첨단관측기술을 활용한
실내외 측정분석 세미나

2024. 12. 20.



한국철도기술연구원 충남연구원 ChungNam Institute 환경부지정 충남녹색환경지원센터

목 차
Contents

1부

1. 해외 지출기술의 현지화 전략 및 인증 방안 ····· 3
김덕승 센터장(한국산업기술시험원)

2. 조리시설 대기오염물질 배출현황 및 국가 지원사업 추진 계획 ···· 9
김종범 책임연구원(충남연구원)

3. 스마트 버스정류장 운영에 따른 실내외 대기오염도 분석 ····· 21
박세찬 팀장(충남녹색환경지원센터)

4. 첨단장비를 이용한 생활밀집시설의 휘발성유기화합물(VOCs) 측정 연구 ····· 33
정원석 전문위원(국립환경과학원)

5. 소규모 사업장 내 VOCs 분포 현황 ····· 45
이용일 연구사(한강유역환경청)

6. 이동식 태양추적 분광복사계 차량을 이용한 울산 석유화학단지의 BTEX 배출 특성 조사 ····· 55
정준식 연구사(낙동강유역환경청)

7. 재해관리를 위한 라이다 관측기술 개발 ····· 71
이가혜 선임연구원(차세대융합기술연구원)

8. 공기질 개선사례 및 환경사업 분야 소개 ····· 85
이주열 대표이사((주)애니텍)

2부

1. 고속도로 내 오염물질 모니터링 및 농도 분포 특성 ····· 109
허재석 박사후연구원(한국철도기술연구원)

2. fNIRS를 활용한 철도 및 지하철 이용 승객의 쾌적성 기반 실내환경 연구 ····· 125
이주연 연구원(한국철도기술연구원)

1부

1

해외 지출기술의 현지화 전략 및 인증 방안

김덕승 센터장(한국산업기술시험원)

“ Beyond Korea No.1”

‘행복한 삶의 시작’

실내환경센터

실내환경센터장 김덕승

2024. 12. 20.



ktl 한국산업기술시험원

Contents

01 조직도

02 업무소개

03 해외 지원 사업

04 현지화 전략 및 인증 방안

2

1. 조직도

이사회

감사부

원장

부원장

환경기술본부

- 환경사업개발센터
- 대기환경센터
- 물환경기술센터
- 탄소중립대응센터
- 환경평가센터
- 실내환경센터

품질책임자(정) 홍길환
품질책임자(부) 차재두

기술책임자(정) 김 덕 승

기술책임자(부) 이정훈

- 김 환
- 박서현
- 정상빈
- 박규영
- 박규만

기술책임자(부) 김진태

- 최정림
- 공태경
- 추재언
- 유재민
- 김현정
- 김도희
- 고영은

▶ 품책(정) 1명, 품책(부) 1명, 기책(정) 1명, 기책(부) 2명, 기술인력 총 14명 (센터 총원 15명)

2. 업무 소개

2.1. 실내공기질 분야 법정시험

'환경분야 시험 검사 등에 관한 법률' 시행령, 시행규칙에 의한 검사기관 지정
'환경측정기 형식승인 정도검사 등에 관한 고시' 에 의한 시험 검사 업무 수행

➢ **성능시험, 정도검사, 일반시험**

- 시료채취장치 : 방출챔버시스템, 휘발성유기화합물 및 포름알데히드, 석면, 총부유세균, 미세먼지(PM-10, PM-2.5)
- 자동 측정기 : 일산화탄소, 이산화탄소, 오존, 이산화질소, 라돈, 미세먼지 (PM-10, PM-2.5)

➢ **간이측정기 인증시험**

- 실내공기질분야 이산화탄소 간이측정기
- 실내공기질분야 라돈 간이측정기



〈실내공기질 자동측정기 정도검사 자동화 시스템 구축도〉



〈간이측정기 성능인증기관 지정서 및 시험챔버 구축 완료〉

2. 업무 소개

2.2. 공기정화장치 (일반시험)

공기정화장치의 성능평가 및 인증시험

➢ 공기정화장치 시험방법 및 규격

- KS C 9314 공기청정기
- SPS-KOUVA A AS 01-1889 공기살균기
- SPS-KACA 002-132 실내공기청정기
- KOUVA AS 02 공기정화장치
- ISO 16000-36 국제표준시험
- KTL A 027-2024 공조용 공기정화장치

➢ 시험 내용

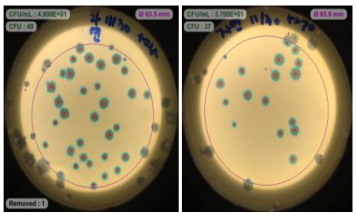
- 부유세균/부유바이러스 저감 시험 (챔버)
- 부유세균/부유바이러스 저감 시험 (덕트)
- 유해물질 탈취(유해가스 제거)시험
- 오존방출(오존 발생 농도) 시험
- 입자정화성능(미세먼지 제거 능력)시험



〈 부유미생물 시험 챔버 〉



〈 부유미생물 시험 덕트 〉



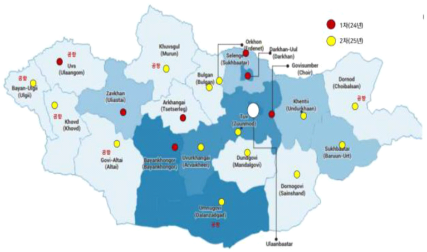
〈 부유바이러스 저감성능 〉



〈 검증기술 개발(등록특허) 〉

3. 해외 지원 사업(몽골 21개 아이막)

대기환경측정망 지원



아이막 이름	측정항목						측정항목 수
	PM10	PM2.5	SO_2	NOx	CO	O_3	
Arkhangai		O	O	O			3
Bayankhongor		O	O	O			3
Bayan-Ulgii		O	O	O			3
Bulgan		O	O	O			3
Govisumber		O	O	O			3
Darkhan-Uul	O	O	O	O	O	O	6
Dornod		O	O	O			3
Dornogovi		O	O	O			3
Dundgovi		O	O	O			3
Govi-Altai		O	O	O			3
Khentii		O	O	O			3
Khovd		O	O	O			3
Khuvsgul		O	O	O			3
Omnogovi		O	O	O			3
Orkhon	O	O	O	O	O	O	6
Selenge		O	O	O			3
Sukhbaatar		O	O	O			3
Tov		O	O	O			3
Uvs		O	O	O			3
Uvurkhangai		O	O	O			3
Zavkhan		O	O	O			3
이동측정소	O	O	O	O	O	O	6

➢ 대기환경 측정망 설치 및 이동차량 지원

정보시스템 지원



➢ Raw data 수집 및 처리 후 대민 공개

역량 강화

현지 맞춤형 역량강화 교육프로그램

○ 대기환경측정망 운영인력 교육
- 원격교육 : 현지 소장 및 기술자
- 현장교육 : 기술자 대상 장비 및 운영 교육
- 초정연수 : 정책결정자, 기술실무자 등 교육

○ 정보통신망 운영인력 교육
- 수원국 IT 담당자 기술이전 교육
- 사용자 교육 및 운영자 교육
- 장애처리 방법 등 교육
- 운영인력 프로그램 개발 단계 참여

➢ 꾸준한 전문교육 이전을 통한 몽골 대기환경관리 능력 향상

4. 현지화 전략 및 인증 방안

"Beyond Korea No.1"
ktl 한국산업기술시험원

대기환경관련 기본 제도	시험 및 검사 제도	유지관리 제도
○ 몽골 대기환경보전법 제정 - 환경측정기 시험, 검사 등에 관한 법률, 시행령, 시행규칙 제정 및 지원 - 몽골 국가기술 표준법 제정 및 지원 - 공정시험 방법 기준 제정 - 환경측정기 형식승인 정도검사 등에 관한 고시 - 대기환경측정망 설치 운영지침	○ 대기환경측정기 형식승인 및 정도검사제도 지원 - 검사기관 설치 및 교육 - 검사기관 기술인력, 기준 장비, 기준 실험실, 품질 문서 지원 - 형식승인 및 정도검사 방법 교육	○ 대기환경측정소 유지관리 교육 - 정기점검, 통상점검, 수시점검 방법 - 계절별 온도, 습도 관리 운영 - 대기환경측정망 정도관리 방법 ○ 전산 시스템 및 데이터 운영 유지관리 - 데이터 처리 방법 교육 - 장애처리방법 - 정보 보안 관리 ○ 대기환경관련 기본 정책 수립 - 기초 자료 처리 방법
❯ 대기환경관련 법적 기준 및 표준화	❯ 환경측정기기의 검사제도 정착	❯ 몽골 대기환경관리 능력 향상 및 정책 수립 기본 자료 생성

7



8

2

조리시설 대기오염물질 배출현황 및 국가 지원사업 추진 계획

김종범 책임연구원(충남연구원)

충청남도 서해안 기후환경연구소 Seohaean Research Institute

충남연구원 ChungNam Institute

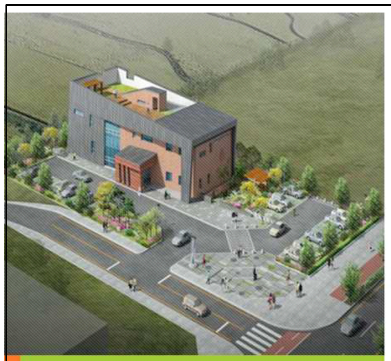
조리시설의 대기오염물질 배출현황 및 국가 지원사업 추진 계획(안)

2023. 12. 20

김종범 책임연구원 (공학박사)

충남연구원 서해안기후환경연구소





CONTENTS

1. 연구배경 및 정책동향

2. 조리시설의 대기오염물질 배출 특성

3. 조리시설 오염물질 관리 기술

4. 조리시설 방지시설 설치지원 사업 검토

5. 정책제언

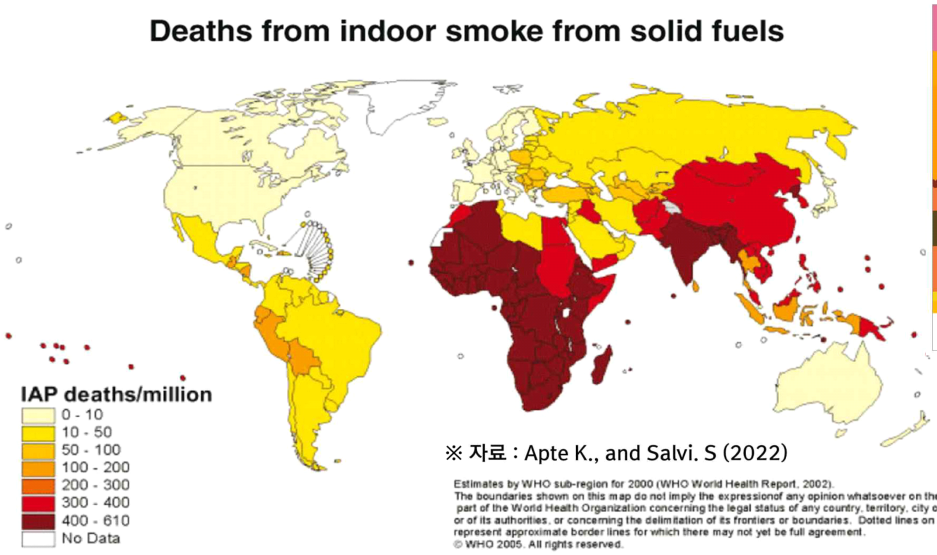
충남연구원 ChungNam Institute

1. 연구배경 및 정책동향

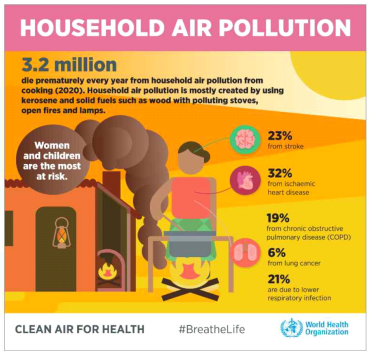
충남연구원 ChungNam Institute

조리과정에서 배출된 오염물질에 의한 건강영향 피해 발생

☐ 조리과정에서 다양한 오염물질 발생 : PM, BC, HCHO, VOCs, PAHs, NOx, SOx, CO, CO_2 등
☐ WHO(2020) : 요리에서 사용되는 연료의 불완전연소로 인한 질병으로 매년 320만명이 조기 사망
 – 허혈성 심장질환 32%, 뇌졸증 23%, 하부 호흡기감염 21%, 만성폐쇄성폐질환 19%, 폐암 6%



※ 자료 : Apte K., and Salvi. S (2022)



※ 자료 : WHO (2020)

1. 연구배경 및 정책동향

충남연구원 ChungNam Institute

조리시설에 의한 환경질환 및 악취관련 민원 다수 발생

☐ 교육부(2023) : 전국 급식종사자 24,065명 대상 건강검진 결과 31명 폐암, 139명 폐암 의심 판명
☐ 생활악취 중 음식점관련 민원 비율 29.5%(환경부, 2024), 악취방지법(2015년) 개정이후 지속적으로 증가 추세
☐ 서울을 중심으로 생활악취 저감을 위한 악취방지시설 설치지원사업 추진 중

대구서만 벌써 12번째, 퇴직 앞두고 '폐암' 진단 급식조리원

학교비정규노조 "실효성 있는 산재 예방 대책 마련하라" - 대구시교육청 "업무경감 위해 배치기준 검토 중"



※ 자료 : 오마이뉴스(24.08..28)

[단독] 연기 뿌연 먹자골목 풍경 사라지나... 관리

박상현 기자
업데이트 2023.10.27. 08:22

뿌연 연기로 가득한 먹자골목 풍경이 사라질 것으로 보인다. 재료를 굽거나 튀기는 과정에서 발생하는 연기는 '요리 매연'(cooking hume)이라 불리는 초미세먼지(PM2.5)다. 사람 몸속에 들어오면 폐에 달라붙어 각종 질환을 일으키는 것으로 밝혀졌다. 이에 정부가 요리매연을 '미세먼지'로 관리해 저감 장비 설치를 지원하기로 했다.



대규모 조리가 이뤄지는 급식실은 환기 시스템이 갖춰져 있긴 하지만, 현재까지 국내에 요리 매연 저감에 대한 과학적 기준은 없어 장기간 요리 매연에 노출될 경우 급식노동자가 폐 관련 질환을 앓을 위험이 큰 상황이다. /뉴스1

※ 자료 : 조선일보(23.10.22)

"조리실 환기시설 개선 21개교 미세먼지·일산화탄소 줄어"

도교육청, 시설 개선 용역 보고회
'경남형 환기 개선 지침서' 7월 보급

※ 자료 : 경남신문(23.04.26)

경남교육청이 지난 25일 별관 공감홀에서 본청, 교육지원청 급식·시설 담당자 등 80여명이 참석한 가운데 학교급식 조리실의 환기설비 개선 방안 및 경남형 지침서 개발을 위한 연구용역 중간보고회를 열었다.

최근 학교급식 종사자의 폐암 사례가 발생하는 등 환경 개선 목소리가 높아지고 있는 가운데 열린 이번 중간보고회는, 4월 현재 학교급식·조리실의 환기 개선을 마친 21개 학교의 환기 성능 평가에 대한 중간 결과를 공유하고 학교 현장에 적합한 환기시설 개선 방안을 고민하고자 마련됐다.



1. 연구배경 및 정책동향

충남연구원 ChungNam Institute

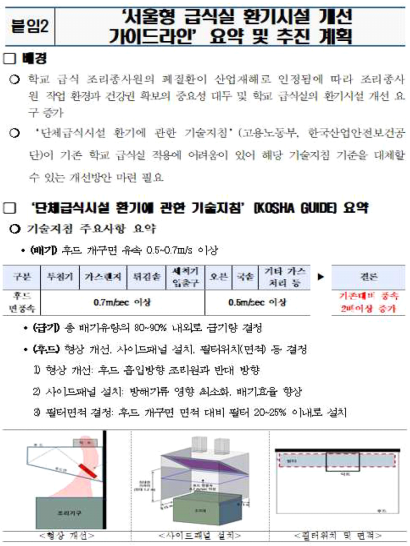
제2차 대기환경관리 기본계획 수립 → 생활부분 배출원관리 천명

□ 생활부분 중 악취와 대기물질 관리를 위해 조리시설 관리정책 수립
□ "조리시설 미세먼지 및 악취 방지시설 설치지원 시범사업" 추진 계획 수립 → '25년부터 매년 전국 20개 시범사업 추진 계획
□ 서울시 교육청 (2024) : 급식실 조리종사원 건강관리를 위한 환기시설 개선 시범사업과 가이드라인 제시

조리시설 미세먼지 · 악취 방지시설 설치 지원 시범사업 추진 계획(안)

2024. 1.

환 경 부
대 기 관 리 과



붙임2 '서울형 급식실 환기시설 개선 가이드라인' 요약 및 추진 계획

□ 배경

○ 학교 급식 조리종사원의 폐질환이 산업재해로 인정됨에 따라 조리종사원 작업 환경과 건강권 확보의 중요성 대두 및 학교 급식실의 환기시설 개선 요구 증가

○ '단체급식시설 환기에 관한 기술지침'(고용노동부, 한국산업안전보건공단)이 기존 학교 급식실 적용에 어려움이 있어 해당 기술지침 기준을 대체할 수 있는 개선방안 마련 필요

□ '단체급식시설 환기에 관한 기술지침' (KOSHA GUIDE) 요약

○ 기술지침 주요사항 요약

• (배기) 후드 개구면 유속 0.5~0.7m/s 이상

구분	부착기	가스렌지	튀김솥	세척기 입출구	오븐	국솥	기타 가스 처리 등	결론
후드 면풍속	0.7m/sec 이상				0.5m/sec 이상			기존대비 풍속 30%이상 증가

• (급기) 총 배기유량의 80~90% 내외로 급기량 결정

• (후드) 형상 개선, 사이드패널 설치, 필터위치(면적) 등 결정

1) 형상 개선: 후드 흡입방향 조리원과 반대 방향

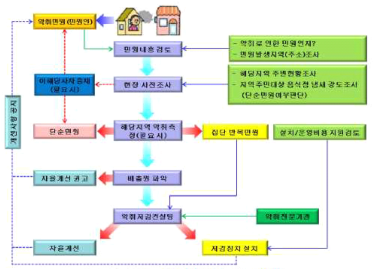
2) 사이드패널 설치: 방해기류 영향 최소화, 배기효율 향상

3) 필터면적 결정: 후드 개구면 면적 대비 필터 20~25% 이내로 설치

5 음식점 냄새관리방안

5.1 냄새발생 현황파악

음식점에서 민원이 발생되면 현황파악이 가장 중요하다. 악취 민원일 경우 민원장소에서 어떤 냄새인지, 또는 동일한 냄새로 피해를 느끼는 사람이 어느 정도인지, 근처의 다른 사람도 민원인과 유사한 수준으로 악취를 느끼는지, 등에 대한 조사와 해당지역에서 냄새발생수준을 파악할 필요가 있다(민원인이 냄새가 발생된다고 느끼는 동일시간대에 측정). 악취방지법의 부지경계 배출허용기준(15배)은 악취로 인한 수인한도를 고려한 희석배수로(복합악취로 약 13배), 수인한도 이내일 경우 민원인과 중재하는 방법도 효과적인 수단이 될 수 있으며, 이때 악취유발업소 당사자는 가급적 배제하는 것이 바람직하다. 반면, 수인한도를 초과할 경우 악취유발사업장 조사를 병행할 필요가 있다(배기구 악취측



[그림 8] 음식점 냄새 민원발생에 따른 관리방안

5/17

2. 조리시설의 대기오염물질 배출 특성

충남연구원 ChungNam Institute

조리실과 직화구이과정에서 배출되는 대기오염물질 노출형태 및 처리효율

※ 자료 : 식품의약품안전처 (2017)

□ 조리실
- 노출자 : 사업주 또는 근로자
- 배출관리 시설 : 상부 캐노피 후드 또는 레인지후드
- 처리효율 : 중 → 개방형으로 후드 내부에 팬이 있으나 상승과정에서 외부기류 영향과 내부 압력에 의해 흡입효과 낮음

□ 직화구이
- 노출자 : 근로자 또는 소비자
- 배출관리 시설 : flexible 덕트를 장착한 국소배기장치
- 처리효율 : 중~상 → 후드의 위치와 댐퍼의 개폐여부, 관내 유분의 관리 여부에 따라 상이하게 나타남





6/17

2. 조리시설의 대기오염물질 배출 특성

충남연구원 ChungNam Institute

조리시설에서 배출되는 악취/대기오염물질의 특징과 관리 어려움

☐ 상이한 민감도 : 사람마다 악취에 대한 정의와 느낌이 다르고, 물리적으로 선형적인 상관관계를 가지지 않음

☐ 배출공간의 분산 분포 : 원료보관실, 조리실, 폐기물처리실, 하수구 등 배출원이 분산 배치

☐ 사업체의 낮은 경제여건 : 대부분 영세한 소규모 사업장으로 방지시설에 대한 비용투자와 관리가 어려움

☐ 법적 규제 없음 : 조리시설에 대한 관리기준이나 조례 부재

☐ 관련 시장 규모 작음 : 법적규제가 없고 관련 수요도 부족하다보니 관련 시장이 작음

☐ 사업주 업무 증가 : 방지시설 설치/운영에 의한 사업주의 업무적, 경제적 부담 가중 (규제가 없는 상황에서 굳이..)

☐ 폐기물 및 쓰레기 관리공간 부족 : 사업장이 대부분 적은 규모이다 보니 폐기물이나 쓰레기의 외부노출 많음

☐ 악취의 배출원인 다양 : 다수의 개폐공간으로 조리시설 내 악취나 대기오염물질이 외부로 쉽게 유출

☐ 방지시설 설치공간 부족 : 건물벽면이나 옥상부에 설치공간 협소 (또는 임차건물로 설치 어려움)

☐ 방지시설 유지관리 어려움 : 유분으로 시설 내 점도가 증가하여 관내 퇴적과 장치효율 감소의 원인이 됨

☐ 사업주의 낮은 관심 : 설치된 방지시설에 대한 유지관리가 제대로 이루어지지 않음

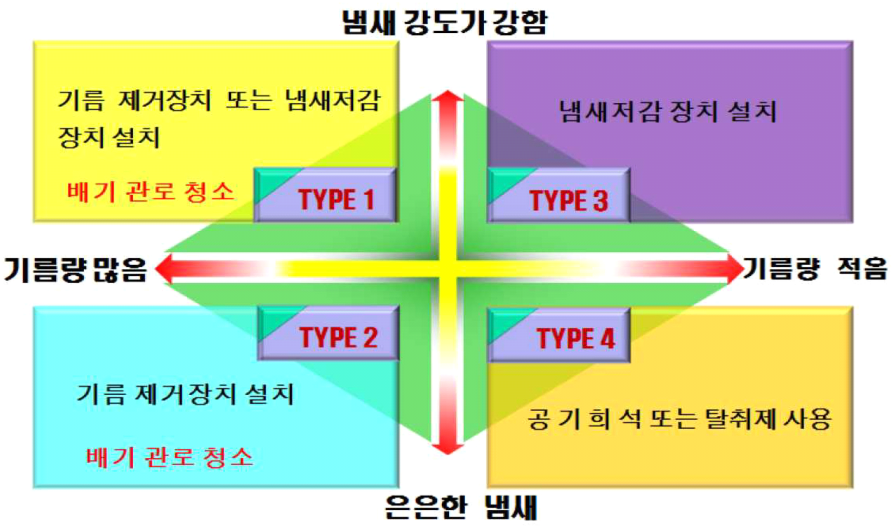
3. 조리시설 오염물질 관리 기술

충남연구원 ChungNam Institute

조리시설 악취관리 방안

※ 자료 : 환경부 (2017) 음식점 냄새관리 가이드

☐ 발생원 차단/격리 : 조리방법 변경, 배출원에 대한 밀폐나 차단, 폐기물 보관용기 밀폐 및 보관기간 단축, 하수도 덥게 설치 등
☐ 국소배기장치 청소 : 가지 덕트에 대한 교체주기 단축 및 메인 덕트에 대한 주기적인 청소 실시, 적정 소요풍량 유지
☐ 배출악취 희석 : 주변조건을 고려한 배출구 높이 증가, 배출구 방향 변경, 송풍량 변화를 통한 토출속도 증가 등



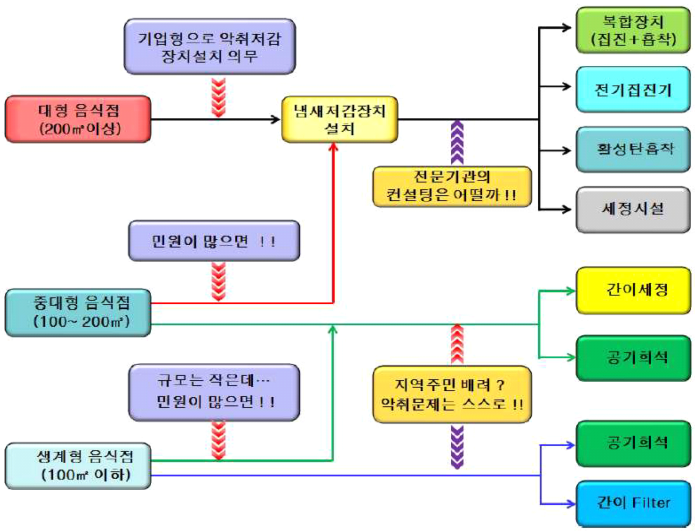
3. 조리시설 오염물질 관리 기술

충남연구원 ChungNam Institute

조리시설 규모에 따른 악취관리 방안

※ 자료 : 환경부 (2017) 음식점 냄새관리 가이드

□ 환경부(2017)에서 조리시설 규모와 민원여부에 따라 적정 관리방안 제시
□ 음식점 규모를 100 ㎡이하와 100~200 ㎡, 200 ㎡ 이상의 3단계로 구분
□ 저감시설은 크게 전기집진기 / 흡착에의한 시설 / 세정집진장치 / 여과집진장치 / 공기희석의 5가지 방법을 제안





〈EP〉



〈A/C tower〉



〈악취저감 표준설비 (환경부)〉

구조 : Pre filter – EP – AC – Fan

3. 조리시설 오염물질 관리 기술

충남연구원 ChungNam Institute

조리시설 방지시설 지원 사례

※ 자료 : 서장원 등 (2021), KAPAR 17(4) 115-123

□ 서울시에서 진행한 악취방지시설 지원사업 추진 사업장 (6개소) 대상 성능평가 실시
□ 적용기술 : 전기집진장치 → TSP 기준 64.5~86.0%의 저감효율 / 가스상 오염물질은 효과 애매함
□ 복합악취에 대해서는 일부 개선효과(28.6~58.0%) 보임
□ 단 대부분의 사업장에서 EP의 집진극 관리가 이루어지지 않고 있어, 집진효율 감소의 요인으로 작용





		A 사업장	B 사업장	C 사업장	D 사업장	E 사업장
연소형태		가스	가스	숯불	숯불	숯불
대상		생삼겹살	닭꼬치	닭꼬치	양념고기	장어구이
EP 효율	THC (%)	64.7	6.8	-8.9	14.7	-18.4
	TSP (%)	86.0	81.2	85.4	64..5	85.6
	복합악취 (%)	50.0	58.0	28.6	33.3	50.0

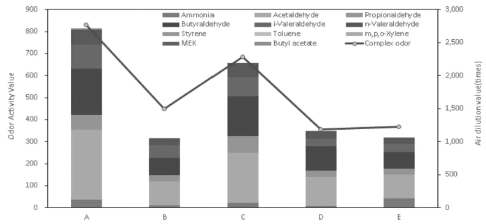
3. 조리시설 오염물질 관리 기술

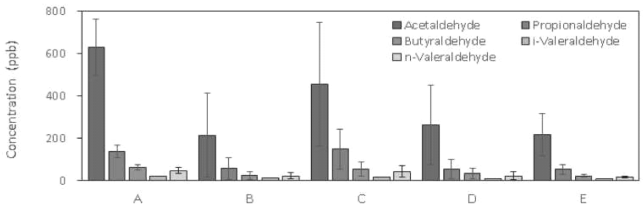
충남연구원 ChungNam Institute

조리시설 방지시설 지원 사례

※ 자료 : 이태정 등 (2019), J. Odor. Indoor Environ. 18(2) 121-130

□ 경기도 내 300 ㎡ 이상 규모의 대형식당 5개를 대상으로 선정 (경기도 악취지원사업 대상 사업장)
□ 사용연료 : 숯불 / A 음식점 소고기, B, D, E는 돼지, C 오리 취급
□ 설치장치 : A와 E는 활성탄필터+EP / B와 C는 원통형 EP /D 다공성 세라믹필터가 설치된 여과집진장치 설치
□ 복합악취와 고기구이 양과의 상관계수(R^2)는 0.48로 고기종류보다 고기양에 따른 영향이 크게 나타남
□ 복합악취 저감효과 분석 : 1차 : 70.0~95.0% / 2차 30.7~90.0%
- 1차보다 2차때 저감효율 감소 → 방지시설의 유지관리 여부에 따라 EP의 효과 및 지속성 차이가 크게 나타남





	A 사업장	B 사업장	C 사업장	D 사업장	E 사업장
복합악취	2,770배	1,500배	2,288배	1,187배	1,221배
측정범위	1,225~6,476	1,000~3,000	669~4,481	669~2,080	1,000~1,442
배출허용기준 (500) 대비 분율	5.5	3.0	4.6	2.4	2.4
저감효율 (1차, %)	77.7	95.0	73.3	80.5	70.0
저감효율 (2차, %)	60.6	90.0	70.0	74.1	30.7

11/17

4. 조리시설 방지시설 설치지원 사업 검토

충남연구원 ChungNam Institute

제2차 대기환경관리 기본계획

□ 제3차 대기환경관리 종합계획(2023~2032)에 따라 각 권역별로 제2차 대기환경관리 기본계획(2025~2029) 수립 중
□ 생활오염원 관리대책 : 생활주변의 미세먼지 및 악취관리를 위해 대형 음식점 및 집단급식소를 대상으로 시설지원사업 예정
□ '25년부터 '29년까지 전국 누적 100개소 지원(시범)사업 추진 / 총액 60억원 (국비 30억원, 지방비 24억원, 자부담 6억원)

제2차(2025-2029) 중부권 대기환경관리 기본계획(안)

2024. . .

환경부 금강유역환경청

3 생활오염원 관리대책

◆ 도심 속 생활 주변 대기오염물질 배출원 관리 강화 및 농·축산 운영 방식 개선과 미세먼지 관리 강화

☞ PM-2.5 10%, PM-10 10%, NOx 15%, SOx 3%, VOCs 4% 감축

3-1 생활 주변 배출원의 효과적 관리 및 저감 지원

◇ 생활 주변 주요 배출원(난방시설, 도로재비산 등)에 대한 관리 강화

□ 도심 난방시설 미세먼지 관리 강화

○ **(가정용 보일러)** 권역 내 생활 주변 친환경 냉난방 보일러 교체·설비 지원('25년부터 '29년까지 전국 약 7만 5천 대 지원)

○ **(가스열펌프)** 가스열펌프 배출허용기준* 적용** 및 저감장치 부착을 통한 관리 강화

* NOx 기준: '22.6.30 이전시설 - 100ppm 이하 → '22.7.1 이후 시설 50 ppm 이하
** 신규 시설 : '22.7.1부터, 기존시설: '25.1.1부터 적용

○ **(음식점)** 생활주변에서 발생되는 미세먼지 및 악취저감을 위해 대형 음식점 및 집단급식소를 대상으로 최적방지 시설 설치·관리 지원 시범사업 추진*

* 전국 '25년부터 '29년까지 누적 100개소 지원

□ 도로 및 공사장 등의 재비산먼지 발생 억제

○ **(청소차)** 친환경 도로청소차 보급* 및 운영** 확대와 제기 장비 성능 인증체계 개편 및 인증기준 상향 조정

* 전국에 살수차 12대, 진공흡입차 153대, 노면청소차 12대 지원('25~'29년 누적)
** 도로먼지제거(청소) 용역

3 부문별 투자계획

□ 중부권 삭감대책 기준 부문별 주요 투자계획

< 중부권 부문별 투자계획('25~'29) (단위: 백만 원) >

구 분			소요예산		사업물량
			국비	지방비	
이동오염원					
무공해차 보급	전기차	승용차	728,122	384,491	256,327
		승합차	113,650	60,120	2,004
		화물차	371,315	184,412	46,103
	수소차	승용차	445,067	247,750	24,775
		승합차	1,736,980	977,220	10,858
		화물차	622,870	614,570	3,514
노후 경유차	조기폐차	5등급	18,581	18,581	23,226
		4등급	151,398	151,398	81,837
	DPF 부착		4,136	4,136	2,785
	PM/NOx 동시저감장치		297	297	44
전기이륜차 보급 확대			2,601	2,601	7,030
노후 건설차량 저공해조치 지원(DPF)			165	165	30
어린이 통학차량 LPG차 전환사업			1,770	1,770	1,180
노후 건설장비	조기폐차		8,892	8,892	4,768
	엔진교체		25,641	25,641	3,108
친환경 건설장비 보급			20,710	20,710	1,187
노후 농기계 조기폐차			16,773	16,773	4,414
생활오염원					
생활주변 친환경 보일러 설치 지원			3,497	2,332	9,715
도로청소차량 보급	전기차		2,000	2,000	20
	수소차		3,600	900	5
유기용제 사용 소규모사업장 배출저감			3,160	2,528	158
조리시설 미세먼지 방지시설 설치			300	240	15

12/17

4. 조리시설 방지시설 설치지원 사업 검토

충남연구원 ChungNam Institute

조리시설 미세먼지 및 악취 방지시설 설치지원사업

☐ 생활악취 중 음식점관련 악취민원 증가 / 음식점음 대기배출 및 악취관리사업장이 미포함 → 관리 사각지대
☐ 악취방지법에 따라 지자체 조례로 지정하여 관리하도록 하고 있으나 현장 적용성 낮음, 소규모사업장으로 자체관리 어려움
☐ 음식점의 경우 유적과 미세먼지, 악취 및 유해화학물질이 동시 배출 → 지속적인 유지관리 필요

조리시설 미세먼지 · 악취 방지시설 설치 지원 시범사업 추진 계획(안)

2024. 1.

