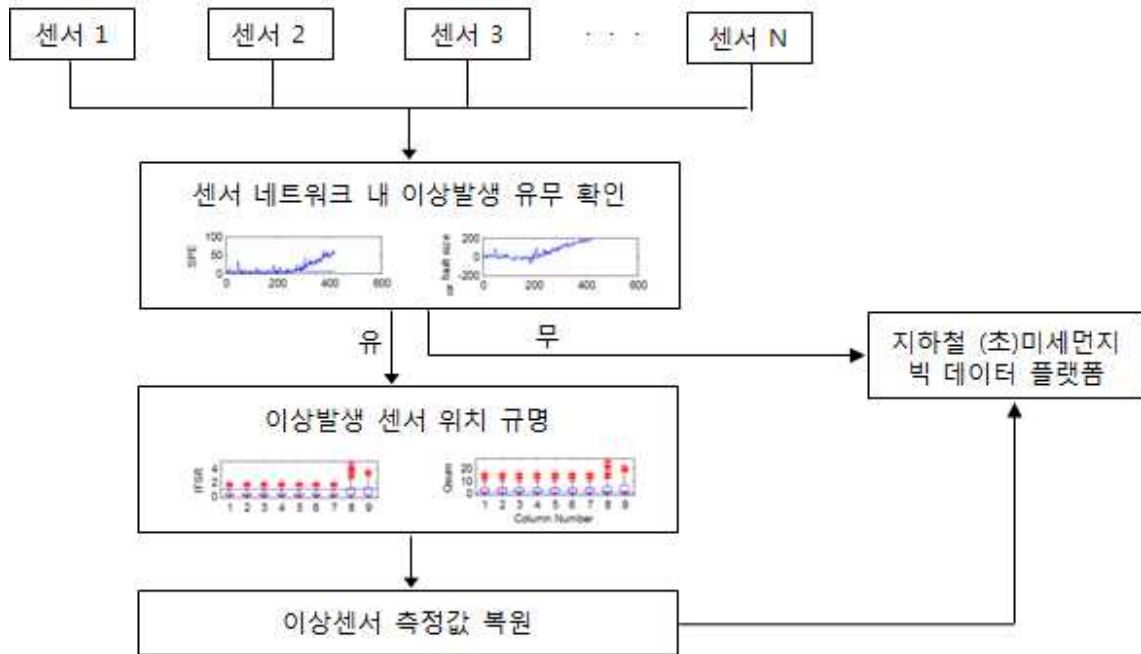
① 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술 개발

- 대합실, 승강장, 객차 등 승객이 머무는 공간의 공기질을 상시 모니터링 하며 이를 기반으로 ‘지하철 (초)미세먼지 빅 데이터’ 를 구축함.
- 지하철 (초)미세먼지 빅 데이터란 지하철 미세먼지에 영향을 미치는 변수로써 이는 승객 수, 운행 지하철 수, 공조설비 운전 정보, 외부 공기질, 기상 자료 등을 포함함.

<표 3-14> 지하철 (초)미세먼지 빅 데이터 변수

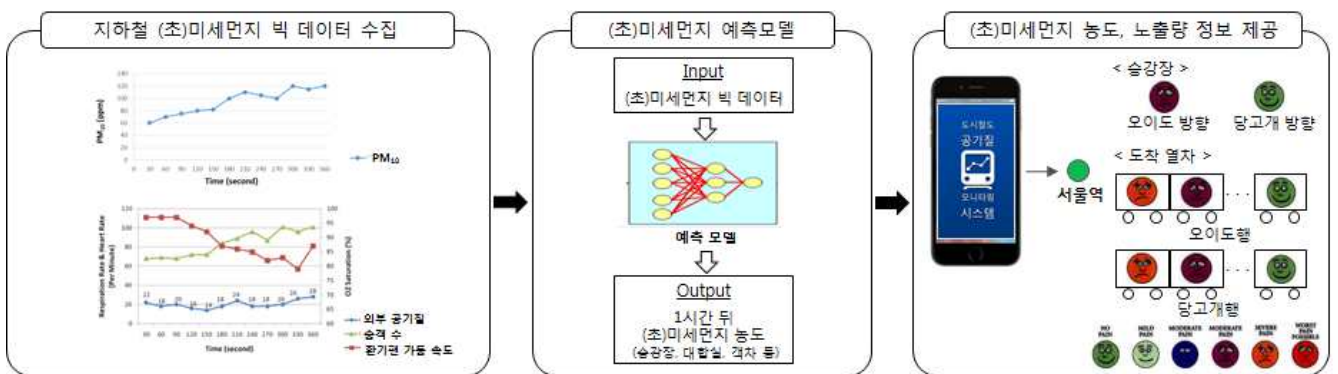
변 수	선정 근거
지하철 공기질 (PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO ₂ , 온도, 습도)	<ul style="list-style-type: none"> • 현재의 지하철 공기질 상태를 나타내는 직접적인 지표
승객 수	<ul style="list-style-type: none"> • 지하철 미세먼지 농도는 승객 수에 비례 • 승객 이동에 따라 (초)미세먼지가 발생 및 재비산 될 뿐만 아니라 승객의 옷, 신발 등에 (초)미세먼지가 묻어 지하철 내부로 유입
운행 지하철 수	<ul style="list-style-type: none"> • 지하철 미세먼지 농도는 운행 지하철 수에 비례 • 지하철 운행 중 휠-레일 마찰, 브레이크 패드 마모, 팬 토그래프 스파크 방전에 의해 미세먼지가 발생 • 열차풍에 의해 미세먼지 재비산이 발생
외부 공기질	<ul style="list-style-type: none"> • 외기는 지하철 입구, 환기구 등 공기 유동 통로를 통해 지하철로 유입 • 외기 공기질과 실내 공기질은 양의 상관관계를 갖는 것으로 알려져 있음. 즉, 외기의 미세먼지 농도가 높은 경우 지하철 미세먼지 농도 역시 높아짐
공조설비 운전 정보	<ul style="list-style-type: none"> • 지하철 내부 공기의 배기 및 외부 공기를 급기하는 공조설비의 운전 강도는 지하철 공기질에 직접적인 영향을 미침

- 상용화된 공기질 센서의 경우 장기 사용 시 정확도가 낮아지므로 (초)미세먼지 빅 데이터 변수의 측정값에 대한 유의성을 검증하여 센서의 이상을 감지, 복원하는 기술을 포함함.



<그림 3-5> 지하철 공기질 센서의 이상 감지 및 복원 개념도

- 지하철 미세먼지 빅 데이터에 다양한 구조의 인공지능 예측 모델을 적용하여 객차, 승강장, 대합실 등 승객이 머무는 공간의 (초)미세먼지 농도를 예측함.
- 또한 예측된 지하철 내 (초)미세먼지 농도를 기반으로 지하철 위치별 (대합실, 승강장, 환승 통로, 객차 등) 승객의 (초)미세먼지 노출량을 평가하여 지하철 이용자 및 운영처에 정보를 제공함.



<그림 3-6> 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술의 개념도

<표 3-15> 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술 개발의 추진 일정

연구내용	1차년 도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
기존 시스템의 분석 및 연계 기술 개발	■				
(초)미세먼지 빅 데이터 측정 센서 이상 진단 및 보정 기술 개발	■				
인공지능 기반 (초)미세먼지 예측 모델 개발		■	■		
시범노선 구축 및 시험 평가				■	■
실용화 및 지하철 확대 적용				■	■

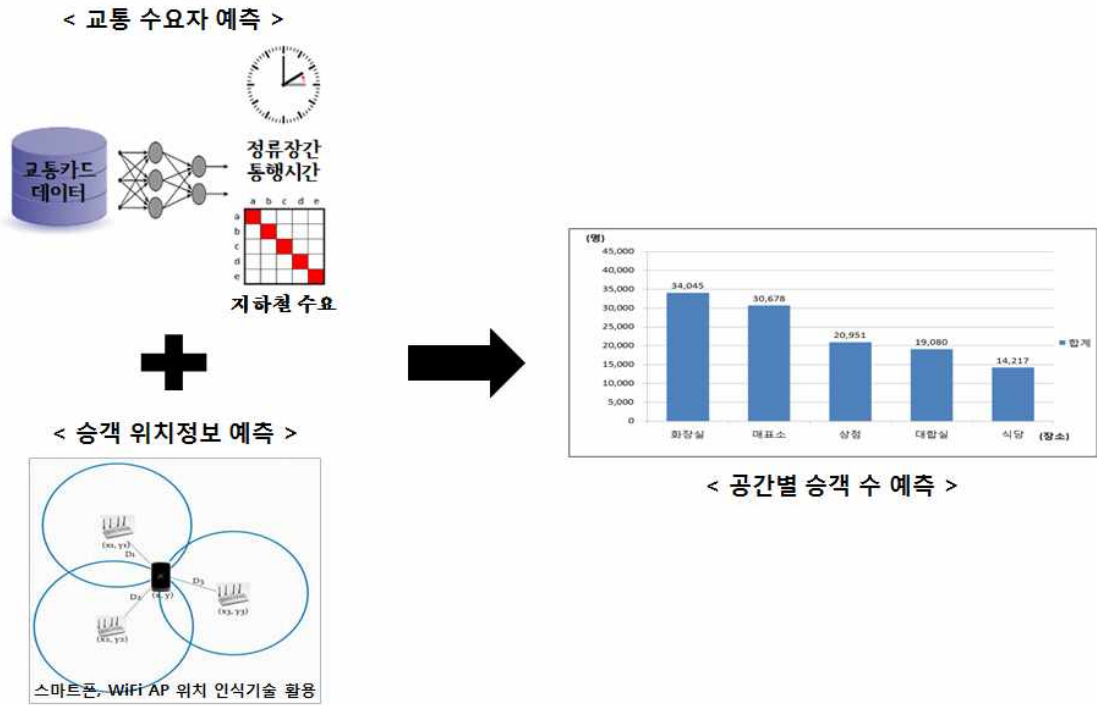
② 재실자 기반의 사전예방대응용 공조 환기 제어기술 개발

- 예측된 지하철 (초)미세먼지 농도를 기반으로 지하철 공기질이 악화되기 전에 공조설비를 미리 가동하는 환기 제어 시스템을 개발함.

- 인공지능 모델을 이용하여 1시간 이후의 지하철 (초)미세먼지 농도를 예측하며, 예측 농도와 목표 농도의 차이를 기반으로 1시간 후의 농도가 목표치에 도달할 수 있도록 환기 공조기 팬 속도를 제어함.

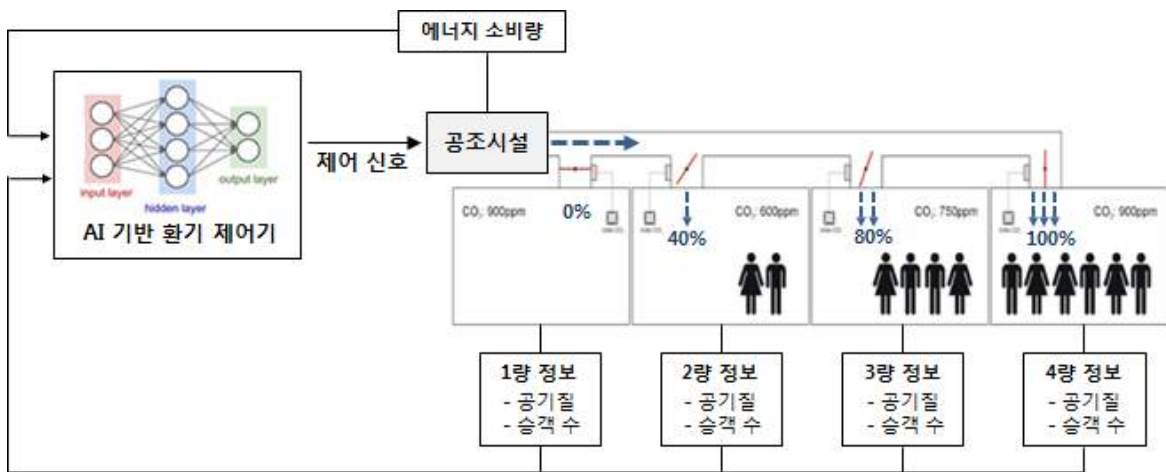
- 환기 제어 시스템의 유입 변수로써 지하철 공간별(대합실, 승강장, 객차 등) 승객 수를 활용함.

- 지하철 내 (초)미세먼지 농도는 승객 수에 비례하는 것으로 알려짐. 이는 승객 이동에 따라 미세먼지가 발생 및 재비산 될 뿐만 아니라 승객의 옷, 신발 등에 미세먼지가 묻어 지하철로 유입되기 때문임.
- 교통수요 예측 방법과 스마트폰, WiFi AP(access point) 등 위치인식 기술을 활용하여 지하철 각 공간의 승객 수를 예측함.



<그림 3-7> 지하철 공간별 승객 수 예측의 개념도

- 예측된 지하철 (초)미세먼지 농도와 승객 수를 바탕으로 지하철 공간별 환기 비율을 조절함으로써 지하철 이용자의 미세먼지 노출과 환기 에너지 소비를 최소화하는 환기제어 시스템을 개발함.



<그림 3-8> 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술의 개념도

<표 3-16> 재실자 기반의 사전예방대응용 공조 환기 제어기술 개발의 추진 일정

연구내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
지하철 공기질 - 주요 영향변수 간 상관관계 규명 기술 개발					
공간별 승객 수 예측 모델 및 정확도 향상 기술 개발					
사전예방대응용 공조 환기 제어 알고리즘 개발					
공조 제어 알고리즘 - 공조 설비 간 연계 운전기술 개발					
시범노선 구축 및 시험 평가					

③ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 기술 개발

- 전동차의 상부, HVAC에 부착 가능한 형태로써 전동차의 운행에 의해 지하철 터널에 부유되는 고농도의 (초)미세먼지를 집진하여 제거하며 객실 내부로 신선공기를 유입하는 장치를 개발함.
- 2017년 한국철도기술연구원의 조사에 따르면 서울 지하철 5호선 전동차의 HVAC을 통해 객실로 유입되는 PM₁₀, PM_{2.5} 평균 농도는 128 µg/m³, 80 µg/m³임 (측정일시: 2017.11.14.). 고속 고용량 (초)미세먼지 집진 제거기술 개발을 통해 전동차 HVAC로부터 객실로 유입되는 터널 (초)미세먼지를 50% 이상 제거하며 이를 통해 객실 내 승객의 (초)미세먼지 노출을 저감함.
- 전동차 운행속도(70-80 km/h)에 대응한 고속 흡진 및 집진 구조를 지니며 금속성분이 높은 터널 (초)미세먼지 제거를 위해 전기집진, 전도성/연자성 필터 집진 등의 기술을 장치에 포함함.
- 전동차 HVAC에 부착하여 (초)미세먼지를 제거할 수 있는 기술로서 여기에는 압력손실을 최소화하면서 (초)미세먼지 제거기술, 바이러스 제거기술 등이 포함됨.
- 인공지능으로 예측된 (초)미세먼지 농도에 따라 지하철 노선 중 (초)미세먼지 농도가 높은 시간대 및 공간에 본 기술을 적용하여 (초)미세먼지 농도를 관리하고자 함.



<그림 3-9> 전동차 HVAC 부착형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진기술의 개념도

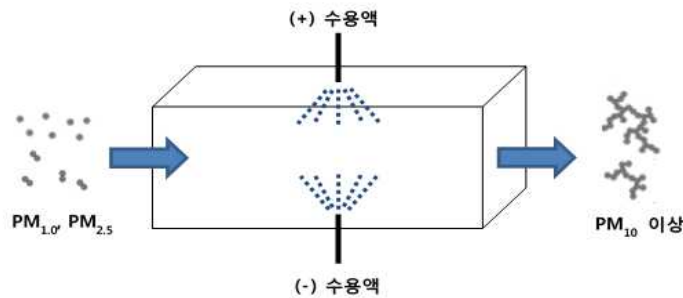
<표 3-17> (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 개발의 추진 일정

연구내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
고속 고용량 저감시스템 설계 요구사항 분석	■				
(초)미세먼지 흡진 기술 개발		■	■		
(초)미세먼지 집진 기술 개발		■	■		
(초)미세먼지 고속, 고용량 저감장치 설계 및 제작		■	■		
시범노선 구축 및 시험 평가				■	■

□ 지하철 (초)미세먼지 노출 저감 기술개발 연구의 2 세부과제인 지하철 (초)미세먼지 저감 기술 개발은 ① 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술, ② 공조 환기시스템 리트로핏 기술을 포함하며 주요 연구내용은 다음과 같음.

① 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술 개발

- 정전분무(electric spray)를 활용한 상호 응집, 중력 침강 등을 통해 지하철 터널 내 (초)미세먼지의 조대화 기술(짧은 시간에 (초)미세먼지를 응집하여 농도를 저감)을 개발함.



<그림 3-10> 전자분무를 이용한 (초)미세먼지 조대화 원리

- 전동차 상부에 부착 가능한 형태로써 인공지능으로 예측된 (초)미세먼지 농도에 따라 지하철 노선 중 (초)미세먼지 농도가 높은 시간대 및 공간에 본 기술을 적용하여 (초)미세먼지를 고속으로 응집한 후 기존의 집진기술을 활용하여 제거함.

- 초미세먼지에 비해 직경 10 μm 이상의 조대 미세먼지를 집진 제거하는 기술은 고효율, 저비용, 유지보수 편의의 장점을 가짐.
- 또한 조대 미세먼지의 집진 제거 시 지하철에 기 설치된 집진설비의 연계 활용이 가능하다는 장점을 가짐.



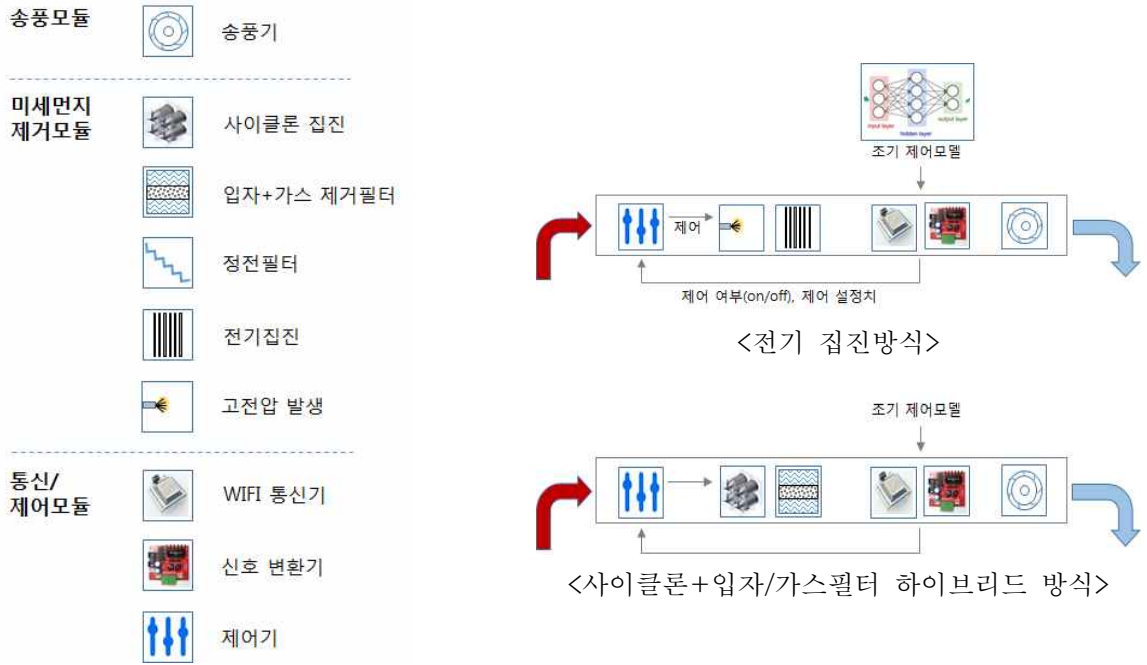
<그림 3-11> 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술의 개념도

<표 3-18> 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술 개발의 추진 일정

연구내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거시스템 설계 요구사항 분석	■				
(초)미세먼지 응집, 조대화 기술 개발		■	■		
지하철 내 기존 집진장치와의 연계 운전 기술 개발			■		
저에너지 소모형 (초)미세먼지 저감장치 설계 및 제작		■	■		
시범노선 구축 및 시험 평가				■	■

② 공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발

- 리트로핏(retrofit)이란 기존 뼈대는 유지한 채 핵심 설비만 개조, 개선하여 효율과 수명을 증대하는 방법임. 지하철 공조 환기시스템의 급·배기 효율, (초)미세먼지 제거 효율, 에너지 효율을 증대하기 위한 공조설비 개·보수 기술을 개발함.
- 다양한 형태의 지하철 공조 환기시스템에 범용적인 적용을 위해 리트로핏 모듈화 기술 개발을 포함함. 모듈(module)이란 독립적인 기능을 갖는 구성요소로써 리트로핏 모듈에는(초)미세먼지 제거모듈, 송풍모듈, 제어모듈, 인터페이스/통신모듈이 포함됨. 리트로핏 모듈을 지하철 실내공기 환경, 공조 환기설비 형태에 따라 조합하여 설치함으로써 다양한 공조 환기시스템의 범용적, 경제적인 리트로핏이 가능함.
- (초)미세먼지 제거모듈로써 적용 가능한 기술은 전기집진, 사이클론 집진, 정전 필터, 입자상/가스상 물질 동시 제거 기능성 필터, 감염성 오염원(바이러스, 박테리아 등) 관리를 위한 광촉매 산화 적용 필터 등임.
- 공조 환기시스템과 인공지능 기반 (초)미세먼지 예측 및 조기 대응 제어시스템의 연계를 위해 (초)미세먼지 예측·제어기 모델과의 통신모듈 및 제어모듈 개발을 포함함.
- 리트로핏 기술 적용 대상은 승강장 하부의 배기설비 및 승강장, 대합실의 공조 환기실임.
- 인공지능으로 예측된 (초)미세먼지 농도 예측 값과 재실자 정보를 토대로 환기량을 결정하고 하드웨어의 가동시간 및 가동율을 결정하고자 함.



(ㄱ) 공조 환기시스템 리트로핏 모듈 (ㄴ) 모듈 조합에 따른 다양한 방식의 리트로핏(안)

<그림 3-12> 공조 환기시스템 리트로핏 기술의 개념도

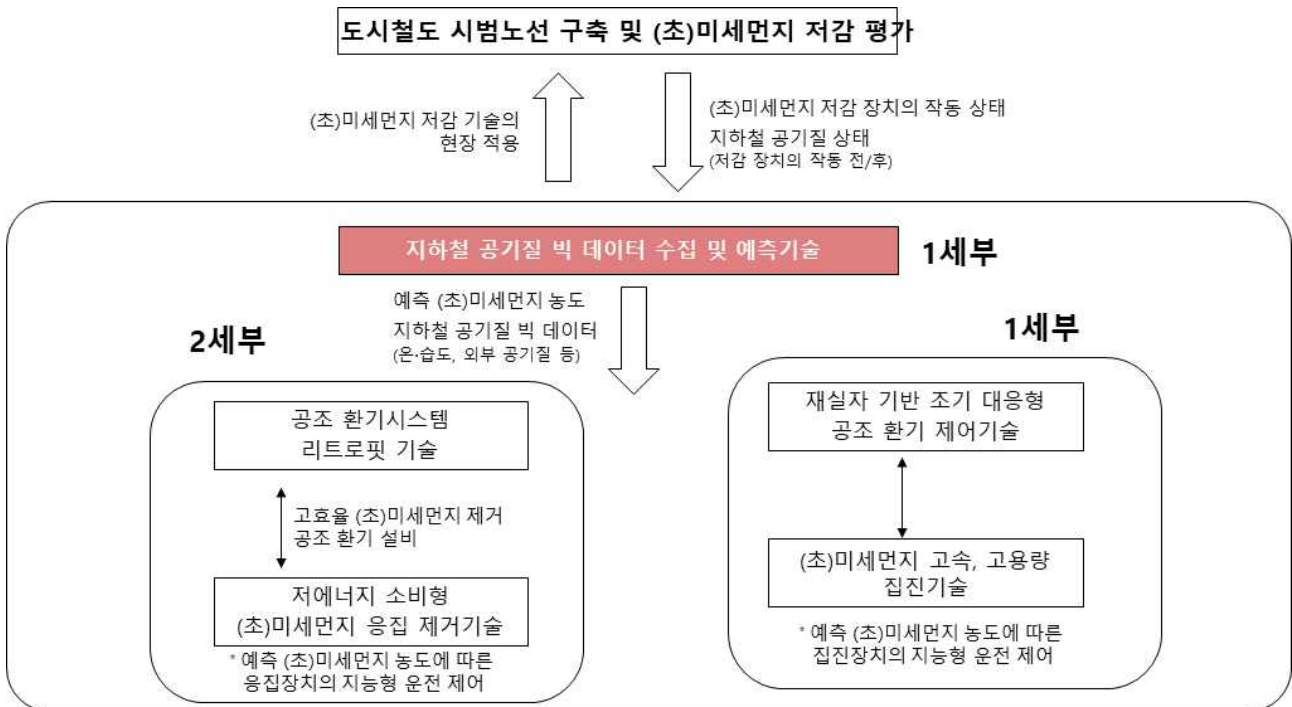
□ 1, 2세부 과제를 통해 개발된 도시철도 (초)미세먼지 예측 및 저감기술의 지하철 이용객 노출 저감효과는 아래와 같이 평가함.

- 노출 평가 방법: 지하철 입구, 대합실, 승강장, 객차, 환승 통로 등 승객의 이동 경로에서의 (초)미세먼지 농도 및 호흡을 통해 흡입되는 (초)미세먼지 양을 지표로 승객의 노출 정도를 평가함.
- Personal sampler를 이용하여 동일한 이동 시간, 경로 상에서 기술개발 전후의 지하철 승객 (초)미세먼지 노출 정도를 비교함.

제5절 세부과제 간 연계관계

□ 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출 저감 기술개발의 세부과제 및 세부기술 간 연계 관계는 <그림 3-13>과 같음.

- 빅 데이터, 인공지능 기반의 지하철 공기질 예측기술을 통해 1 시간 이후의 (초)미세먼지 농도를 예측하며, 이를 조기 대응형 공조 환기 제어 및 (초)미세먼지 고속 저감기술의 지능형 운전을 위한 입력 정보로 활용함.
- 조기 대응형 공조 환기 제어기술, 고속 고용량 (초)미세먼지 집진기술, 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술, 공조설비 리트로핏 기술 간의 독립성을 고려하여 개별 연구개발을 수행함.



<그림 3-13> 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 저감기술 개발의 세부기술 간 연계관계

제6절 기술로드맵 및 성과로드맵

- 국내 지하철 (초)미세먼지 저감기술 개발의 기술성숙도와 본 연구과제에서 개발하고자 하는 기술의 도전성과 개발규모를 고려했을 때 핵심 요소기술 개발(3년) 이후 실용화 연구개발(2년)과 같이 단계적으로 추진함이 바람직함.
- 핵심 요소기술 개발은 TRL 7수준에 해당하는 기술을 확보하여 최종 유사환경에서의 working model 검증하거나 프로토타입 개발을 목표로 함. 본 단계는 TRL 5에 해당되는 인공지능 기술을 이용하여 지하철 (초)미세먼지 빅 데이터 수집 및 예측하며, 재실자 중심의 저기 대응형 환기 공조 기술개발, 고속 고용량 (초)미세먼지 집진기술 개발, 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술 개발 등 핵심요소기술 개발을 수행하고, 개발된 기술은 향후 실용화 연구개발에 활용함.
- 실용화 연구개발은 TRL 7수준에 해당하는 기술을 확보하여 최종 실제 환경에서의 시제품 테스트를 목표로 함. 따라서 향후 실용화에 필요한 성적서 및 인증을 획득함. 핵심 요소기술 개발 단계에서 개발된 분야별 핵심요소기술을 기반으로 실용화 수준의 시스템 기능과 성능 확보를 목표로 시스템 개발을 수행함.
- 실용화 우선대상으로 지하철에 적용을 목표로 함. 지하철의 경우 실제 운영기관에서 사용할 수 있는 수준의 공기질 모니터링 기술과 빅 데이터 분석결과를 제공함. 또한 각종 개발 기술은 향후 운영기관에서 쉽게 사용할 수 있도록 사용자 친화적인 매뉴얼과 실무자를 대상으로 교육을 실시함.