환 경 부
대 기 관 리 과

Ⅲ 시범사업 추진 개요

❶ 다수민원 음식점 미세먼지·악취 개선 지원
❷ 지원-사후관리가 연계된 복합지원 체계 구축
❸ 음식점 맞춤형 방지시설 설치 및 유지관리

☐ (지역 및 민원 고려) 다수 민원이 발생하는 음식점 우선 지원
○ 주거지역에 인접해 있는 다수 민원 음식점 및 미세먼지 개선이 가능하고 지자체와 자율 협약 등이 가능한 음식점 우선 선정

☐ (복합지원) 기술적·재정적 지원과 음식점에 적합한 사후관리 체계 구축
○ 환경 컨설팅 전문기관(지역 녹색환경센터 등)과 연계한 기술적 지원을 통해 사업의 연속성 확보
○ 1회성 재정지원에 그치지 않고, 음식점 자체 환경관리역량을 강화에 초점을 둔 지속적인 사후관리 체계 구축

☐ (음식점 맞춤형 방지시설) 음식점에서 발생되는 오염물질의 특성을 반영한 방지시설 설치 지원
○ 미세먼지와 악취, 유적의 동시 제거가 가능한 복합 방지시설 고려
○ 유지관리가 쉽고 지속적인 성능을 유지할 수 있는 방안 고려

Ⅳ 시범사업 추진계획(안)

◈ 지자체 신청을 받아 시범사업 대상 음식점 선정(20개소 이내)
◈ 민관 협의체 구성·운영을 통해 사업계획 수립 및 추진 관리

☐ 시범사업 추진 방안
○ (지원대상) 다수 민원 음식점으로 악취 민원해결과 미세먼지 개선이 가능한 사업장
○ (사업기간) '25년(1년간)
- 시범사업기간은 1차년도 시행효과를 고려해 조정 가능
○ (사업개소) 음식점 20개소 내외(지자체 신청수요에 따라 조정)
○ (지원금액) 음식점 1개소당 총사업비 최대 3,600만원 이내 지원
- 지원예산은 소규모사업장 방지시설 설치 지원사업 예산을 활용 (사업추진 부서가 다를 경우 부서 간 사전협의 필요)
- 지원비 충액은 해당 시도별 '24년 소규모사업장 방지시설 설치 지원사업 국비 지원 충액 등을 고려해 조정
- 지원비 비율: 국비 50%, 지방비 40%, 자부담 10%
○ (선정방식) 음식점 업주와 사전협의 후 시범사업을 신청한 지자체를 대상으로 시설의 시급성, 적정성, 효과성 등 고려 선정
- 선정위원회를 구성하여 대상 선정
- 사업의 시급성, 사업유형, 지자체의 추진의지, 음식점 업주의 참여의지(사전협의 여부 등) 지역별 형평성 등을 종합적으로 평가
○ 시범사업 우선 선정 사업
- 미세먼지·악취 개선의 시급성 및 개선효과가 인정되는 사업
- 시범사업을 추진하는 시군구의 지방비 확보계획이 명확한 사업
- 시범사업을 추진하는 음식점과 사전협의 등을 통해 사업추진계획이 구체적으로 제시된 사업
☐ 시범사업 선정 지자체 역할
○ 시범사업 세부추진계획 수립, 방지시설 선정 및 기술검토, 점행관리, 사후관리 등을 위한 지자체· 사업참여 사업장·외부전문가 등으로 협의체 구성·운영
○ 방지시설 등 설치 후 사후관리 지원을 위한 유지비 지원, 기술 컨설팅 등 지원프로그램 개발·운영
○ 시범사업 지역 내 음식점이 참여할 수 있도록 적극 독려

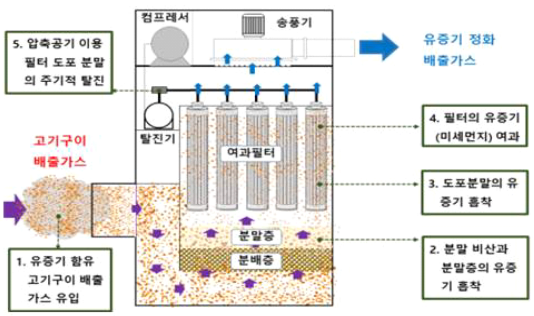
4. 조리시설 방지시설 설치지원 사업 검토

충남연구원 ChungNam Institute

조리시설 미세먼지 및 악취 방지시설 설치지원사업

☐ 지원대상 : 다수 민원 음식점으로 악취 민원해결과 미세먼지 개선이 가능한 사업장
☐ 지자체의 신청을 받아 시범대상 음식점 선정 (전국 20개소 이내)
☐ 음식점 1개소당 최대 3,600만원 이내 지원
 - 기존 서울시의 경우 최대 1천만원 한도에서 방지시설 설치비 70% 이내 지원
☐ 지원예산 : 소규모사업장 방지시설 설치지원 사업 예산을 활용
 - 소규모방지시설 설치지원 사업 비용 : 24년 1,000억원 → '25년 100억원으로 전체예산이 1/10로 감소 예정
 - 국비 50%, 지방비 40%, 자부담 10%
☐ 음식점 미세먼지 및 악취 저감 최적방지기술 (4개)
 - 세라믹(DPF) 필터 + 촉매 / 전기집진기 + 촉매 / 분말촉매필터 + 건식산화 / 습식전기집진기 + 건식산화





4. 조리시설 방지시설 설치지원 사업 검토

충남연구원 ChungNam Institute

방지시설 설치지원사업의 한계점 검토

□ 축소되고 있는 소규모 방지시설 지원사업
- '20년 관련 사업이 추진된 이후 매년 사업비 감소 추세. '25년도의 경우 '24년 대비 1/10 수준으로 감소 예상
- 신규사업비가 아닌 기존 사업비를 기반으로 시범사업 추진 (경쟁 치열)
- IoT 부착 의무설치기한이 '25년 6월로 만료됨에 따라 조리시설보다는 IoT 설치 지원으로 비용 몰림 예상

□ 후단의 후처리시설에 국한된 지원사업
- 조리시설의 경우 배출원이 산재되어 있고, 간헐적으로 고농도 배출이 진행
- 하지만 배출원에 대한 고려와 포집 과정을 배제한채 후단의 방지시설 설치지원 사업에만 비용산정
- 배출원에 대한 포집 효율이 우선시 된 이후 후처리장치가 온전히 제기능을 발휘 → 배출원관리 필요

□ 방지시설 단가대비 낮은 사업비용 (물가상승율 미고려)
- 전기집진나 여과집진기의 경우 단가가 높은 후처리장치이나 지원사업의 비용이 낮게 산정
- 물가나 재료비 상승 등을 감안시 적정기술의 적용 어려움 (기존 사업비용을 기반으로 사업단가 산정)

□ 단편적인 지원사업 진행
- 지원사업 이후 어떻게 관리할 것인가에 대한 내용이나 검토가 없음
- 지원사업 이후 관리를 위한 매뉴얼 제작 및 배포, 그리고 연속적인 관리가 이루어질 수 있는 시스템 구축 필요

15/17

5. 정책제언

충남연구원 ChungNam Institute

□ 조리시설에 대한 관리 범위 설정과 가이드라인 제시
- 현재 100, 200, 300 ㎡ 등 3개로 대, 중, 소로 구분 → 범위설정 근거마련 및 관리대상 선정 필요
- 각 시설별 관리 가이드라인 개발 및 배포

□ 지원사업 추진에 따른 결과 분석 추진
- 기존 소규모 배출사업장 지원사업의 경우 개선 전후에 대한 효과 분석이 공식적으로 이루어지지 않고 있음
- 정책은 비용편익이 산정되어야만 지속 여부가 결정되는 만큼 조리시설 지원사업에 대한 개선효과 분석 필요

□ 대기배출사업장으로의 분류 및 관리기준 설정
- HAPs, VOCs 등 유해화학물질이 다량 배출되는 만큼 대기배출사업장으로 분류 필요
- 배출시설로 지정 및 자가측정 의무화, 배출허용기준 물질 및 기준 설정 필요

□ 방지시설 설치 의무화 및 지원사업 발굴
- 관리 및 배출허용기준을 기반으로 방지시설 설치 의무화 필요
- 단 규모 등에 기준 적용시 우선순위와 단계를 정하고 경제 여건을 고려하여 적용 필요

□ 장기적인 관점에서 관리대책 수립 및 배출량 기반 신규관리종으로 분류방안 검토
- 단편적인 지원대책보다는 장기적으로 관점에서 배출관리 및 유지관리 시스템 개발이 필요
- 배출량을 검토하여 종내 여입 불가시 5종 외에 특수 경우를 적용하여 신규 관리종으로 관리를 제안

16/17

감사합니다

충남연구원
ChungNam Institute

본 연구는 2024년도 충청남도의 재원으로 충남연구원에서 수행된
현안과제(24HA0069)의 연구 결과이며, 이에 감사드립니다.

Chungnam Institute

3

스마트 버스정류장 운영에 따른 실내외 대기오염도 분석

박세찬 팀장(충남녹색환경지원센터)

환경부지정 충남녹색환경지원센터 Chung Nam Green Environment Center

다중이용시설 내 공기질 측정 및 관리를 위한 워크샵 / 오엔시티호텔, 천안

충남연구원 ChungNam Institute

스마트 버스정류장 운영에 따른 실내외 대기오염도 분석

2024. 12. 20

충남녹색환경지원센터
기업지원팀장 박세찬





CONTENTS

1. 연구배경 및 버스정류장 현황
2. 연구방법
3. 실내외 측정분석 결과
4. 정책 제안

충남연구원 ChungNam Institute

1. 연구배경 및 버스정류장 현황

충남연구원 ChungNam Institute

도로변 미세먼지 유해성 높아

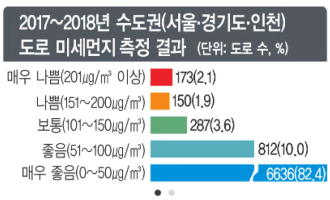
☐ CAPSS 기준 TSP 중 비산먼지 66.8%로 압도적 1위 → 부문별로 이동오염원에 대한 기여도 높아
☐ 일반 미세먼지 보다 인체 해롭고, 대부분 도로에서 기준초과 : 도로변 〈 차량 내부 (차량내부도 안전할 수 없다)

시사 > 전체기사

[단독] '보행자 습격' 도로 미세먼지, 경기·인천이 서울보다 2배 나빠

2년 동안 수도권 도로 미세먼지 측정해보니

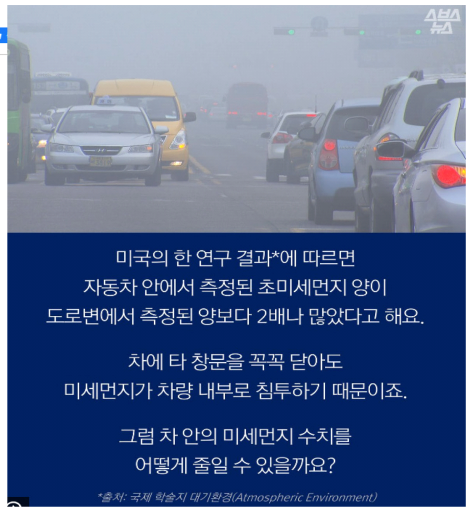
입력 : 2018-05-15 18:55



환경공단, 2017~2018년 조사
일반 미세먼지보다 인체 해롭고 직접 영향
측정 8058곳 중 323곳이 '나쁨 151㎍' 넘어
공사현장 주변은 1000㎍ 훌쩍... 대책 시급
지자체들, 기준초과에도 도로 물청소 소홀

수도권 일부 도로에서 발생하는 미세먼지가 '매우 나쁨'(201㎍/㎥ 이상) 수준의 5배가 넘은 것으로 조사됐다. '도로재비산먼지'로 불리는 도로미세먼지는 아스팔트·타이어·브레이크가 마모될 때 발생하는 먼지로, 일반 미세먼지보다 인체에 해롭고 보행자에게 직접적인 영향을 미친다.

자료 : 국민일보(18.05.15)



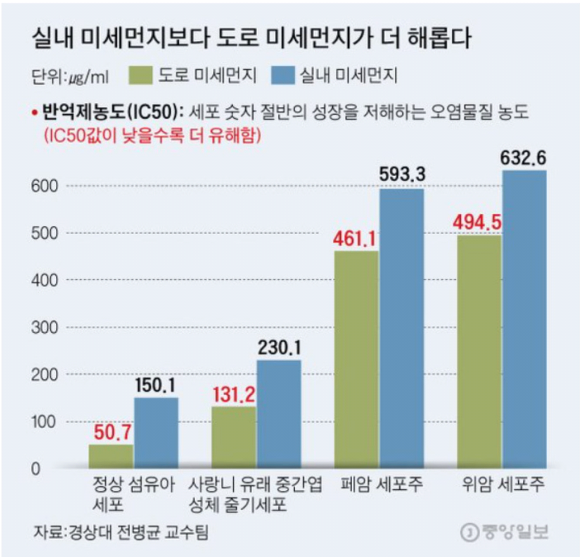
자료 : SBS뉴스(20.02.07)

1. 연구배경 및 버스정류장 현황

충남연구원 ChungNam Institute

선행연구 결과

☐ 전병균 등 : 도로 미세먼지에 노출된 세포의 생장율이 더 낮게 나타나 : 암세포에 주는 미세먼지 영향이 큼
☐ 임영욱 등 : 버스중앙차선 〉 도로변 〉 자동차 실내, But 창문 개폐시 자동차 실내 농도 높아져



자료 : 중앙일보(19.08.22)

장소·상황별 미세먼지 차이 (단위: ㎍/㎥)

자동차 실내 *측정 당시 대기 PM10 농도: 133

	외기가 차단 됐을 때	외기순환 모드일 때	창문을 열었을 때
PM10	53.3	116.1	231.5
PM2.5	47.2	57.1	125.9

도로

	도로변	버스 중앙차로
PM10	54.5	125.2
PM2.5	33.0	58.5

자료: 환경부, 임영욱 연세대 교수

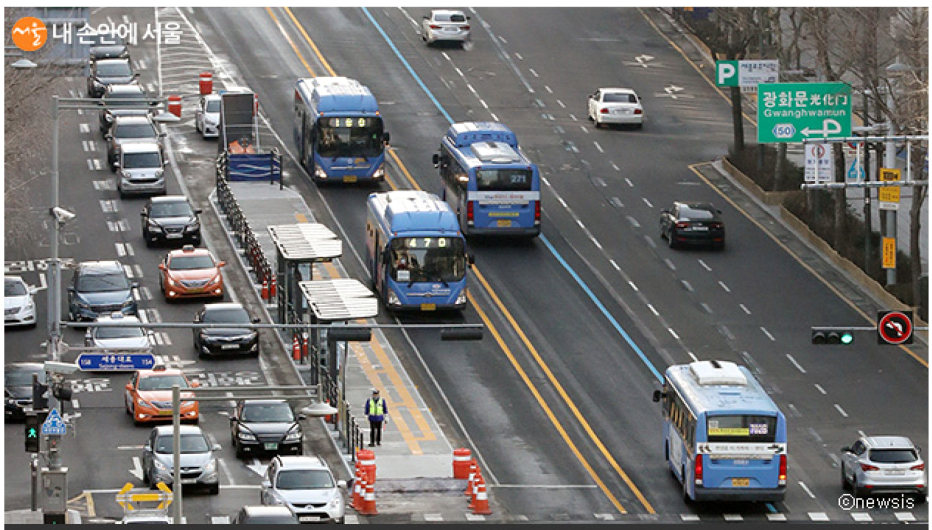
자료 : SBS뉴스(20.02.07)

1. 연구배경 및 버스정류장 현황

충남연구원 ChungNam Institute

버스정류장 관리 중요성

☐ 대중교통 분담율(서울시기준) : 도시철도(39.7%) 〉 버스 (21.7%) 〉 택시 (5.3%) 〉 기타 (4.7%)
☐ 지상 도로구간을 이용하는 운송수단 중 버스에 의한 분담율 높음
☐ 버스정류장 : 수분~30분까지 머무름, 버스중앙차선은 양방향 통행으로 생성된 피스톤효과로 섬현상 발생 : 고농도 농축 야기



서울 전역의 중앙버스전용차로 제한속도가 50~60km/h에서 50km/h로 하향된다



자료 : 더청라(21.03.09)


자료 : 동아일보(22.06.21)

자료 : 서울특별시(19.12.11) / https://mediahub.seoul.go.kr/archives/1261131

1. 연구배경 및 버스정류장 현황

충남연구원 ChungNam Institute

지자체의 버스정류장 관리 노력

자료 : 구리시



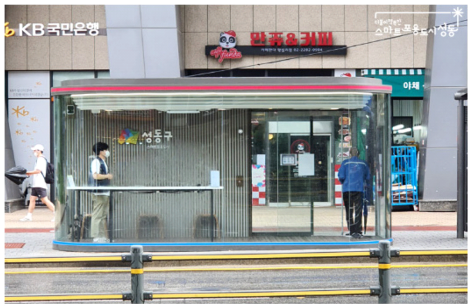
자료 : 부천시 미세먼지 프로젝트



1. 연구배경 및 버스정류장 현황

충남연구원 ChungNam Institute

지자체의 버스정류장 관리 노력

금호역 성동형 스마트쉼터(왼쪽), 상왕십리역 성동형 스마트쉼터(오른쪽)




자료 : 성동구청




자료 : KICT(21.05.12)



자료 : 퀸(20.12.24)

7/17

2. 연구 방법

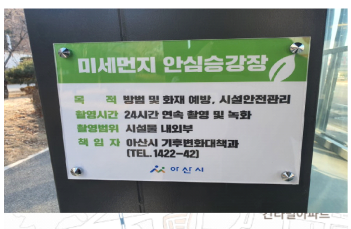
충남연구원 ChungNam Institute

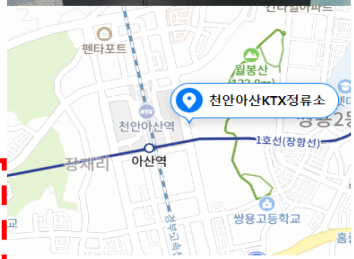
밀폐형 버스정류장 전후의 공기질 비교

☐ 측정장소 : 천안아산 KTX역 버스정류장 (밀폐형, 미세먼지 안심승강장 : 관리처 – 아산시)
☐ 측정일시 : 2022. 10. 14 ~ 10. 25
☐ 측정항목 : 실내 – $PM_{2.5}$, PM_{10}, 온습도, CO_2
실외 – $PM_{2.5}$, PM_{10}, CO, NO, BC, $PM_{2.5}$의 중금속 및 이온성분
☐ 도로변측정소(RAQMS) : 장재리 도로변측정소
☐ 버스노선 : 5, 10, 21, 777, 990, 991, 80, 81, 광역버스 등



측정알림판 부착 예정





8/17

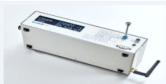
2. 연구 방법

충남연구원 ChungNam Institute

측정장비 현황

☐ 도로 주요배출인자인 CO, NO/NOx, BC를 실외 측정, 실내외 분석에는 PN 2대를 실내와 실외에 설치하여 비교분석
☐ PMS는 $PM_{2.5}$에 대해 필터 샘플링 후 중금속 분석 (XRF)



항목	수량	장비	크기(㎝) 무게(kg)	전력 (W)
CO	1		61*43*22 (25)	275
NO/ Nox	1		61*43*22 (25)	275
BC	1		28*43*33 (21)	25
PN	2		24-13-7 (2)	24
PM2.5	1		53*70*175 (21)	374

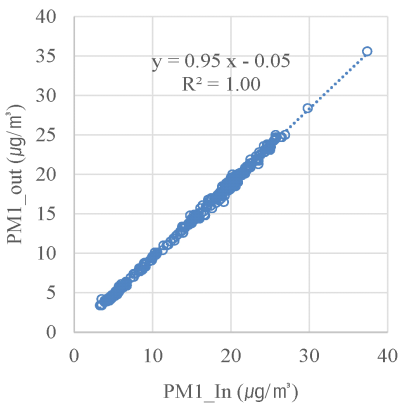
9/17

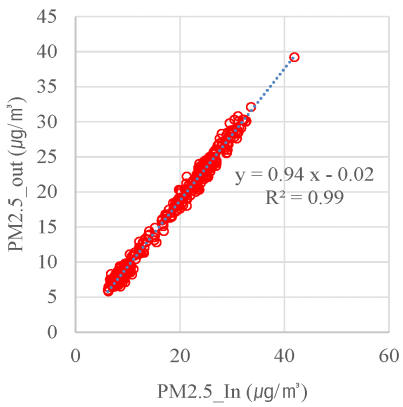
2. 연구 방법

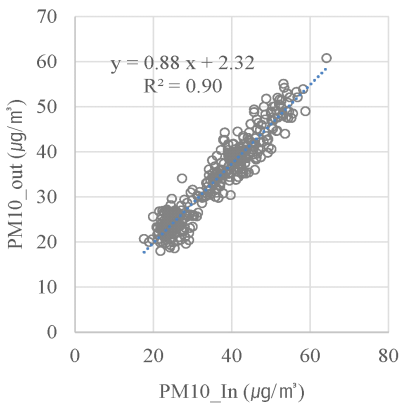
충남연구원 ChungNam Institute

실내외 입자상 오염물질의 농도 변화 특성

☐ Dust spectrometer (11-D, Girmm)를 이용하여 버스정류장 내·외부 농도 변화 특성 분석
☐ 측정 전 두 장비간 상관성 분석 수행 (R^2 : 0.90~1.00)







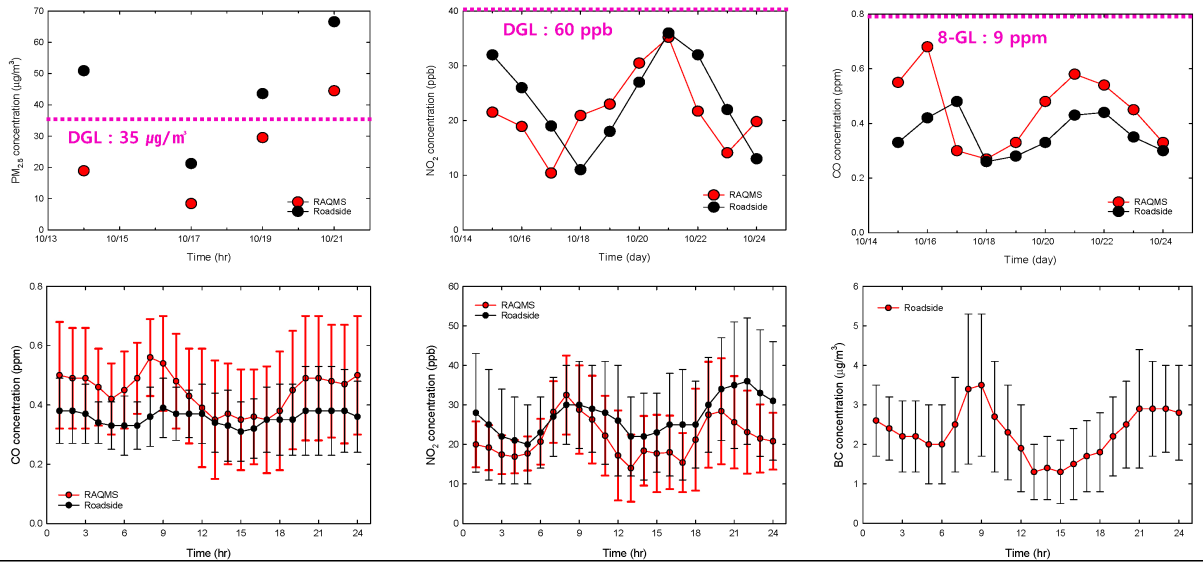
10/17

3. 실내외 측정분석 결과

충남연구원 ChungNam Institute

도로변 미세먼지 농도 비교 (도로변 실측 vs RAQMS)

☐ $PM_{2.5}$ 평균 농도 : 도로변 45.4±16.4 ㎍/㎥, RAQMS 26.5±13.6 ㎍/㎥ (도로변 〉 RAQMS)
☐ NO_2 평균농도 : 도로변 23.5±8.0 ppb / RAQMS 21.6±6.8 ppb (도로변 〉 RAQMS)
☐ CO 평균농도 : 도로변 0.36±0.07 ppm / RAQMS 0.45±0.13 ppm (도로변 〈 RAQMS)
☐ BC 평균농도 : 2.3±1.1 ㎍/㎥



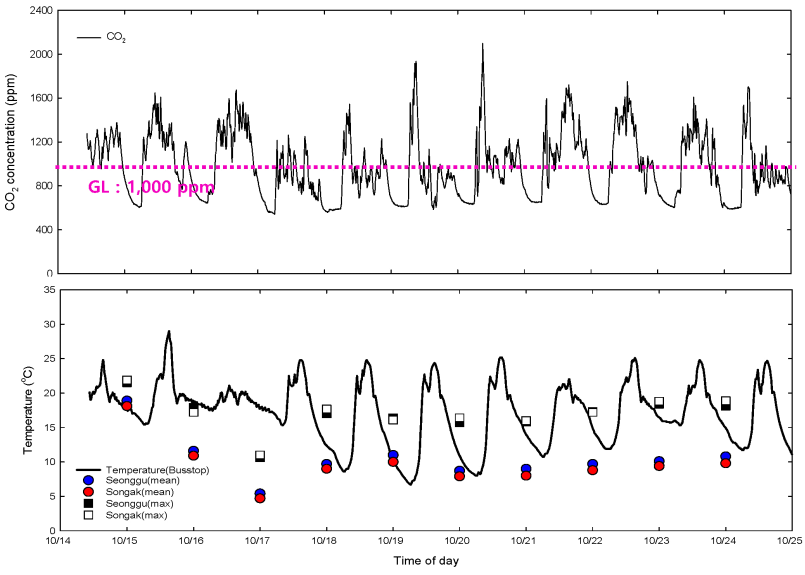
11/17

3. 실내외 측정분석 결과

충남연구원 ChungNam Institute

밀폐형 버스정류장 내부 공기질 현황

☐ CO_2 : 987±296 ppm / Max 2,098 ppm (실내공기질 유지기준 1,000 ppm)
☐ 측정기간 중 CO_2 농도는 실내공기질 유지기준 이내, 단 다수구간 기준치 초과 (CO_2 센서연계 환기설비 운영 필요)
☐ 온도 : 16.6±4.6℃ / Max 29.0 ℃ (인근지역 AWS 온도, 성거 11.3 ℃, 송악 10.5 ℃ / Max 24.9~25.1 ℃)





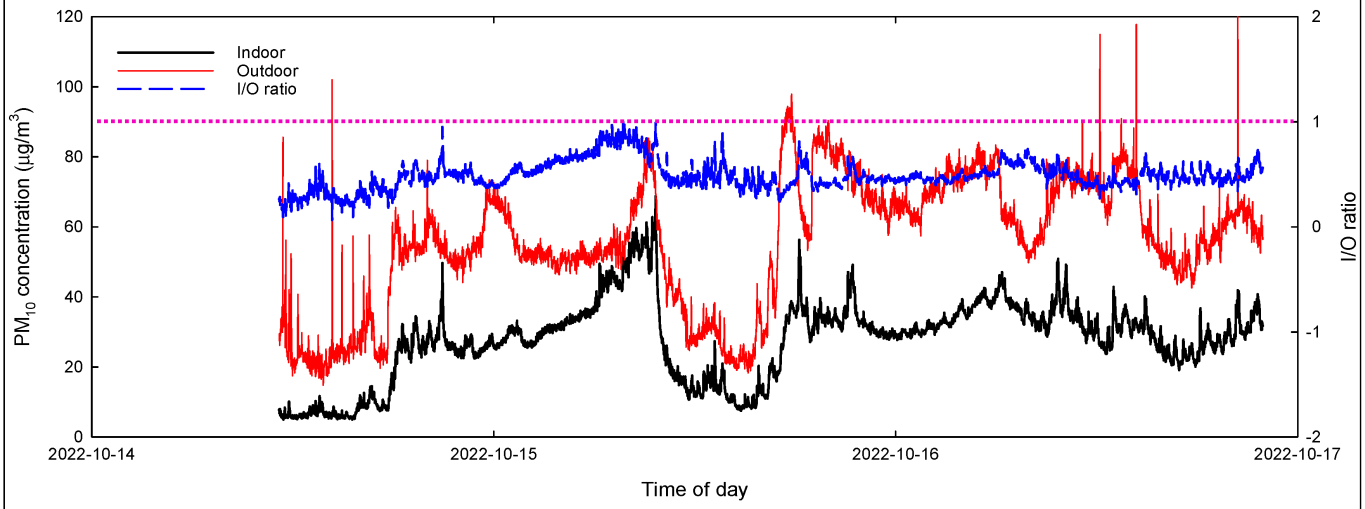
12/17

3. 실내외 측정분석 결과

충남연구원 ChungNam Institute

버스정류장 실내외 농도 비교 (PM_{10})

☐ 실내 : 27.7±11.5 ㎍/㎥ / 외부 55.7±18.1 ㎍/㎥ (실내외 차이 2.0배)
☐ I/O ratio : 0.49 (대부분 외부기인) / 1이상일 경우 내부소스가 지배적, 1 이하일 경우 외부소스가 지배적 영향
☐ AQMS : 44.6±16.0 ㎍/㎥ → AQMS 대비 실내는 63% 수준, 외부는 1.26배 높음
☐ 버스정류장을 밀폐함으로써 이용객이 노출되는 PM_{10}의 농도 ½ 수준으로 감소

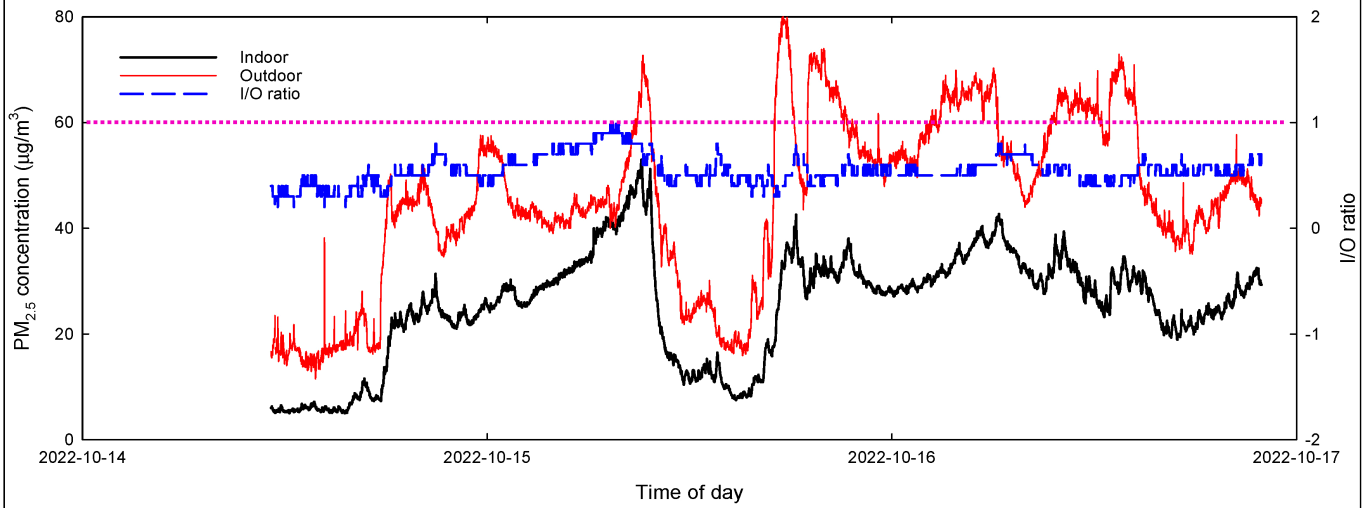


3. 실내외 측정분석 결과

충남연구원 ChungNam Institute

버스정류장 실내외 농도 비교 ($PM_{2.5}$)

☐ 실내 : 25.4±10.4 ㎍/㎥ / 외부 45.6±16.0 ㎍/㎥ (실내외 차이 1.8배)
☐ I/O ratio : 0.55 (대부분 외부기인) / 1이상일 경우 내부소스가 지배적, 1 이하일 경우 외부소스가 지배적 영향
☐ AQMS : 25.9±11.6 ㎍/㎥ → AQMS 대비 실내는 98% 수준, 외부는 1.76배 높음
☐ 실내 = AQMS < 외부 / 외부대비 실내의 농도는 ½ 수준, PM_{10}과 유사한 차단효과



3. 실내외 측정분석 결과

충남연구원 ChungNam Institute

소 결론

□ RAQMS 〈 버스정류장 주변 대기질
- 도로변 측정소보다 버스정류장 인근지역의 대기오염도가 더 높은 것으로 확인됨
- 측정소 인넷(inlet)의 위치는 지상으로부터 약 2~3 m에 위치, 도로변 오염물질이 희석 · 확산된 이후 측정
- 도로변 측정은 차량 운행에 따라 도로변 비산먼지의 피스톤 효과로 고농축되어 측정

□ 실내 CO_2농도는 기준치 미만, 단 환기설비와 연동된 관리방향 제시 필요
- 측정기간 중 CO_2 농도는 실내공기질관리법 유지기준(1,000 ppm) 이하 987 ppm
- 밀폐된 공간에 승객의 여부에 따라 기준치 상회구간 다수 발견
- 버스정류장 내 오염도수준(PM)과 CO_2를 연계한 관리시스템 구축 및 운영 필요

□ 밀폐된 버스정류장 내 · 외부 영향 분석결과 PM_{10}과 $PM_{2.5}$ 모두 도로변 대비 ½ 수준
- 실내외 영향을 판단하는 I/O ratio가 0.49~0.55로 대부분 외부기인 영향으로 나타남
- 버스정류장 밀폐에 따라 승객이 노출되는 PM_{10}과 $PM_{2.5}$의 농도는 ½수준으로 감소 (효과 높음)
- 정류장 밀폐가 PM_{10}(조대입자)에 대한 저감효과는 가시적이나 $PM_{2.5}$(미세입자)에 대한 차단효과는 미미

□ 향후 연구 계획
- 도로변 측정된 $PM_{2.5}$ 입자에 대해 성분분석 추진
- 타 지역 도로변 오염도 측정분석 결과와 비교 분석
- 각 오염물질에 대한 정밀분석 수행 예정

15/17

4. 정책제언

충남연구원 ChungNam Institute

버스 중앙차선에 대한 밀폐화와 원인분석, 맞춤형 개선대책 수립 필요

□ 버스중앙차선에 대한 밀폐화 추진
- 버스중앙차선은 교통량 관리 측면에서 효과적인 효과를 나타내고 있음
- 하지만 양쪽으로 차단된 상태에서 차량 운행에 따른 피스톤 효과로 오염물질에 둘러쌓인 섬형태를 유지
- 특히 경유광역버스가 많이 운송되는 구간을 조사하여 우선적인 밀폐화 또는 우선적 차량 교체 수행

□ 경유버스의 단계적 전환
- 수도권과 일부 광역지지차의 경우 전기 및 수소버스를 비롯한 친환경버스로의 전환을 유도 중임
- 충남의 경우 2개 시군을 제외하고 아직도 경유버스가 주력 버스임
- 대기환경개선과 온실가스 감축에 대한 일환으로 기초 지자체 운영 버스에 대한 개선비용 확대 필요

□ 도로 비산먼지에 대한 정확한 배출원 파악
- 도로 비산먼지는 차량 운행 + 도로 낙하분진 + 주변 환경영향 + 도로변 토사 유입 등으로 알려져 있음
- 지역적 특성은 다를 수 있으나 전체 TSP 배출의 1순위가 비산 먼지이고, 이동오염원이 기여도 1위로 확인됨
- 불분명확 비산먼지 배출량산정 방법의 고도화, 배출계수 최신화, 지역별 계수산정, 특성 조사 등 연구 수행

□ 지역별 특성에 맞는 개선대책 수립 / 밀폐형 버스정류장에 대한 PM-CO_2 연계 관리시스템 개발 및 보급
- 이동관측차량 등을 활용하여 고농도 지역(Hot-spot)구간 설정
- 고농도지역에 대한 고농도 원인 조사
- PM과 CO_2 농도기반 관리시스템 구축, 농도변화에 따른 능동-반응형 관리 수행

16/17

감사합니다



Chungnam Institute

4

첨단장비를 이용한 생활밀집시설의 휘발성유기화합물(VOCs) 측정 연구

정원석 전문위원(국립환경과학원)

일 자 : 2024. 12. 20.

이용시설 내 공기질 측정 및 관리를 위한 워크숍

첨단장비를 이용한 생활밀접시설의 휘발성유기화합물(VOCs) 측정 연구



기후대기연구부 대기공학연구과

정원석

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

목 차

01 연구 배경 및 목적

02 연구 내용 및 방법

03 연구 결과

04 향후 계획

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

01 연구 배경 및 목적

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

○ 기존의 배출원 모니터링 방법은 점오염원 중심의 관리로 비산누출, 비정기적인 배출 등을 파악하기 어려움

광학원격측정(Optical Remote Sensing)기법을 통해 효과적인 사업장 배출관리 방안 마련

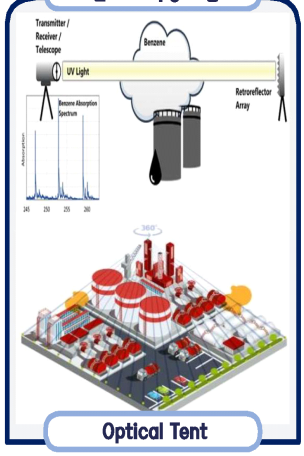
- 광학원격측정 기법을 통해 미세먼지 원인물질의 개별 화학종 특성과 배출량 산정 기법 정확도 제고
- 고농도 오염발생 지역의 Emission source를 신속하게 파악하고 오염지역의 개선 효과 확인

점(Point) 측정 기법



저비용 측정기법

선(line)측정 기법

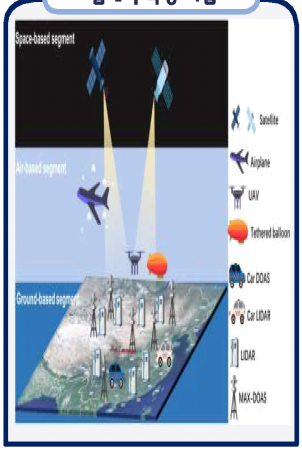


Optical Tent

Flux측정 기법



입체적 측정 기법



3

01 연구 내용 및 진행 사항

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

ORS를 이용한 미세먼지 원인물질 감시 기법 연구

자체 검·교정 방법 마련

1. Controlled Release Facility 테스트
2. Laboratory test 실험 진행

미세먼지 원인물질 배출특성 파악

1. 석유화학산단 및 제철소 배출량 산정
2. 석유화학산단 내 항만 측정
3. 생활밀접 시설(주유소) 연구 측정

모델링 및 GIS를 이용한 배출영향 분석

1. 농도매핑법, 배출원 추적기법
2. 배출영향 분석을 위한 SOP 마련

광학원격장비 입체적 감시 효율방안 연구

1. 석유화학산단 정밀조사(벤젠, 메테인)
2. DIAL을 활용한 오염물질 배출량 조사

국내 실정에 적합한 K-펜스라인 모니터링(안)마련

1. 미국 SCAQMD 및 TCEQ 펜스라인 기법 연구
2. UV-DOAS, SOF를 활용한 석유화학산단, 제철소 모니터링

플레어스택 적정 운영 관리방안 조사

1. 플레어스택에서 배출되는 오염물질 배출농도 측정

4

02 연구 장비 (Optical Remote Sensing : ORS)

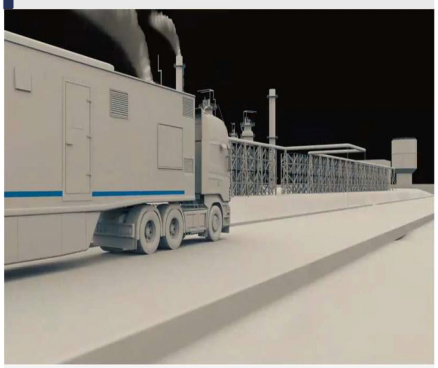
국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research

SOF (넓은 범위)

○ SOF (Solar Occultation Flux)

- 태양과 측정기기 사이 빛 가동을 세워 오염물질 감지
- 실시간 배출량 측정
- VOCs 플럭스 산정
- VOCs, NO_2, SO_2, NH_3, CH_4 등

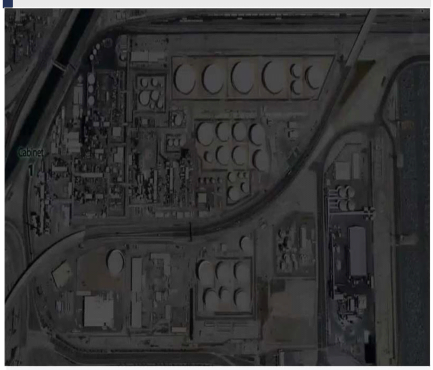
DIAL (정밀하게)



○ DIAL (Differential Absorption Lidar)

- 레이저(UV/IR) 광원을 이용 두개 파장 사이의 흡수량 차이를 이용
- 대규모 산업단지 굴뚝배출가스 대기오염물질 배출량 측정
- CH_4, Benzene, VOCs, NO_2, SO_2

UV DOAS (장기간)



○ UV-DOAS

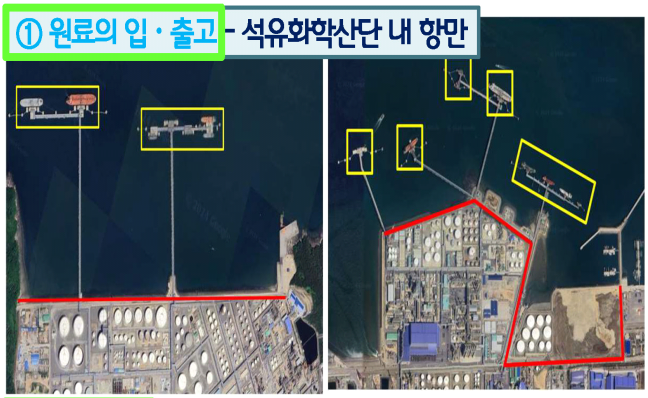
- UV 영역의 빛을 대기 중으로 통과 흡수 스펙트럼을 측정, 분석
- 부지경계 오염물질 농도 모니터링
- Fenceline 모니터링 감시기법
- NO_2, SO_2, Benzene, O_3 등

5

03 측정대상 선정

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research

① 원료의 입·출고 - 석유화학산단 내 항만



② 제품생산 - D 석유화학산단



③ 제품 소비 - 주유소



④ 장기간 - D 일관제철소, 화학제품제조 밀집지역

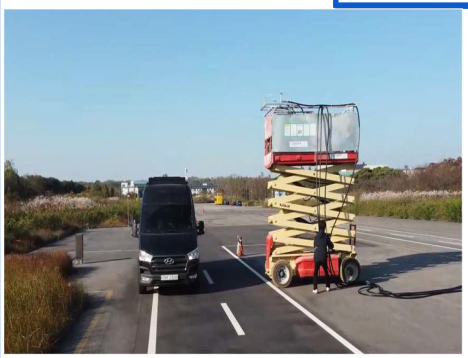


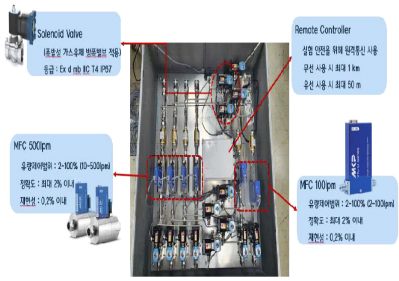
6

03 ORS 정밀도 향상을 위한 노력

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

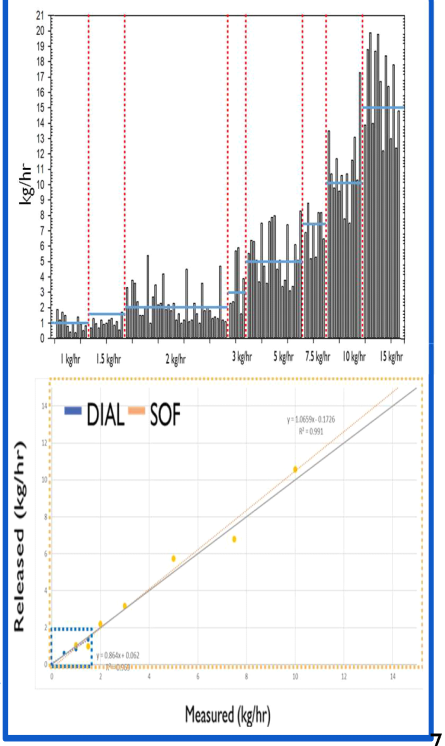
측정 계획 및 장비





MFC와 tracer 설계 및 제작

테스트 결과



○ 측정방법 : SOF (주변을 돌면서 측정), DIAL (150 m 떨어진 장소에서 측정)

○ 배출조건 : 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15 kg/hr

○ 측정결과 : 1) (1 ~ 1.5 kg/hr 구간) 평균 오차 SOF 18.5%, DIAL 12.5%

2) (SOF)전체 구간 (1 ~ 15 kg/hr) 12%, 배출량이 증가할수록 오차율 감소

* 사업장의 배출량은 수백~수천 kg/hr이므로 SOF의 정확도가 높아질 것으로 예상

3) 가상장비별 비교결과 오차율 : LIDAR(0~38 m) 평균 12 %, Mast(2~12 m) 평균 13%

* LIDAR 장비는 시설의 높이가 높고 배출지점의 높이를 모를 때 적합

7

03 [제품생산] 석유화학산단 Fenceline 모니터링

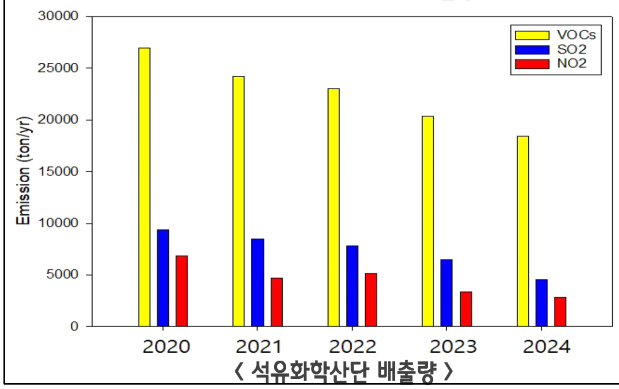
국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research



〈 '24년 석유화학산단 배출량〉



〈 고농도 에피소드 〉



〈 석유화학산단 배출량 〉

○ VOCs와 NO_2, SO_2 는 '20년도 대비 20%이상 오염물질이 감소

- '19년도부터 대형 4개사업장 안전, 환경 투자 실시

○ 측정물질 중 VOCs 배출량이 2,117 kg/hr로 가장 많음

○ 측정 중 고농도 에피소드 확인

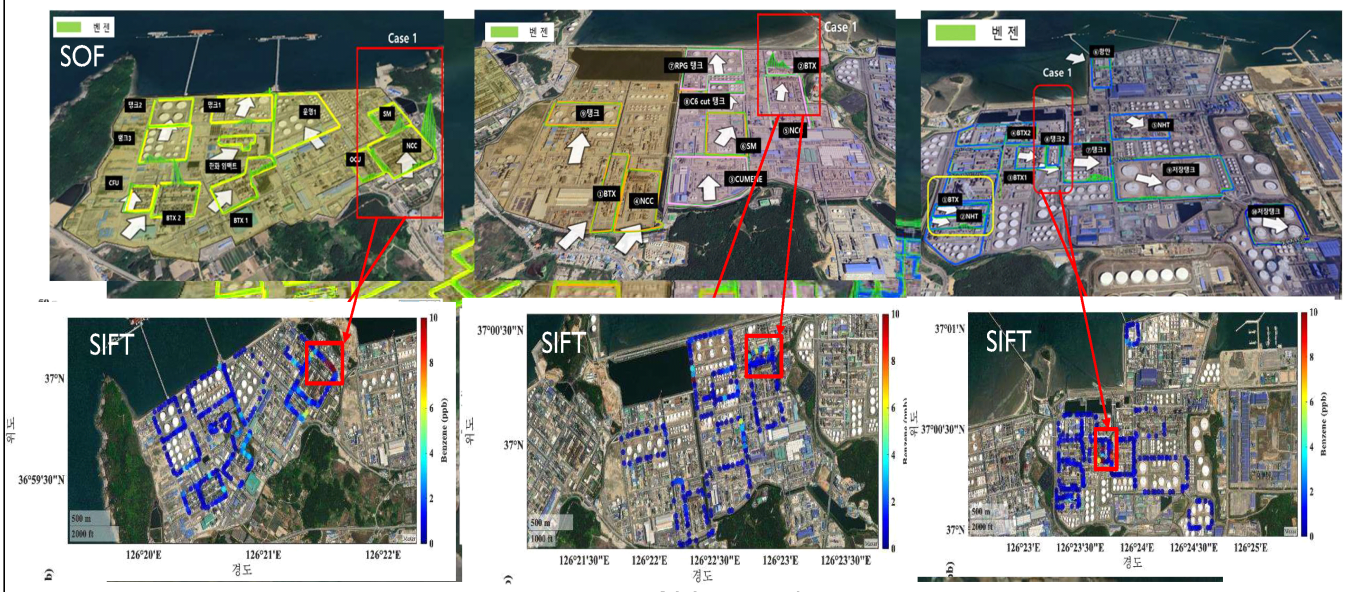
- 석유정제사업장 인근에서 고농도의 VOCs 에피소드 확인

- 측정 2일 동안 높은 VOCs 확인 (최대 : 8,146 kg/hr, 1.4~3.8배 높게 측정)

8

03 [제품생산] 산단 내 4개 사업장 벤젠 의심시설 조사

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research



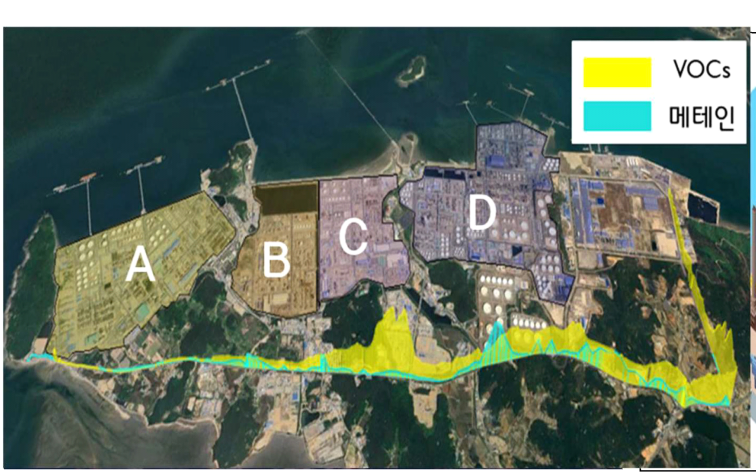
〈석유화학제품제조 A〉 〈석유화학제품제조 B&C〉 〈석유정제사업장 D〉

- ○ 벤젠 제조(BTX, NHT), 취급(OCU, NCC, SM 등), 저장(RPG, C6 등) 시설 측정
- ○ 벤젠 제조시설 (BTX)과 벤젠 취급시설 (NCC, SM)에서 벤젠 높은 농도 확인
- ○ 배출량을 측정하는 SOF와 농도를 측정하는 SIFT-MS 동시 측정결과 같은 시설에서 벤젠이 공통적 높게 측정

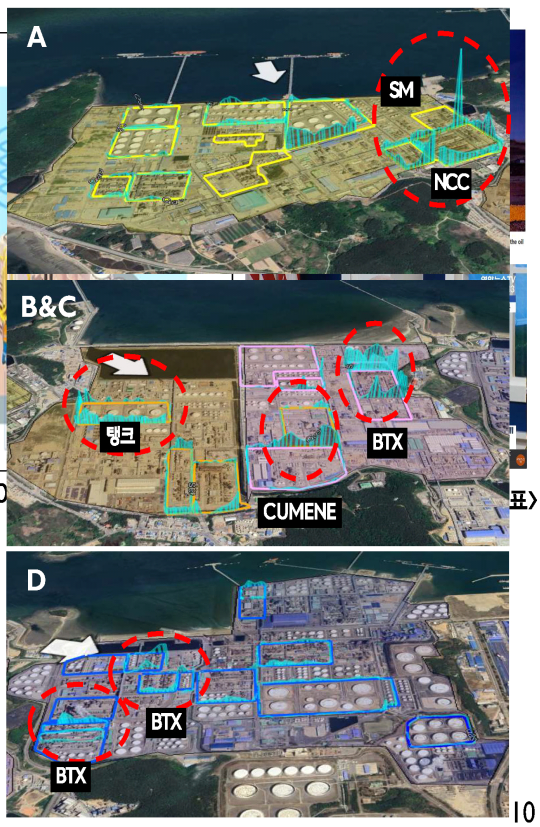
9

03 [제품생산] 석유화학산단 메테인 배출량 조사

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research



〈SOF를 [illegible]한 메테인 측정〉



〈 DO [illegible] 표〉

- ○ 위성 측정 결과 석유화학산단에서 고농도 메테인 확인 (Methane-Sat)
- ○ 석유화학산단 전체 배출량 약 520 kg/hr
- ○ 각 사업장별 배출량 A (122 kg/hr), B & C (212 kg/hr), D (151 kg/hr)
- ○ 약 10%는 석유비축탱크 또는 단지 내 중소규모 사업장의 영향으로 판단
- ○ 가열을 통한 제조시설(NCC, BTX 등) 및 저장시설에서 고농도 확인

10

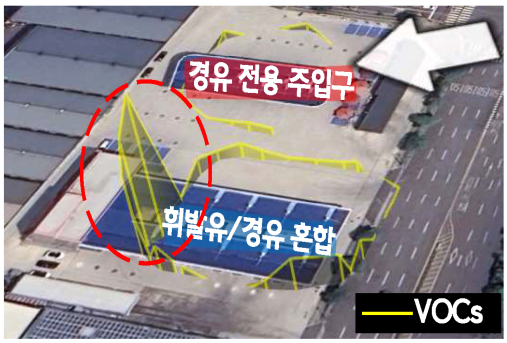
03 [제품사용] 생활 밀접 지역(주유소) 조사

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research

〈주유소 유증기 회수시설 설치 현황〉

구 분	전 체	미설치	비율
전국 주유소	11,023	4,243	38.5 %
유증기 설치 대상*	8,772	1,992	22.7 %

* 유증기 회수시설 설치 의무 지역 : 대기관리권역



○ 경유 및 휘발유 배출량 비교

✓ 경유 주입 및 경유 만 있는 시설 : 0.2 kg/hr 이하

✓ 휘발유 주입 시 측정(회수시설 설치) : 1.5 kg/hr

✓ 휘발유 주입 시 측정(회수시설 미설치) : 10.6 kg/hr

* 경유는 휘발성이 낮고 배출량이 적어 제외

- 인화점 : 휘발유(21℃ 미만), 경유(21 ℃ 이상 70℃미만)
- 비등점(기화점) : 휘발유(30 ~ 200℃), 경유(200~370℃)

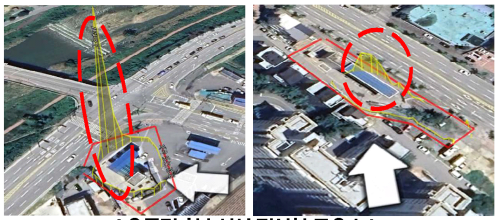
〈주유소 개요 및 측정 결과〉

유증기 회수 유/무		설 치			미 설 치		
주유소		A	B	C	D	E	F
소재지		인천 서구	인천 서구	인천 동부	강원 원주	강원 원주	강원 춘천
주유구	휘발유	4	-	-	-	-	-
	경유	6	8	-	-	-	-
	혼합 (휘발유/경유)	6	7	5	3	6	4
일 판매량(천L)		-	14	-	4	6	8
배출계수 결과 (휘발유 기준 mg/L)		-	785	-	8,837	5,350	4,823
			785			6,337	
제거효율		88%					

* A,C 주유소의 경우 기상조건의 영향으로 미산출



〈유증기 회수시설 설치 주유소〉



〈유증기 회수시설 미설치 주유소〉

○ 설치 유/무에 따라 휘발유 리터당 배출량은 약 8배 높게 측정

○ 제거효율은 약 88%로 참고 자료와 비슷

• 참고문헌 한국환경공단(2011)- 93.1%(THC), 김재혁(2013) – 80.9%(THC), Cruz-Nunez(2003)-91.3%(VOC)

11

03 [장기간]UV-DOAS를 이용한 철강제조업 Fenceline 모니터링

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research

철강제조업 UV-DOAS 측정 개요

○ 측정지역: 제철소 및 일반 산업단지 (전체 약 1.2km)

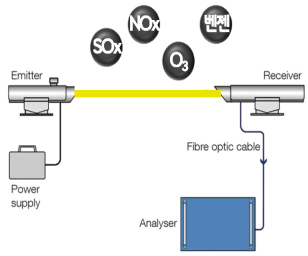
○ 측정기간: '23. 12. 13 ~ '24. 04. 18

○ 대기환경기준 대비: SO_2 : 11%, NO_2 : 24%, Benzene 93%

○ (SO_2) 제선공정 (코크스, 화성, 소정, 소결, 고로) 및 제강공정 등의 환경설비가 집중된 지역에서 큰 영향

○ (NO_2) 제철소의 영향과 인접한 간선도로 (6차선)의 영향 판단

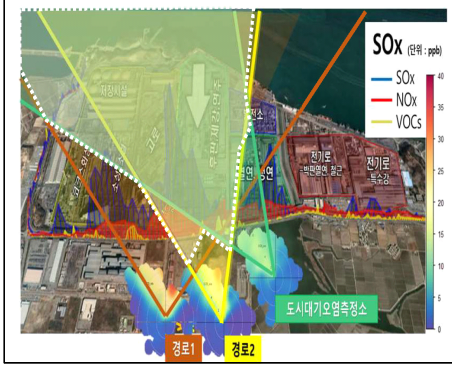
○ (벤젠) 철강제조업 영향이 미미

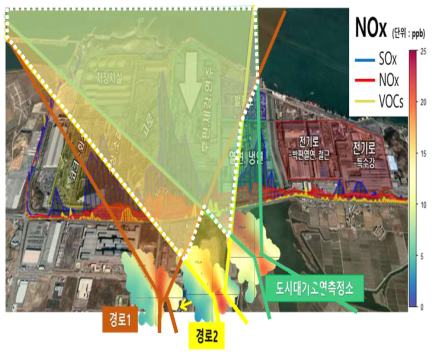


〈UV-DOAS 측정 원리〉



〈철강제조업 측정 위치〉







12

03 [장기간]UV-DOAS를 이용한 석유정제 Fenceline 모니터링

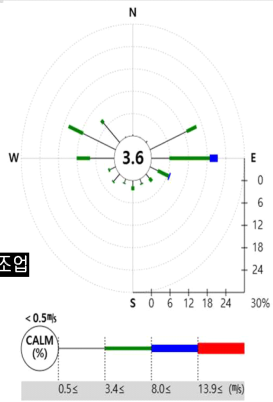
국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research

석유화학산단 UV-DOAS 측정 개요

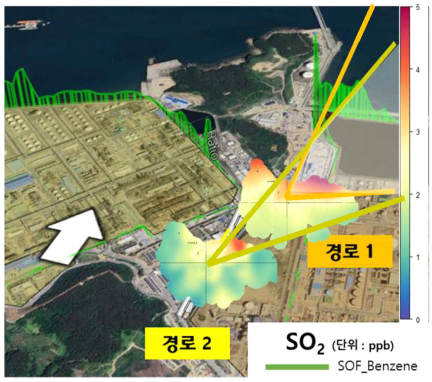
- 측정지역: 석유화학산단 화학제품제조 밀집 지역 (전체 약 700 m)
- 측정기간: ‘ 24. 8. 6 ~ ’24. 11. 14
- 대기환경기준 대비: SO_2 : 12%, NO_2 : 60%, Benzene 223%
- (SO_2) 북동쪽 사업장의 폐수처리장치 영향
- (NO_2) 복합화력 발전소 및 발전소 공사장의 중장비 영향
- (벤젠) 사업장의 NCC 및 석유정제물 재처리 사업장의 영향

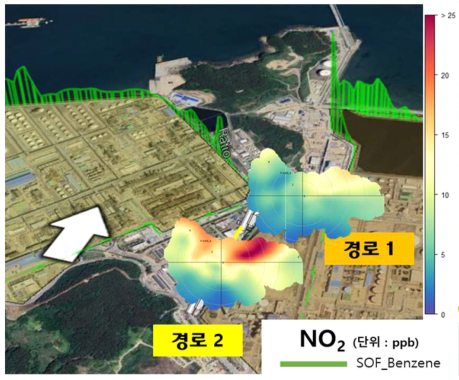


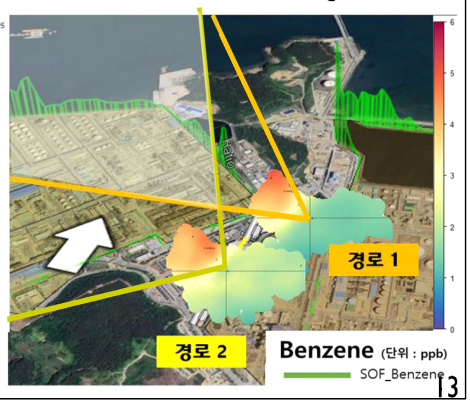
〈 석유화학산단 측정 위치 〉



〈 AWS 기상자료 〉







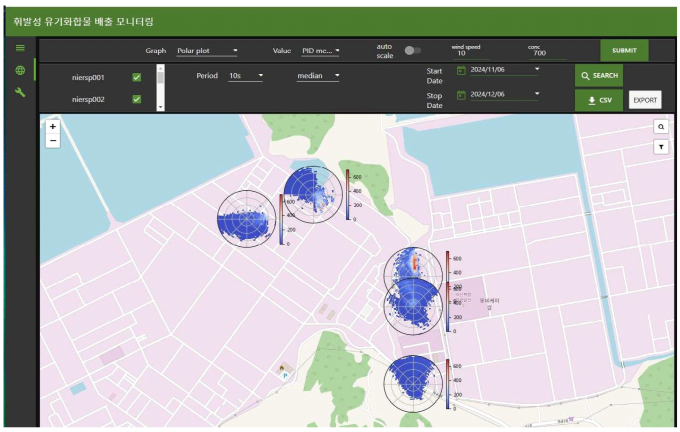
13

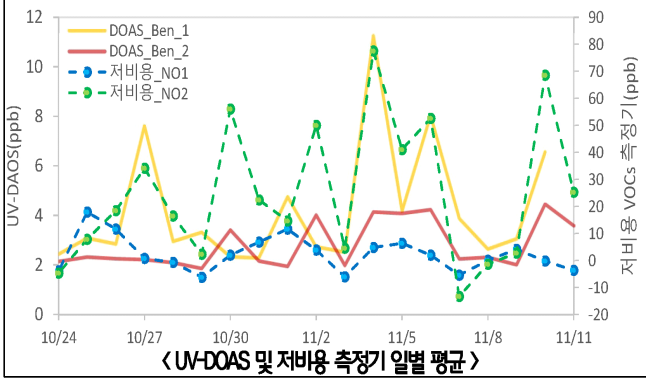
03 [장기간]저비용 센서의 적용

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research

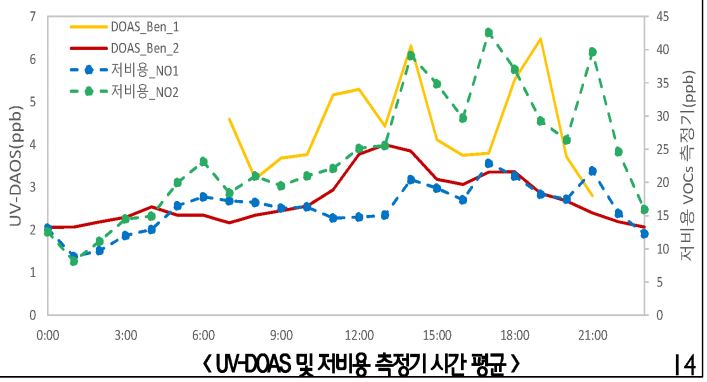
UV-DOAS 및 저비용 VOCs 비교

- 목적: UV-DOAS와 저비용 연속 VOCs 모니터링 장비 비교
  낮은 가격, 쉬운 설치 등 활용도 높음
- 측정기간: ‘24. 10. 24 ~ 11. 18
- 측정항목: TVOCs, 풍향, 풍속, 온•습도, 대기압, GPS
- 관측재원: 범위(10ppb– 3ppm이내), 정확도(±20ppb), LTE 전송
- 측정방법: 광이온화 검출방식(PID)센서는 물질 이온화에 의한 전류변화를 감지하여 농도 산출
- 측정결과: UV-DOAS 자료와 유사한 추세를 보임





〈 UV-DOAS 및 저비용 측정기 일별 평균 〉

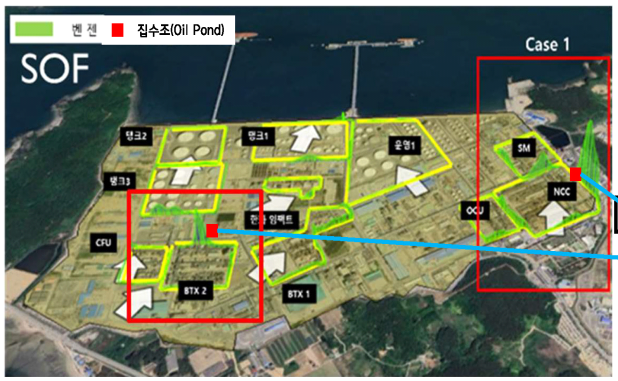


〈 UV-DOAS 및 저비용 측정기 시간 평균 〉

14

03 기술지원(벤젠 의심 시설 조사)

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research



〈사업장 집수조 위치 개선 전 측정결과〉



〈개선 작업 후 측정결과〉

○ 석유화학제품제조 사업장 측정 시 NCC 시설과 BTX 시설에서 높은 벤젠 피크 확인 (집수조(Oil Pond) 영향)

○ 사업장 사후 개선 진행 (집수조의 방지시설을 활성탄 흡착탑 -> RTO, 집수조 덮게 추가 설치)

○ RTO 및 집수조 덮게 설치 후 배출량 측정 결과

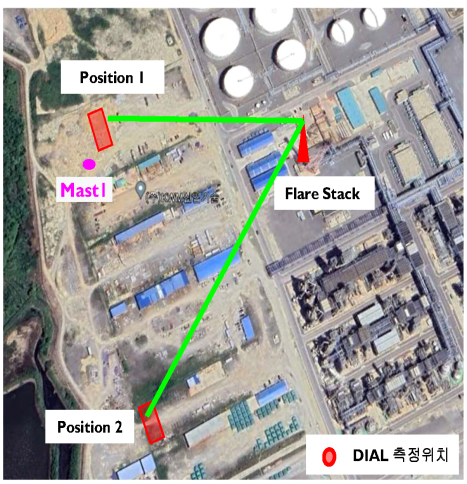
- NCC : 36.2 -> 24 kg/hr (35 % 감소), BTX2 : 5.9 - > 2.8 kg/hr (53 % 감소)

- 추가적인 원인분석 필요(외부사업장의 요인도 존재), 정밀한 효율 확인을 위해 추가 측정 예정

15

03 플레어스택 적정 운영 관리방안 조사

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research



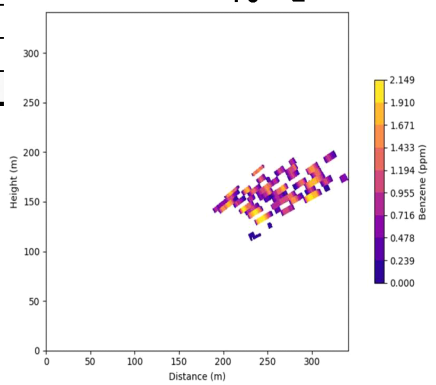
〈플레어스택 및 측정 위치〉

〈플레어스택 벤젠 측정결과〉

측정위치	농도(ppm)	Flux(kg/hour)
Position 1 ('24.5.2)	0.903	2.70
	1.290	8.81
	0.497	4.05
	1.240	6.50
평균	0.983	5.51
Position 2 ('24.5.3)	0.489	8.40
	0.480	6.84
	0.511	6.88
	0.539	7.95
	0.558	9.34
	0.561	8.84
평균	0.523	8.04



〈DIAL 측정 사진〉



〈 DIAL 스캔 벤젠 농도〉

○ A사업장 플레어스택의 벤젠 측정결과

- Position 1 : 농도 0.98 ppm, 배출량 5.5 kg/hr
- Position 2 : 농도 0.52 ppm, 배출량 8.4 kg/hr

○ DIAL을 활용하여 플레어스택 배출량 파악이 가능함을 확인

○ 추후, 플레어가디언과 같이 활용하여 연소효율과 배출량 변화를 살펴볼 예정

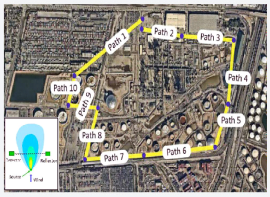
16

04 K-Fenceline 모니터링 기준(안)

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

산업체 역할

1. 자체 모니터링



2. 결과의 보고

시설정보	샘플링 기간 정보	샘플러 정보	측정결과	변경내역
① 주소	① 시설기록번호	① 샘플러명	① 샘플링기간 동안 벤젠농도	① 변경된 내역
② 보고기간	② 샘플링시작일	② WD, 경도 최표	② 개선 후 샘플링 기간 벤젠 농도	
③ 추가정보	③ 샘플링종료일	③ 샘플러 유형	③ 이상치 여부	
	④ 샘플링기간 동안 농도차이			
	⑤ 연평균농도차이			

3. 오염원 추적 및 시설의 개선



정부 역할

1. 배출량 검증 방법으로 활용

배출량 개선 2단계 로드맵(미세먼지정보센터) 마련
단계에서 ORS를 이용한 배출량 검증 부분을 포함

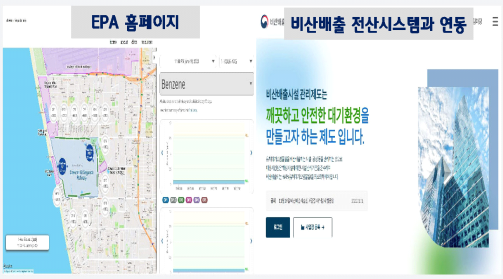
2. 오염물질 원인 규명을 위한 기술지원



3. Action level 등 기준 마련



4. 결과의 취합



5. Advanced techniques 연구



17

감사합니다.