		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발	지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술 개발	핵심요소기술개발			실용화기술개발	
	재실자 기반 조기 대응형 공조 환기 제어기술 개발	핵심요소기술개발				
	(초)미세먼지 고속, 고용량 저감기술 개발	핵심요소기술개발			- 테스트 베드 구축 및 시험 평가 - 핵심기술 보완 및 실용화 기술 개발 - 핵심기술 실증화 기술 개발	
도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발	저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술 개발	핵심요소기술개발				
	공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발	핵심요소기술개발				

<그림 3-14> 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 노출 저감 기술개발 로드맵

세부과제명	세부기술명	연구활동	산출물	연구기간	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1. 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발	1-1. 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술 개발	1-1-1. 기존 모니터링 인프라의 활용 및 연계 기술 개발	공기질 모니터링 인프라 연계 인터페이스	1년					
		1-1-2. (초)미세먼지 빅 데이터 측정 센서 이상진단 및 보정 기술 개발	공기질 센서 이상진단, 보정 시스템	1년					
		1-1-3. 인공지능 기반 (초)미세먼지 예측 모델 개발	지하철 (초)미세먼지 예측 모델	2년					
		1-1-4. 시범노선 구축 및 시험 평가	빅 데이터 기반 공기질 예측 시스템 (예측모델 + 하우징) 시제품	2년					
		1-1-5. 실용화 및 도시철도 확대 적용	빅 데이터 기반 공기질 예측 시스템 시제품 및 운영관리 지침서	2년					
	1-2. 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술 개발	1-2-1. 지하철 공기질 - 주요 영향변수 간 상관관계 규명 기술 개발	상관관계 규명 실험결과보고서	1년					
		1-2-2. 공간별 승객 수 예측 모델 및 정확도 향상 기술 개발	지하철 공간별 승객 수 예측 모델	1.5년					
		1-2-3. 조기 대응형 공조 환기 제어 알고리즘 개발	조기 대응형 공조 제어 알고리즘	2년					
		1-2-4. 공조 제어 알고리즘 - 공조 설비 간 연계 운전기술 개발	공조 제어 알고리즘 - 공조 설비 인터페이스	2년					
		1-2-5. 시범노선 구축 및 시험 평가	재실자 기반 조기 대응형 공조 제어 시스템(예측모델 + 제어 알고리즘 + 하우징) 시제품	2년					
	1.3. (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 개발	2-1-1. 고속 고용량 저감시스템 설계 요구사항 분석	고속 고용량 저감시스템 요구조건 분석보고서	1년					
		2-1-2. (초)미세먼지 흡진 기술 개발	도시철도 터널 (초)미세먼지 흡진 기술	2.5년					
		2-1-3. (초)미세먼지 집진 기술 개발	도시철도 터널 (초)미세먼지 집진 기술	2.5년					
		2-1-4. 고속 고용량 (초)미세먼지 저감장치 설계 및 제작	고속 고용량 저감시스템 상세사양서 및 시제품	2년					
		2-1-5. 시범노선 구축 및 시험 평가	고속 고용량 저감시스템 시운전	2년					

세부과제명	세부기술명	연구활동	산출물	연구기간	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
2. 도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발	2-1. 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거 기술 개발	2-2-1. 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거 시스템 설계 요구사항 분석	저에너지 소모형 제거시스템 요구 조건 분석보고서	1년					
		2-2-2. (초)미세먼지 응집, 조대화 기술 개발	(초)미세먼지 응집, 조대화 기술	2.5년					
		2-2-3. 도시철도 내 기존 집진장치와의 연계 운전 기술 개발	저에너지 소모형 저감시스템 - 도시철도 내 집진장치 간 인터페이스	1년					
		2-2-4. 저에너지 소모형 (초)미세먼지 저감장치 설계 및 제작	저에너지 소모형 제거시스템 상세 사양서 및 시제품	2년					
		2-2-5. 시범노선 구축 및 시험 평가	저에너지 소모형 제거시스템 시운전	2년					
	2-2. 공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발	2-3-1. 도시철도 환기 공조설비 조사 및 구조 형태별 분류	도시철도 환기 공조설비 조사 분석 보고서	1년					
		2-3-2. (초)미세먼지 제거기술의 모듈화 기술 개발	(초)미세먼지 제거기술의 모듈화	1.5년					
		2-3-3. 모듈 상호 결합 및 환기 공조설비 인터페이스 기술 개발	(초)미세먼지 제거모듈 - 환기 공조설비 인터페이스	1년					
		2-3-4. 환기 공조설비 구조 형태별 최적 모듈 조합 도출	공조설비 형태별 최적 모듈 조합 및 리트로핏 지침서	2년					
		2-3-5. 시범노선 구축 및 시험 평가	공조 환기설비 리트로핏 및 시운전	2년					

<그림 3-15> 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출 저감 기술개발 로드맵

제7절 산업생태계 분석

1. 공급자

□ 국내 환경산업 업체 중 대기관리 부문에 종사하는 사업체는 2,410개소로 환경산업의 4.2% 비중을 차지함²⁶⁾.

- 대기관리 부문에는 실내공기질 통제기기 제조, 실내공기질 통제 서비스, 대기오염 통제기기 제조, 분석 자료수집 및 평가 서비스 등이 포함됨.

- 실내공기질 통제기기 제조와 실내공기질 통제 서비스 사업체는 대기관리 부문의 각각 5.5%, 1.9%를 차지함. 최근 실내공기질에 대한 국민의 관심 증가에 비해 관련 기술 개발자 및 공급자는 낮은 것으로 판단됨. 이에 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출을 저감하기 위해 실내공기질 개선기술을 개발하는 본 기획연구는 관련 기술 공급자의 부족 현상을 보완할 수 있을 것으로 사료됨.

- 재화를 산출할 때 직·간접적으로 창출되는 고용자 수를 나타내는 한국은행 산업연관표²⁷⁾의 고용유발계수는 다음과 같음. 본 기획연구를 통해 관련 업체가 기기·장치 제조 및 유지보수 서비스 사업 등을 통해 이익을 창출함에 따라 전문인력을 고용함으로써 기술 공급자 부족을 보완할 수 있을 것으로 사료됨.

- 전기 및 전자기기(미세먼지 및 공기질 측정 센서, 센서 네트워크): 0.43명/억원
- 기계 및 장비(미세먼지 저감 설비, 환기 설비): 0.72명/억원
- 전문 과학 및 기술 서비스(측정, 환기, 저감설비 운영 및 유지보수): 1.29명/억원



<그림 3-16> 환경산업 분야별 공급자(산업체) 현황

26) 환경부, 2015년 기준 환경산업통계조사보고서 (2017)

27) 한국은행, 2014년 산업연관표(해설편 및 통계편) (2017)

□ 환경지식·정보·감시 부문에 종사하는 사업체는 5,042개소로 전년대비 110.9% 증가함 (2,391 → 5,042개소). 이를 통해 환경 실시간 모니터링, 상시 환경 감시 등 4차 산업기술 기반의 대기관리 사업체가 증가 추세임을 알 수 있음²⁶⁾.

- 환경지식·정보·감시 부문에는 환경감시, 분석 및 측정장치 제조, 환경 엔지니어링 서비스, 분석 자료수집 및 평가서비스 등이 포함됨.

- 환경감시, 분석 및 측정장치 제조와 분석 자료수집 및 평가서비스 부문의 경우 전년대비 각각 288.8%, 127.2% 대폭 증가함. 이를 통해 인공지능, 빅 데이터 등 4차 산업기술을 적용하여 실내공기질 개선기술을 개발하는 본 기획연구는 관련 기술 공급의 증가 동향에 부합한다 할 수 있음.



<그림 3-17> 환경지식·정보·감시 관련 기술 공급자의 매출액 추이

2. 수요자

□ 본 기획연구의 주된 수요처는 지하철 운영기관임 (서울교통공사, 한국철도공사, 인천교통공사, 광주지하철공사, 대구지하철공사, 대전지하철공사, 부산교통공사).

□ 서울교통공사는 미세먼지 관리를 위해 다음과 같은 관리 기준(자체 규정 포함) 및 저감 추진 계획을 갖고 있음²⁸⁾.

- 미세먼지 관리 목표

28) 한국철도기술연구원 자체 조사 (운영기관별 미세먼지 저감대책)

대상시설	관 리 목 표		
지하역사	‘18년도 82.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	⇒	‘22년도 79.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
			⇒
			‘26년도 70.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
터 널	관리기준 없음 ⇒ 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하		
전동차 객실	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⇒ 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		

- 지하역사(승강장, 대합실) 미세먼지 저감 계획

- 환기설비 청소 증회 (평균 9회/년 → 18회/년, 55억/년)
- 수유역 승강장 공기청정기 시범 설치 (16대, 0.6억원/년(임대방식))
- 스마트 실시간 공기질 모니터링 시스템 구축 (추진물량 840대, 10억원/년(임대방식))
- 노후역사 환기개선 공사 (4역, 1,073억원)

- 지하철 객실 미세먼지 저감 계획

- 냉방기 필터 기능 보장 (3,501량, 10.9억원)
- 신조 및 기존전동차 공기질 개선장치 설치 (3,500량 (2대/량), 176억원)

- 터널 미세먼지 저감 계획

- 터널 인력 물청소 연 1회 시행 (840.6 km, 17억원/년)
- 터널 청소차량 운행 확대 (연 1회 → 3회 이상)
- 본선 노후 환기시설 개량 (40대, 92억원)
- 친환경모터카 구매 (21대, 204억원)
- 분진흡입차량 구매 (1대, 60억원)

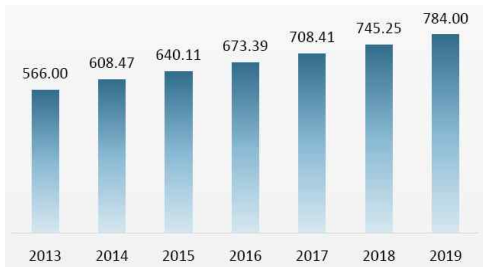
□ 광주지하철공사, 대구지하철공사 등도 미세먼지 저감을 위해 공기질 자동측정기 확대 설치, 노후 공조여과설비 개선 등 매년 많은 예산과 인력을 투입하고 있는 실정임²⁷⁾.

□ 본 기획과제는 지하철 운영기관의 기술 수요조사를 기반으로 핵심요소기술을 선정하였으므로 수요처의 요구사항에 부합한 연구개발 과제라 할 수 있음.

3. 시장구조

□ 세계 대기오염 관리 시장은 2014-2019년 기간 동안 5.2%의 성장률을 보임²⁹⁾.

- 대기오염 저감장치: 높은 성장률을 보이는 아시아·태평양 지역으로 시장 중심이 이동함.
- 대기오염 측정장치: 성장률은 아시아·태평양 지역이 높지만, 시장 중심은 북미 지역임.
- 대기오염 측정장치 시장에 비해 규모가 3배 이상이며 아시아·태평양 지역이 시장의 중심이 되는 대기오염 저감장치 시장이 (초)미세먼지 문제해결의 연장선상에서 접근하기 쉬운 편임.
- **본 기획과제**는 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출을 저감하기 위한 (초)미세먼지 집진 제거기술 개발을 목적으로 하므로 **현재의 대기오염 시장 동향에 부합한다** 할 수 있음.



(ㄱ) 세계 시장규모

지역(백만 달러, %)	2015	2016	2021	CAGR('16-21)	
대기오염 저감장치	아시아-태평양	4,680	5,070	7,590	8.4
	북미	3,710	4,000	5,760	7.6
	유럽	3,320	3,560	5,090	7.4
	중동	1,060	1,140	1,630	7.4
	남미	490	540	800	8.2
전체	13,260	14,310	20,870	7.8	
대기오염 측정장치	아시아-태평양	930.2	995.8	1,582	9.7
	북미	1,670.2	1,747.2	2,489.8	7.3
	유럽	1,268.6	1,339.1	1,995.2	8.3
	기타	349.7	358.9	478.2	5.9
	전체	4,128.7	4,441.5	6,545.2	8.1

(ㄴ) 지역별 시장전망

<그림 3-18> 세계 대기오염 시장 규모 및 지역별 시장 전망

□ 용도별 대기오염 저감장치 시장의 경우 주거용, 차량용, 건축용 저감장비를 중심으로 성장함²⁷⁾.

- 주거용(8.4%), 차량용(8.2%), 건축용(8.1%) 대기오염 저감장치 시장은 평균 시장성장률인 7.8%를 상회하여 시장 성장을 주도할 것으로 전망됨.
- 대기오염 저감장치 시장에서의 점유율은 차량용, 건축용, 주거용 순서임.
- ‘지하철 (초)미세먼지 저감’의 경우 차량, 건축, 주거 부문을 모두 아우르므로 본 기획과제는 **현재의 대기오염 시장 동향에 부합한다** 할 수 있음.

□ 본 기획과제와 연관된 대기오염 저감장치 시장의 경쟁 환경은 다음과 같음.

- 대기오염 저감장치: 다양한 기업들이 참여하여 목표시장에 따라 차별화된 전략을 취하고 있음.

29) BBC Research(2017), Transparent Market Research(2016)

- 주거용 공기정화 전문기업은 이온필터에 특화하여 기술 제품을 차별화 함.
- 산업 및 상업용 대기오염 저감 전문기업은 다중필터에 특화하여 기술 제품을 개발함.
- 본 기획과제를 통해 조기 대응형 공조 환기 기술, 이동형 고속 고용량 (초)미세먼지 제거 기술 등 지하철 특성에 맞춘 차별화 된 (초)미세먼지 저감기술을 개발함으로써 대기오염 저감장치 시장의 경쟁 환경에 대응할 수 있을 것으로 사료됨.