18

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

5

소규모 사업장 내 VOCs 분포 현황

이용일 연구사(한강유역환경청)

"건강한 환경 행복한 미래"

첨단감시장비를 활용한 대기배출사업장 관리 현황

2024. 12. 20.

한강유역환경청 환경감시단

이용일 연구사





목 차

01 첨단감시장비 활용 집중감시

02 첨단감시장비 운영 방법

03 불법배출 의심사업장 선정 및 지도점검 결과

04 비산배출저감제도 개선방안 도출

1 첨단감시장비 활용 대기오염물질 불법배출 집중감시

○ 대기오염물질 취약시기* 초미세먼지 고농도 발생에 따른 대기 오염물질 다량 및 불법배출 의심사업장 등 집중 감시

* 오존 취약시기(5 ~ 8월) 및 미세먼지 계절관리제(12 ~ 3월)

○ **첨단감시장비 활용 모니터링 및 순찰 강화**

- **첨단감시장비**를 활용하여 우심지역 **모니터링 및 감시. 순찰**
- 산단. 지역별 **오염도 지도* 작성, 고농도 배출 의심사업장 선별**

* 고농도 검출 대기오염물질 시각화로 **배출원 추적 및 지도·점검 수행**

○ **대기오염 우심지역 오염물질 배출 특성 분석·활용**

- **산업단지별** 가스상(VOCs) 및 입자상(중금속) 물질 **배출 특성 비교 분석**
- 배출 특성을 고려한 **산업단지별 오염물질 항목 선정, 시료채취·점검**

3

1 첨단감시장비 활용 대기오염물질 불법배출 집중감시

첨단감시장비 현황

구 분	이미지	용 도
이동측정차량 (VOC)	 	- 실시간 대기질 측정이 가능한 이동측정차량
이동측정차량 (중금속)		- 실시간 대기질 측정이 가능한 이동측정차량
시료채취용 드론 및 모듈 (입자상 및 가스상 물질)		- 하단에 위치한 시료채취장비로 대기배출가스 시료 채취 및 분석 - 드론 자격증 필요(2급)

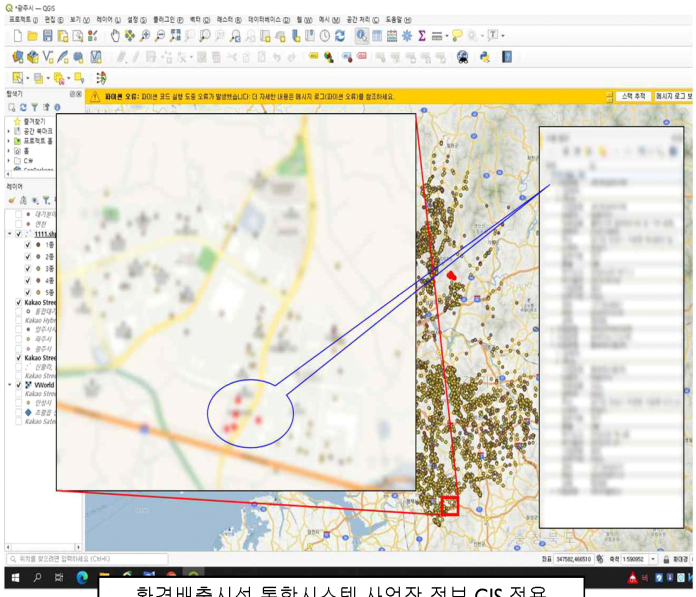
4

2 첨단감시장비 운영 방법

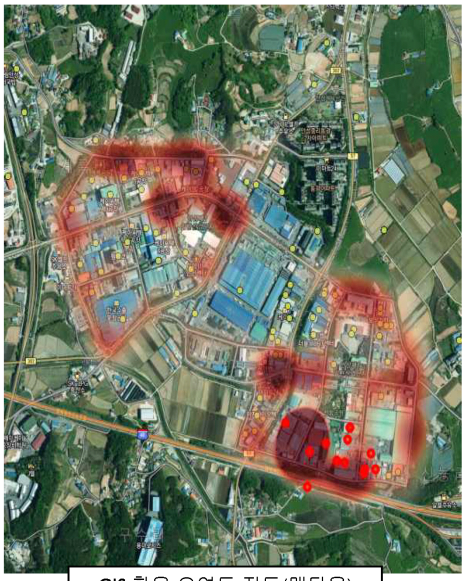
◎ 첨단장비 활용 실시간 오염도 측정

○ (이동측정차량) 사업장 부지 경계선 상에서 실시간 VOCs 측정 및 해당지역 오염지도 작성

○ (드론) 고농도 구역 내 굴뚝/비산 배출되는 고도별 대기오염물질 농도 측정(시료포집 및 성분 분석)



환경배출시설 통합시스템 사업장 정보 GIS 적용



GIS 활용 오염도 지도(메탄올)

2 첨단감시장비 운영 방법

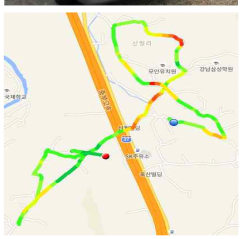
◎ 이동측정차량 및 드론 연계 활용

- 한강청 2조 4인(측정차량팀 2인, 드론운영팀 2인)

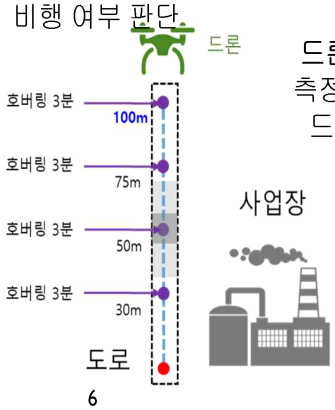
첨단감시 주요 업무

[1단계] 이동측정차량 측정	[2단계] 고농도 지역 선정	[3단계] 해당지역 드론 비행 가능여부 판단	[4단계] 드론 비행	[5단계] 불법배출 의심사업장 지도점검
측정차량팀 해당지역 모니터링	측정차량팀 고농도 지역 드론운영팀 전달	드론운영팀 고농도 지역 현장 확인 및 비행 여부 판단	측정차량팀 도로 통제 등 안전요원 역할 수행 드론운영팀 측정모듈 및 드론 운영	환경감시단 불법배출 의심사업장 선정 및 지도점검 수행











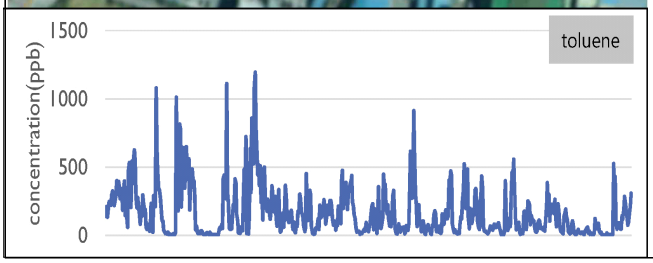


3 불법배출 의심사업장 선정 및 지도점검 결과(사례 3)

불법배출의심사업장 선정

정박측정 20230216 12:44 ~ 14:26
지도점검 20230117(5개지점 검체실시)





항 목	평균 값(ppb)
carbon tetrachloride	0.006
aniline	10.855
benzene	0.846
styrene	0.033
acrolein	4.165
acrylonitrile	0.133
propylene oxide	1.582
chloroform+dichloromethane	3.914
formaldehyde	14.851
acetaldehyde	0.103
1.3-butadiene	0.048
naphthalene	0.004
ethylene oxide	0.926
tetrachloroethylene	0
1.2-dichloroethane+vinyl chloride	0.409
xylenes + ethylbenzene	0.217
trichloroethylene	0
vinyl acetate	0.329
butanone	1.144
toluene	166.784
methanol	5.28
hexane	27.438
methyl tert-butyl ether	1.592
2-propanol	0.535
dimethyl disulfide + phenol	0.04

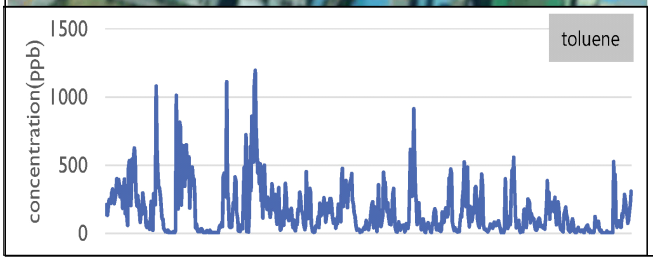
Correlation of Toluene vs.	r^2	p
carbon tetrachloride	0.09	0.02
aniline	0.98	0.00
benzene	0.78	0.00
styrene	0.17	0.00
acrolein	0.80	0.00
acrylonitrile	0.09	0.03
propylene oxide	0.19	0.00
chloroform+dichloromethane	0.77	0.00
formaldehyde	0.23	0.00
acetaldehyde	0.24	0.00
1.3-butadiene	0.35	0.00
naphthalene	0.05	0.22
ethylene oxide	0.53	0.00
1.2-dichloroethane+vinyl chloride	0.28	0.00
xylenes + ethylbenzene	0.59	0.00
vinyl acetate	0.36	0.00
butanone	0.25	0.00
methanol	0.31	0.00
hexane	0.73	0.00
methyl tert-butyl ether	0.82	0.00
2-propanol	0.26	0.00
dimethyl disulfide + phenol	0.66	0.00

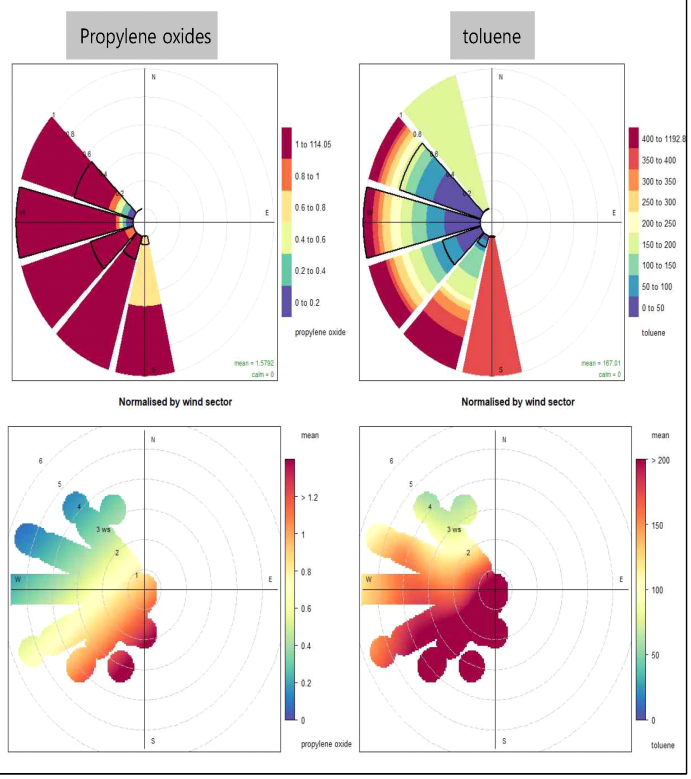
3 불법배출 의심사업장 선정 및 지도점검 결과(사례 3)

불법배출의심사업장 선정

정박측정 20230216 12:44 ~ 14:26
지도점검 20230117(5개지점 검체실시)







3 불법배출 의심사업장 선정 및 지도점검 결과(사례 3)

㉮ 대기환경보전법 제31조 제1항 제4호 (훼손방치)



대기 방지시설(방-3, 흡착에 의한 시설 450m³/분)에 딸린
기계기구류(덕트) 훼손된 모습 (우측면)

4 비산배출저감제도 개선방안 도출

○ 비산배출시설 미신고 의심업체 특별점검 결과 고농도 관리대상물질을 취급 및 관련시설을 운영하고 있으나 비산배출 저감업종 대상에 포함되지 않아 관리 사각지대 발생

○ 관리대상물질을 주로 사용하는 업종들에 대하여 비산배출 저감업종으로 추가지정을 위한 VOC 비산 현황조사 필요

○ 비산배출저감제도 미대상 사업장 THC 및 VOC 측정

- (대상) 비산배출저감제도 미대상 사업장 10개소

※ 기타인쇄업, 인쇄 잉크 및 회화용 물감제조업, 일반용 도료 및 관련제품 제조업 등

- (측정) 사업장 내부 및 부지경계선 내 외부 2개 지점

· 대기오염 공정시험기준 또는 이에 준하는 방법으로 측정

4 비산배출저감제도 개선방안 도출

업종	측정지점	THC (총탄화수소) 단위(ppm)		Methyl ethyl ketone 단위(ppb)	
		내부	외부	내부	외부
일반용 도료 및 관련제품 제조업		7.38	4.90	5.17	0.33
		18.04	3.42	721.09	1.18
		17.66	5.20	132.49	20.44
인쇄 잉크 및 회화용 물감제조업		276.34	2.70	185.96	23.23
합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업		7.66	3.95	N.D.*	1.32
플라스틱 포대, 봉투 및 유사제품 제조업		141.66	5.77	773.43	106.16
		299.95	7.08	2,240.10	127.82
기타 인쇄업		170.44	5.35	2,006.10	4.76
		32.77	6.43	1,050.34	51.46
		229.10	5.50	2,098.46	5.96

*Not detected(검출한계 이하의 값)

4 비산배출저감제도 개선방안 도출

업종	측정지점	Toluene 단위(ppb)		m,p-Xylene 단위(ppb)		o-Xylene 단위(ppb)	
		내부	외부	내부	외부	내부	외부
일반용 도료 및 관련제품 제조업		52.55	0.71	73.63	0.49	53.41	0.59
		610.12	782.91	2.62	0.77	1.87	0.77
		61.80	89.49	57.57	0.66	22.43	0.68
인쇄 잉크 및 회화용 물감제조업		935.39	25.92	4.14	0.76	1.41	0.74
합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업		164.59	78.29	11.18	0.96	2.93	0.71
플라스틱 포대, 봉투 및 유사제품 제조업		826.85	104.47	6.76	1.33	1.39	1.16
		551.03	62.22	4.71	1.56	2.55	0.91
기타 인쇄업		425.47	43.85	1.30	0.61	1.27	0.64
		364.05	398.28	1.91	0.77	1.19	0.76
		305.10	308.51	23.19	0.65	13.56	0.70

4 비산배출저감제도 개선방안 도출

○ (제도개선) 비산배출시설 신고대상 업종 확대 필요

- 고농도의 관리대상물질을 취급 및 관련시설을 운영하고 있으나 비산배출 저감업종 대상에 포함되지 않아 관리 사각지대 발생
- 기타 인쇄업의 경우 관리대상물질 톨루엔, 메틸에틸케톤 등을 5w% 이상(톨루엔 85w% 이상, 메틸에틸케톤 25w% 이상) 사용하고 있음에도 저감업종에 포함되지 않아 신고대상에서 제외

○ (측정결과)

- 사업장 내부 THC 농도가 배출허용기준인 110ppm을 상회하고 있어 방지시설에 제대로 유입되지 않고 비산배출 되고 있음을 확인

감사합니다.

6

이동식 태양추적 분광복사계 차량을 이용한 울산 석유화학단지의 BTEX 배출 특성 조사

정준식 연구사(낙동강유역환경청)

<다중이용시설 내 공기질 관리를 위한 워크숍 (2024년 12월 20~21일)>

이동식 태양추적분광복사계(SOF) 차량을 이용한 울산 석유화학산단의 BTEX 배출특성 조사



- ❖ 수행부서 : 낙동강유역환경청 측정분석과 · 대기환경관리단
- ❖ 수행기간 : 2024.1 ~2024.12
- ❖ 과제책임자: 정준식 연구사(Ph.D.)

목 차

I. 연구배경 및 계획
II. 연구계획
III. 연구방법
IV. 연구결과

연구배경 및 목적

(배경) 사업장 밀집지역, 난해 현장시설 등에 첨단장비를 활용한 **그물망식 측정**으로 **고농도 대기오염물질 배출원 추적 및 단속 감시**의 체계적 운영 필요

(목적) 대규모 국가산업단지 내 **화학물질 배출 저감**을 위한 첨단장비를 활용하여 **배출특성 파악 · 의심사업장 선별** 등 시계열 모니터링

- 태양추적분광차량과 대기이동차량 동시 운영하여 지도 · 점검 관리 사각지대 해소

연구계획

분기별 세부내용		분기별 계획 대 진도 (계획: 노랑) (진도: 주황)											
		1/4			2/4			3/4			4/4		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ 대상지역 선정													
○ 측정	SOF												
	SIFT-MS												
○ 자료 분석 및 결과보고													

- (계획) 중간 및 결과 보고서(1/2), 보도자료(1/2)
  학술대회발표(3/3), 연 12회 측정(12/12), + α (KCI 논문)

연구방법







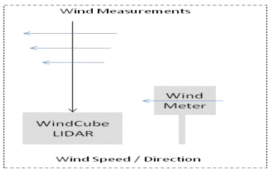

- (일정/대상) '24년 1 ~12월(월 1회 이상)/ 울산 미포국가산업단지
- (측정시기/항목) 시간대별 스크리닝 및 정밀측정(오전/오후/저녁/새벽)
- (방법) Hot Spot 스크리닝 → 지점 선정 → 지점 정밀측정

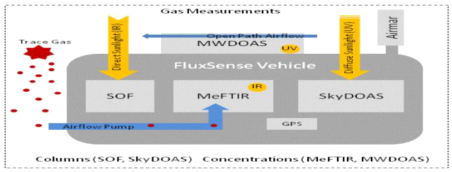
연구방법

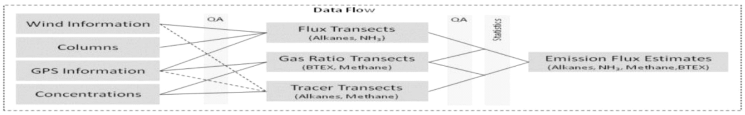


연구방법

- 펜스 라인(Fence line) 모니터링 기법은 사업장의 배출원과 비산배출 등을 포함한 양을 산정하는 기법으로, 유럽 표준(EN 17628, 2022)으로 지정
- 석유정제업에 최적적용가능기법(BAT)으로 일부 국가에서 연 1회 모니터링을 실시(BAI report, 2020)







측정 방식	장비 명	광원	분석 물질	분석 방법	분석 데이터	추론데이터	검출 한계 컬럼	검출 한계 플럭스	샘플링 시간 해상도
In situ	Me FTIR	IR	총 alkane 질량 총 alkene 질량 메테인	FTIR	질량 농도 [mg/m³]	질량 플럭스 [kg/h]와 기둥 높이 정보 [m]	1 ~ 10 ppbv	0.2 ~ 2 kg/h	5 ~ 15 s
	Me DOAS	UV	BTEX	DOAS	질량 농도 [mg/m³]	질량 플럭스 [kg/h]와 기둥 높이 정보 [m]	0.5 ~ 3 ppbv	1 ~ 2 kg/h	8 ~ 10 s
Remote sensing	SOF	태양 직달광 (IR)	총 alkane 질량 총 alkene 질량	FTIR	통합 수직 칼럼 질량 [mg/m²]	질량 플럭스 [kg/h]	0.1 ~ 5 mg/m²	0.2 ~ 1 kg/h	1 ~ 5 s
	Sky DOAS	태양 산란광 (UV-Vis)	NO_2, SO_2 HCHO	DOAS	통합 수직 칼럼 질량 [mg/m²]	질량 플럭스 [kg/h]	0.1 ~ 5 mg/m²	1 kg/h	1 ~ 5 s

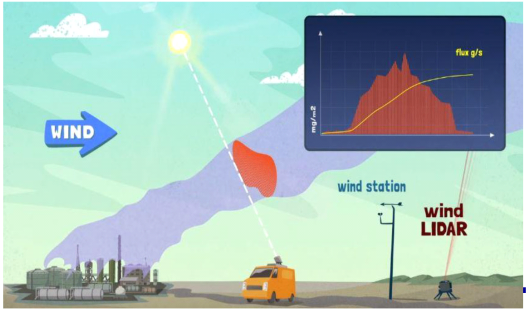
측정 가능 물질명	측정장비			
	SOF (mg/m²)	MeFTIR (mg/m²)	SkyDOAS (mg/m²)	MeDOAS (mg/m²)
Total Alkane	○	○		
Ethylene	○	○		
Propylene	○	△		
Ammonia	○	○		
1,3-Butadiene	△	△		
1-Butene	△			
Methanol	△	△		
Ethanol	△	△		
Vinylchloride	△			
Sulfur Hexaflouride	△	△		
Nitrogen Dioxide			○	
Sulfur Dioxide			○	
Formaldehyde		△	○	
Methane		○		
Nitrous Oxide		○		
Acethylene		○		
Acetaldehyde		△		
Carbonylsulfide		△		
Acrylonitrile		△		
Carbon Tetrafluoride		△		
Carbon Monoxide		△		
Methyl Bromide		△		
Benzene				○
Toluene				○
Ethylbenzene				○
p-Xylene				○
Ozone				△
Sulfur Dioxide				△
Furfural				△
Paracresol				△
Phenol				△
Naphthalene				△
Styrene				△
Trimethylbenzene				△

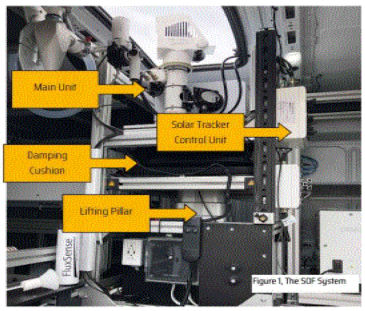
○ : 현재 측정 가능 물질 , △ : 추가 측정 가능 물질(정량한계 파악 등 실험 필요)

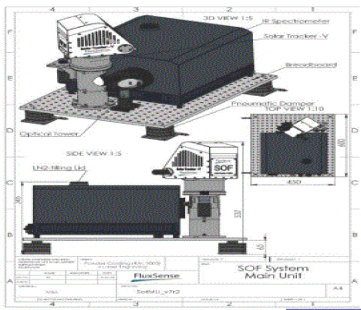
연구방법

(SOF: Solar Occulation Flux)

- 원격광학측정(Optical Remote Sensing) 방식을 이용
- 태양 추적기에 연결된 푸리에 변환 적외선 분광기(Fourier transform infrared spectrometer: FTIR)를 사용하여 태양의 광대역 적외선 스펙트럼을 기록
- 태양 스펙트럼으로부터 다변량 최적화를 사용하여 태양과 분광기 사이의 여러 호학종의 경로 칼럼 농도(mg/m2)을 탐색
- 측정위치 및 시간에 계산된 태양 각을 사용하여 플룸과 광경로 사이의 교차영역에서 종의 면적 적분 칼럼을 계산한 후, 적분 농도와 풍속 벡터 성분의 곱하여 종의 Flux를 계산함



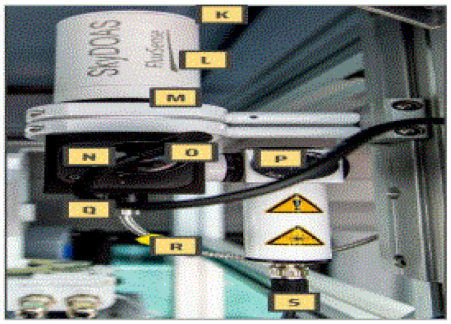




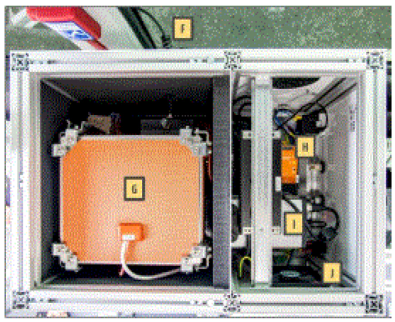
연구방법

(SkyDOAS: Sky Differential Optical Absorption Spectroscopy)

- 원격광학측정(Optical Remote Sensing) 방식을 이용
- CCD(Charge Couple Device) 카메라가 있는 Czerny-Turner 분광기에 광섬유로 연결된 망원경으로 UV와 가시 영역의 산란된 빛을 천정각에서 측정
- NO2는 324~350nm, SO2는 310~325nm, HCHO는 322~350nm 파장 역역에서 검출



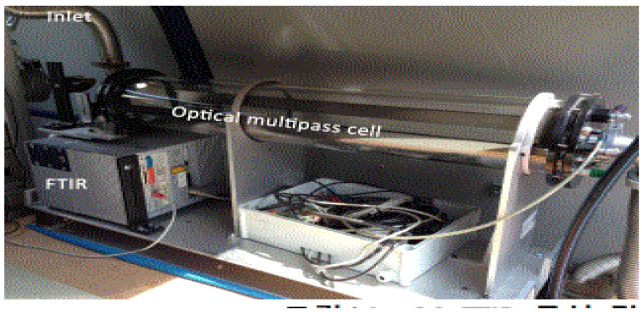


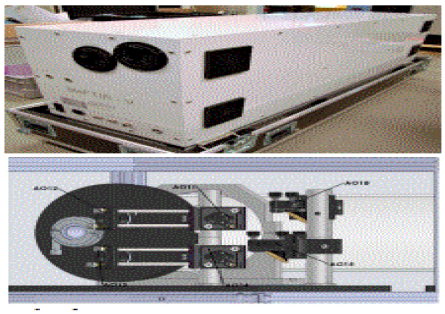


연구방법

(MeFTIR: Mobile extractive Fourier Transform Infrared Spectrometry)

- 관측지점에서 농도를 산출하는 지점관측(In-situ) 방식을 이용
- Alkane과 Alkene을 측정하며, 메탄과 온실가스 측정도 가능
- 2.5~5.5um 영역에서는 Insb(안티몬화 인듐) 검출기로, 8.3~14.3um 영역에서는 MCT(텔루르화 수은 카드뮴) 검출기로 검출



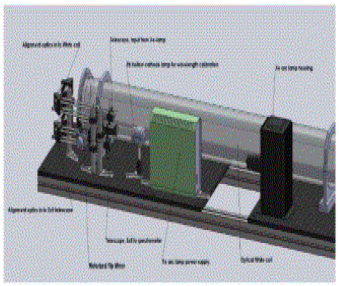


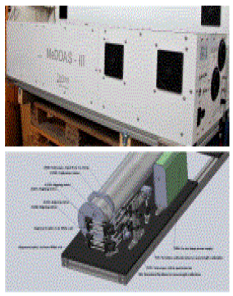
연구방법

(MeDOAS: Mobile extractive Differential Optical Absorption Spectroscopy)

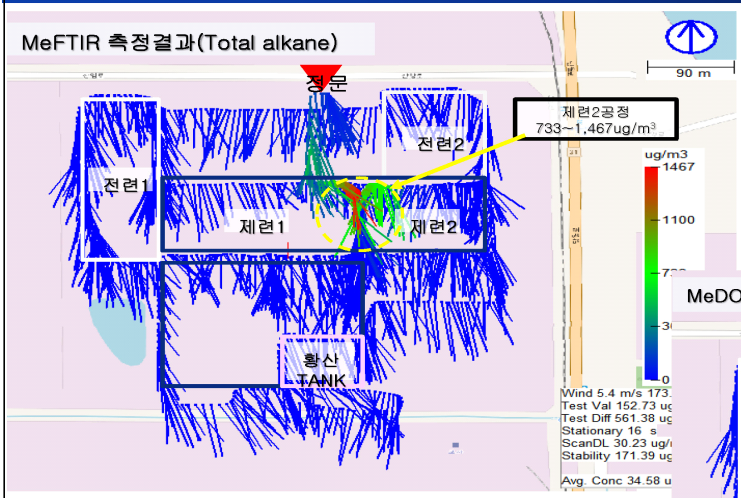
- 관측지점에서 농도를 산출하는 지점관측(In-situ) 방식을 이용
- 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌(BTEX)의 지료 질량 농도 측정
- 내부 램프의 빛은 화이트 셀을 통해 전달되고 UV 파장 영역인 255~285nm을 사용하고 DOAS 분광기를 이용하여 분석