제8절 연구과정상 위험요소 및 대응방안

- 본 기획과제는 지하철 초미세먼지 농도를 저감하고 이용 시민의 노출피해를 최소화하기 위한 본 사업을 위한 것으로서 본 사업을 진행하는 과정에서 예상되는 문제점과 대응방안을 정리하면 다음과 같음.
- 지하철 공기질 개선사업은 일반 사업자가 주도적으로 수행하기에는 참여에 제약이 있을 것으로 예상되므로 국가 R&D를 통해 최적의 기술을 발굴하고 해당 기술에 대한 시제품 적용 및 테스트를 통해 시장 진입기간을 단축하고, 기술이 성숙되고 시장에 진입하기 전까지는 정부에서 주도하여 기술을 개발하고 인큐베이팅 할 필요가 있음.
- 본 사업을 통해 개발되는 기술은 지하철 이용 시민의 초미세먼지 노출을 최소화하기 위한 것으로 연구사업의 마무리 단계에서 있을 평가를 미리 염두에 두고 평가방안과 구체적인 방법을 고민할 필요가 있음.
- 본 사업은 측정·분석, 평가·진단, 개발기술의 적용 및 테스트 등 전 과정이 도시철도에서 진행되므로 수도권을 비롯한 지방의 도시철도 운영기관이 참여하여야 제대로 된 진단을 통해 기술을 발굴하고, 도출된 기술에 대한 적절한 평가와 검증이 가능할 것으로 판단됨. 또한 개발기술의 상용화시 야기될 수 있는 기술적 위험(전동차량 부하, 통신 오류에 따른 오작동 등)과 이에 따른 안전 위험에 대응하기 위해 도시철도 운영기관의 시범노선 구축을 통한 충분한 사전 검증이 있어야 할 것으로 판단됨.
- 본 사업을 통해 개발되는 기술의 상용화시 도시철도 차량, 용품, 안전과 관련한 법 규정 저촉 등의 정책적 위험이 야기될 수 있으므로 도시철도 표준규격(KRS, KS 등) 제·개정, 기술 기준 제·개정 및 관련 법 규정의 검토·정비가 필요할 것으로 판단됨.
- 2016년부터 급증한 미세먼지에 대한 전국민적인 관심으로 각 부처마다 미세먼지를 키워드로 하는 R&D를 기획하고 있거나 이미 진행 중에 있음. 물론 과학기술부에서 주도하여 각 부처에서 진행되는 미세먼지 R&D에 대한 중복성 여부를 확인하여 신규 사업을 허가하고 있으나 중복성 회피가 필요할 것으로 판단되므로, 신규과제 시작 전에 충분한 논의가 있어야 할 것으로 판단됨.

제9절 성과활용 및 사업화전략

1. 성과활용

□ 원천기술 확보

- 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 인공지능 기반의 (초)미세먼지 예측기술 확보
- 조기 대응형 공조 환기제어 원천기술 확보
- 이동형 고속, 고용량 (초)미세먼지 집진·제거 원천기술 확보
- 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거 원천기술 확보

□ 현장적용 방안 및 계획

- 지하철 공기질을 상시 모니터링하여 구축된 빅 데이터를 기반으로 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 예측 시스템을 구축함. 예측된 (초)미세먼지 결과를 공조 환기제어 설비, 이동형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진장치, 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거장치에 연계하여 지하철 공기질 상태에 적합한 운전·제어를 함으로써 실질적인 공기질 개선효과를 구현함.
- 도시철도 운영기관에서 자체 운영하는 공기질 모니터링 설비가 있는 경우 무선통신 모듈 등을 이용하여 공기질 측정 결과를 빅 데이터 플랫폼으로 전송, 저장하며 이를 (초)미세먼지 예측에 활용함.
- 예측된 (초)미세먼지 결과를 기반으로 오염도가 극심한 주요 터널구간에 (초)미세먼지 집진 제거장치, 공조 환기제어 설비를 집중적으로 운전하여 공기질 개선작업을 수행함. 도시철도에 기 설치된 공조환기 설비의 경우 무선통신 모듈, 제어 모듈 등을 이용하여 (초)미세먼지 예측 시스템과 조기 대응형 제어 시스템으로부터 제어 신호를 받아 운전하도록 함.
- 지하철 터널 공기질 관리를 위하여 운행차량에 (초)미세먼지 저감장치를 설치하여 차량운행시간에 에너지 효율적으로 공기질 개선작업을 수행함.
- 지하철 운영기관(서울교통공사, 대구지하철공사, 대전지하철공사 등)과 연계하여 과제 종료 후에도 연구개발 시제품을 지속적으로 활용함.

□ 실용화 및 제품화 계획

- 연구개발 된 시제품은 상용 제품화하여 실제 지하철 현장 적용이 가능하도록 제작함.
- 전국 지하철 운영기관을 대상으로 연구 성과 홍보를 통해 현장 적용을 극대화함.

- 제작 규격 및 운영 매뉴얼 작성 등을 통해 현장 적용의 용이성을 향상함.

□ 신산업 창출 방안

- 미세먼지 농도가 매우 높아 저감이 필요한 공공 운송수단(버스 터미널, 복합환승센터 등)으로 미세먼지 저감 신산업 확대가 가능함.

2. 사업화전략 (비즈니스 모델)

□ 사업화 가능성 SWOT 분석

강점 (Strength)	약점 (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 저감 관련 원천기술 보유 - 환경 빅 데이터 수집·활용 원천기술 보유 - (초)미세먼지 저감 관련 풍부한 연구 경험 	<ul style="list-style-type: none"> - 본 시스템 설치·적용 시 초기 비용 소요 - (초)미세먼지 저감성능은 외란(외기 오염도, 주변 도로상황 등) 영향을 크게 받음
위기 (Threat)	기회 (Opportunity)
<ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 위해성에 의한 승객 안전위협 - 시급성으로 인한 단기간 상용화 요구 - 미세먼지 저감기술 관련 기술경쟁 가속화 	<ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 문제의 사회적 이슈화 - 실내 공기질 관련 환경기준 강화 - 지하철 운영기관의 공기질 개선의지

□ 비즈니스 모델 수립 배경

- 최근 지하철 공기질, 미세먼지 심각성 관련 언론보도의 급격한 증가로 인한 사회적 관심도가 향상됨.
- 빅 데이터, 인공지능 예측기술과 연계한 (초)미세먼지 집진 제거기술을 지하철에 적용함으로써 오염도가 높은 지하철 구간의 (초)미세먼지를 신속하게 집중적으로 저감하는 방안을 제시하게 됨.
- 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 저감기술을 전국 지하철 운영기관을 대상으로 그 필요성과 효과, 성능을 적극 홍보하여 승강장, 전동차 객실, 터널 등 기존의 지하철 시스템 및 향후 신규 지하철에 적용하도록 함으로써 수익성 있는 사업화가 가능할 것으로 기대됨.

□ 비즈니스 모델 목표 및 핵심경쟁요인

- 비즈니스 목표: 우수한 (초)미세먼지 저감성능을 갖는 ‘인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 저감기술’을 개발하고 상용화하여 지하철 운영기관에 판매함으로써 수익을 창출함과 동시에 지하철 이용 승객의 건강 증진에 따른 사회적 비용을 절감함.

- 핵심경쟁요인

- 핵심경쟁요인은 (초)미세먼지 예측 정확도, 조기 대응형 공조 환기제어 정확도, (초)미세먼지 집진 제거장치의 저감효율과 설치 및 유지비용 등이 있음.
- (초)미세먼지 예측 정확도는 중요한 경쟁요인 중 하나임. 기존의 (초)미세먼지 예측기술은 정확도가 낮다는 문제가 있음. 이에 본 기술에서는 지하철 공기질의 실시간 측정 데이터를 기반으로 인공지능 모델을 주기적으로 업데이트 함으로써 이전 기술 대비 예측 정확도 측면에서 우위를 접하도록 하고자 함.
- (초)미세먼지 저감효율은 또 다른 중요 경쟁요인임. 기존에 가정용 공기청정기 등에 적용되고 있는 필터방식의 미세먼지 저감기술은 지속적으로 (초)미세먼지가 발생, 유입되는 지하철에 적용하기에 많은 문제가 있음 (예: 시간에 따른 급격한 효율저하, 빈번한 필터 교체에 따른 유지보수비용 과다 소요 등). 이에 본 기술에서는 (초)미세먼지 저감성능을 장기간 유지하며, 오염도가 높은 구간에 집중적인 활용이 가능하면서도 유지보수비용을 절감할 수 있도록 함으로써 타 기술 대비 효율 및 비용 측면에서 우위를 접하도록 하고자 함.
- 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 저감기술의 수요처 적용 시 위험요소 제거 및 이를 통한 안전성 확보는 핵심 경쟁요인임. 이에 본 기술개발에서는 도시철도 운영기관의 연구 참여를 통한 현장 실증 및 Track-record 실적을 확보함으로써 기술의 안전성 측면에서 우위를 접하도록 하고자 함.

□ 목표 시장 구조

- 경쟁기업 현황

- 경쟁기업 현황 및 구조: 최근 전동차 객실용 공기정화시스템을 상용화하여 지하철에 적용한 사례가 있으나, 지하철 시스템 전반(승강장, 전동차 객실, 터널)에 미세먼지 농도 예측 및 저감시스템을 상용화한 경쟁기업은 없음. 그러나 본 기술이 상용화되면 기존의 공기정화 및 청정시장을 선점하고 있는 생산기업과 경쟁구조가 형성될 것으로 예상됨.
- 본 기술은 지하철 외에도 고농도의 (초)미세먼지에 노출될 우려가 있는 공공 운송수단(시내·외버스, 고속버스, 버스 터미널, 복합환승센터 등)에도 확대 적용될 수 있으므로 향후 시장이 크게 형성될 것으로 예상되며, 이에 따른 경쟁도 가속화될 것으로 예상됨.

- 시장진입 장벽

- 시장형성을 위해서는 지하철 (초)미세먼지를 정확도 높게 예측하여 오염도가 높은 구간에 (초)미세먼지를 신속, 집중적으로 저감할 수 있는 우수한 성능의 기술개발이 선행되어

야 하며, 개발된 기술에 대한 적극적인 홍보를 통해 실제 지하철 운영기관이 채택할 수 있도록 하는 것이 중요함.

- 인공지능 기반 (초)미세먼지 저감기술에는 연구 수행기관 및 타 연구기관, 사업체가 보유한 특허기술(예: 공기질 측정 기술, 데이터 분석 및 활용 기술, 미세먼지 집진·제거기술 등)은 물론 향후 새로이 개발될 다양한 특허기술이 복합 적용되므로 핵심기술 보유 경쟁에 의한 시장진입 장벽이 형성될 수 있을 것으로 판단됨.

□ 수익 확보 전략

- 주요 고객

- 전국 지하철 운영기관이 우선적인 고객이며, 향후 해외시장 수출시 해외의 지하철을 운영하는 기업 또는 관할 관청이 주요 고객군으로 예상됨.
- 본 기술이 향후 공공 운송수단(시내·외버스, 고속버스, 버스 터미널, 복합환승센터 등)에도 적용될 경우 버스정류장 설치/운영/관리를 담당하는 지방자치단체, 고속버스 운영사 등도 고객군이 될 수 있을 것으로 기대됨.

- 비즈니스 모델 수익창출 방안

- 수익유형: 공급자 수익 방식
- 직접수익: 판매료, 유지보수료 등
- 간접수익: 기술이전 수익, 해외진출 시 로열티 등
- 수요 고객층 확보 계획: 전국 지하철 운영기관 대상의 적극적 홍보로 고객 확보
- 구매요구의 적정성 및 구체화 방안: (초)미세먼지 저감 성능 검증 및 미세먼지의 승객 유해성 강조

제 4 장 사전타당성 검토

제1절 논리모형 및 기술개발에 따른 미래상

- 인공지능 (초)미세먼지 노출저감 기술개발을 통해 기대할 수 있는 효과는 지하철 승강장, 대합실 및 터널구간에서의 (초)미세먼지 농도 저감, (초)미세먼지 관리에 소요되는 에너지의 효율적인 사용, 출퇴근시간에 증가하는 (초)미세먼지 농도의 효율적 저감, 선제적 (초)미세먼지 제어 기술 등의 확보임.

<표 4-1> 인공지능 (초)미세먼지 노출 저감 기술개발에 따른 미래 지하철 변화

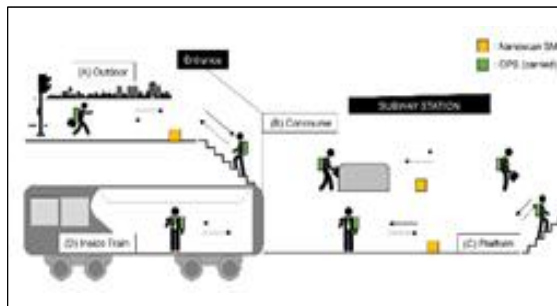
현황 (As-Is)	1) 지하철 공기질 (Subway Air Quality) 측면									
	○ 지하철 역사 및 전동차 객실 내부의 (초)미세먼지 농도가 고농도로 승객의 건강에 악영향을 초래함.									
	<표 1> 서울교통공사 지하역사 미세먼지 오염도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 연도별 현황									
	지하역사	'07년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년			
	전국 목표기준	150	80	75	75	75	70			
	서울교통 공사 1~4호선 평균	113.5	90.2	91.0	90.4	90.7	89.0			
	※ 전국 지하역사 목표기준 : 제2차 지하역사 공기질 개선 5개년 대책('13~' 17)									
	<표 2> 전국 지하역사 미세먼지 평균 오염도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 2017년 말									
	지하 역사	전국 평균	서울			지방				
	기준 (150)	62.7	평균 1	서울 1-4호 선	서울 5-8호 선	평균 7	부산	대구	인천	광주
		83.1	87.8	78.3	58.7	49.6	62.6	59.5	63.1	58.5
※ 실내공기질 관리법 기준 : $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 서울특별시 환경 기본 조례 기준 : $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$										



<그림3-19> 서울 지하철 전동차 호선별 평균 미세먼지 농도 현황(연합뉴스)

2) 이용 승객의 건강 (Health) 측면

- 승객의 이동 경로에 따라 미세먼지 농도에 큰 차이를 보이고 있음 (공간의 전체 농도보다 이용 승객의 미세먼지 노출 측면에서 접근해야 함)



<지하철에서 승객의 이동 경로에 따른 미세먼지노출 실험>



<지하철 이동 경로에서의 미세먼지 농도>

- WHO(2014)에 따르면 미세먼지 농도가 10 µg/m³ 증가할 때, 만성 폐쇄성 폐 질환에 따른 사망률 1.1% 증가하고, 초미세먼지 농도가 10 µg/m³ 증가할 때마다 폐암발생률이 9% 증가함

3) 에너지 (Energy) 측면

- 지하철의 유지보수 비용 중 지하철 내부의 환기를 위해 가동하는 급기 및 배기 팬 등 설비의 에너지 소모가 전체의 80% 이상을 차지함 ('16년 서울교통공사)

4) 기술적 측면

- 지하철 공기질 기술은 그 중요성이 갈수록 높아지는 반면 국내의 대공간 공기질 제어기술은 수준은 아직 국외 기술을 추종하는데 그치고 있음.
- 현재 국내 운영기관에 도입된 지하철 공기질 제어기술은 일부를 제외하

	고는 대부분이 외산이며 시스템 유지보수에 막대한 시간과 비용이 소요되고 있는 실정임.
--	---



<p>주요 연구 내용</p>	<p>1) 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 예측 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ IoT 기반의 지하철 공기질 센서 네트워크 및 공기질 빅 데이터 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 지하철 공기질 빅 데이터 수집 - 이기종 데이터의 통합관리를 위한 빅 데이터 플랫폼 개발 - 지하철 공기질 빅 데이터 분석기술 개발 ○ 지하철 공기질 센서 이상진단 및 복원기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 센서의 정상작동 유무 확인을 위한 AI 기반 능동형 점검 알고리즘 개발 - 센서 측정값 보정 알고리즘 개발 ○ 빅 데이터-AI 연계 (초)미세먼지 노출 예측 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공기질에 따른 승객의 쾌적성 빅 데이터 수집 - AI 기반의 (초)미세먼지 및 승객 노출 예측모델 개발 <p>2) 재실자 중심의 조기 대응형 (초)미세먼지 저감 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 인공지능 기반 지하철 환기 공조기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - AI 기반의 환기 공조 제어 알고리즘 개발 - 지하철 맞춤형 다목적 공조시스템 리트로핏 기술 개발 - AI 환기 공조 제어 알고리즘 - 공조 설비 간 연계기술 개발 - AI 기반 공조 설비 통합관리시스템 개발 ○ (초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 운행속도 70km/h, 부유 (초)미세먼지 처리용량 3,500CMH의 집진기술 개발 - AI 기반 자율운전 알고리즘 개발 (미세먼지 농도를 실시간 모니터링 하여 운전 여부, 강도, 시간 등을 자율적으로 결정) ○ 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 응집, 중력침강 기술 개발 - 미세먼지 내 바이러스 제거 및 불활성 기술 개발
-----------------	--



미래상 (To-Be)	<p>1) 지하철 공기질 (Subway Air Quality) 측면</p> <ul style="list-style-type: none">입체적인 공기질 모니터링 기술로 수집된 빅 데이터를 인공지능 기술을 이용하여 분석·예측하여 공기질을 사전에 선제적으로 관리함으로써 지하철 공기질의 획기적인 개선가능. <p style="text-align: center;">“지하철 공간의 (초)미세먼지 농도 30% 저감”</p> <p>2) 이용 승객의 건강 (Health) 측면</p> <ul style="list-style-type: none">IoT 기술을 이용하여 지하철 이용객의 수를 예측하고, 예측 값을 HW와 연계하여 (초)미세먼지 농도를 낮춤으로써 지하철 이용객의 건강 보호 가능. <p style="text-align: center;">“지하철 (초)미세먼지 노출 50% 저감”</p> <p>3) 에너지 (Energy) 측면</p> <ul style="list-style-type: none">지하철 운영사의 유지보수에서 환기 및 냉방에 소요되는 비용이 80% 이상을 차지하며, 인공지능 기술을 적용하여 효율적으로 환기함으로써 에너지 비용을 획기적으로 절감가능. <p style="text-align: center;">“HW 유지보수 비용 30% 절감”</p> <p>4) 기술적 측면</p> <ul style="list-style-type: none">외산이 대부분을 차지하고 있는 지하철 공기질 제어기술을 국내 기술로 대체함으로써 기술 자립 및 일자리 창출 가능. <p style="text-align: center;">“지하철 공기질 제어기술의 국산화 기대”</p>
----------------	--

□ 인공지능 공기질 제어기술의 적용효과를 실내공기질 측면에서 공급자(운영자)와 수요자(이용자), 그리고 제어기술 시스템 제작사의 변화상을 다음과 같이 기대할 수 있음.

□ 공급자(운영자) 측면

- 지금보다 쾌적한 공기질을 제공함으로써 지하철 이용 승객의 건강보호 및 도심 피난처 역할 수행 가능
- 다양한 요인에 의해 실외 공기질이 나쁨 수준일 때 지하철 공기질을 보통 수준으로 유지하여 지하철 이용을 적극 유도 가능
- IoT 기술의 도입으로 전체 지하철 역사에 공기질 모니터링 시스템을 설치하고 이를 이용하여 빅 데이터를 수집함으로써 보다 체계적인 공기질 관리기술 도입 가능
- 공기질 분석 데이터의 효율적인 활용으로 외부 공기질과 연계된 지하철 공기질 관리 가능
- 입체적인 공기질 관리로 환기 및 냉방에 소요되는 HW 운용비용을 줄임으로써 지하철 운영사의 경영수지 개선가능

□ 수요자(이용자) 측면

- 지하철 공간이 정시성 이외에 쾌적성까지 확보가 되면 외부 공기질이 나쁨 수준일 때 공기질 피난처 (Shelter)로서 지하철 공간을 활용 가능
- 지하철 대합실, 승강장, 전동차 객실 등 이용객의 동선을 따라 공기질을 관리함으로써 (초)미세먼지 노출을 최소화 가능
- 도보, 버스, 지하철 등 기존에 혼잡도 중심의 노선 정보 제공에서 공기질 개념을 도입함으로써 건강을 고려한 Air-MAP의 활성화로 건강 보호 가능

AS-IS



- 하루 1.2시간을 버스, 지하철 (대합실, 승강장, 객실) 등 대중교통에서 보내는 현대인
- (초)미세먼지 농도가 기준치를 초과하는 지하철 환경
- 외기 농도보다 2배 가량 높은 지하철 (초)미세먼지 농도 수준

TO-BE



- 실외 농도가 나쁨 수준일 때도 보통 이하의 수준을 보이는 지하철 환경
- (초)미세먼지 농도 측면에서 피난처 (Shelter) 역할을 하는 지하철 공간
- 시민들이 안전하게 이용하고, 쾌적한 환경에서 이용할 수 있는 지하철 공간

AS-IS



- 겨울철 대중교통에서 미세먼지에 노출되는 시간이 16.9%를 차지하고 있음
- 지하철에서 경로에 따라 (초)미세먼지에 노출되는 정도에 차이가 있음 (승강장>객차>대합실)
- 미세먼지 농도 증가에 따라 각종 질환에 노출될 수 있음

TO-BE



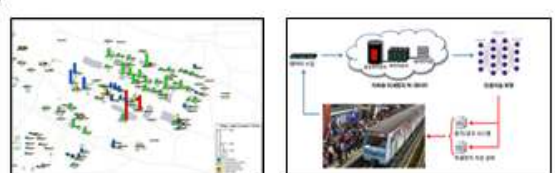
- (초)미세먼지 예측으로 대중교통에서 이용 승객의 노출 최소화
- 승객의 이동 경로에 맞춘 (초)미세먼지 농도 제어로 최적 관리
- 입체적인 공기질 모니터링 및 관리로 이용 승객의 (초)미세먼지 노출 최소화

AS-IS



- 지하철 공조기가 PLC (Programmable Logic Controller) 수준으로 공기질과 연동되지 않고 있음
- 불필요한 공조 설비의 작동으로 에너지 낭비가 심각한 실정임
- 외기-지하철 공기질-터널 공기질 등 입체적인 공조가 요구되고 있음

TO-BE



- 지하철 승강장, 전동차 객실 등에서 재실자수를 예측하여 선제적으로 공조가 되도록 하여 (초)미세먼지 농도 제어
- 외기-지하철 연동으로 공기질을 3D 입체적으로 관리가 가능
- 인공지능을 이용하여 공기질에 대한 이력관리로 학습효과 극대화

<그림 4-1> 인공지능 기반의 지하철 공기질 관리 미래상

<표 4-2> 미세먼지 관련 기존 연구와 기획과제와의 차별성

구분	지하철 (초)미세먼지 관련 과제명			본 기획과제의 차별성
	도시철도 터널 및 차량의 공기질 개선 기술개발	나노기술을 적용한 실시간 지하구간 오염물질 제거기술	인공지능 기반의 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발	
미세먼지 감시	Zegbee를 이용한 미세먼지 모니터링 네트워크 시스템 구축 (터널)	LPWAN을 이용한 모니터링 시스템 구축 (외기, 대합실, 승강장, 터널)	IoT를 이용한 빅 데이터 수집 및 예측 시스템 구축 (외기, 대합실, 승강장, 터널, 환기 설비) 기존 모니터링 시스템 활용	미세먼지 농도가 높은 터널 환경에 적용 가능한 시스템을 적용하고, 빅 데이터를 수집하고 분석하여 (초) 미세먼지를 예측 및 제어
미세먼지 제거	기계 환기실용 전기 집진기 개발	전동차 부착용 미세먼지 집진장치 및 (초)미세먼지 제거차량 개발	(초)미세먼지 고속, 고용량 집진기술 개발	-기존 개발품 보다 장시간, 고용량으로 (초)미세먼지를 포집할 수 있는 시스템 개발 -경제적인 리트로핏 기술 개발 -출퇴근 시간에 (초)미세먼지 농도를 낮출 수 있는 기술 개발
미세먼지 관리	터널 농도변화에 따른 전기집진기 가동	미세먼지 농도가 높은 Hot Spot 구간에 우선적으로 (초)미세먼지 농도 제거	빅 데이터, 인공지능을 활용하여 (초)미세먼지 농도를 예측하고, 승객의 노출을 최소화 할 수 있는 기술개발	1, 2 시간 후 (초)미세먼지 농도 예측으로 선제적으로 (초)미세먼지 농도를 효율적으로 관리함

제2절 정책적 타당성

□ 대한민국 9대 국가전략 프로젝트 - (초)미세먼지 해결 기술개발

- 대한민국의 새로운 성장 동력을 확보하고 국민 삶의 질을 제고하기 위한 9대 국가전략 프로젝트에 ‘(초)미세먼지 해결 기술개발’이 포함됨.
- (초)미세먼지 생성 원인을 근본적으로 규명하고, 발생원별 효과적 집진, 저감 등 체계적 기술개발을 통해 과학적, 획기적으로 문제를 해결하는 것을 목적으로 함 (기간: 2017-2023년).
- 이를 위해 2017년 9월 ‘미세먼지 국가전략프로젝트 사업단’을 발족함. 본 사업단에는 7년간 2,500억 원 규모의 연구비가 투입될 예정이며 (초)미세먼지 저감을 위한 원인 규명, 발전소 등 발생원에서의 미세먼지 배출저감 등의 연구를 수행할 예정임.
- 상기 사업단 연구에는 본 과제를 통해 도출하고자 하는 지하철 (초)미세먼지 저감기술 내용이 제외되어 있음. 이에 본 과제를 통해 ‘빅 데이터-인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출 저감기술’을 개발함으로써 실내 (초)미세먼지 해결에 이바지하며, 궁극적으로는 국가 정책의 실효성 극대화를 기대할 수 있음.

□ 지하역사 공기질 개선 5개년 대책 (제1차: ‘08-’ 12, 제2차: ‘13-’ 17, 제3차: ‘18-’ 22)

- 지하철 오염원의 근원적 차단, 발생 미세먼지 저감, 잔존 석면 및 라돈 저감 등을 통해 국민이 행복한 지하철 생활환경을 조성하는 것을 목적으로 함.
- 환경부는 2018년 3월 제3차 사회관계장관회의에서 ‘제3차 지하역사 공기질 개선대책’을 발표함. 주요 내용으로 지하역사 미세먼지 기준 강화 및 초미세먼지 기준 신설, 미세먼지 자동측정기 설치 의무화, 전동차 객실 공기질 개선장치 설치 등 13개 세부계획이 발표됨.
- 또한 스마트 공기질 관리시스템 적용을 개선대책으로 발표하였는데, 이는 지하역사 내·외부 오염정보와 교통정보 등 빅 데이터를 활용하여 역사 내 미세먼지 농도를 예측하고 예측 결과에 따라 환기설비를 가동하는 시스템을 의미함.
- 따라서 본 과제를 통해 ‘빅 데이터-인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출 저감기술’을 개발함으로써 국가 정책의 기술적 지원 및 실효성 극대화에 이바지할 수 있음.

□ 혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획

- 정부는 2017년 11월 대통령 직속 4차산업혁명위원회 제2차 회의를 개최하여 ‘혁신성장을

위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획’을 확정 발표함. 4차 산업혁명을 선도할 잠재력 확보를 목적으로 의료, 제조, 스마트시티 등 다양한 분야의 추진계획을 발표함.

- 환경 분야에서도 IoT 기반 미세먼지 모니터링 시스템 구축, 스마트 상하수도 시스템 확산, 소규모 사업장 상시 감시체계 운영 등의 계획이 발표됨. 그러나 사람이 가장 오래 머무는 실내환경에 대한 4차 산업기술 육성은 대응계획에서 제외됨.
- 이에 본 과제를 통해 ‘빅 데이터-인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 노출 저감기술’을 개발함으로써 실내환경에 대한 4차 산업기술 개발에 이바지하며, 궁극적으로는 국가 정책의 실효성 극대화를 기대할 수 있음.

제3절 기술적 타당성

□ 지하철 (초)미세먼지 노출 예측기술 제공

- 지하철 미세먼지는 호흡에 의해 인체에 유입되어 건강에 유해한 영향을 주며 특히 어린이, 노인 등 취약 계층은 관리 기준 이하의 미세먼지에 노출되어도 건강에 영향을 받는 상황임. 이에 지하철 미세먼지를 상시 모니터링 하여 승객의 미세먼지 노출을 예측하는 기술이 필요함.
- 본 과제를 통해 도출하고자 하는 ‘지하철 미세먼지 노출 예측기술’이란 빅 데이터, 인공지능 기술을 이용하여 객차, 승강장, 대합실의 (초)미세먼지 농도를 상시 모니터링하며 승객의 동선을 따라 미세먼지 노출량을 예측하는 기술을 의미함.
- 이에 본 과제를 수행함으로써 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 예측에 필요한 핵심기술을 확보할 수 있음.