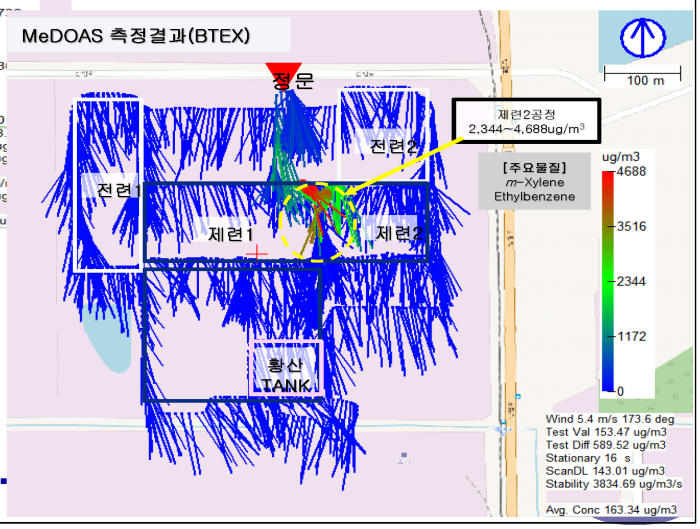




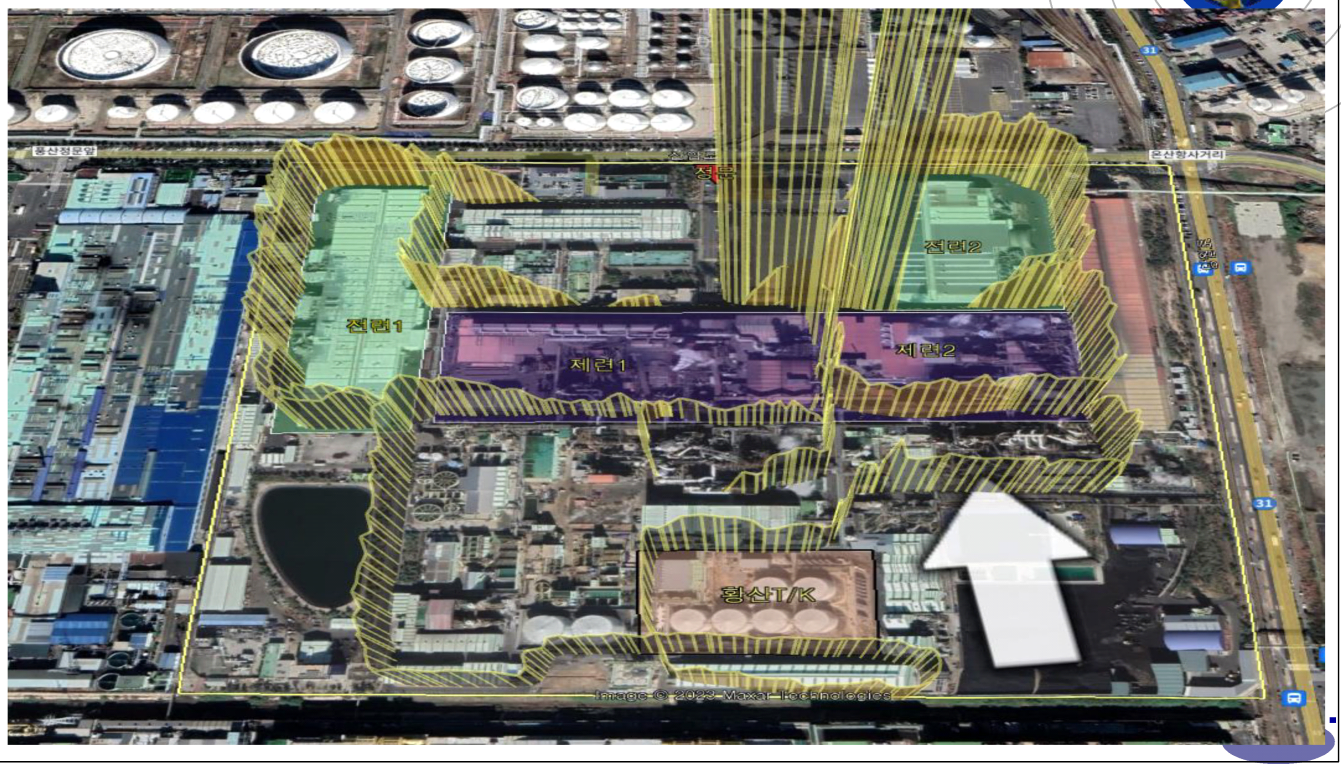


연구방법





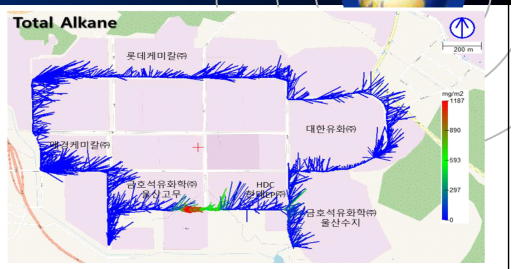
연구방법



연구방법

('23년 원격감시 측정)
- 석유화학 산단 총 27회 이상
: 울산미포산단 10회, 온산산단 17회, 창원 산단 등

- 사업장 3개소, 6회 정밀 측정
: 미포산단 내 2개소 3회, 온산산단 내 1개소 3회



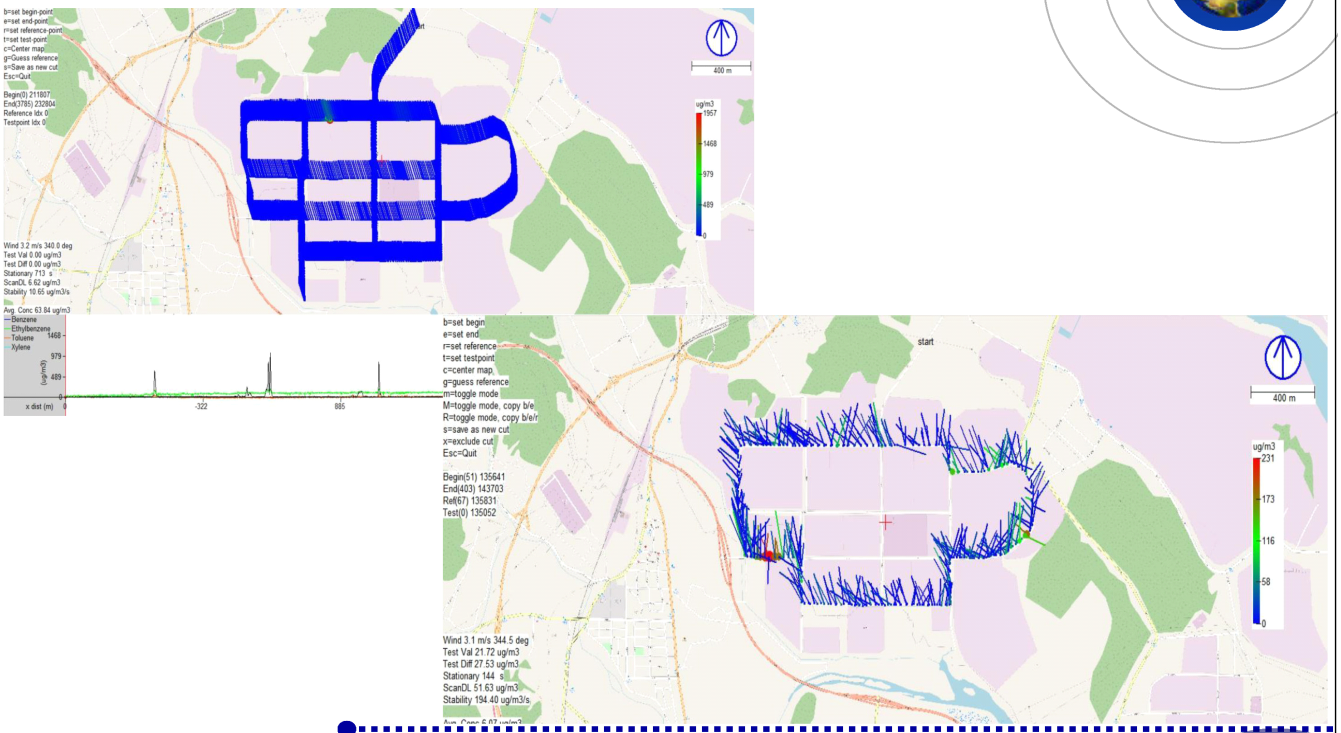


Lay-out

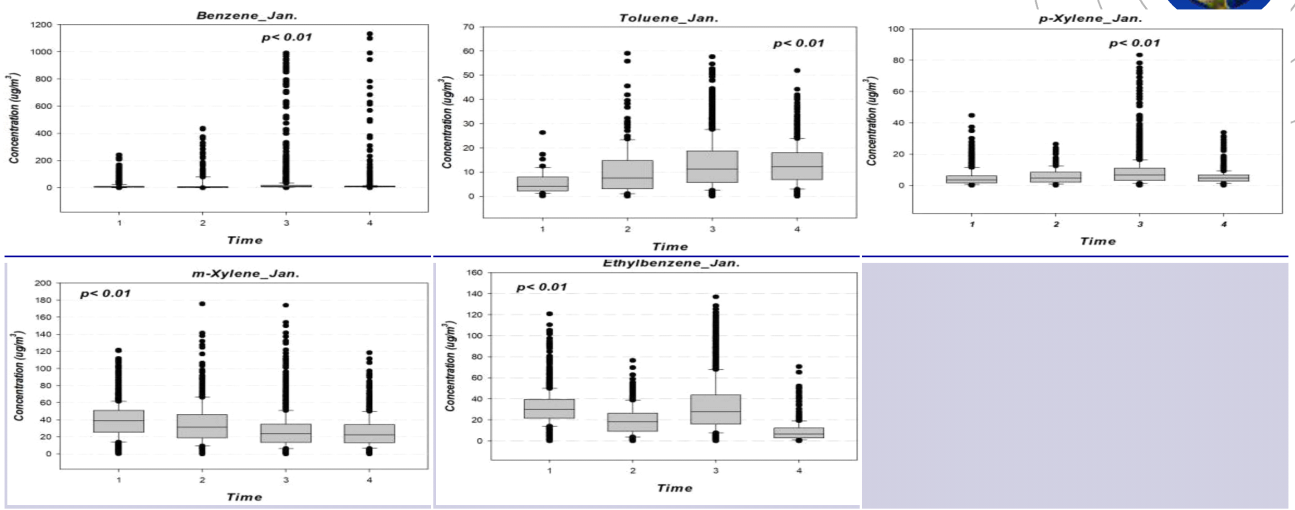


내부누출 가능성 높은 공정

연구방법



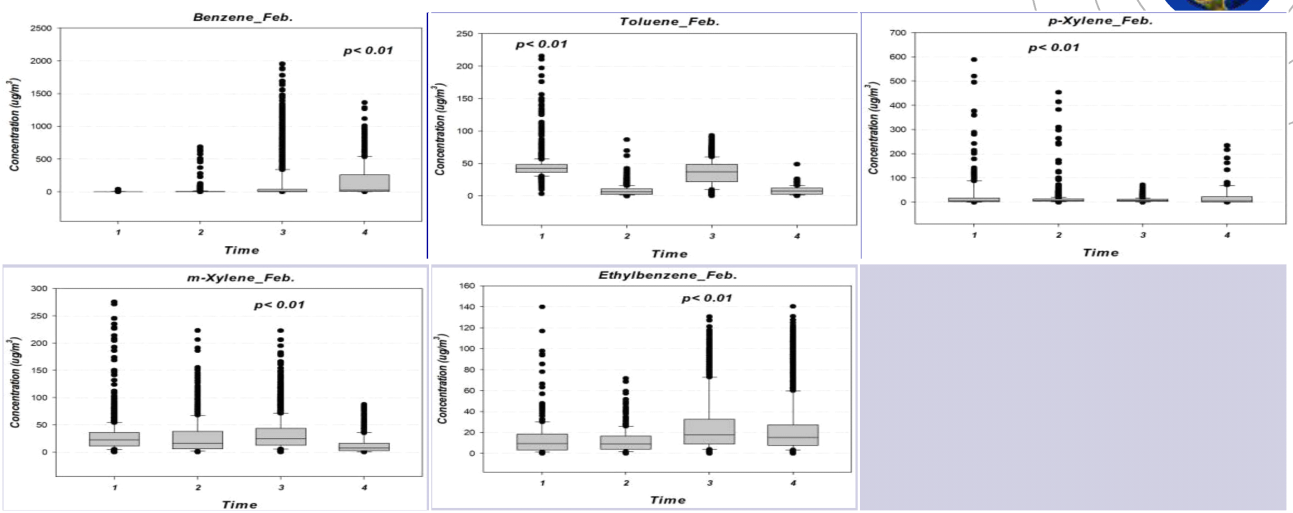
연구결과



○ 1월 측정 결과

- Benzene은 3회차에 10.89μg/㎥(최대: 990.94μg/㎥), Toluene은 4회차에 9.60μg/㎥(최대: 51.9μg/㎥)을 보임
- *p*-Xylene은 3회차에 5.43μg/㎥(최대: 83.32μg/㎥), *m*-Xylene은 1회차에 33.27μg/㎥(최대: 121.48μg/㎥)을 보임
- Ethylbenzene은 1회차에 27.11μg/㎥(최대: 120.79μg/㎥)으로 가장 높은 값을 보임

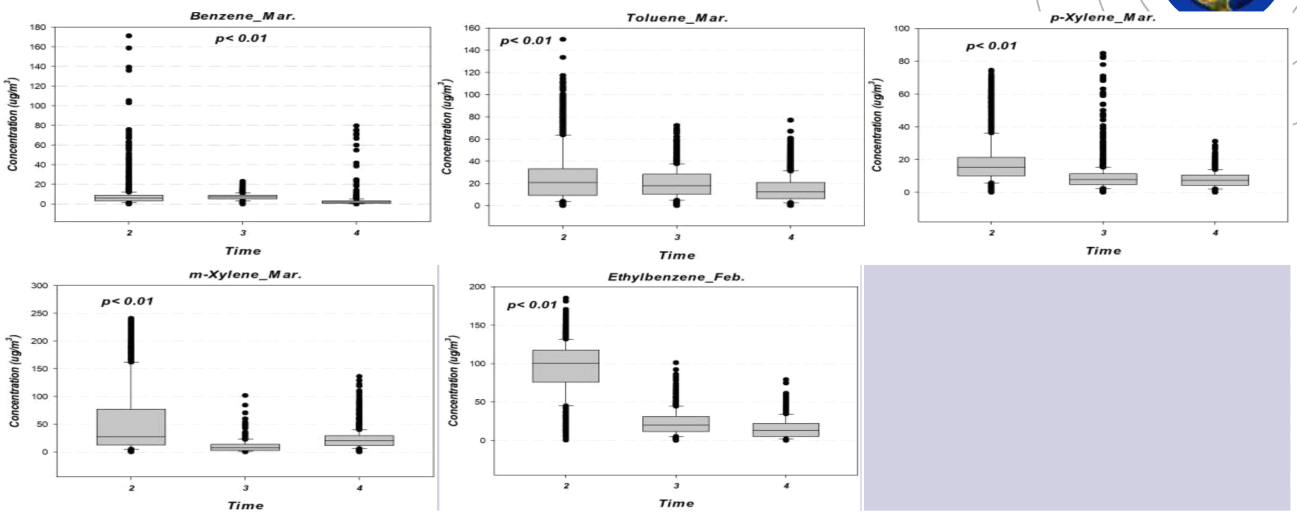
연구결과



○ 2월 측정 결과

- Benzene은 4회차에 27.67μg/㎥(최대: 1,363.87μg/㎥), Toluene은 1회차에 42.37μg/㎥(최대: 212.45μg/㎥)을 보임
- *p*-Xylene은 2회차에 6.99μg/㎥(최대: 453.88μg/㎥), *m*-Xylene은 3회차에 21.17μg/㎥(최대: 222.93μg/㎥)을 보임
- Ethylbenzene은 3회차에 15.96μg/㎥(최대: 130.54μg/㎥)으로 가장 높은 값을 보임

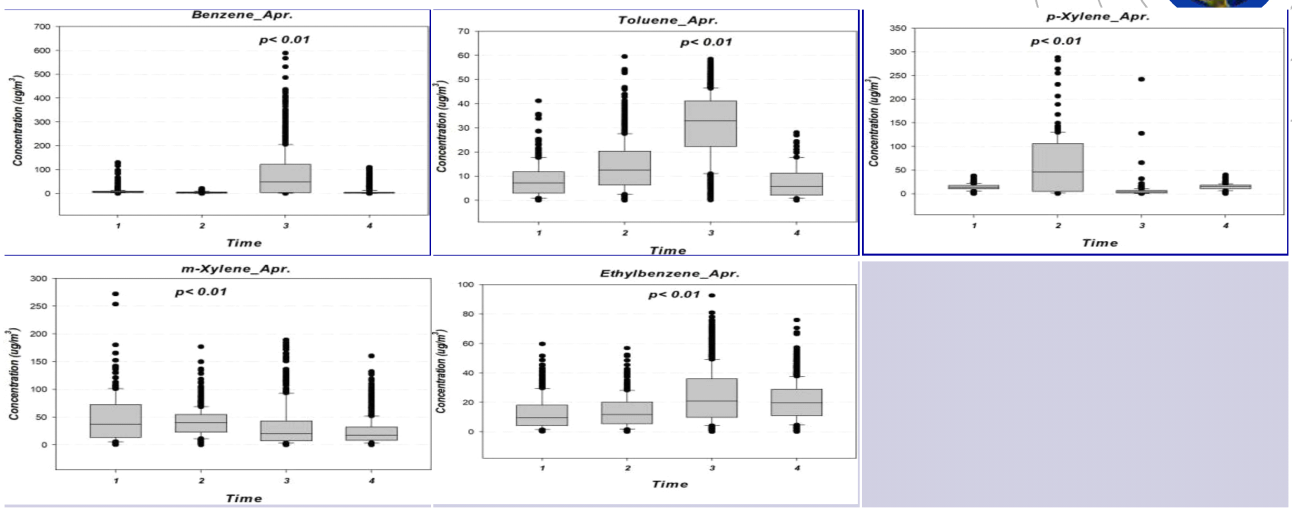
연구결과



○ 3월 측정 결과

- Benzene은 3회차에 6.31μg/㎥(최대: 23.12μg/㎥), Toluene은 2회차에 16.61μg/㎥(최대: 149.80μg/㎥)을 보임
- *p*-Xylene은 2회차에 14.02μg/㎥(최대: 74.50μg/㎥), *m*-Xylene은 2회차에 25.56μg/㎥(최대: 240.58μg/㎥)을 보임
- Ethylbenzene은 2회차에 83.86μg/㎥(최대: 185.04μg/㎥)으로 가장 높은 값을 보임

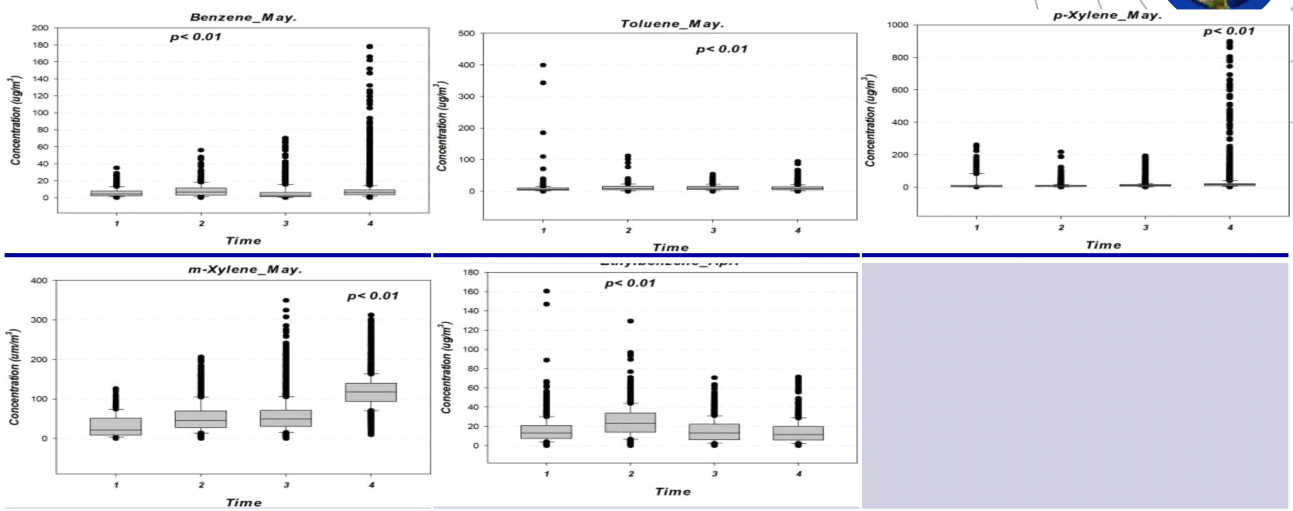
연구결과



○ 4월 측정 결과

- Benzene은 3회차에 21.85μg/㎥(최대: 588.31μg/㎥), Toluene은 3회차에 25.94μg/㎥(최대: 58.43μg/㎥)을 보임
- *p*-Xylene은 2회차에 21.61μg/㎥(최대: 288.06μg/㎥), *m*-Xylene은 2회차에 32.15μg/㎥(최대: 176.99μg/㎥)을 보임
- Ethylbenzene은 3회차에 16.51μg/㎥(최대: 92.59μg/㎥)으로 가장 높은 값을 보임

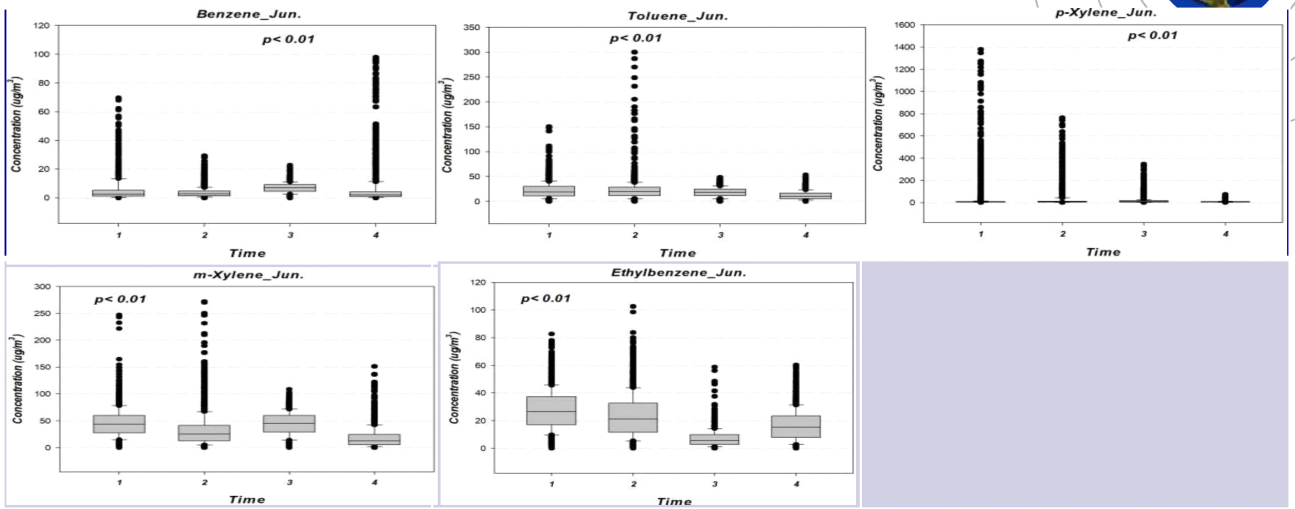
연구결과



○ 5월 측정 결과

- Benzene은 2회차에 5.48μg/㎥(최대: 55.98μg/㎥), Toluene은 3회차에 8.02μg/㎥(최대: 53.76μg/㎥)을 보임
- *p*-Xylene은 4회차에 14.68μg/㎥(최대: 898.41μg/㎥), *m*-Xylene은 4회차에 111.78μg/㎥(최대: 321.39μg/㎥)을 보임
- Ethylbenzene은 2회차에 19.17μg/㎥(최대: 129.26μg/㎥)으로 가장 높은 값을 보임

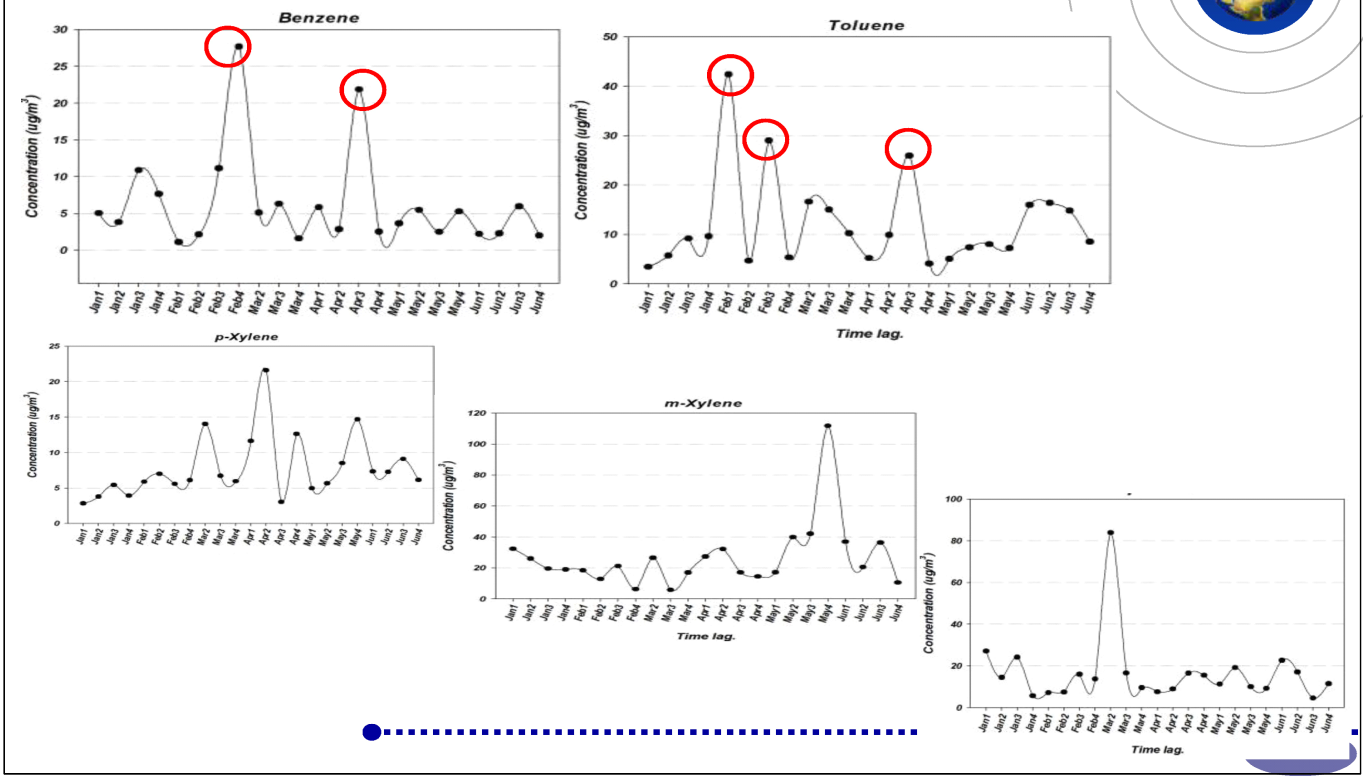
연구결과



○ 6월 측정 결과

- Benzene은 3회차에 5.97㎍/㎥(최대: 22.74㎍/㎥), Toluene은 2회차에 16.38㎍/㎥(최대: 299.79㎍/㎥)을 보임
- *p*-Xylene은 3회차에 9.09㎍/㎥(최대: 344.05㎍/㎥), *m*-Xylene은 1회차에 36.91㎍/㎥(최대: 246.75㎍/㎥)을 보임
- Ethylbenzene은 1회차에 22.67㎍/㎥(최대: 82.65㎍/㎥)으로 가장 높은 값을 보임

연구결과



연구결과

○ 주요 대기오염물질 고농도 발생 시간 분석 완료
- 휘발성유기화합물(BTEX), TotalAlkane 이 높은 시간은 심야 시간대인 3~4회차(22~24시, 1~3시)로 나타남

○ 벤젠 고농도 에피소드 발생에 따른 관련 부서와 현장점검 완료
- 1, 2월 측정시 oo케미컬 인접에서 벤젠이 대기환경 기준 약 400배 높은 고농도 에피소드를 보여, 관계부서와 정밀점검 실시('24.3)
  * 환경정책기본법 대기환경 기준: 연평균 5㎍/㎥ 이하 (약 1.5ppb)

○ 미세먼지 저감을 위한 민관 소통간담회 실시
- 정례적 민/관 소통 간담회를 통하여 산단지역 대기오염물질 자발적 환경관리 활용('24.3, '24.9)

연구결과(합동점검)

외부 pipe-line 누출 의심 (벤젠)_2024년 3월
L-케미컬: 최대 1,957ug/m3
US EPA 325 석유정제기준: 9ug/m3
환경정책기본법 대기환경 기준: 5ug/m3



연구결과 (향후 계획 및 기대효과)

○ 향후 계획

- 각 측정 물질에 대한 월별, 회차별 고농도 지점(Site) 분석(~ '24. 12)

- 대기오염물질 자발적 저감을 위한 하반기(' 24.12) 민 · 관 소통간담회

○ 기대효과

- 첨단장비를 활용한 산단지역 시계열적 **대기오염물질 배출 특성을 파악**하여 **지역 특성에 맞는 효율적인 관리 방안 마련**

- **우심 시간대** 산단지역 대기오염물질 특성을 파악하여 **지역주민의 건강과 삶의 질 향상**

- 측정결과를 **지자체**나 **관련 기업에 공유**하여 **자발적인 환경오염 저감 지도**

연구결과 (향후계획)



경청해 주셔서
감사합니다.

7

재해관리를 위한 라이다 관측기술 개발

이가혜 선임연구원(차세대융합기술연구원)

재해관리를 위한 라이다 관측기술 개발

첨단환경감시센터
이 가 혜

2024. 12. 20



경기도 GYEONGGI-DO

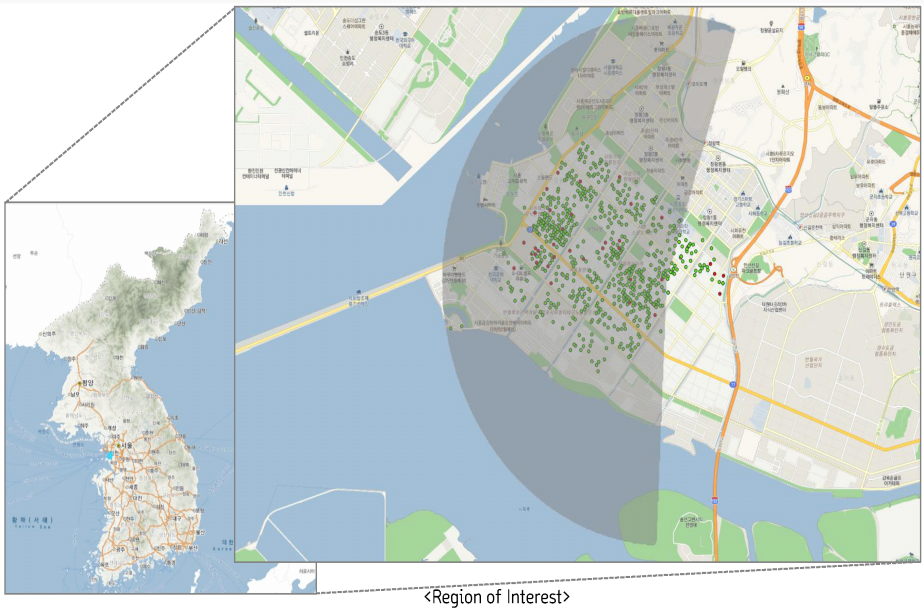
ADVANCED INSTITUTE OF CONVERGENCE TECHNOLOGY

01 연구 배경

1. 관측 지역
2. 연구 목적 및 필요성

1 관측 지역

- 시화국가산업단지(서울 남서쪽 30Km 지점 경기도 시흥시 정왕동과 안산시 성곡동에 조성된 산업단지)
- 총 면적 23.8㎢ 중 16.5㎢ 순수공업 단지(산업시설구역 10.9㎢, 공공시설구역 3.5㎢, 지원시설구역 1.3㎢, 녹지구역 0.8㎢)
- 대기오염 배출 사업장 총 798개 사업장들 중 1종 1개, 2종 11개, 3종 32개, 4종 273개, 5종 481개가 분포되어 있음
- 반월국가산업단지, 남동국가산업단지와 함께 3대 중소기업 산업단지로 꼽힘



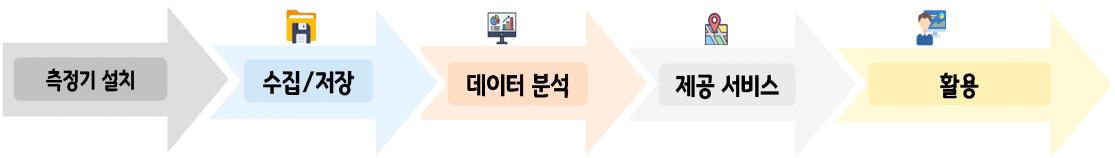
<Region of Interest>

2 연구 목적 및 필요성

① 총 798개 사업장들 중 4종, 5종 754개가 분포되어 있음 → 소규모 영세사업장 95% 이상 → 규모가 큰 배출사업장 < 영세사업장
: 영세사업장들 대부분 관리가 부족한 추세이며 시화산업단지에는 영세사업장 대부분 차지함 → 효율적 감시 및 관리 위해서
정확하게 배출원을 확인하고 이를 관리해야 함 → "영세사업장들에 대한 단속 및 관리의 효율화"

② 연구 관심지역(RoI)에는 지점관측지점(국가대기측정망) 세 곳

③ "미세먼지 스캐닝 라이다로 지점 좌표 15만개 이상 데이터 확보 가능"





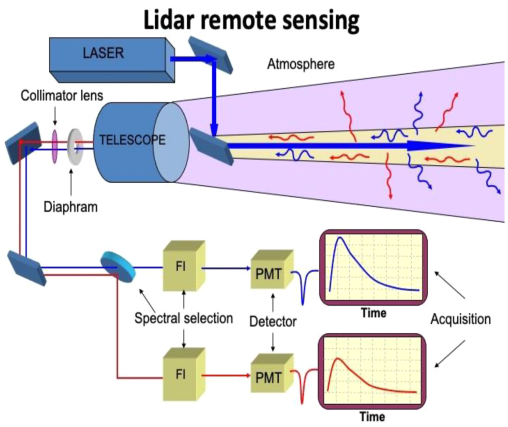
미세먼지 스캐닝 라이다 | 농도 분석 데이터 | 고농도 배출 지역 분석 | 시각화 웹 | 불법 배출 단속에 활용

02 연구 방법

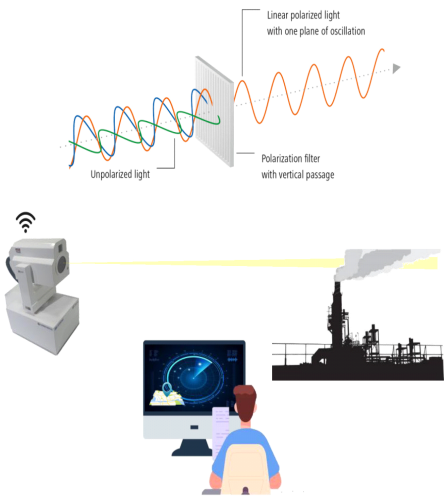
1. 스캐닝 라이다 데이터의 정확성
2. 스캐닝 라이다 스캔 및 데이터 전처리 과정

1 미세먼지 스캐닝 라이다

- 레이저에서 생성된 선택적 파장의 빛을 대기 중으로 조사하여 공기 분자와 미세먼지 입자들에 의해 후방 산란된 빛을 망원경으로 신호를 수집하고 이를 미세먼지 농도로 분석하는 원격탐사(Remote sensing) 기법



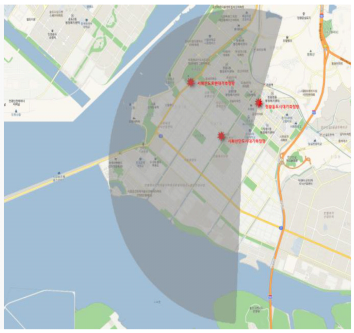
<라이다를 이용한 대기 관측의 기본 개념도 >

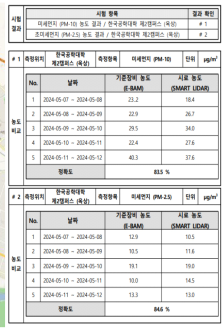


<라이다를 이용한 환경감시 개념도 >

1 스캐닝 라이다 데이터의 정확성

- 스캐닝 라이다 관측 구역 내 위치한 국가대기측정망 세 곳
- 스캐닝 라이다 VS 베타선 측정방법
- 상관성 분석 활용 데이터: 2023년 12월 ~ 2024년 01월
- 정왕동 도시대기측정망: 92.4%
- 시화산단 도시대기측정망: 92.9%
- 서해안로 도로변대기측정망: 91.9%
- 참고자료에 의하면, 간이측정기와 베타선 측정법과의 정확성: 73%





시험 항목		결과 확인
시험 결과	미세먼지 (PM-10) 농도 검증 / 한국공학대학 제2캠퍼스 (옥상)	# 1
	초미세먼지 (PM-2.5) 농도 검증 / 한국공학대학 제2캠퍼스 (옥상)	# 2

# 1 측정위치	한국공학대학 제2캠퍼스 (옥상)	측정항목	미세먼지 (PM-10)	단위	μg/m³

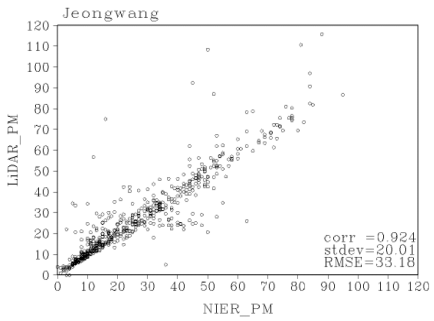
No.	날짜	기준장비 농도 (E-BAM)	시료 농도 (SMART LIDAR)
1	2024-05-07 ~ 2024-05-08	23.2	18.4
2	2024-05-08 ~ 2024-05-09	22.9	26.7
3	2024-05-09 ~ 2024-05-10	29.5	34.0
4	2024-05-10 ~ 2024-05-11	22.4	27.6
5	2024-05-11 ~ 2024-05-12	40.3	37.6
정확도		83.5 %	