□ 조기 대응형 미세먼지 제어 및 공조 기술 제공

- 지하철에 설치되어 있는 필터 기반의 미세먼지 제거기술은 발생한 입자상 오염물질을 사후 집진하는 기술임. 이는 발생한 미세먼지의 제거시간 동안 지하철 이용객이 미세먼지에 노출됨으로 인체보건학적 취약성을 가지고 있음.
- 또한 지하철 공조장치는 전(국소)배기 방식으로 가동되어 에너지 과다소비 문제를 가지고 있음. 이에 지하철 공기질이 악화되기 앞서 공조설비를 미리 가동하여 승객의 (초)미세먼지 노출과 에너지 소비를 최소화할 수 있는 기술이 필요함.
- 본 과제를 통해 도출하고자 하는 ‘조기 대응형 미세먼지 제어 및 공조 기술’이란 인공지능 모델을 통해 예측된 미세먼지 농도를 기반으로 환기 공조장치를 미리 가동하는 기술을 의미함. 또한 재실자 인원수에 따라 환기 비율을 공간별, 시간별로 조절하여 지하철 이용객의 미세먼지 노출과 환기 에너지 소비를 최소화하는 기술을 포함함.
- 이에 본 과제를 수행함으로써 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 조기 대응에 필요한 핵심기술을 확보할 수 있음.

□ (초)미세먼지 고속, 고용량 제거기술 제공

- 지하철 터널 내 미세먼지 발생은 바퀴-선로 마찰, 브레이크 마모 등 전동차 운전에서 기인하

는 것으로 알려짐. 이에 전동차의 미세먼지 이동배출을 고려하여 지하철로, 터널 등 현장 진입과 이동성이 뛰어나며 고속(80 km/h 이상)으로 운영 가능한 이동형 미세먼지 저감기술의 개발이 필요함.

- 본 과제를 통해 도출하고자 하는 ‘(초)미세먼지 고속, 고용량 제거기술’이란 고속으로 운전(70 km/h)이 가능한 집진 유니트 구조의 장치기술로 최적의 흡진, 집진 구조를 지닌 미세먼지 제거 기술을 의미함.
- 이에 본 과제를 수행함으로써 오염도가 극심한 열차 운행 시에도 미세먼지 농도를 낮추는 핵심기술을 확보할 수 있음.

□ 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술 제공

- 고에너지가 투입될수록 미세먼지 제거효율은 증가하나, 실제 운행 중인 차량에 연결 적용해야 하므로, 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술의 개발이 필요함.
- 본 과제를 통해 도출하고자 하는 ‘저에너지 소비형 미세먼지 제거기술’이란 동력의 사용을 최소화하여 (초)미세먼지와 이에 포함된 병원성 바이러스, 세균을 제거하는 기술을 의미함.
- 이에 본 과제를 수행함으로써 에너지 효율적으로 지하철 (초)미세먼지를 제거하는 핵심기술을 확보할 수 있음.

제4절 경제적 타당성

□ 실내 미세먼지 저감 설비 시장 창출 및 주도권 확보

- 세계 공기질 시장은 2021년 267.4억 달러(약 27조원) 규모로 성장 예측됨³⁰⁾
 - * 세계 공기조화 설비 시장 규모: 2021년 1310.1억 달러(약 131조원)
 - * 세계 실내 공기질 시장 규모: 2021년 267.4억 달러(약 27조원)
- 세계 실내공기질 측정 시장은 2022년 46억 달러(약 4.6조원) 규모로 성장 예측됨³¹⁾
 - * 실내공기질 측정 시장 중, 미세먼지에 해당하는 물리적 오염물질 측정 시장은 '22년 16.6억 달러(약 1.7조원) 규모로 전망됨.
- 국내 시장 확보를 기반으로, 환기 설비를 포함하는 세계 공기질 시장의 3% 점유 시, 약 4조원 규모의 해외 시장 확보 예상됨.
- 국내 실내 공기청정기 시장은 2017년 1조5천억 원 규모로 성장 예상됨.
 - * 정부 기관 및 지자체, 교육청이 잇따라 강화된 실내공기질 기준을 제시하고 있어, 학교와 다중이용시설을 대상으로 하는 실내공기질 관련 시장 증가 전망됨.
- 지하역사 실내 미세먼지 저감 설비 시장은 4.8조 원 규모로 성장 예상됨.
 - * 전국 지하철 역사는 총 955개(수도권 673개, 부산 149개, 대구 91개, 대전 22개, 광주 20개)로, 역사 당 미세먼지 저감 시스템 설치 비용으로 50억 원을 적용하면 총 4.775조원의 시장 규모로 예상됨.

□ 미세먼지 저감으로 인한 관련 질환 진료비 연간 1,800억 원 절감

- 서울지역 미세먼지 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 월평균 진료비 천식 1억 7072만원, 급성편도염 1억 2364만원, 만성부비동염이 7857만원씩 증가함³²⁾
 - * 서울 인구 1천만명에 대한 월평균 진료비 절감액: 3억 7293만원
 - * 전국(5천만명 가정) 월평균 진료비 절감액: 18억 6465만원
- 미세먼지 저감 시스템 적용을 통해 실내 미세먼지 관리 기준(기존 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮

30) TECHNAVIO, Global Indoor Air Quality Market 2017-2021 (2016)

31) BCC Report, Indoor Air Quality Monitor Market Forecast to 2022 (2016)

32) 이형숙, 서울지역 미세먼지 농도가 호흡기계 및 심혈관계의 외래 방문 및 입원과 진료비에 미치는 영향, 한국환경보건학회지 42(5):324-332 (2016)

추는 경우(저감량 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 전국 월평균 진료비 절감액은 149억 원에 이르고, 전국 규모로는 약 1,800억 원 규모임 (10년 1조 8천억 원).

<표 4-3> 미세먼지 저감량에 따른 진료비 예상 절감액

저감량 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10	20	40	60	80
국내 월 평균 진료비 절감	18.6465	37.293	74.586	111.879	149.172
국내 연간 진료비 절감	223.76	447.52	895.03	1,342.55	1,790.06

* 천식, 급성 편도염, 만성부비동염으로 한정 (단위: 억 원)

□ 공공·다중이용시설 저감 설비 시장, 미세먼지 케어 서비스, 실시간 측정 정보 제공 서비스 등의 신산업 창출

- 실내공기질 관리기준의 강화가 예상되며, 강화된 관리 기준을 충족하기 위해 지하상가, 역사, 공공건물, 학교 등 공공·다중이용시설 내부 공간의 미세먼지를 포함한 실내공기질 실시간 모니터링 및 저감 설비 시장이 확대될 것으로 예상됨.
- 환기 및 미세먼지 저감 설비의 운영은 에너지 효율과 직접적으로 관련된 사항으로, 미세먼지 측정 자료를 바탕으로 특정 공간에 대한 미세먼지 제어 기술에 대한 수요가 증가할 것으로 예상됨.

제5절 종합 타당성 분석

□ (초)미세먼지 해결을 위한 국가 정책 및 프로젝트에 부합

- 대한민국 9대 국가전략 프로젝트 - (초)미세먼지 해결 기술개발
- 지하역사 공기질 개선 5개년 대책 (제1차: '08-' 12, 제2차: '13-' 17, 제3차: '18-' 22)
- 혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획

4차 산업기술(빅 데이터, 인공지능)을 기반으로 사회 현안인 (초)미세먼지를 예측, 조기 제어하는 기술을 개발하는 본 과제를 통해 국가 정책 실효성의 극대화를 기대할 수 있음

□ 실내 (초)미세먼지 노출 모니터링, 예측 및 조기 제어 관련 기술 확보

- 지하철 (초)미세먼지 노출 예측기술
- 조기 대응형 미세먼지 제어 및 공조 기술
- (초)미세먼지 고속, 고용량 제거기술
- 저에너지 소비형 미세먼지 제거기술

실내 (초)미세먼지 노출에 대한 모니터링, 예측, 조기 제어와 관련한 다양한 기술 개발을 통해 실내 공기질에 대한 과학 기술적 글로벌 경쟁력 확보를 기대할 수 있음

- 실내 미세먼지 모니터링, 예측 및 조기 제어 시장 창출 및 경제성 확보
 - 세계 공기질 시장은 2021년 267.4억 달러(약 27조원) 규모로 성장 예측
 - 지하역사 실내 미세먼지 저감 설비 시장은 4.8조 원 규모로 성장 예상
 - 미세먼지 저감으로 인한 관련 질환 진료비 연간 1,800억 원 절감 예상

실내 (초)미세먼지 노출에 대한 모니터링, 예측, 조기 제어와 관련한 다양한 기술 개발을 통해 외국제품이 독점하던 시내 공기질 시장 점유율을 확보하며 나아가 세계 시장에서의 경쟁력 확보를 기대할 수 있음

- 실내 미세먼지 노출 저감을 통한 국민 건강 증진 및 삶의 질 향상 기여
 - 실내 미세먼지에 대한 정보 제공과 조기 저감으로 지하철 이용객의 불안 해소
 - 다중이용시설의 미세먼지 노출 조기 제어를 통한 국민 건강 증진

'빅 데이터-인공지능 기반 지하철 이용객에 대한 (초)미세먼지 노출 저감기술' 개발은 정책적, 기술적, 경제적, 사회 문화적 기여가 가능하므로 본 과제에 대한 정부 지원이 타당한 것으로 판단됨

제 5 장 소요예산 산정

제1절 인력투입계획

1. 제 1세부과제

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	④ 투입인원수	⑤ 참여기간(개월수)	⑥ 참여율(%)	⑦ M/M 산출 (④x⑤x⑥)	인건비 단가 (원천)	⑧ 인건비 (⑦x인건비 단가) (천원)	
1-1. 빅 데이터 수집 및 분석기술									
1-1-1. 모니터링 망을 이용한 빅 데이터 수집	3년	1자년도	1	12	30	3.6	6,000	21,600	
		2자년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800	
		3자년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800	
		4자년도							
		5자년도							
		소계							
1-1-2. 빅 데이터 분석 및 예측기술 개발	3년	1자년도	1	12	30	3.6	6,000	21,600	
		2자년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800	
		3자년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800	
		4자년도							
		5자년도							
		소계							
1-2. 재실자 예측 및 공조와의 연계기술									
1-2-1. 교통수요 기반의 재실자 예측기술	4년	1자년도	2	12	30	7.2	6,000	43,200	
		2자년도	6	12	30	21.6	6,000	129,600	
		3자년도	6	12	30	21.6	6,000	129,600	
		4자년도	6	12	30	21.6	6,000	129,600	
		5자년도							
		소계							
1-2-2. 재실자와 공조시스템과의 연동기술	4년	1자년도	2	12	30	7.2	6,000	43,200	
		2자년도	5	12	30	18.0	6,000	108,000	
		3자년도	5	12	30	18.0	6,000	108,000	
		4자년도	5	12	30	18.0	6,000	108,000	
		5자년도							
		소계							
1-3. (초)미세먼지 고속, 고효율 집진기술									
1-3-1. 고속, 고효율 집진 기술	4년	1자년도	5	12	30	18.0	6,000	108,000	
		2자년도	8	12	30	28.8	6,000	172,800	
		3자년도	12	12	30	43.2	6,000	259,200	
		4자년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200	
		5자년도							
		소계							
1-3-2. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	3년	1자년도							
		2자년도							
		3자년도	15	12	30	54.0	6,000	324,000	
		4자년도	20	12	30	72.0	6,000	432,000	
		5자년도	25	12	30	90.0	6,000	540,000	
		소계							

2. 제 2세부과제

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	④ 투입인원수	⑤ 참여기간(개월수)	⑥ 참여율(%)	⑦ M/M 산출 (④x⑤x⑥)	인건비 단가 (원천)	⑧ 인건비 (⑦x인건비 단가) (천원)
2.1. (초)미세먼지 제거기술								
2-1-1. 저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술	4년	1자년도	4	12	30	14.4	6,000	86,400
		2자년도	10	12	30	36.0	6,000	216,000
		3자년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800
		4자년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800
		5자년도						
		소계						
2-1-2. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	3년	1자년도						
		2자년도						
		3자년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
		4자년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
		5자년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
		소계						
2.2. 공조 환기시스템 리트로핏 기술								
2-2-1. 공조, 환기시스템 리트로핏 기술	4년	1자년도	4	12	30	14.4	6,000	86,400
		2자년도	10	12	30	36.0	6,000	216,000
		3자년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
		4자년도	8	12	30	28.8	6,000	172,800
		5자년도						
		소계						
2-2-2. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	3년	1자년도						
		2자년도						
		3자년도	9	12	30	32.4	6,000	194,400
		4자년도	9	12	30	32.4	6,000	194,400
		5자년도	9	12	30	32.4	6,000	194,400
		소계						

제2절 소요예산 산정

1. 총 연구비

							(단위 : 백만원)
구분	세부과제명	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
1세부	인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발	650	2,000	2,300	2,300	1,250	8,500
2세부	도시철도(초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발	350	1,600	1,900	1,900	750	6,500
합계		1,000	3,600	4,200	4,200	2,000	15,000

2. 제 1세부과제

							(단위 : 백만원)
구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	
인건비	238	540	950	821	540	3,089	
연구장비재료비	205	1,025	1,080	1,000	400	3,710	
세부과제 연구비	650	2,000	2,300	2,300	1,250	8,500	
기타경비 및 간접비	207	435	270	479	310	1,701	

3. 제 2세부과제

							(단위 : 백만원)
구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	
인건비	173	432	562	583	346	2,095	
연구장비재료비	140	776	970	1,000	280	3,166	
세부과제 연구비	350	1,600	1,900	1,900	750	6,500	
기타경비 및 간접비	37	392	368	317	124	1,239	

가. 인건비

1. 제 1세부과제

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간(개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑤ 인건비 (④x인건비 단가)
1-1. 빅 데이터 수집 및 분석기술							(천원)	(천원)
1-1-1. 모니터링 망을 이용한 빅 데이터 수집	3년	1차년도	1	12	30	3.6	6,000	21,600
		2차년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800
		3차년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800
		4차년도						
		5차년도						
		소계						
1-1-2. 빅 데이터 분석 및 예측기술 개발	3년	1차년도	1	12	30	3.6	6,000	21,600
		2차년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800
		3차년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800
		4차년도						
		5차년도						
		소계						
1-2. 재실자 예측 및 공조와의 연계기술								
1-2-1. 교통수요 기반의 재실자 예측기술	4년	1차년도	2	12	30	7.2	6,000	43,200
		2차년도	6	12	30	21.6	6,000	129,600
		3차년도	6	12	30	21.6	6,000	129,600
		4차년도	6	12	30	21.6	6,000	129,600
		5차년도						
		소계						
1-2-2. 재실자와 공조시스템과의 연동기술	4년	1차년도	2	12	30	7.2	6,000	43,200
		2차년도	5	12	30	18.0	6,000	108,000
		3차년도	5	12	30	18.0	6,000	108,000
		4차년도	5	12	30	18.0	6,000	108,000
		5차년도						
		소계						
1-3. (조)미세먼지 고속, 고용량 집진기술								
1-3-1. 고속, 고용량 집진 기술	4년	1차년도	5	12	30	18.0	6,000	108,000
		2차년도	8	12	30	28.8	6,000	172,800
		3차년도	12	12	30	43.2	6,000	259,200
		4차년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
		5차년도						
		소계						
1-3-2. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	3년	1차년도						
		2차년도						
		3차년도	15	12	30	54.0	6,000	324,000
		4차년도	20	12	30	72.0	6,000	432,000
		5차년도	25	12	30	90.0	6,000	540,000
		소계						
합계			143					3,088,800