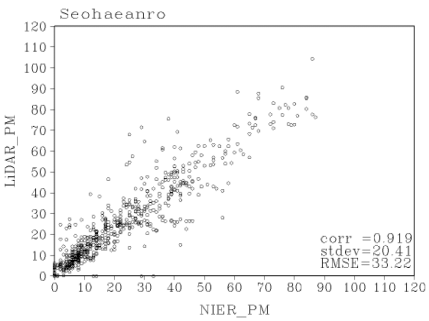
농도 비교

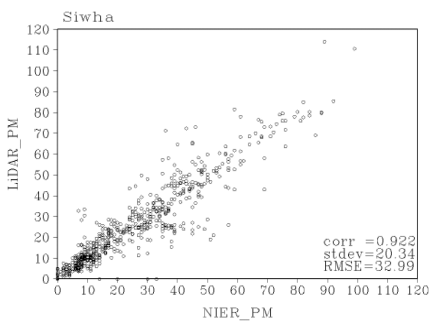
# 2 측정위치	한국공학대학 제2캠퍼스 (옥상)	측정항목	미세먼지 (PM-2.5)	단위	μg/m³

No.	날짜	기준장비 농도 (E-BAM)	시료 농도 (SMART LIDAR)
1	2024-05-07 ~ 2024-05-08	12.9	10.5
2	2024-05-08 ~ 2024-05-09	10.5	11.6
3	2024-05-09 ~ 2024-05-10	19.1	19.0
4	2024-05-10 ~ 2024-05-11	10.0	14.5
5	2024-05-11 ~ 2024-05-12	13.3	13.0
정확도		84.6 %	

농도 비교







7

2 스캐닝 라이다 스캔 및 데이터 전처리 과정

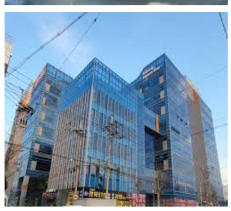
- 스캐닝 라이다 과정:

  반경 5km , 47Line, 30분 간격 24시간 측정, 4°이내 간격, 높이 약 55m, 연속 스캐닝
- 데이터 분석 기간: 2024년 06월 ~ 2024년 09월
- 데이터 전처리 과정:

- 6월: 데이터 획득률 92.71%, 데이터 분석률 87.57%
- 7월: 데이터 획득률 91.40%, 데이터 분석률 82.94%
- 8월: 데이터 획득률 80.04%, 데이터 분석률 76.83%
- 9월: 데이터 획득률 94.58%, 데이터 분석률 88.47%







	6월	
과정	제거 데이터	남은 데이터
원자료(Raw data)		1,440
미측정 (missing data)	105	1,335
획득 data		1,335
데이터 획득률 (%)	92.71 %	
기상(강우, 황사 등)	43	1,292
이상 물체 레이저 충돌	102	1,170
데이터 이상치	1	1,169
분석 data		1,169
데이터 분석률 (%)	87.57 %	

	7월	
과정	제거 데이터	남은 데이터
원자료(Raw data)		1,488
미측정 (missing data)	128	1,360
획득 data		1,360
데이터 획득률 (%)	91.40 %	
기상(강우, 황사 등)	163	1,197
이상 물체 레이저 충돌	67	1,130
데이터 이상치	2	1,128
분석 data		1,128
데이터 분석률 (%)	82.94 %	

	8월	
과정	제거 데이터	남은 데이터
원자료(Raw data)		1,488
미측정 (missing data)	297	1,191
획득 data		1,191
데이터 획득률 (%)	80.04 %	
기상(강우, 황사 등)	34	1,157
이상 물체 레이저 충돌	36	1,121
데이터 이상치	206	915
분석 data		915
데이터 분석률 (%)	76.83 %	

	9월	
과정	제거 데이터	남은 데이터
원자료(Raw data)		1,440
미측정 (missing data)	78	1,362
획득 data		1,362
데이터 획득률 (%)	94.58 %	
기상(강우, 황사 등)	92	1,270
이상 물체 레이저 충돌	65	1,205
데이터 이상치		1,205
분석 data		1,205
데이터 분석률 (%)	88.47 %	

8

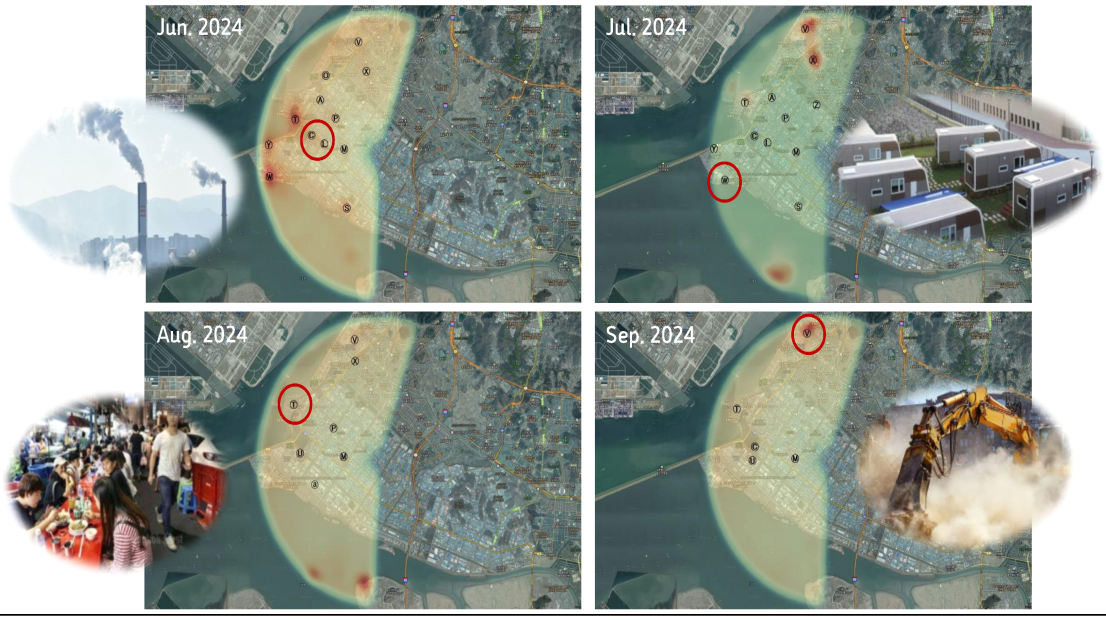
03 연구 결과

1. 각 월별 시간, 일, 월 $PM_{2.5}$ Hot-spot 분석
2. 각 월별 $PM_{2.5}$ 단계 구분화 분석
3. 각 월별 $PM_{2.5}$ 농도 증감 분석

1 각 월별 시간, 일, 월 $PM_{2.5}$ Hot-spot 분석

Monthly average heatmap analysis results (2024.06-2024.09)

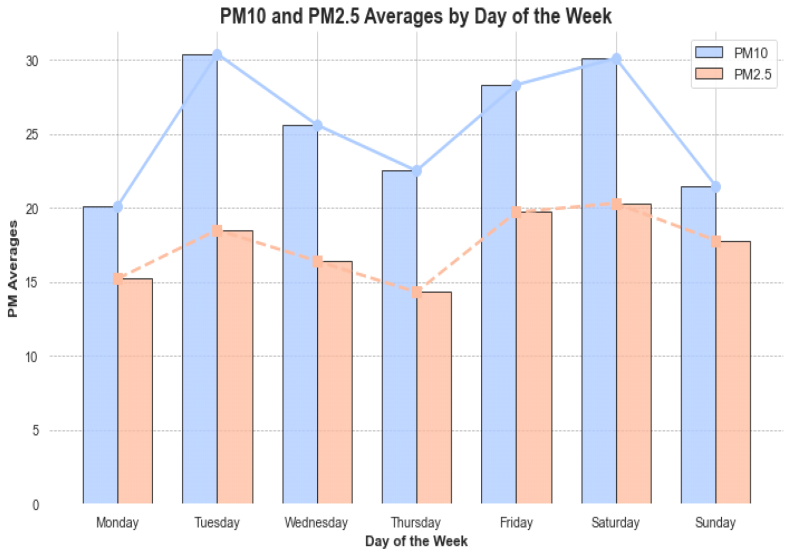
- 24년 06월~09월 $PM_{2.5}$ Heat map 분석 결과, 총 15개의 Hot-sppt 구역이 선별됨
- 월 평균 히트맵 분석 결과 뚜렷한 변동이 나타남
- 특히 07월, 08월, 09월에는 많은 강우일수, 강우량, 휴가철 등 기상 이벤트가 발생됨



1 각 월별 시간, 일, 월 $PM_{2.5}$ Hot-spot 분석

06~09월 요일별 $PM_{2.5}$ 미세먼지 평균 농도 분석

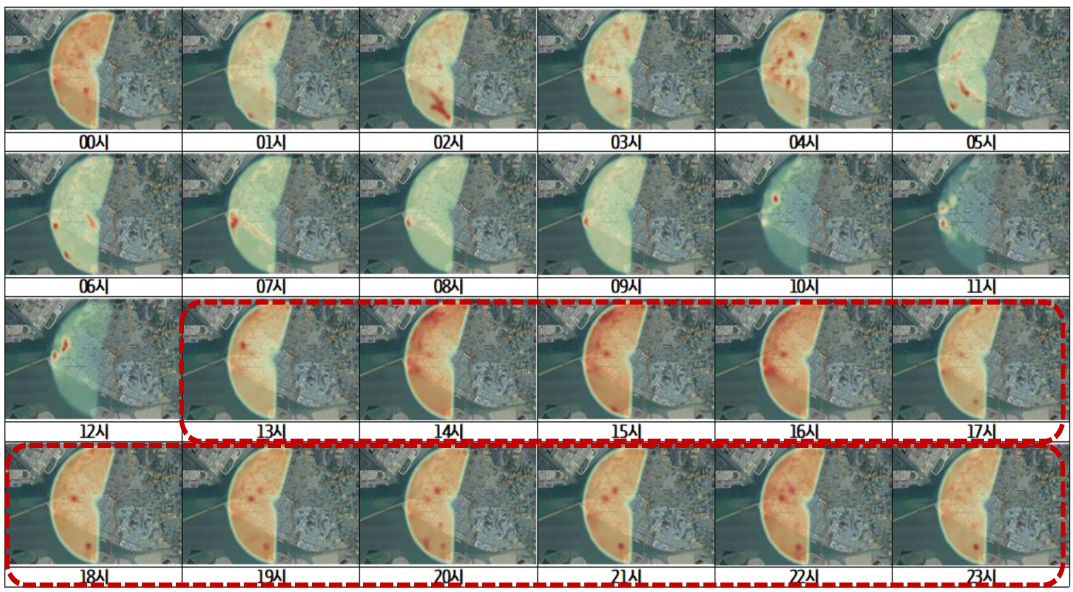
- 06월 ~ 09월 모두 일 평균 분석 결과, Weekly Effect 현상으로 주말에 농도가 낮아지고 월~금요일 중 특정 요일에 높아지는 경향은 없었음
- 04개월 모두 요일 평균을 계산해본 결과, 화요일, 금요일, 토요일에 농도가 높았음
- 사업장들은 주말에도 운영되고 있을 가능성이 있음
- 요일별 분석은 상세하고 다양한 분석을 활용하여 추가 연구가 필요할 수 있음



1 각 월별 시간, 일, 월 $PM_{2.5}$ Hot-spot 분석

Time average heatmap analysis results (2024.06)

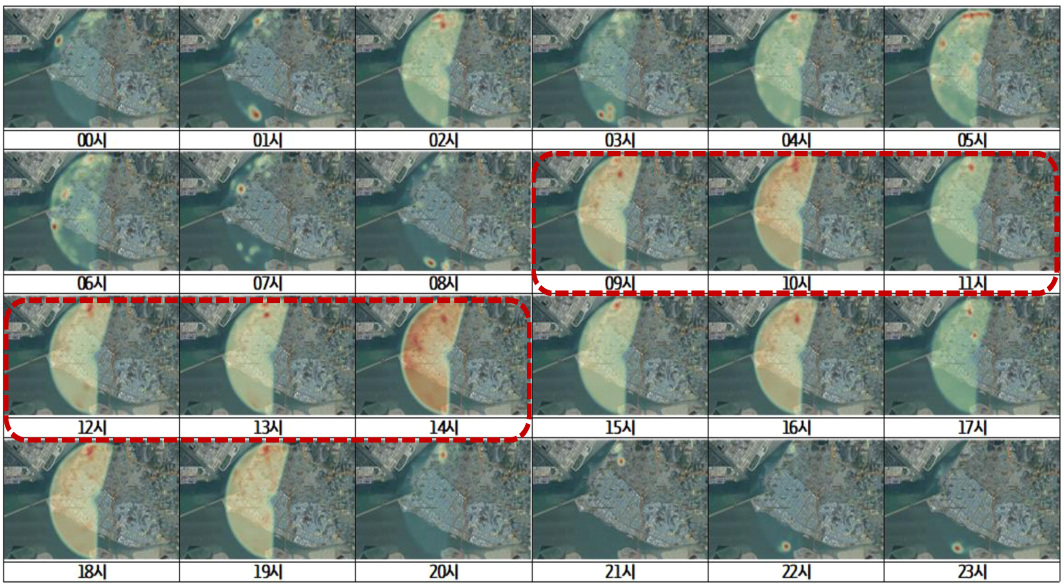
- 13시부터 야간 시간대 까지 미세먼지 농도가 높아지는 경향이 있음
- 여러 구역에서 새벽시간대 미세먼지 농도가 증가하기 시작함



1 각 월별 시간, 일, 월 $PM_{2.5}$ Hot-spot 분석

Time average heatmap analysis results (2024.07)

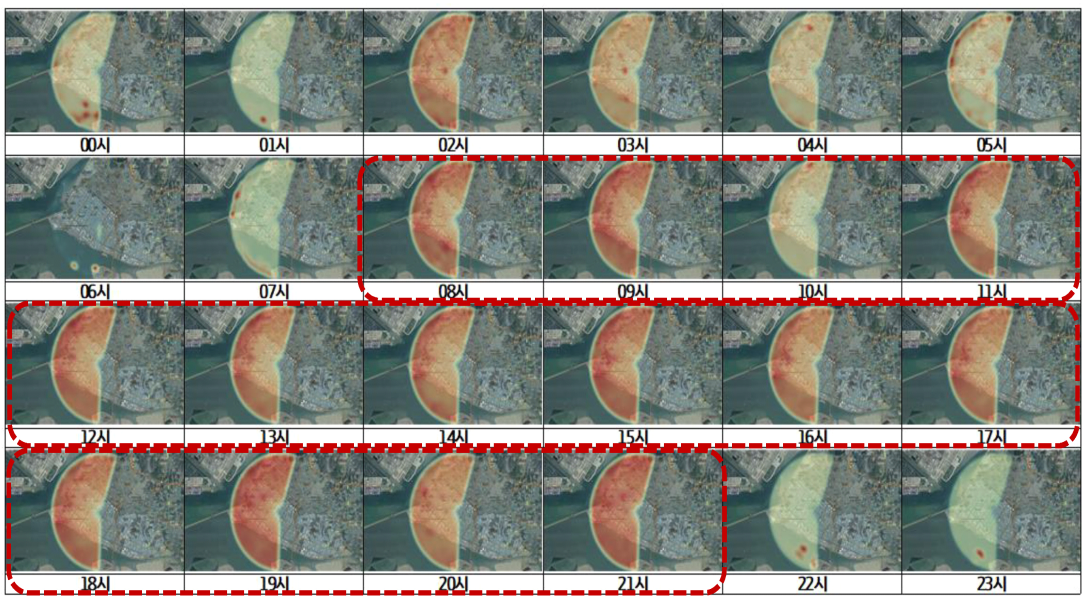
- 출근시간대인 09시부터 10시까지 미세먼지 농도가 높아지면서 점차 감소하는 경향을 보임
- 오후 12시에 서서히 농도가 다시 증가하다 14시에 미세먼지 고농도를 보이다가 다시 감소함



1 각 월별 시간, 일, 월 $PM_{2.5}$ Hot-spot 분석

Time average heatmap analysis results (2024.08)

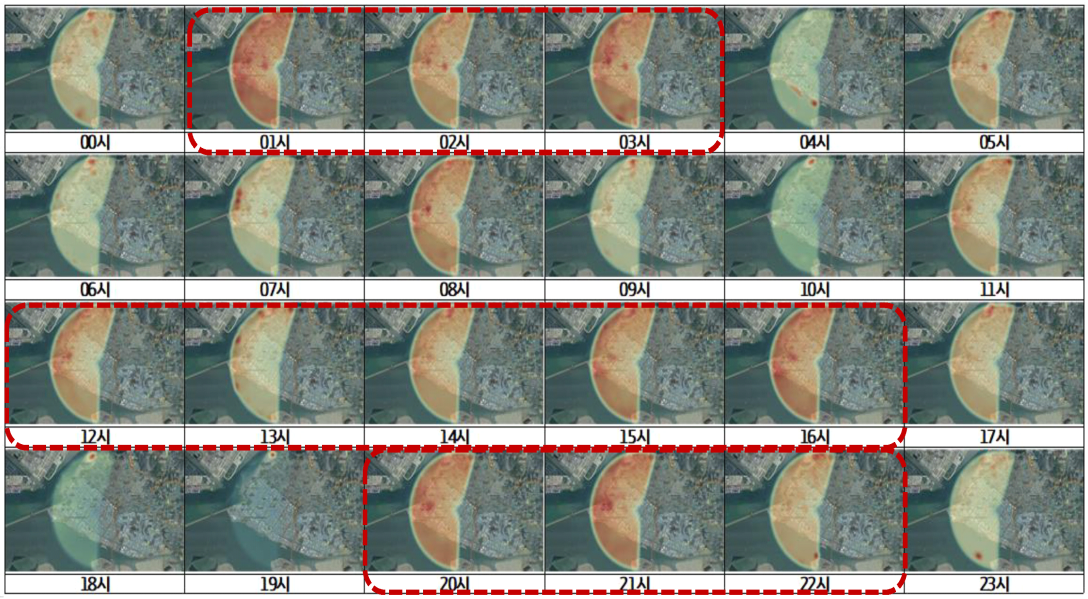
- 08시부터 21시 사이에 미세먼지 농도가 꾸준하게 높은 경향을 나타냄
- 그 외 시간대에는 미세먼지 농도가 다소 낮은 편이나, 02시에 미세먼지 농도가 다시 증가하기 시작함



1 각 월별 시간, 일, 월 $PM_{2.5}$ Hot-spot 분석

Time average heatmap analysis results (2024.09)

- 20~22시에 미세먼지 농도가 증가하다가 점차 감소하는 경향을 보임
- 01~03시에 다시 미세먼지 농도가 증가하다가 점차 감소함

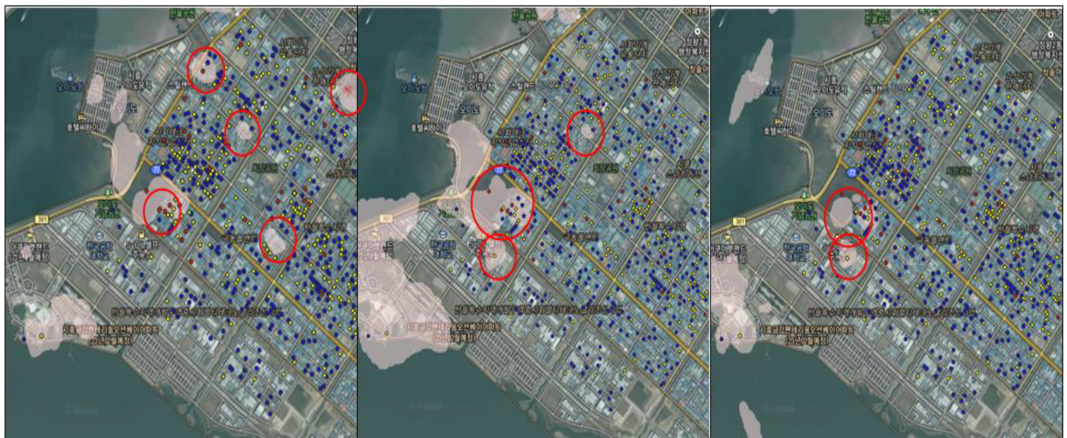


2 각 월별 $PM_{2.5}$ 평균농도 단계 구분화 분석

Daytime (09~18시, Reference sector)

- 관측 구역 주변은 바닷가로 둘러 쌓여 있음 → 관측 구역의 Heat map 분석에는 해무, 박무, 연무 등의 영향 받게 됨
- 해무 영향을 받는 구역을 "Reference sector 지정" 하여 $PM_{2.5}$ 농도 단계 구분화 분석 실시
- Day time (09~18시)/ Work over time (19시~24시)으로 시간을 분배함





7월 Day time 평균 농도 분포 | 8월 Day time 평균 농도 분포 | 9월 Day time 평균 농도 분포

➢ 각 월의 $PM_{2.5}$ 평균 Heat map 분석과 단계 구분화 분석 결과가 뚜렷하게 달라진 것을 확인할 수 있음

2 각 월별 $PM_{2.5}$ 평균농도 단계 구분화 분석

Work over time (19~24시, Reference sector)

- 관측 구역 주변은 바닷가로 둘러 쌓여 있음 → 관측 구역의 Heat map 분석에는 해무, 박무, 연무 등의 영향 받게 됨
- 해무 영향을 받는 구역을 "Reference sector 지정" 하여 $PM_{2.5}$ 농도 단계 구분화 분석 실시





7월 Work over time 평균 농도 분포	8월 Work over time 평균 농도 분포	9월 Work over time 평균 농도 분포

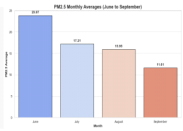
➢ 시화산단 사업장들은 09~18시 외의 시간에 활발히 미세먼지 불법 배출 중

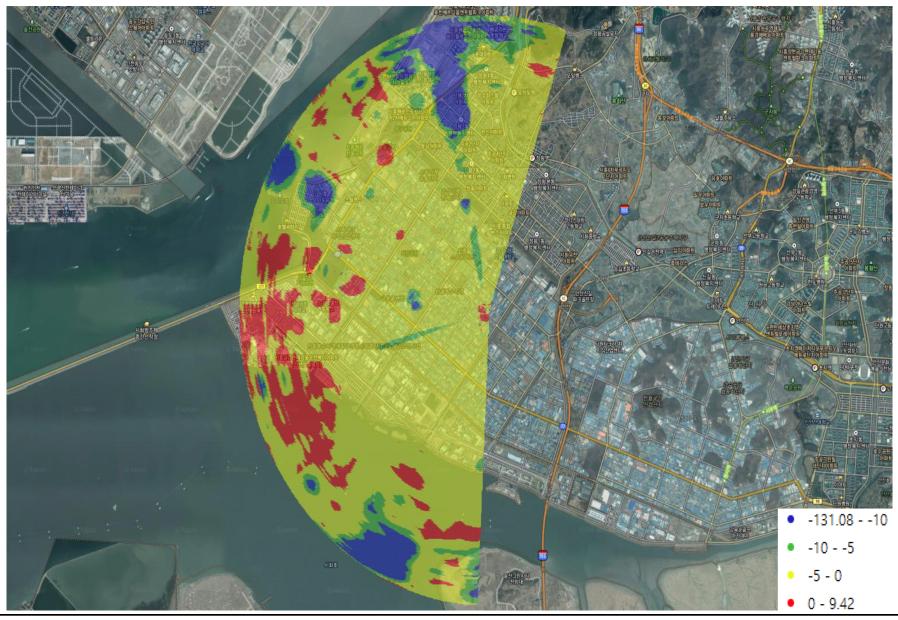
➢ 미세먼지 불법배출 단속의 효율화를 위해서는 고농도로 배출하는 시간대를 분석하여 단속시간을 정할 수 있음 → "단속의 효율화 증대"

3 각 월별 $PM_{2.5}$ 농도 증감 분석

'24. 08 평균 분석 자료와 '24. 07 평균 분석 자료의 농도 차

- 08월은 전체적으로 농도가 07월에 비해 농도가 소폭 감소하는 패턴을 보임
- 대부분의 구역에서 미세먼지 농도가 소폭 감소하였음 (-5 ㎍/㎥ 이하 감소) → 증가 구역 Hot-spot으로 선정 가능

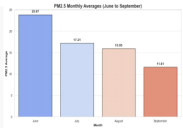


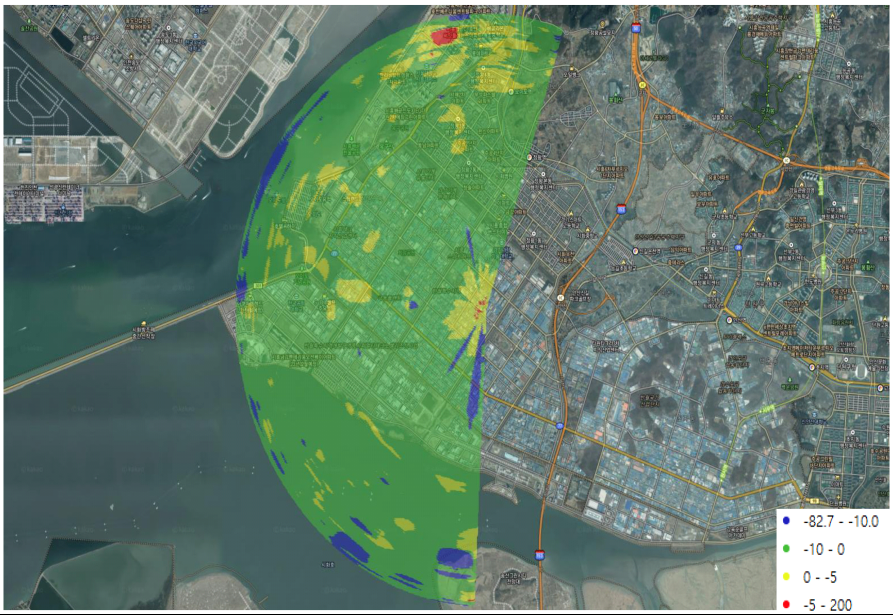


3 각 월별 $PM_{2.5}$ 농도 증감 분석

'24. 09 평균 분석 자료와 '24. 08 평균 분석 자료의 농도 차

- 09월은 전체적으로 농도가 08월에 비해 농도가 크게 감소하는 패턴을 보임
- 대부분의 구역에서 미세먼지 농도가 크게 감소하였음(-10 ㎍/㎥ 이하) → 소폭 감소하는 구역 또한 Hot-spot으로 선정 가능





19

04 결론

20

결론

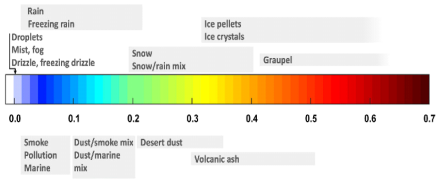
- ✓ 24년 06월~09월, 영세사업장이 밀집되어 있는 시화산단을 효율적으로 관리·단속 위해 스캐닝 라이다를 통해 데이터 분석을 실시함
- ✓ 각 $PM_{2.5}$ 월 평균 데이터로 Heat map 기법을 통해 Hot-spot 분석해 본 결과, 총 15개의 구역이 선별되었으며, 다양한 상황과 날씨 및 환경에 따라 Hot-spot 구역에서 뚜렷한 변동이 나타남
- ✓ 일 평균 분석 결과, 시화산단 사업장들은 월요일~토요일까지 모두 운영되는 것으로 사료됨
- ✓ Reference sector 농도 기준으로 단계 구분화 분석 결과, 고농도로 배출하는 시간대를 추가적으로 분석한다면 좀 더 효과적으로 단속율을 높일 수 있으며, 효율적인 단속시간을 정할 수 있음

05 연구 계획

연구 계획

➢ 편광소멸도

- $\delta = I_{\perp} / (I_{//} + I_{\perp})$, 방출 초기 빛 : $I_{//}$ (100 %)
- 편광소멸도는 입자의 모양, 크기, 습도 활용되어 미세먼지 종류 구분 가능



➢ Case 분석(황사, 강수, 화재 등)



정왕동 제지공장 화재 (2024-05-16 14:06:22)



황사 발생 (2024-03-28 23:00~03-29 12:00)



꽃가루 발생 (2024-04-17 16:00~04-18 12:00)

➢ 바람장 분석 도입

- 조밀한 격자를 생성하여 관측 구역의 관측 기간에 대하여 풍향, 풍속을 고려한 상세 분석



23

8

공기질 개선사례 및 환경사업 분야 소개

이주열 대표이사(㈜애니텍)

Freah Air Keeper ANYTECH

해외 철도차량 실내공기질 개선 및 감염성 오염물질 저감을 위한 공기질 개선장치 실증 사업화



2024.12.20

주관연구기관 : ㈜애니텍

공동연구기관 : 한국철도기술연구원

Anytech

KRRI 한국철도기술연구원



CONTENTS

1. 수행기관 소개
2. 사업의 개요
2-1. 사업의 필요성 및 배경
3. 대상기술의 우수성
4. 사업의 목표 및 내용
5. 협력사업 수행 현황
6. 활용방안 및 기대효과

☑ (주)애니텍 - 주관기관

일반현황

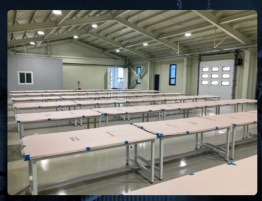
설립시기 2006년 10월 2일

주요사업 시멘트 폐자원 재활용 플랜트, 대중교통차량 공기정화장치, 스크러버, 친환경 설비

사업장 평택 본사 & 공장 _ 경기도 평택시 진위면 진위2산단로 31-20

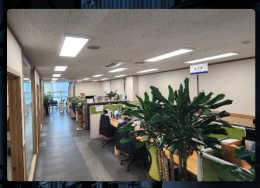
수원사무소 _ 경기도 수원시 영통구 신원로 88 디지털엠파이어2 101-1411호

평택 본사

수원 사무소





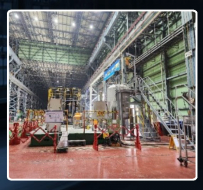
☑ (주)애니텍 - 주관기관

사업분야

시멘트 분야 : CBS dust 자원화 플랜트

- 시멘트 산업 배출 CBS dust 재이용 자원화 설비구축 사업 진행



Business Area

대중교통 공기청정기

- 대중교통 (지하철 / 버스) 공기청정기 사업





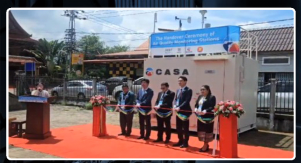
- Main Business 로서 18년의 업력과 노하우
- 철도, 버스 등 중대형 여객운송 장비(시설)에 최적화 설계 제작

일반 철도차량 / 고속열차 / GTX 등 철도분야 사업 진행 중

해외 공기질 측정소(AQMS) 구축사업

- 아세안(ASEAN) 국가 공기질 측정소 구축사업





- ASEAN 기구 / UN 연계 사업으로 추진되는 아세안 국가 공기질 모니터링 설비 구축사업의 현지 공급/시공사로 참여

COMPANY HISTORY

- **중소기업청 기술혁신개발사업 "버스용 공기청정 시스템 개발"**
- 녹색기술인증 GT-12-00087 (흡착제를 이용한 지하철 객실 이산화탄소 저감기술)
- 신기술 (NET)인증 : (제461호, 철도차량용 저농도 이산화탄소 흡착제외 이를 활용한 저감기술)
- 지하역사 공조시스템 지능화 개발사업 수행
- 지하역사 승장장용 공기정화장치 시범사업
- 한국철도공사, 서울교통공사, 부산교통공사 등 지하철 저감장치 납품
- **경기도 "미세먼지 저감 도민체감형 아이디어 공모전" 최우수상(버스 전용 공기청정기)**
- **2020년 「그린뉴딜 유망기업 100 프로젝트」환경부, '녹색혁신기업 성장지원 프로그램'**
- 2021 혁신기업 국가대표 1000 선정

01 수행기관 소개

☑ (주)애니텍 - 주관기관



02 사업개요

☑ 사업개요

해외 철도차량 실내공기질 개선 및 감염성 오염물질 저감을 위한 공기질 개선장치 실증 사업화

부처 사업명	사 업 명	과제명
2023년 성과확산형 국토교통 국제협력 연구개발사업	성과확산형 국토교통 국제협력 연구개발	해외 철도차량 실내공기질 개선 및 감염성 오염물질 저감을 위한 공기질 개선장치 실증 사업화

총 수행기간
- 2023년 6월 1일 ~ 2027년 12월 31일(4년7개월)

당해년도
- 2024년 1월 1일 ~ 2024년 12월 31일(12개월)

수행기간 / 총 사업비

총 사업비

당해년도 사업비

주관기관
- ㈜애니텍

주관기관 / 참여기관

참여기관
- 한국철도기술연구원

☑ 대상기술의 필요성 및 배경

도시철도는 밀폐된 좁은 객실 내에 다수의 승객들이 밀집



객실 내 오염물질이 축적되어 농도가 높아지는 경향



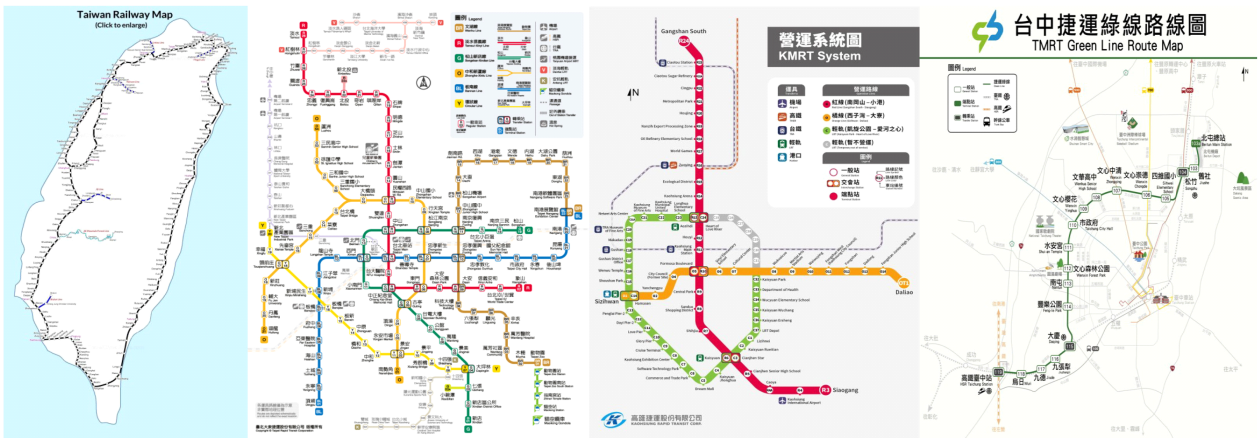
오염물질을 제어할 수 있는 기술의 차량내 적용이 매우 중요!

국민 건강, 복지향상을 위해서 철도차량 내 미세먼지 제어기술 적용은 필수적!

☑ 대상기술의 필요성 및 배경

- COVID-19 팬데믹 이후 유럽, 아세안 지역 등의 해외 국가들에서도 철도차량 실내공기질에 대한 이슈가 대두되고 있음.
- 최근 대만 등지에서 철도차량 공기질 개선장치에 대한 적용 논의가 계속되고 있으며, 외부에서 유입되는 미세먼지와 승객에 의해 확산되는 감염성 오염물질 등에 의한 실내공기질 관리 필요성을 공감하고 있음
- 현재 국내에서 제작 진행 중인 전동차의 경우 미세먼지를 저감시켜 주는 공기질 개선장치가 필수적으로 반영되고 있는 실정이나, 해외에서 운영 중인 철도차량은 기술이 적용된 사례가 전무. (해외 시장 진출 실적 확보가 가능한 환경)

대만 철도노선 현황 및 타이페이 / 타이난 / 가오슝 도시철도 노선현황



02 사업개요

☑ 협력사업의 시급성

- 본 국제협력 사업의 최종목적은 국내 R&D를 통해 개발된 상용화기술의 해외진출을 위한 교두보 역할이며, 이는 해외사업화가 가능한 시점에 발맞추어 추진되는 것이 중요함.
- 대만은 정부차원에서의 철도교통 인프라 확대를 위해 신조 철도차량 도입이 활발히 논의/진행 되고 있고, 기존 철도차량의 노후화로 인해 교체물량이 상당수 발생할 것으로 예상.
- 국내 철도차량 제조사인 현대로템이 대만에서 2,078억 원 규모의 도시철도 사업 수주에 성공하는 등 현지 진출을 확대하고 있어, 현대로템의 1차 협력사인 주관기관에서 공급하는 본 기술이 신규 대만 공급 철도차량에 적용될 수 있는 기회로 작용

현대로템, 대만서 2078억원 규모 도시철도 사업 수주

백용태 기자 | 승인 2021.11.16 12:59

전동차 · 전력 등 턴키 제공… 공항과 기차역 연결하는 핵심 노선



▲ 현대로템이 대만에 납품하는 카오슝 전동차 외관 조감도 (사진=현대로템 제공) © 철도경제

[철도경제신문=백용태 기자] 현대로템이 대만에서 2078억 원 규모의 도시철도 사업 수주에 성공했다.

☞ 주관기관인 ㈜애니텍은 현대로템 철도차량 1차 협력사 임.

☞ 대만 현지 실증 및 검증을 통해 철도차량 시장에 진입할 수 있는 유리한 시장 환경이 조성.

03 기술의 개요 및 우수성

☑ 대상기술의 개요 및 우수성

철도차량 공기질 개선장치 적용 기술의 개념



- 대상기술은 국토부 R&D를 통해 개발하여 상용화까지 성공한 기술로 국내에서 13,000대 이상의 공급실적을 보유하고 있음
- 현재 TRL-9단계의 상용화 수준의 기술력을 보유

철도차량용 공기질 개선장치의 국내 적용기준 기본 사양

구 분	객실장치	운전실용
전원 및 팬모터	AC220V 1Ph 60Hz/단상 유도전동기 80W 이하	
풍량(㎥/hr, CMH)	dual : 300 이상 / single 150 이상	
크기(mm, W x D x H)	500 x 191 x 320	
중량(kg)	15 이하	
내전압	AC 1500V / 1분간 견딜 것	
절연저항	200MΩ이상(500V MEGGER)	
제어방식	RS-485 통신제어(TCMS, 제어기 간 이더넷 연결) ON, OFF 풍량 3단 제어 (강, 중, 약)	
설치방식	차체 매립식(해외 적용차량 내부형상 고려 협의필요)	
살균방식	UVC를 통한 120도 조사 살균방식	

※ 제품 기본사양은 추후 해외 철도차량 운영기관 요청사항을 고려하여 조정예정

☑ 대상기술의 개요 및 우수성

철도차량용 공기질 개선장치장치









철도차량용 공기질 개선장치용 중앙제어기





☑ 국제협력 대상 기술의 현재 기술 수준

- 한국철도기술연구원과 국토부 R&D를 통해 철도차량에 적용할 수 있는 공기질 개선장치를 개발하였으며, 이에 대한 기술실시 지식재산권을 ㈜애니텍에서 기술이전 받아 확보함. 또한 추가로 자체기술 개발을 통해 철도차량용 공기질 개선장치 상용화를 위한 기술력을 보유
- 주관기관인 ㈜애니텍은 국내 철도차량에 대한 공기질 개선장치 사업화에 성공하였으며, 철도차량 사양에 따라 맞춤형으로 적용할 수 있는 공기질 개선장치 설계 및 제작 기술을 보유

대상기술관련 기술이전 및 자체 특허보유



10-1284893	10-1328747	10-1689205	20-0481427	10-1963956

No.	구분	지재권 명	등록번호	소유기관	
1	특허	지하철 객실용 공기정화시스템	10-1284893	한국철도기술연구원	기술이전 특허
2	특허	지하철 객실용 이산화탄소 저감장치 및 그 방법	10-1328747	한국철도기술연구원	
3	특허	공기정화장치 (지하철 객실용 공기정화장치)	10-1689205	(주)애니텍	자체 보유 특허
4	실용신안	내부공기순환방식 지하철 공기정화기	20-0481427	(주)애니텍	
5	특허	지하철용 공기질 개선장치	10-1963956	㈜애니텍	

대상기술의 국내 상용화 실적 보유

※ 상용화 실적 : (최근 실적 5건)

No.	실시시기	내용	매출규모	발주기관
1	2022.05.24	김포골드라인 전동차 공기질 개선장치 제작 설치	399백만원	김포골드라인 운영(주)
2	2021.05.13	부산 2호선 전동차 공기질 개선장치 제조 납품	1,404백만원	부산교통공사
3	2021.05.06	인천 1, 2호선 전동차 공기질 개선장치 제조 납품	616백만원	인천교통공사
4	2020.08.28	9호선 2,3단계 전동차 공기질 개선장치 제작설치	723백만원	서울교통공사
5	2020.06.11	1호선 신조전동차 공기질 개선장치 제조구매	705백만원	부산교통공사

☑ 국제협력 대상 기술의 현재 기술 수준

- 대상제품은 국내 운영기관에서 요구하는 제품 성능을 모두 만족하는 성능을 보유하고 있으며, 아래와 같이 공인시험기관 의뢰를 통한 시험성적서를 모두 보유함



☑ 대상기술 국내 적용 현장

- 대상기술인 철도차량용 공기질 개선장치는 다양한 형태로 적용되고 있으며 국내 철도차량을 대상으로 제품화/상용화 실적을 다수 보유하고 있음.
- 보유 실적 중 대표적인 철도차량별 제품설치 사례는 아래와 같음.

KORAIL_과천안산선, 분당선, 일산선, 경인선 448량



서울교통공사 1-3호선 532량 공기질 개선장치



서울메트로 9호선 1,2,3 단계 270량



KORAIL_GTX-A 전동차 공기질 개선장치





부산교통공사 _ 2호선 156량 공기질 개선장치





04 사업의 목표 및 내용

☑ 기술개발 목표 및 내용

구분	내용
최종 목표	대만 현지 철도차량 맞춤형 공기질 개선장치 개발 및 실증
세부 목표	○ 현지 철도차량용 공기질 개선장치 적용을 위한 타당성 조사 ○ 대만 철도차량 맞춤형 공기질 개선장치 설계 / 제작 및 TEST BED 설치 ○ 현지 철도차량 적용을 위한 공기질 개선장치 성능평가 및 인증 방안 도출 ○ 현지 테스트베드 운영 및 현장 성능평가 / 품평회 개최 및 홍보 / 기술가치평가

1단계 (2023)

- 현지 철도차량 공기질 개선기술 관련 기술 및 수출 동향 분석
- 현지 철도차량 공기질 개선기술 관련 대만 현지 관련규제와 정부 정책 조사 분석
- 대상기술 관련 현지 인증 조사
- 조사 분석 자료를 통한 수출 전략 수립

국제협력 타당성 조사 보고서

2단계 (2024-2026)

(2차년도) 현지 철도차량 맞춤형 공기질 개선장치-사양검토 및 기본설계, 제작사양서(안) 도출, 목업제작

(3차년도) 대만 철도차량 맞춤형 공기질 개선장치 시제품 제작 / 성능평가, 상세설계, 설치검토

(4차년도) 현지 철도차량 맞춤형 공기질 개선장치-현지 시운전 및 현지사업화를 위한 인증확보

연구개발 성과평가 결과보고서

3단계 (2027)

- 현지 운영처 입회 철도차량 Test bed 3개월 연속운전 성능평가
- 운영처 초청 품평회 개최 및 홍보
- 추가 해외사업화를 위한 시험인증 파악

사업화 성과 보고서 및 기술가치평가




해외 철도차량 실내공기질 개선 및 감염성 오염물질 저감을 위한 공기질 개선장치 실증 사업화

05 협력사업 수행현황

☑ 현지기관 협력 현황

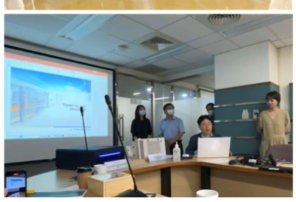
- 주관기관인 ㈜애니텍과 공동기관인 한국철도기술연구원에서는 최근 본 대상기술의 국제협력 수행을 위해 대만 운영처인 타이페이 메트로 / 대만고속철도 / 가오슝메트로, 그리고 대만 환경부와 직접 대면하여 기술세미나 및 제품소개를 실시.
- 현지 운영기관에서 대상기술에 대한 적용 필요성에 대해 공감하고 있음을 확인

대만 환경부(Taiwan Ministry of Environment) 방문

行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C (Taiwan)

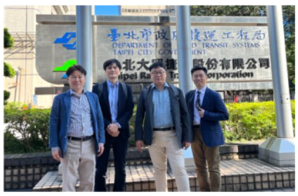






타이페이 메트로(TAIPEI METRO) 방문

metro Taipei







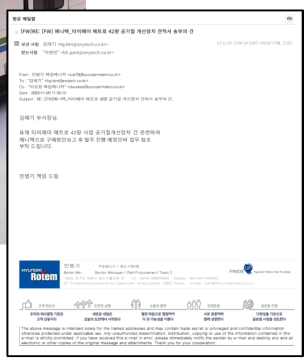
05 협력사업 수행현황

☑ 현지 철도차량 맞춤형 공기질 개선장치 적용 추진

- 대만 타이페이 메트로(TAIPEI METRO)에서는 '23년 본 연구진의 세미나와 제품 홍보를 통해 전동차 객실에 대한 공기질 개선 필요성 인식 (대만 현지에서 철도차량 공기질 개선장치 적용 사례가 없음)
- 대만 타이페이 메트로(Taipei Metro)에서는 차량 6량 7편성(42량)에 대한 전동차 제작을 추진하고 있음. (레드라인 2호선 연장선)
- 이를 국내 차량제작사인 현대로템과 계약 체결하여 현재 전동차 설계를 진행 중임.



[타이페이 메트로 레드라인 2호선 신조차량]



[현지 실증관련 현대로템 견적 및 계약체결]

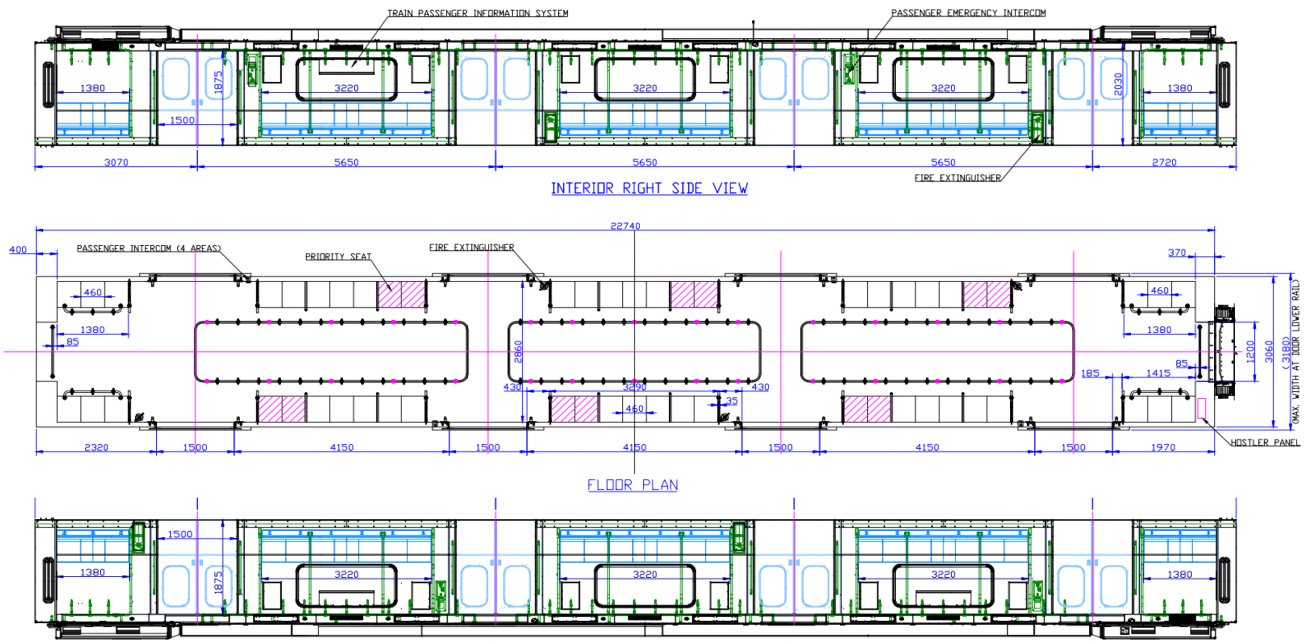
☞ Taipei Metro에서 운행 예정인 차량에 적용하여 공기질 개선장치 실증 예정.

☞ 객실에서의 공기질 개선 효과 입증 후, 신규 차량(42량) 전체에 설계 반영하고, 대상 공기질 개선장치를 구매하는 것으로 협의

05 협력사업 수행현황

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

공기질 개선장치의 차량적용 위치 검토



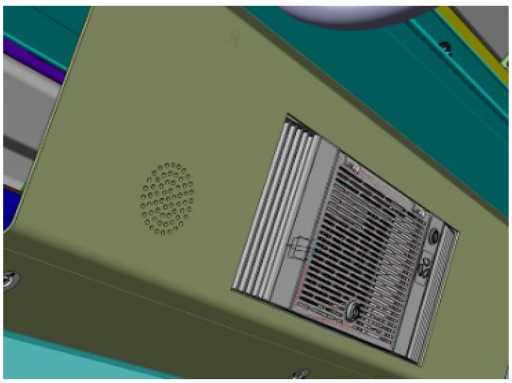
☞ Taipei Metro 실증 대상차량 도면 제공 및 검토

05 협력사업 수행현황

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

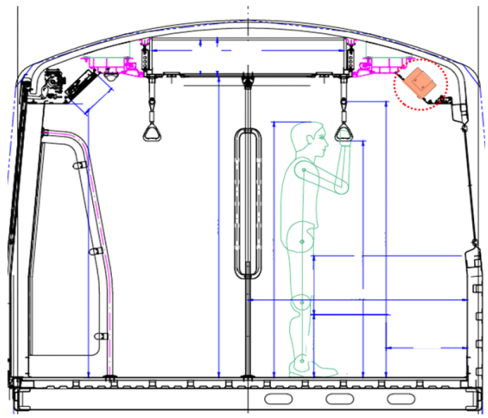
- 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치의 객실 적용을 위한 설치위치 및 설계반영을 위한 세부위치 협의 진행 중
- 논의 중인 공기질 개선장치의 차량적용을 위한 검토내용은 아래와 같음

공기질 개선장치의 차량적용 위치 검토



☞ 국내 경험을 바탕으로 차량제작사와 신조차량 설치위치 검토 .
☞ 신조차량 설계반영을 위해 커빙판넬 내부공간 / 유지보수를 고려한 설계사항 검토.

Taipei Metro 공기질 개선장치 적용을 위한 대상 철도차량 섹션도면 검토



ANYTECH

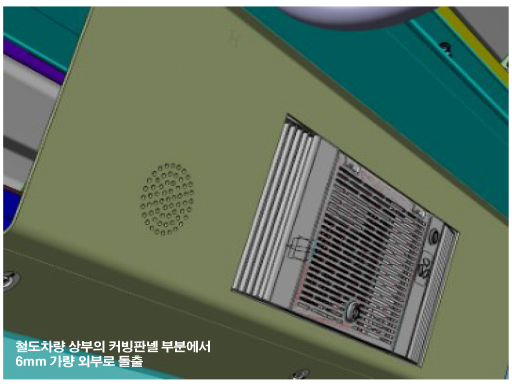
05 협력사업 수행현황

Specifications of air quality improvement device and Air sterilization system for railway vehicles
ANYTECH

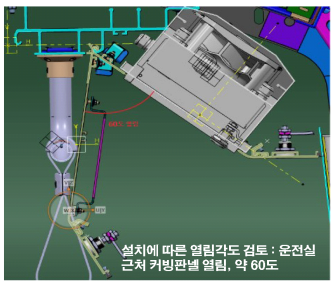
☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

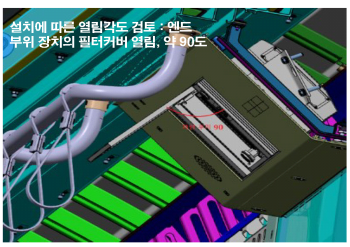
- 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치의 객실 적용을 위한 설치위치 및 설계반영을 위한 세부위치 협의 진행 중
- 논의 중인 공기질 개선장치의 차량적용을 위한 검토내용은 아래와 같음

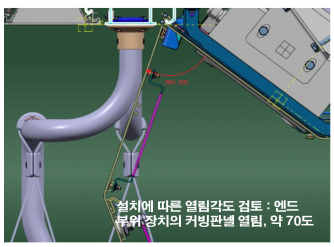
공기질 개선장치의 차량적용 위치 검토











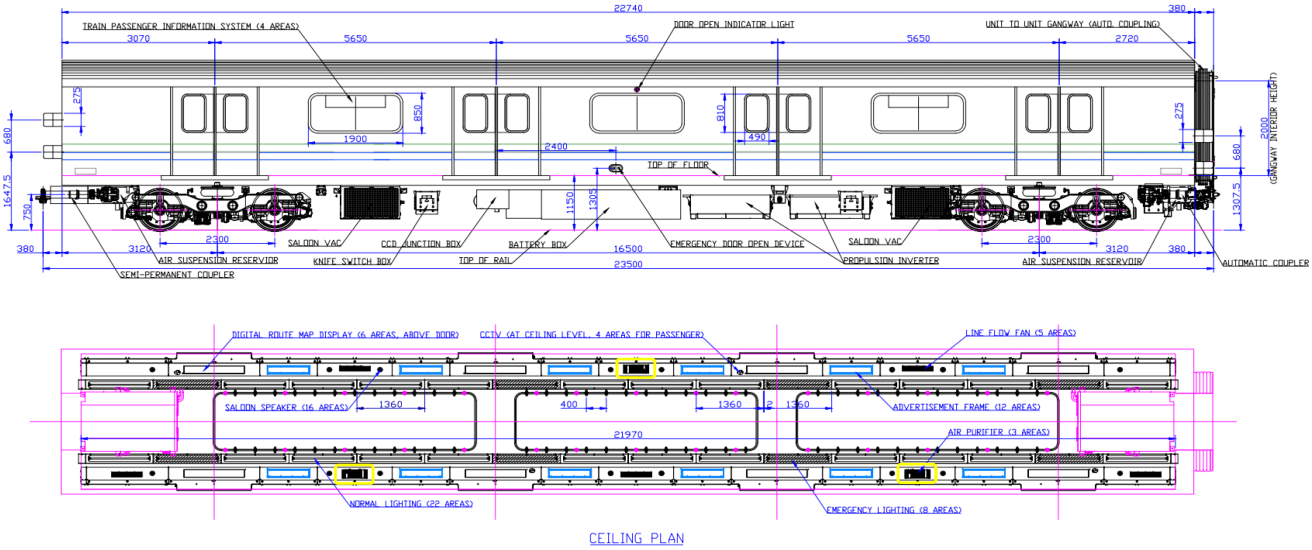
☞ 국내 경험을 바탕으로 차량제작사와 신조차량 설치위치 검토 .
☞ 신조차량 설계반영을 위해 커빙판넬 내부공간 / 유지보수를 고려한 설계사항 검토.

05 협력사업 수행현황

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

공기질 개선장치의 차량적용 위치 검토

☞ 타이페이 메트로 신조차량 설계 공간을 고려하여 1량 당 공기질 개선장치 3대 적용으로 협의함.



공기질 개선장치 설치위치

05 협력사업 수행현황

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

- 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치의 객실 적용을 위한 설치위치 및 설계반영을 위한 세부위치 협의 진행 중
- 논의 중인 공기질 개선장치의 차량적용을 위한 검토내용은 아래와 같음

공기질 개선장치의 차량적용 사양 검토 / 현지화 설계

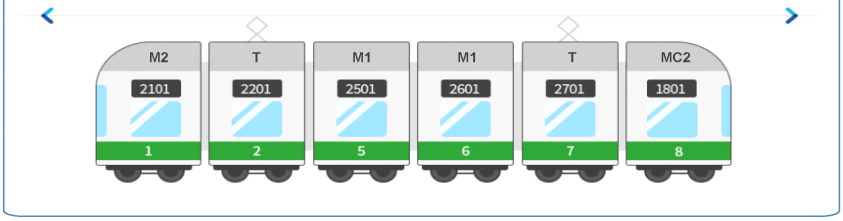
[타이페이메트로 1편성 기준 실증 공기질 개선장치 적용수량]

장치 \ 차량	M2	T	M1	M1	T	MC2
객실 장치	3	3	3	3	3	3
중앙제어기	1					1



– 타이페이메트로 신조차량 디자인 –

– 타이페이 메트로 중련편성 예시(6량1편성) –



☞ 타이페이 메트로 신조차량은 중련편성 차량으로 1편성 3량을 기준으로 구분.

☞ 운행시 3량+3량으로 편성되고, 운행 후 다시 3량으로 편성 (총 6량 7편성 예상).

☞ 운행시 6량 1편성으로 중앙제어기가 2대로 운영되는 것으로 설계함.

05 협력사업 수행현황

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

- 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치와 중앙제어기 제품 사양(안) 협의 진행 중
- Taipei Metro와의 협의를 통해 도출된 현지화 공기질 개선장치의 사양은 다음과 같음

대만 공기질 개선장치장치 사양(안)

구 분		객실용 장치
전원		DC 110V 60Hz
팬 모터		BLDC FAN
풍량 (㎥/HR , CMH)		평균 150상 ["HIGH(2단) 기준"]
제품 크기 (mm)		530 * 255 * 170
중량 (kg)		20 이하(프론트 커버 제외)
내전압		AC 1500V / 1분간 견딜 것
절연저항		20MΩ 이상 (500V MEGGER)
소비전력 (W)		70 이하
소비전류 (A)		0.5 이하
제어 방식		꺼짐 / 1단 / 2단
도장 사양		분체도장
포트 정보	WAGO 770-225	DC110V 전원 공급
	WAGO 770-235	(AP COM)중앙제어기와 RS 485 통신
	WAGO 770-235	(B485) 중앙제어기 간 485통신



– 타이페이메트로 신조차량 디자인 –

☞ Taipei Metro에서 도입하는 차량의 현지 상황을 고려한 공기질 개선장치의 사양도출이 필수

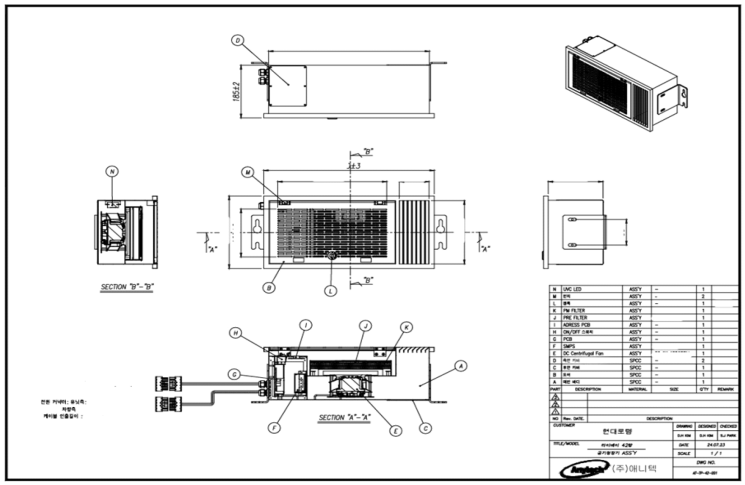
☞ Taipei Metro 요청사항을 반영하여 공급전원 및 제품 크기, 제어방식, 그리고 포트사양 반영

☞ 특히, 국내 공급전원은 AC100V 인 것에 반해 대만차량은 DC100V가 공급되는 것을 고려하여 제품의 부품과 사양을 현지화하여 재설계

ANYTECH
05 협력사업 수행현황
Specifications of air quality improvement device and Air sterilization system for railway vehicles
ANYTECH
☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)
• 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치와 중앙제어기 제품 사양(안) 협의 진행 중
• Taipei Metro와의 협의를 통해 도출된 현지화 공기질 개선장치의 목업 1차 설계(안)은 다음과 같음

대만 공기질 개선장치장치 설계(안)

< Taipei Metro 신조차량 공기질 개선장치 적용을 위한 공기질 개선장치 목업설계(안) >





– 타이페이메트로 신조차량 디자인 –

☞ Taipei Metro에서 제공해준 실증대상 철도차량 도면을 토대로 현지화 맞춤형으로 사이즈를 검토하여 공기질 개선장치 목업설계 도출.

☞ 객실 내부의 Coving 판넬 안쪽의 설치 공간이 국내 차량과 비교하여 여유가 충분하지 못한 것으로 고려하여 콤팩트한 재설계를 수행.

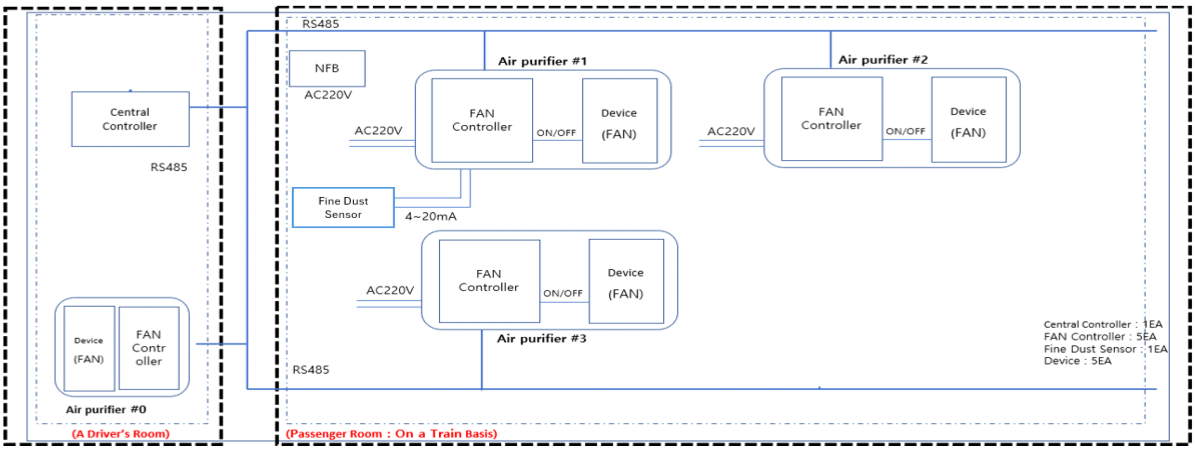
☞ 공기 배출구를 하나로 통합설계하였고, 이로 인한 공기의 유로를 고려하여 팬 사양을 재검토하여 상향된 사양으로 적용함.

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

- 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치와 중앙제어기 제품 사양(안) 협의 진행 중
- 도출된 현지화 공기질 개선장치의 제어기 연동 차량내 구성(안)은 다음과 같음

대만 공기질 개선장치장치 제어기 연동 차량내 구성(안)

< Taipei Metro 공기질 개선장치와 중앙제어기 연동을 위한 차량내 구성(안) >



☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

- 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치와 중앙제어기 제품 사양(안) 협의 진행 중
- Taipei Metro와의 협의를 통해 도출된 현지화 중앙제어기의 사양은 다음과 같음

철도차량용 공기질 개선장치용 중앙제어기

구 분		중앙제어기
전원		100 VDC
소비전력		30W 이하
동작 온도		−25 ~ 70℃
제품 크기 (mm)		290 * 185 * 102
중량 (kg)		5 이하
제어 방식		RS 485 통신 제어 공기청정기 (MID:1단/HIGH:2단/OFF:정지)
도장 사양		분체 도장
포트 정보	WAGO 770−733	DC100V 전원 공급
	WAGO 770−735	공기청정기 RS 485 통신제어
	WAGO 770−735	중앙제어기 간 485통신
	USB포트	장치 업데이트
	RJ45	중앙제어기 디버깅용 포트



− 타이페이메트로 신조차량 디자인 −

☞ Taipei Metro에서 요구하는 제어방식 및 철도차량의 사양을 고려하여, 공기질 개선장치 실증을 위한 중앙제어기 사양 조정

☞ Taipei Metro 요청사항을 반영하여 공급전원 및 제품크기, 제어방식, 그리고 포트사양 반영

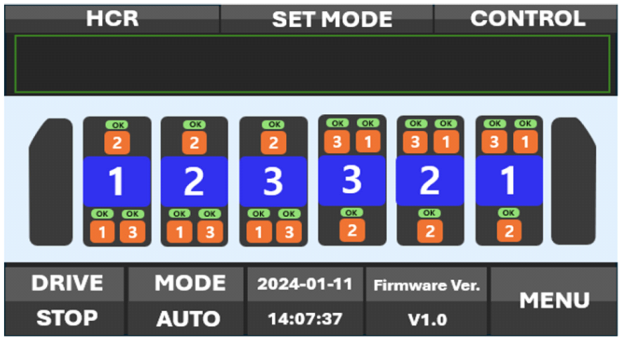
☞ Taipei Metro 로부터 데이터 통신, 전원공급 등을 위한 포트 사양을 국내 기존 사양 대비 추가가 필요한 것으로 요청받아, 이를 반영하여 사양을 현지화 재설계.

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

- 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치와 중앙제어기 제품 사양(안) 협의 진행 중
- Taipei Metro와의 협의를 통해 도출된 현지화 중앙제어기의 사양은 다음과 같음

철도차량용 공기질 개선장치용 중앙제어기

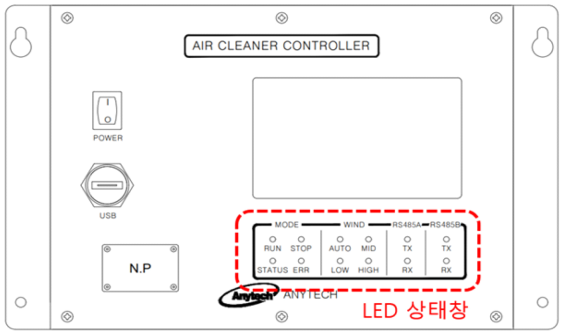
〈 Taipei Metro 중앙제어기 화면 디자인 (평상시 화면 (HOME)) 〉



☞ 일괄적이고, 아날로그적인 ON/OFF 제어 방식에서 RS-485 통신을 이용하여 정상 작동여부와 풍량 단계 조절하도록 구성.

☞ 또한 중앙제어기를 배전반 안쪽 설치 시, 고장유무 확인이 어려기 때문에 운전실 데스크에서 고장 유무를 판단하기 위한 램프를 설치하는 것으로 협의함.

〈 중앙제어기 전면 부 도면 〉



☞ 운전실에 설치되는 중앙제어기의 전면 부 도면임.

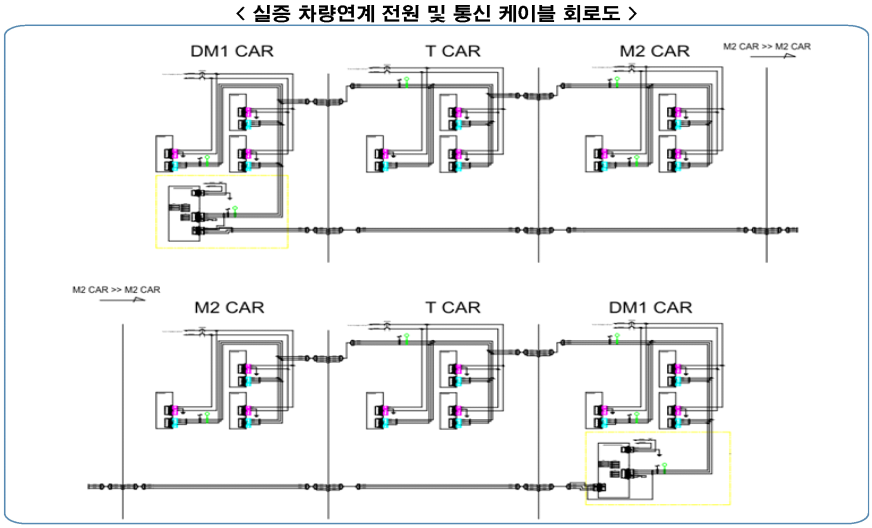
☞ 내부 미세먼지 농도 등을 확인할 수 있는 디스플레이창이 있으며, 그 아래에 동작상태, 통신상태를 확인할 수 있는 LED 램프가 위치하도록 설계함.

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 사양검토 및 설계(안)

- 대만 철도차량 적용을 위한 철도차량용 공기질 개선장치와 중앙제어기 제품 사양(안) 협의 진행 중
- Taipei Metro와의 협의를 통해 도출된 현지화 중앙제어기의 사양은 다음과 같음

철도차량용 공기질 개선장치용 중앙제어기

〈 실증 차량연계 전원 및 통신 케이블 회로도 〉



☞ Taipei Metro 실증차량 6량 1편성 시, 각 차량 간 공기질 개선장치의 중앙제어기 연계를 위한 전원 및 통신 케이블 회로도 도출.

☞ 공기질 개선장치의 전원은 각 차량의 전기판넬에서 공급받으며, 통신 케이블은 각 차량마다 연결되어 각 양쪽의 M Car에 있는 제어기에서 제어를 할 수 있도록 설계함.

☞ 차량이 양방향으로 움직이기 때문에 작동 중인 M Car에서 제어를 하면 반대쪽 제어기는 대기 상태로 회로 구성.