2. 제 2세부과제

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간(개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비 단가)
2.1. (초)미세먼지 제거기술								
2-1-1. 저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술	4년	1차년도	4	12	30	14.4	6,000	86,400
		2차년도	10	12	30	36.0	6,000	216,000
		3차년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800
		4차년도	3	12	30	10.8	6,000	64,800
		5차년도						
		소계						
2-1-2. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	3년	1차년도						
		2차년도						
		3차년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
		4차년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
		5차년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
2.2. 공조 환기시스템 리트로핏 기술								
		소계						
2-2-1. 공조, 환기시스템 리트로핏 기술	4년	1차년도	4	12	30	14.4	6,000	86,400
		2차년도	10	12	30	36.0	6,000	216,000
		3차년도	7	12	30	25.2	6,000	151,200
		4차년도	8	12	30	28.8	6,000	172,800
		5차년도						
		소계						
2-2-2. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	3년	1차년도						
		2차년도						
		3차년도	9	12	30	32.4	6,000	194,400
		4차년도	9	12	30	32.4	6,000	194,400
		5차년도	9	12	30	32.4	6,000	194,400
합계			97					2,095,200

나. 연구장비재료비 (3천만원 이상, 이하, 시작품 제작비, 재료비 포함)

1. 제 1세부과제

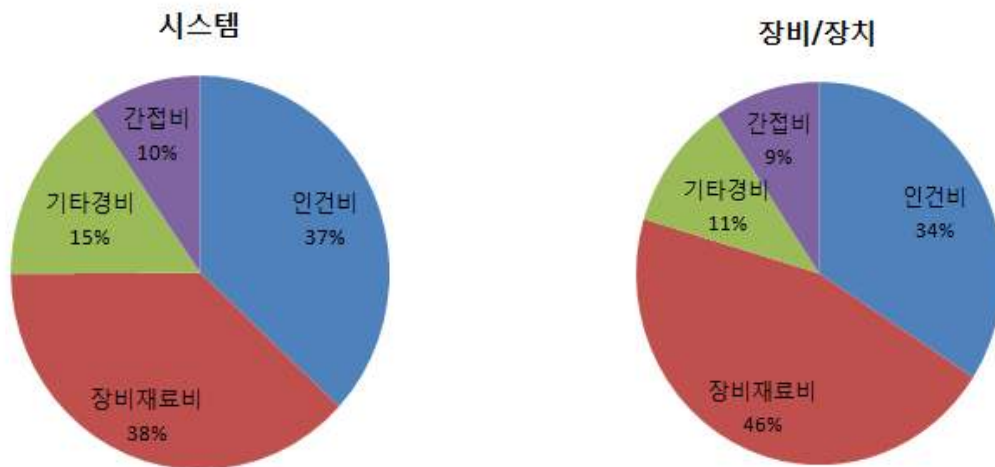
세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비재료비 합계(전원)			
			품명	규격	수량	단가(천원)	소계	품명	규격	수량	단가(천원)	소계	품명	규격	수량	단가(천원)	소계	품명	규격	수량	단가(천원)	소계				
1-1 빅 데이터 수집 및 분석기술																						620,000				
1-1-1. 로터링 망을 이용한 빅 데이터 수집	3년	1차년도	Mobile GC/MS	미세먼지 전구물질 측정	1	100,000	100,000											연구재료비	재료비 1식	1	20,000	20,000	120,000			
		2차년도																	연구재료비	재료비 1식	1	20,000	20,000	320,000		
		3차년도	Mobile GC/MS	미세먼지 전구물질 측정	1	100,000	100,000												연구재료비	재료비 1식	4	20,000	80,000	180,000		
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
1-1-2. 빅 데이터 분석 및 예측기술 개발	3년	1차년도						분석용 서버	빅 데이터 분석용	1	25,000	25,000							연구재료비	재료비 1식	1	20,000	20,000	45,000		
		2차년도																	연구재료비	재료비 1식	1	20,000	20,000	220,000		
		3차년도																		연구재료비	재료비 1식	4	20,000	80,000	80,000	
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
1-2. 재실자 예측 및 공조와의 연계기술																										
1-2-1. 교통수요 기반의 재실자 예측기술	4년	1차년도																								
		2차년도						교통량 분석용 서버	교통량 분석용	1	25,000	25,000							연구재료비	재료비 1식	1	20,000	20,000	45,000		
		3차년도																		연구재료비	재료비 1식	2	20,000	40,000	290,000	
		4차년도																			연구재료비	재료비 1식	4	20,000	80,000	80,000
		5차년도																								
		소계																								
1-2-2. 재실자와 공조시스템과의 연동기술	4년	1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
1-3 (조)미세먼지 고속, 고품질 집진기술																										
1-3-1. 고속, 고품질 집진 기술	4년	1차년도																								
		2차년도	ELPI	5nm~10um	1	100,000	100,000																			
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
1-4. 개발 기술의 평가 및 실용화 기술																										
1-4-1. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	3년	1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도	FMPS	1sec interval	1	100,000	100,000																			
		5차년도																								
		소계																								
		1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
		1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
		1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
		1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
		1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
		1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
		1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계																								
		1차년도																								
		2차년도																								
		3차년도																								
		4차년도																								
		5차년도																								
		소계					</																			

2. 제 2세부과제

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비재료비 합계(천원)
			품명	규격	수량	단가(천원)	소계	품명	규격	수량	단가(천원)	소계	품명	규격	수량	단가(천원)	소계	품명	규격	수량	단가(천원)	소계	
2-1. (초)미세먼지 제거기술																							
2-1-1. 저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술	4년	1차년도																					
		2차년도	ELPI	5nm~10um	1	100,000	100,000	Dustmonitor	0.3 ~ 32um	2	4,000	8,000	집진장치 효율평가 시스템 구축	Lab scale	1	50,000	50,000	연구재료비	재료비 1식	1	20,000	20,000	70,000
		3차년도											집진장치 시작품	조실용 집진장치 시작	1	170,000	170,000	연구재료비	재료비 1식	5	20,000	100,000	378,000
		4차년도											집진장치 2차 시작품	조실용 집진장치 시작	1	120,000	120,000	연구재료비	재료비 1식	5	20,000	100,000	220,000
		5차년도																연구재료비	재료비 1식	5	20,000	100,000	100,000
소계																							
2-1-2. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	3년	1차년도																					
		2차년도																					
		3차년도					0	지해석 프로그램	유동 및 입자	1	100,000	100,000					0	연구재료비	재료비 1식	5	20,000	100,000	200,000
		4차년도											2차 시작품	2차 시작품	1	150,000	150,000	연구재료비	재료비 1식	5	20,000	100,000	350,000
		5차년도					0										0	연구재료비	재료비 1식	7	20,000	140,000	140,000
2-2. 공조 환기시스템 리트로핏 기술																							
2-2-1. 공조, 환기시스템 리트로핏 기술	4년	1차년도																					
		2차년도	ELPI	5nm~10um	1	100,000	100,000	Dustmonitor	0.3 ~ 32um	2	4000	8000	공조설비 효율평가 시스템 구축	Lab scale	1	50,000	50,000	연구재료비	재료비 1식	1	20,000	20,000	70,000
		3차년도											리트로핏용 1차 시작품	리트로핏용 1차 시작품	1	170,000	170,000	연구재료비	재료비 1식	6	20,000	120,000	398,000
		4차년도											리트로핏용 2차 시작품	리트로핏용 2차 시작품	1	120,000	120,000	연구재료비	재료비 1식	6	20,000	120,000	240,000
		5차년도																연구재료비	재료비 1식	6	20,000	120,000	120,000
소계																							
2-2-2. 개발 기술의 현장 적용 및 상용화	4년	1차년도																					
		2차년도																					
		3차년도						APS	0.5~32um	5	6000	30,000	1차 시작품	1차 시작품	1	200,000	200,000	연구재료비	재료비 1식	4	20,000	80,000	310,000
		4차년도						지해석 프로그램	유동 및 입자	1	100,000	100,000	2차 시작품	2차 시작품	1	150,000	150,000	연구재료비	재료비 1식	4	20,000	80,000	430,000
		5차년도					0										0	연구재료비	재료비 1식	7	20,000	140,000	140,000

제3절 예산적정성 검토

- 국토교통과학기술진흥원의 「국토교통 R&D 연구비 표준 모델 개발」을 토대로 본 기획과제의 예산 적정성을 검토함.
- 본 기획과제는 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발, 도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발을 목표로 하므로 국토교통 R&D 연구비 표준 모델 중 ‘시스템 연구비 모델’, ‘장비/장치 연구비 모델’을 사용하여 예산 적정성을 검토함.
- 국토교통 R&D 중 시스템 개발, 장비/장치 개발연구의 비목별 연구비는 <그림 5-1>과 같음. 본 기획과제의 1 세부(인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발), 2 세부((초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발)의 비목별 연구비 비율은 <표 5-1>과 같음.
 - 본 기획과제의 비목별 연구비 비율은 「국토교통 R&D 연구비 표준 모델 개발」에서 제시된 연구비 비율과 유사함. 이를 통해 본 기획과제의 예산은 적정하게 산정된 것으로 판단됨.



<그림 5-1> 국토교통 R&D의 과제별 비목별 연구비

<표 5-1> 본 기획과제의 비목별 연구비 비율

	인건비	장비재료비	기타경비 및 간접비	합계
1 세부과제	36%	44%	20%	100%
2 세부과제	32%	49%	19%	100%

제 6 장 과제공모 방안

제1절 과제제안 요구서(안)

1. 총괄과제

연구과제명	인공지능(AI) 예측 기반의 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 저감기술 개발				
1. 연구기획 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하철 (초)미세먼지 농도를 예측하여 실제 공기질이 악화되기 앞서 조기 대응이 가능한 (초)미세먼지 저감 기술개발 ○ 지하철 터널 내 (초)미세먼지의 고속저감 기술 개발 				
2. 연구기획 필요성 및 기술동향	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <input type="checkbox"/> 연구기획 필요성 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ○ 승강장, 전동차, 터널 등의 공간을 포함한 지하철은 전 국민의 생활공간으로 자리매김하고 있으나, 실내 공기의 쾌적성 확보에 어려움을 겪고 있음. ○ 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 저감을 위해서는 추후의 (초)미세먼지 농도를 예측하여 공기질이 악화되기 앞서 공조환 시설비를 조기 운전·제어하는 기술과, 지하철 터널 내 고농도의 (초)미세먼지를 고속으로 저감할 수 있는 기술이 요구됨. </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <input type="checkbox"/> 기술동향 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ○ 승강장, 전동차, 터널 내 (초)미세먼지 저감을 위해 필터 기반 제거기술, 전기집진 기술 등을 적용하고 있으나 이는 발생한 미세먼지를 사후 제거하는 기술로써, (초)미세먼지가 발생하기 앞서 추후 농도를 예측하여 제거 대책을 제안하는 조기대응 기술 개발 연구는 부족함. ○ 국내 지하철 운영기관의 경우 터널 내 고농도의 (초)미세먼지 저감을 위해 집진차량, 살수차량을 운행하나 운영속도가 2 km/h 이하로 적용이 제한적임. 지하철 터널을 고속으로 이동하며 (초)미세먼지를 고용량으로 저감하는 기술은 부족함. </td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> 연구기획 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 승강장, 전동차, 터널 등의 공간을 포함한 지하철은 전 국민의 생활공간으로 자리매김하고 있으나, 실내 공기의 쾌적성 확보에 어려움을 겪고 있음. ○ 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 저감을 위해서는 추후의 (초)미세먼지 농도를 예측하여 공기질이 악화되기 앞서 공조환 시설비를 조기 운전·제어하는 기술과, 지하철 터널 내 고농도의 (초)미세먼지를 고속으로 저감할 수 있는 기술이 요구됨. 	<input type="checkbox"/> 기술동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 승강장, 전동차, 터널 내 (초)미세먼지 저감을 위해 필터 기반 제거기술, 전기집진 기술 등을 적용하고 있으나 이는 발생한 미세먼지를 사후 제거하는 기술로써, (초)미세먼지가 발생하기 앞서 추후 농도를 예측하여 제거 대책을 제안하는 조기대응 기술 개발 연구는 부족함. ○ 국내 지하철 운영기관의 경우 터널 내 고농도의 (초)미세먼지 저감을 위해 집진차량, 살수차량을 운행하나 운영속도가 2 km/h 이하로 적용이 제한적임. 지하철 터널을 고속으로 이동하며 (초)미세먼지를 고용량으로 저감하는 기술은 부족함.
<input type="checkbox"/> 연구기획 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 승강장, 전동차, 터널 등의 공간을 포함한 지하철은 전 국민의 생활공간으로 자리매김하고 있으나, 실내 공기의 쾌적성 확보에 어려움을 겪고 있음. ○ 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 저감을 위해서는 추후의 (초)미세먼지 농도를 예측하여 공기질이 악화되기 앞서 공조환 시설비를 조기 운전·제어하는 기술과, 지하철 터널 내 고농도의 (초)미세먼지를 고속으로 저감할 수 있는 기술이 요구됨. 				
<input type="checkbox"/> 기술동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 승강장, 전동차, 터널 내 (초)미세먼지 저감을 위해 필터 기반 제거기술, 전기집진 기술 등을 적용하고 있으나 이는 발생한 미세먼지를 사후 제거하는 기술로써, (초)미세먼지가 발생하기 앞서 추후 농도를 예측하여 제거 대책을 제안하는 조기대응 기술 개발 연구는 부족함. ○ 국내 지하철 운영기관의 경우 터널 내 고농도의 (초)미세먼지 저감을 위해 집진차량, 살수차량을 운행하나 운영속도가 2 km/h 이하로 적용이 제한적임. 지하철 터널을 고속으로 이동하며 (초)미세먼지를 고용량으로 저감하는 기술은 부족함. 				

3. 연구개발 내용

- 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발
 - 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 인공지능 예측기술 개발
 - 재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술 개발
 - (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 제거기술 개발
- 도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발
 - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거기술 개발
 - 공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - **지하철 운영기관이 과제에 필수로 참여하여 수요처 협조를 통한** 현장조사를 실시하여 지하철 공기질 측정 위치, 효율적인 (초)미세먼지 제거 방법 및 장소별 (초)미세먼지 제거장치 설치 위치 등을 파악하며, 관계기관 및 전문가의 자문을 통해 기술 개발을 추진함.
- 추진체계
 - 산학연 협동체계 구축

5. 최종성과물

- 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 저감기술
 - 지하철 (초)미세먼지 예측 시스템
 - 조기 대응 공조 환기제어 시스템
 - (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 제거장치
 - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거장치
 - 공조 환기시스템 리트로핏 시스템

6. 연구기간 및 지원예산

- 총 연구기간 : 2019년 - 2023년 (5년)
- 연구예산 : 200억원 (정부출연금: 150억원 이내)

(단위: 억원)

	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	계
정부	10	36	42	42	20	150
기업	3.3	12	14	14	6.7	50
계	13.3	48	56	56	26.6	200

2. 제 1 세부과제

세부과제명	인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발
1. 연구기획 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ (초)미세먼지를 포함한 지하철 공기질을 실시간 측정하여 빅 데이터를 수집하며, 이를 기반으로 1시간 이후의 (초)미세먼지 농도를 예측하는 인공지능 기반의 예측기술 개발 ○ 예측된 (초)미세먼지 농도를 기반으로 실제 공기질이 악화되기 앞서 공조 환기설비를 운전·제어하는 조기 대응형 (초)미세먼지 저감기술 개발
2. 연구기획 필요성 및 기술동향	<div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p><input type="checkbox"/> 연구기획 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 지하철 내 (초)미세먼지 저감을 위해 필터 기반 제거기술, 전기집진 기술 등을 적용하고 있으나 이는 발생한 미세먼지를 사후 제거하는 기술로써 승객은 제거시간 동안 (초)미세먼지에 노출됨. 이에 지하철 이용객의 (초)미세먼지 노출 저감을 위해 미세먼지가 발생하기 앞서 추후 농도를 예측하여 제거 대책을 제안하는 조기대응 기술 개발이 필요함. ○ 지하철 터널에 부유하는 (초)미세먼지를 제거하기 위해서는 기존의 고정형 처리장치에 비해 효율적인 이동형 시스템이 요구됨. </div> <div> <p><input type="checkbox"/> 기술동향</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 지하철 운영기관의 경우 공조 환기설비의 용량을 증대하여 일 평균 17시간(승강장), 16시간(터널 본선) 상시 가동함. ○ 국내 도시철도 운영기관의 경우 터널 내 고농도의 (초)미세먼지 저감을 위해 집진차량, 살수차량을 운행하나 운영속도가 2 km/h 이하로 적용이 제한적임. </div> </div>
3. 연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 공기질 상시 모니터링 기술 개발 - 공기질 측정 센서 이상진단 및 보정기술 개발 - (초)미세먼지 예측 인공지능 모델 개발 (사전 예측 간격 1시간, 예측 정확도 90% 이상) ○ 재실자 기반의 사전예방대응용 공조 환기 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공간별 재실자 수 예측 모델 개발

- 조기 대응형 공조 환기제어 알고리즘 개발
- 공조 환기제어 알고리즘과 공조 설비 간 연동체계 구축
- (초)미세먼지 고속, 고용량 집진 제거기술 개발
 - 고속 운행속도 대응 최적 흡진기술 개발 (운행속도 70 km/h, 흡입유량 3,500 CMH)
 - 고속 운행속도 대응 최적 집진기술 개발 (초미세먼지 집진효율 30% 이상)
 - (초)미세먼지 고속, 고용량 집진장치 설계 및 제작
 - 초미세먼지 전구체 저감기술 개발

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - **지하철 운영기관이 과제에 필수로 참여하여 수요처 협조를 통한** 현장조사를 실시하여 공기질 모니터링 장치 사양 및 설치 위치, 인공지능 예측모델의 필수 반영 사항, 공조 환기 제어 간격 등을 파악하며 관계 전문가의 자문을 통해 기술 개발을 추진함.
- 추진체계
 - 산학연 협동체계 구축

5. 최종성과물

- 사전예방대응용 지하철 (초)미세먼지 저감기술
 - 지하철 공기질 상시 모니터링 및 빅 데이터 수집 기술
 - 인공지능 기반의 지하철 공기질 예측모델 (예측 정확도 90% 이상)
 - 조기 대응형 공조 환기제어 알고리즘
 - 공조 환기제어 알고리즘과 공조 설비 간 연동기술
 - (초)미세먼지 고속, 고용량 집진장치
 - 초미세먼지 전구체 저감기술

6. 연구기간 및 지원예산

- 총 연구기간 : 2019년 - 2023년 (5년)
- 연구예산 : 113.4억원 (정부출연금: 85억원 이내)

(단위: 억원)

	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	계
정부	6.5	20.0	23.0	23.0	12.5	85.0
기업	2.1	6.7	7.7	7.7	4.2	28.4
계	8.6	26.7	30.7	30.7	16.7	113.4

3. 제 2 세부과제

세부과제명	도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발
1. 연구기획 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하철에서 환기 및 공조 시설의 성능을 향상시켜서 (초)미세먼지를 효율적으로 집진·제거하는 저감기술 개발
2. 연구기획 필요성 및 기술동향	<ul style="list-style-type: none"> □ 연구기획 필요성 <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 지하철 환기시스템의 효율을 높이면서 초미세먼지까지 제거할 수 있는 기술개발이 필요하며, 에너지 소비를 최소화하면서 집진효율을 높일 수 있는 기술이 요구됨. ○ 노후된 공조 환기시스템의 경우 미세먼지 제거효율이 10% 미만임. 이에 공조 환기시스템의 기존 뼈대는 유지하되 핵심 설비만 개조, 개선하여 (초)미세먼지 저감 성능을 증대하는 리트로핏이 필요함. □ 기술동향 <ul style="list-style-type: none"> ○ 지하철의 (초)미세먼지 농도는 출퇴근 시간 등 특정 시간에 급격히 높아지는 경향이 있으므로 기존 시설을 최대한 활용하면서 (초)미세먼지 농도를 낮출 수 있는 기술개발이 요구됨. ○ 일부 신설된 지하철 역사의 공조 환기시스템은 백필터와 사이클론 집진방식을 이용하여 미세먼지를 제거하나, 노후 역사의 공조 환기시스템은 부직포와 같은 구형 필터가 설치 운용되어 미세먼지 제거효율이 10% 미만임.
3. 연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저에너지 소비형 (초)미세먼지 제거기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 응집, 조대화 기술 개발 - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거장치 설계 및 제작 - 지하철 내 기존 집진장치와의 연계 운전체계 구축 ○ 공조 환기시스템 리트로핏 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 제거장비의 모듈화 기술 개발 - 모듈 상호 결합 및 환기 공조설비 인터페이스 기술 개발 - 공조 환기설비 구조, 형태별 최적 모듈 조합 도출 (초미세먼지 제거효율 50% 이상) - 리트로핏 모듈 제작 및 현장 적용·구축 기술

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략 ○ 지하철 운영기관이 과제에 필수로 참여하여 수요처 협조를 통한 현장조사를 실시하여 적용 가능한 (초)미세먼지 저감기술, 필수 반영 사항 및 방해 요소, 현장설치 및 운영 방안 등을 파악하며, 관계기관 및 전문가의 협업을 통해 실용화 기술 개발을 추진함.
- 추진체계 ○ 산학연 협동체계 구축

5. 최종성과물

- (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심장치
 - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 응집, 조대화 장치
 - 공조 환기시스템 구조별 최적 리트로핏 모듈
 - 공조 환기시스템 리트로핏 모듈의 현장 적용·구축기술

6. 연구기간 및 지원예산

- 총 연구기간 : 2019년 - 2023년 (5년)
- 연구예산 : 86.6억원 (정부출연금: 65억원 이내)

(단위: 억원)

	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	계
정부	3.5	16.0	19.0	19.0	7.5	65.0
기업	1.2	5.3	6.3	6.3	2.5	21.6
계	4.7	21.3	25.3	25.3	10.0	86.6

제2절 연구단계별 평가기준(안)

1. 제 1 세부과제 - 인공지능 기반의 (초)미세먼지 농도 예측 및 고속저감 기술 개발

유형	지표구분	성과지표	평가지표	평가(검증)방법
산출지표 (Output)	기술적 목표	지하철 공기질 빅 데이터 수집 및 예측기술	<ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공기질 상시 모니터링 및 빅 데이터 저장 시스템 구축 - 지하철 공기질 빅 데이터 측정센서 이상진단 및 복원기술의 정확도 - 인공지능 기반 (초)미세먼지 예측기술의 정확도 (사전 예측 간격 1시간, 예측 정확도 90% 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> - 빅 데이터 수집, 통계처리 및 예측 관련 개별기술의 정확성 검증 .예측된 데이터와 실측된 데이터를 비교하여 정확도를 판단함 - 현장 성능평가(운영기관 참여) .지속적인 모니터링으로 정확도를 실시간으로 평가
		재실자 기반의 조기 대응형 공조 환기 제어기술	<ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공간별 재실자 수 예측기술의 정확도 - 조기 대응형 공조 환기제어 알고리즘의 정확도 (조기 제어 간격 1시간) - 지하철 (초)미세먼지 저감효율 	<ul style="list-style-type: none"> - 통신량 데이터 및 재실자 센서를 이용한 재실자 수의 파악의 정확성 검증 .환기 성능 및 공기질 개선효과를 통한 객관적인 검증 - 현장 성능평가(운영기관 참여) .인터넷 접속으로 상시 확인 가능하도록 시스템 구축
		(초)미세먼지 고속, 고용량 집진 제거기술	<ul style="list-style-type: none"> - 지하철 (초)미세먼지 흡입유량 (3,500 CMH 이상) - 지하철 (초)미세먼지 집진효율 (저감 	<ul style="list-style-type: none"> - 단품 성능평가(자체 평가 / 외부 공인시험기관 의뢰) - 현장 성능평가(운영기관 참여)

			<ul style="list-style-type: none"> 효율 30% 이상 - 초미세먼지 전구체 저감효율 30% 이상 	
	표준 지표	논문 발표	<ul style="list-style-type: none"> - 지하철 공기질 빅 데이터 측정센서 이상진단 및 복원기술 - 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 예측기술 - 조기 대응형 공조 환기제어 알고리즘 	<ul style="list-style-type: none"> - 논문 전문 - 환경관련 국외 SCI 저널에 게재
		지적재산권 출원/등록	<ul style="list-style-type: none"> - 인공지능 기반 지하철 (초)미세먼지 예측시스템 - 조기 대응형 공조 환기제어 시스템 - 이동형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진 제거장치 	<ul style="list-style-type: none"> - 특허 출원/등록 확인
		시험 성적서	<ul style="list-style-type: none"> - 조기 대응형 공조 환기 제어장치 (초)미세먼지 저감성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 성능평가 및 시험성적서 확인
결과지표 (Outcome)	궁극적 목표	조기 대응형 (초)미세먼지 제거기술	<ul style="list-style-type: none"> - 빅 데이터, 인공지능 기반의 지하철 (초)미세먼지 예측 - 조기 대응형 공조 환기제어를 통한 (초)미세먼지 및 승객 노출 저감 - 이동형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진 제거를 통한 터널 미세먼지 저감 및 승객 노출 저감 	<ul style="list-style-type: none"> - 지하철 (초)미세먼지 예측성능 검증 - 지하철 (초)미세먼지 저감효과 검증
	표준 지표	사업화 추진	<ul style="list-style-type: none"> - 기술실시계약 	<ul style="list-style-type: none"> - 기술실시계약서

2. 제 2 세부과제 - 도시철도 (초)미세먼지 저감시설의 효율 향상 핵심기술 개발

유형	지표구분	성과지표	평가지표	평가(검증)방법
산출지표 (Output)	기술적 목표	저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 지하철 (초)미세먼지 응집, 조대화 및 제거효율 - 저에너지 소모형 제거장치 - 지하철 기설치 제거장치 간 연계운전 인터페이스 	<ul style="list-style-type: none"> - 단품 성능평가(자체 평가 / 외부 공인시험기관 의뢰) - 공인기관과 공동으로 성능을 평가하여 성능 교차 검증 - 현장 성능평가(운영기관 참여)
		공조 환기시스템 리트로핏 기술	<ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 제거장비의 모듈화 - 공조 환기설비 구조, 형태별 최적 리트로핏 모듈 조합 - 리트로핏 모듈 - 환기 공조설비 간 인터페이스 - 리트로핏 된 공조 환기시스템의 (초)미세먼지 제거효율 	<ul style="list-style-type: none"> - 리트로핏 모듈의 (초)미세먼지 제거 성능평가 (자체 평가 / 외부 공인시험기관 의뢰) - 공인기관과 공동으로 성능을 평가하여 성능 교차 검증 - 리트로핏 공조 환기시스템의 현장 성능평가(운영기관 참여)
	표준 지표	논문 발표	<ul style="list-style-type: none"> - 고속 (초)미세먼지 흡진, 집진기술 - 지하철 (초)미세먼지 응집, 조대화 기술 	- 논문 전문
		지적재산권 출원/등록	<ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 응집, 조대화 장치 - 공조 환기시스템 리트로핏 모듈 	- 특허 출원/등록 확인

		시험 성적서	- (초)미세먼지 저감장치 및 리트로핏 공조 환기시스템의 (초)미세먼지 저감성능 평가	- 성능평가 및 시험성적서 확인
		설계도면	- 이동형 고속 고용량 (초)미세먼지 집진장치 설계 - 저에너지 소모형 (초)미세먼지 제거장치 설계	- 설계도면
		지침서	- (초)미세먼지 저감장치 및 리트로핏 공조 환기시스템의 운용 유지보수 지침	- 유지보수 지침서
결과지표 (Outcome)	궁극적 목표	지하철 (초)미세먼지 고속 제거기술	- 저에너지 소모형 (초)미세먼지 응집, 조대화를 통한 터널 미세먼지 고속 저감 - 공조 환기시스템 리트로핏을 통한 (초)미세먼지 저감성능 향상	- 지하철 (초)미세먼지 저감효과 검증
	표준 지표	사업화 추진	- 기술실시계약	- 기술실시계약서