05 협력사업 수행현황

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 실무협의 및 추가 실증논의

- 타이페이 메트로 신규 전동차 대상 공기질 개선장치 실증을 위한 실무추진 회의 (2024.10)
  – 장소 : 타이페이 메트로 본사 / 타이페이 메트로 차량기지
  – 참석자 : 타이페이 메트로 부사장 / 타이페이 메트로 철도차량 책임자 / 본 사업 연구진

타이페이 메트로(TAIPEI METRO) 방문 / 실무회의









☞ Taipei Metro 신조차량 실증을 위한 공기질 개선장치 및 중앙제어기에 개발에 대한 운영기관 대면 실무회의

☞ 신조차량에 대한 실증 준비사항에 대해 추후 현장 성능평가에 관한 방안을 논의함

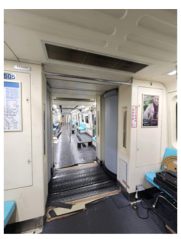
☞ 현재 진행 중인 철도차량 실증 외에 추가로 Taipei Metro 기존차량에 대한 공기질 개선장치 실증을 제안 받음.

☞ Taipei Metro 부사장은 내년 상반기 한국 방문을 계획, 본 주관기관과 공동기관을 방문하기로 함. (3월 경 예상)

ANYTECH
05 협력사업 수행현황
Specifications of air quality improvement device and Air sterilization system for railway vehicles
ANYTECH
☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 실무협의 및 추가 실증논의
- 타이페이 메트로 신규 전동차 대상 공기질 개선장치 실증을 위한 실무추진 회의 (2024.10)
– 장소 : 타이페이 메트로 본사 / 타이페이 메트로 차량기지
– 참석자 : 타이페이 메트로 부사장 / 타이페이 메트로 철도차량 책임자 / 본 사업 연구진
타이페이 메트로(TAIPEI METRO) 방문 / 실무회의

















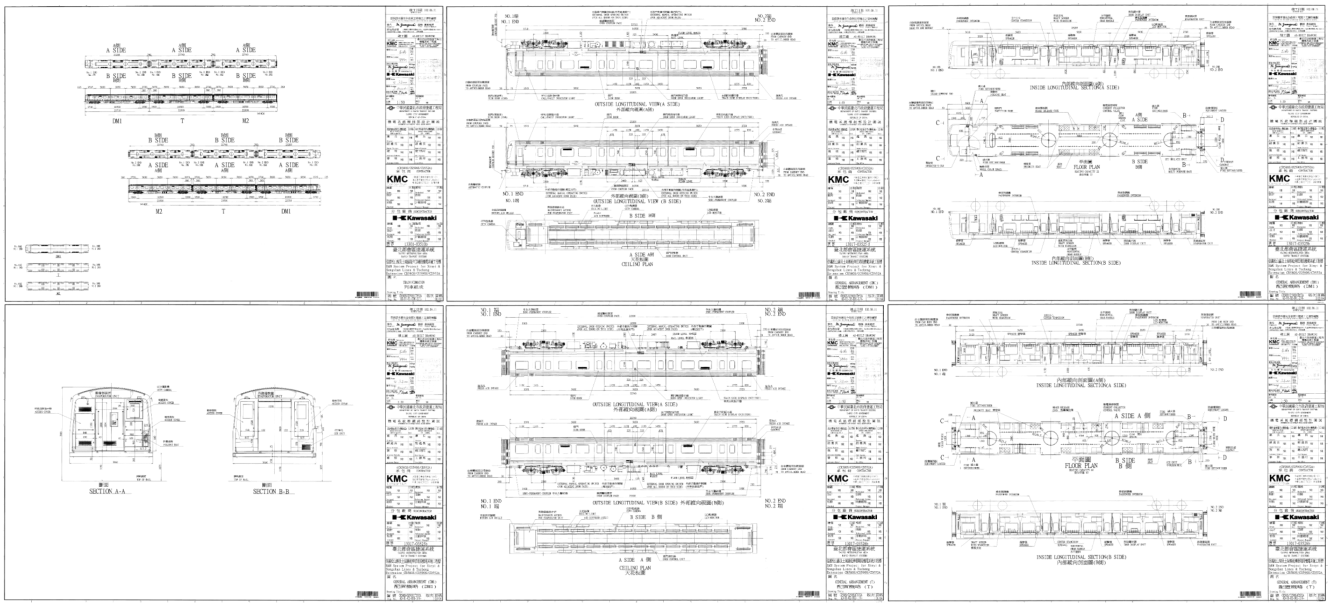


05 협력사업 수행현황

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 실무협의 및 추가 실증논의

TAIPEI METRO 기존 운행차량 2D 도면확보 / 검토

☞ TAIPEI METRO와의 추가적인 실증을 검토 중이며, 추가로 Kawasaki 사 차량에 대한 3D 도면 요청



05 협력사업 수행현황

☑ 국내 상용화 기술 현지화를 위한 실무협의 및 추가 실증논의

- 타이페이 메트로 신규 전동차 대상 공기질 개선장치 실증을 위한 실무추진 회의 (2024.12)
  - 장소 : 타이페이 메트로 Beitou 차량기지 (台北捷運公司北投機廠暨訓練中心)
  - 참석자 : 타이페이 메트로 철도차량 책임자 및 실무자 다수 / 본 사업 연구진 (㈜애니텍, 한국철도기술연구원)

타이페이 메트로(TAIPEI METRO) 방문 / 실무회의



☞ Taipei Metro 차량 공기질 개선장치 실증 및 추가적인 기존 운행차량에서의 실증을 위한 운영기관 대면 실무회의 수행.

☞ Taipei Metro 에서는 현장에서의 공기질 현황을 파악하기 위해 본 연구진의 협력을 논의.

☞ 본 사업 공동연구기관인 한국철도기술연구원에서는 국내에서의 측정 노하우를 기반으로 Taipei Metro 실증 노선인 레드라인에서의 공기질 현황분석을 추진하는 것으로 협의함.

05 협력사업 수행현황

☑ 대만 타이페이 메트로 객실/지하역사/터널/외기 미세먼지 농도 측정

- 타이페이 메트로 미세먼지 농도 측정 목적
- 타이페이 메트로-연구진 미세먼지 농도 측정 협의

타이페이 메트로 미세먼지 농도 측정 목적

☞ 기존에 지하철 미세먼지 농도를 측정한 전례가 없음

☞ Red Line 3개 역사를 중심으로 미세먼지 농도 측정 후, 측정 결과를 근거로 기존 철도차량 개조를 통한 공기청정기 도입 여부 결정 예정





[타이페이 메트로-연구진 미세먼지 농도 측정 협의(2024.12.10)]



[타이페이 메트로 레드라인 노선도]

05 협력사업 수행현황

☑ 대만 타이페이 메트로 객실/지하역사/터널/외기 미세먼지 농도 측정

- 타이페이 메트로 미세먼지 농도 측정 방법 / 측정 일정을 다음과 같이 협의함.

타이페이 메트로 미세먼지 농도 측정 방법

☞ 역사 별 측정 위치

역사	타이페이 중앙역 (Half PSD)	중정기념관역	동문역 (Full PSD)
측정 위치	승강장 대합실 외기	지하터널	승강장 대합실 외기

☞ 측정 항목: PM1, PM2.5, PM10

☞ 측정 기기: 입자 계수 측정기(Grimm 11-D)



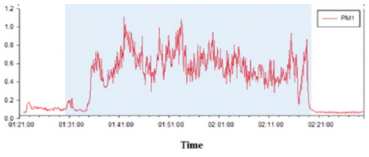
[입자 계수 측정 장비]

☞ 측정 간격: 6초마다 한번

☞ 측정 인원: 총 5명(애니텍 2명, 철도연 3명)

타이페이 메트로 미세먼지 농도 측정 일정

일자	2024.12.16(월)	2024.12.17(화)	2024.12.18(수)
측정 역사	타이페이 중앙역 	동문역 	중정기념관역-동문역 사이 
측정 시간	07:30-19:30 (주간 측정)	07:30-19:30 (주간 측정)	02:00-03:00 (야간 측정)



[측정 데이터 예시]

05 협력사업 수행현황

☑ 대만 철도차량 적용을 위한 공기질 개선장치 인증 방안 연구

- 공기청정기 대만 수출을 위한 필수 인증 및 성적서
- 대만 철도차량 적용을 위한 인증 방안 제시

공기청정기 대만 수출을 위한 필수 인증 및 성적서

※ 철도 차량 적용 공기청정기가 아닌 일반 공기청정기에 해당하는 인증 및 성적서

No.	필요 인증 및 성적서	Full name	주요 내용	로고 및 인증서 예시
1	BSMI	Bureau of Standards, Metrology and Inspection	• 전기 제품에 대한 필수 인증 • 전기 안전과 전자파 적합성 관련 인증이며, 공기청정기를 포함한 모든 전기전자제품에 필수적으로 요구됨	BSMI
2	EMC/EMI	Electromagnetic Compatibility/ Electromagnetic Interference	• 전자파 적합성 및 전자파 간섭에 대한 인증 • 공기청정기가 다른 전자제품과 전파 간섭 없이 정상적으로 작동할 수 있음을 입증 • BSMI에 포함되거나 별도로 요구 가능	
3	EERL, 에너지소비효율등급	Energy Efficiency Rating Labeling	• 에너지 효율에 민감한 제품에 대하여 에너지 효율 라벨을 부착해야 함 • 필수는 아니나 사실상 강제적으로 요구됨	
4	필터 성능 시험 및 CADR	Clean Air Delivery Rate	• 공기청정기의 청정 성능을 신뢰할 수 있게 해주며, 소비자들에게 성능을 보장하는 역할 • CADR은 공기 정화 능력을 나타내는 중요한 지표	
5	RoHS	Restriction of Hazardous Substances	• 유해물질 사용 제한과 관련한 인증 • 대만 내 환경규제에 따라 제품에 포함된 유해물질(납, 카드뮴 등)을 제한함	R xxxxx RoHS 

05 협력사업 수행현황

☑ 대만 철도차량 적용을 위한 공기질 개선장치 인증 방안 연구

- 공기청정기 대만 수출을 위한 필수 인증 및 성적서
- 대만 철도차량 적용을 위한 인증 방안 제시

대만 철도차량 적용을 위한 인증 방안 제시

☞ 현재 대만 내 철도차량 적용 공기청정기 관련 성능평가 및 의무 인증 규정이 별도로 없음

☞ 국내의 철도차량 적용 공기청정기 혹은 공기살균기 시험성적서를 통해 대만 현지에서 인정받을 수 있도록 성적서 상호 인정체계 구축 필요

☞ 신규 차량 납품은 매립형 타입이고 기 운행 중인 차량에 설치할 개조 납품은 부착형 타입이므로, 각각의 타입에 대해 필요 성적서가 상이할 것으로 예상되며, 이에 대한 사전 대비 필요

☞ 대만에 성능평가 및 인증 규정 없을 시, 국내외 공기청정기 및 살균기 성능 시험방법 참조 필요

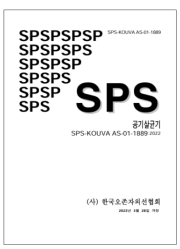
국내외 구분	국내			국외
성능시험방법	KS C 9314	SPS-KACA002-132	SPS-KOUVA AS	AHAM
주요 특징	공기청정기 관련	실내공기청정기 관련 (미세먼지 및 유해가스 제거성능평가)	공기살균기 관련 (부유미생물 및 유해가스 제거성능평가)	미국가전협회 발행



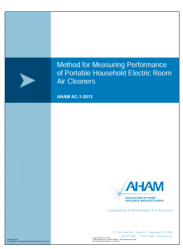
[KS C 9314]



[SPS-KACA002-132]



[SPS-KOUVA AS]



[AHAM]

05 협력사업 수행현황

☑ 추가 해외시장 성과확산을 위한 추진내용

- 현재 Taipei Metro 철도차량 공기질 개선장치 실증사업을 바탕으로 해외시장 확산을 위한 기술적용 사업화 협의

싱가폴 교통국(LTA) 및 철도차량 운영기관

- 싱가폴 교통국과 운영기관에서 Taipei 메트로 추진사업을 실적으로 싱가폴 차량에 대한 기술협의를 요청함.

Land Transport Authority

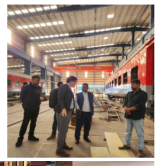
SBS Transit



인도(India) 철도차량 부품제조 및 기존 운영차량 개조사

- 인도 철도차량 분야 부품제조 및 개조사업을 하고 있는 ACME industries 에서 인도시장 공기질 개선장치 협업을 제안함.

Acme India "Coaches with style and safety"





인도(India) 철도차량 부품제조 및 기존 운영차량 개조사

- 인도 철도차량 분야 부품제조 및 개조사업을 하고 있는 HUGH 사에서 인도시장 공기질 개선장치 협업을 제안함.





06 활용방안 및 기대효과

☑ 국제협력 성과확산 사업의 기대효과



과학 • 기술적 측면

- 본 국제협력 사업을 통해 해외 기관과의 공동연구의 방식으로 해외 철도차량 테스트베드 구축 및 성능검증 기회를 가짐으로, 기술적으로 해외 철도차량에 대해서도 맞춤형 설계 및 retrofit 설치기술에 대한 기술적 노하우 확보.
- 전 세계적으로 실내공기질 분야에 관심도가 매우 높으며, 이는 철도차량 등 대중교통 차량에서도 예외가 아님. 이러한 측면에서 철도차량 공기질 개선장치는 대한민국에서 세계 최초로 기술적인 관심으로 가지고 노하우를 축적해 왔으며, 이는 국제협력 사업을 통해 한층 더 비교 우위의 기술력을 확보하는 계기가 될 수 있을 것으로 보임

사회적 측면

- 국내에서는 수년 전부터 고농도 미세먼지 등에 의한 철도차량 공기질에 대한 관심도가 높았기에 국가적으로 R&D 투자가 많이 진행되었던 반면, 아시아, 유럽 등지를 비롯한 글로벌 시작에서는 코로나 팬데믹 이후에서야 철도차량 공기질에 대한 관심이 높아짐.
- 본 대상기술인 철도차량 공기질 개선장치는 미세먼지 뿐만 아니라 바이러스 등 감염성 오염물질에 대한 살균 기능도 포함되어 있어 해외시장에서 대다수의 시민들이 이용하는 철도차량 내 공기질을 개선을 통한 시민 건강향상에 기여할 수 있으며, 이는 또 한 가지의 마케팅 포인트로 활용할 수 있음.

경제 • 산업적 측면

- 기존 사례를 보면, 국토교통 R&D를 통해 개발된 기술이 사업화까지 연계되는 것이 어려운 것이 사실임. 그럼에도 본 대상기술은 국내 실증을 거쳐 상용화에 성공한 사례이며, 이는 글로벌 시장에서도 국제협력 공동연구를 통한 사업화에 성공할 가능성이 높다는 것을 의미함.
- 경제적/산업적으로 볼 때, 본 철도차량 공기질 개선장치의 해외사업화를 통해 글로벌한 무역활동을 확대로 제품생산 및 현지시공 사업화 증가로 인한 매출증대, 생산설비 확충 등 기업성장 효과가 있을 것으로 보이며, 더불어 성장에 따른 고용창출 효과가 상승할 것으로 기대함.

예상되는 연구개발 주요 성과

- 대만 철도차량 맞춤형 공기질 개선장치 설계 / 제작 및 TEST BED 설치
- 현지 철도차량 적용을 위한 공기질 개선장치 성능평가 및 인증 방안 도출
- 현지 테스트베드 운영 및 현장 성능평가 / 품평회 개최 및 홍보 / 기술가치평가



Thank you

2부

1

고속도로 내 오염물질 모니터링 및 농도 분포 특성

허재석 박사후연구원(한국철도기술연구원)

고속도로 내 오염물질 모니터링 및 농도 분포 특성



한국철도기술연구원
허재석

01

서론



CHAPTER 1. 서 론

01 배경 및 목적

고속도로 대기오염물질 현황 관리를 위한 모니터링 시스템 구축 및 정보 제공

- 도시 지역에서 주요 오염원인으로 자동차 배출 대기오염물질은 환경적 부담으로 부각됨.
- 국내 총 33개 고속도로 노선에서 배출되는 오염물질별 배출량은 총 156,852 ton으로 높게 산출됨.
- 고속도로 대기오염은 주변의 환경취약시설에도 영향을 미칠 것으로 예상됨.
- 고속도로에서 발생하는 대기오염물질 모니터링 시스템 부족한 실정임.
- **모니터링 시스템 구축을 통한 다각적인 고속도로 배출원 모니터링 및 규명 연구가 필요함.**



“고속도로 대기오염 모니터링 및 대기환경 정보 구축”

02 고속도로 대기오염 배출량 산정



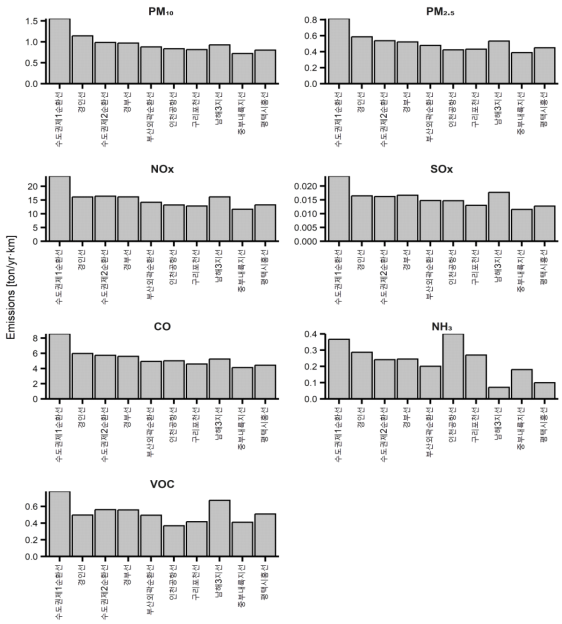
CHAPTER 2. 고속도로 대기오염 배출량 산정

01 배출량 계산 프로그램을 사용한 배출량 산정

고속도로 노선별 오염물질 배출량 순위

- **배출량 산정 프로그램을 사용**
  > 노선별 오염물질 배출량 산정
- **2021 ~ 2023 오염물질 배출량의 총합 ÷ 노선 길이**
  > 오염물질별 배출량 순위 산정
- **각 노선의 오염물질 배출 순위의 총합 ÷ 오염물질 수**
  > 노선별 Total 배출량 순위 산정

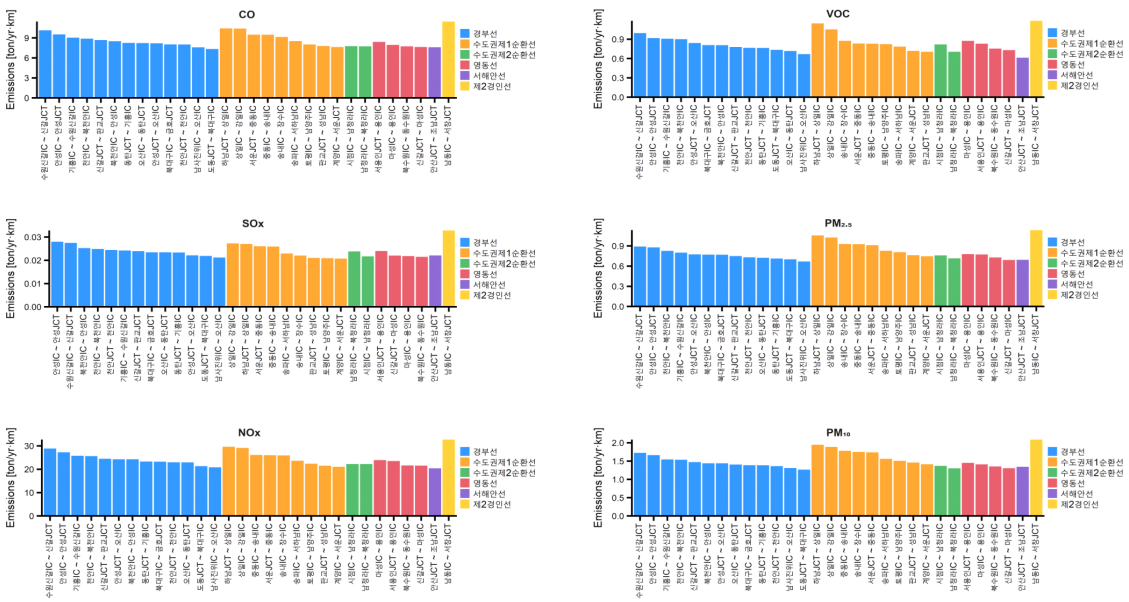
Line_name	PM_{10}	$PM_{2.5}$	NOx	SOx	CO	NH_3	VOC	Total_rank
수도권제 1 순환선	1	1	1	1	1	2	1	1
경인선	2	2	5	4	2	3	6	2
수도권제 2 순환선	3	3	2	5	3	7	3	3
경부선	4	5	4	3	4	6	4	4
부산외곽순환선	6	6	6	6	7	11	7	5
인천공항선	7	9	8	7	6	1	11	5
구리포천선	8	8	9	8	8	4	8	7
남해 3 지선	5	4	3	2	5	34	2	8
중부내륙지선	10	10	10	10	10	12	9	9
평택시흥선	9	7	7	9	9	30	5	10



CHAPTER 2. 고속도로 대기오염 배출량 산정

01 배출량 계산 프로그램을 사용한 배출량 산정

고속도로 구간별 오염물질 배출량

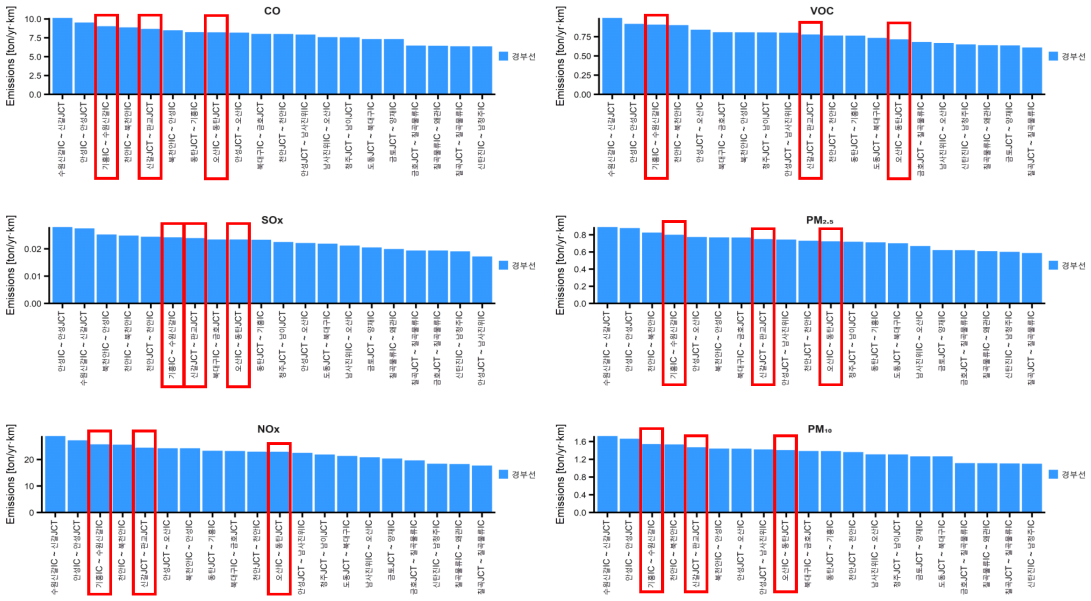


CHAPTER 2. 고속도로 대기오염 배출량 산정

01 배출량 계산 프로그램을 사용한 배출량 산정

고속도로 구간별 오염물질 배출량 - 경부선

- **오산P:** 오산IC ~ 동탄JCT
- **기흥SA:** 기흥IC ~ 수원신갈IC
- **도로변RD:** 신갈JCT ~ 판교JCT
- **서울TG:** 신갈JCT ~ 판교JCT



03 고속도로 대기오염물질 사전 측정

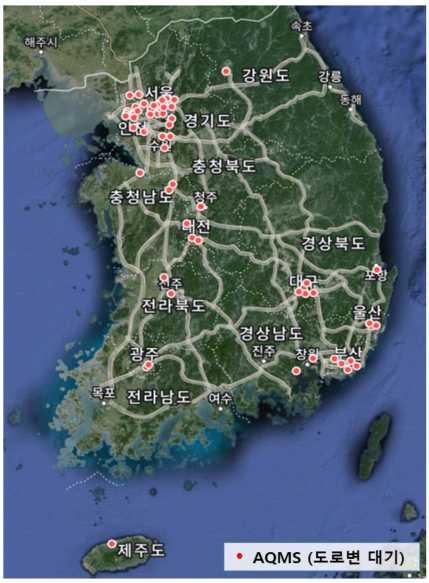


CHAPTER 3. 고속도로 대기오염물질 사전 측정

01 측정지점 선정

고속도로 대기오염 모니터링 적용지점 선정 모니터링 시스템 구축 장소 선정

배출량 산정 결과를 기반으로 고속도로 대기오염 모니터링 적용지점 선정 검토



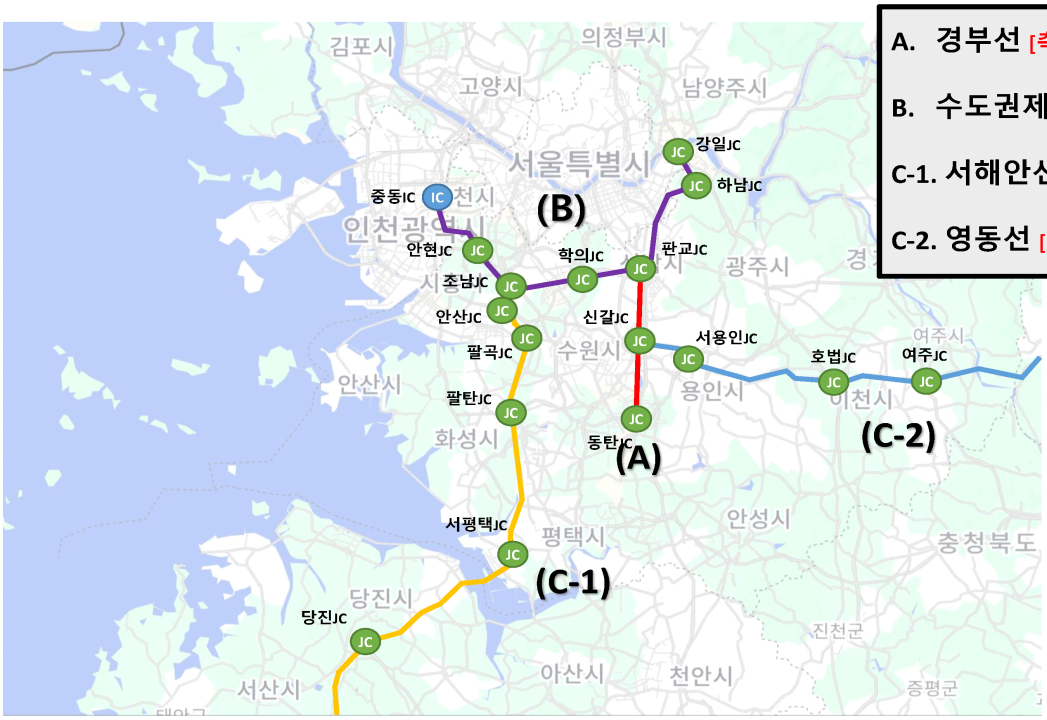
전국 고속도로 및 AQMS 도로변 대기질 측정소 위치

Location*	선정 기준
고속도로변	• 고정오염원의 영향이 없는 곳 • 배경 농도 및 비교 데이터로 활용을 위해 국가 대기오염측정망이 인접한 곳
요금소	• 요금소 이용 차량 대수 • 요금소 및 도로공사 사업장 근무자가 많은 곳 → 차로 수가 많은 곳
휴게소	• 주차면수가 많은 곳 • 푸드코트, 푸드트럭, 흡연부스, 주유소 등이 위치하며, 설치 지점은 고속도로변 및 요금소 측정소와 일정 거리 이상 떨어진 곳
졸음 쉼터	

*3 measuring points per 4 locations (Total 12)

CHAPTER 3. 고속도로 대기오염물질 사전 측정

01 측정지점 선정



A. 경부선 [측정 완료]

B. 수도권제1순환선 [측정 완료]

C-1. 서해안선 [예정]

C-2. 영동선 [예정]

CHAPTER 3. 고속도로 대기오염물질 사전 측정

01 측정지점 선정

IC 나들목 JC 분기점 SA 휴게소 P 졸음쉼터 TG 요금소

A. 판교 – 오산(경부선) : 30km



노선 내 구간별 배출량

#	구간명	Point	연장 (km)	차로수	배출량 기준 총 rank
1	기흥IC ~ 수원신갈IC	기흥SA	10.2	8	8
2	신갈JCT ~ 판교JCT	서울TG, 도로변RD	26	8	9
3	오산IC ~ 동탄JCT	오산P	7.8	8	29

- 사전답사 후 선정된 SA, P, TG 배출량 총 rank 30위 이내에 위치함.

CHAPTER 3. 고속도로 대기오염물질 사전 측정

02 사전 측정

A. 오산 졸음쉼터 (서울방향) (측정일: 24.07.30~24.08.07)

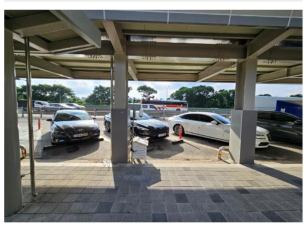


#1 고객쉼터 (Facility)





#2 주차면 (Parking Lot)



#3 배경 (Background)



02 사전 측정

A. 기흥 휴게소 (부산방향) (측정일: 24.08.07 ~ 24.08.16)



#1 입구



#2 주차장



#3 이용시설(실내)

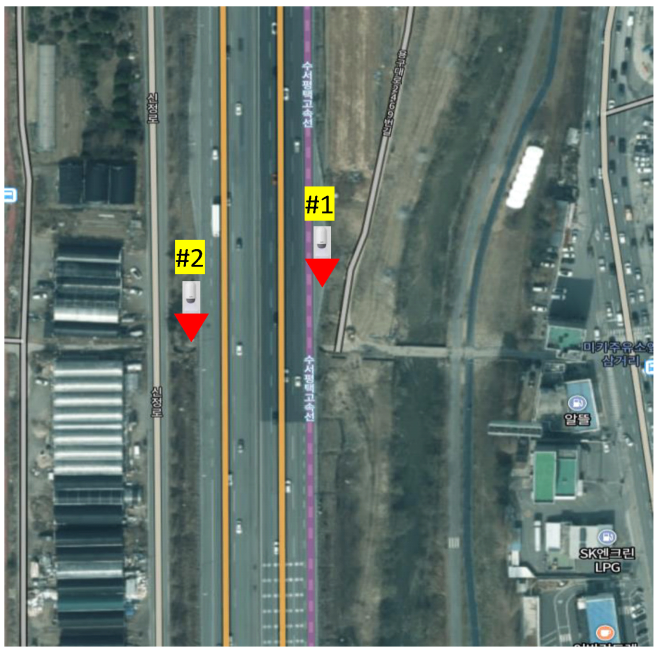


#4 배경



02 사전 측정

A. 도로변 (397.2 지점) (측정일: 24.08.16 ~ 24.08.26)



#1 서울방향



#2 부산방향



#3 배경





02 사전 측정

A. 서울요금소 (측정일: 24.08.30 ~ 24.09.24)



CHAPTER 3. 고속도로 대기오염물질 사전 측정

02 사전 측정

A. 서울요금소 (측정일: 24.08.30 ~ 24.09.24)

#1~#3 부산방향	#4~#6 서울방향	#7 배경
		

04 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과



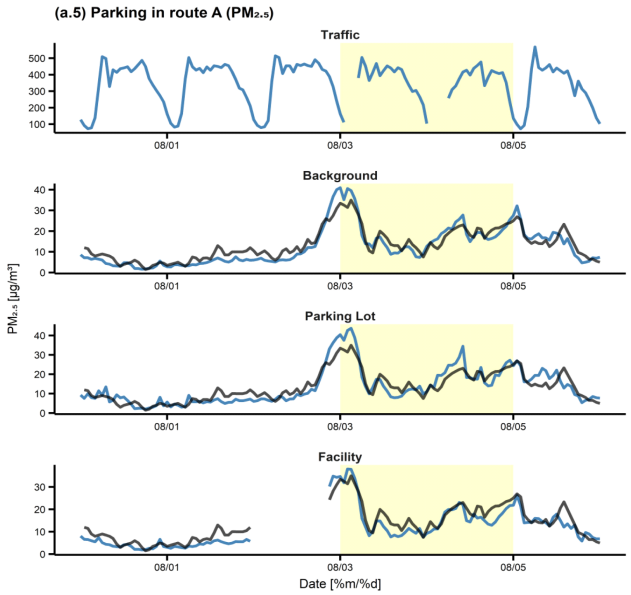
CHAPTER 4. 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과

01 고속도로 지점별 정보 구축

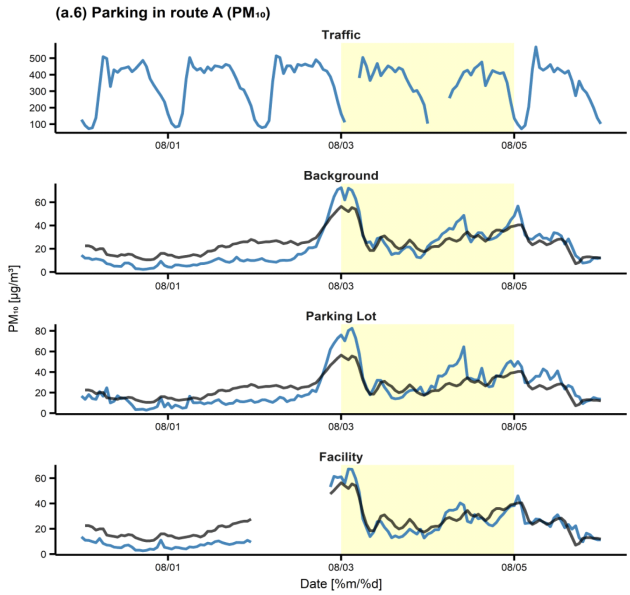
A. 모니터링 장소별 오염물질의 시계열 분석

Blue line: 측정 값; Black line: AQMS; Yellow area: 주말

오산 졸음쉼터 ($PM_{2.5}$)



오산 졸음쉼터 (PM_{10})



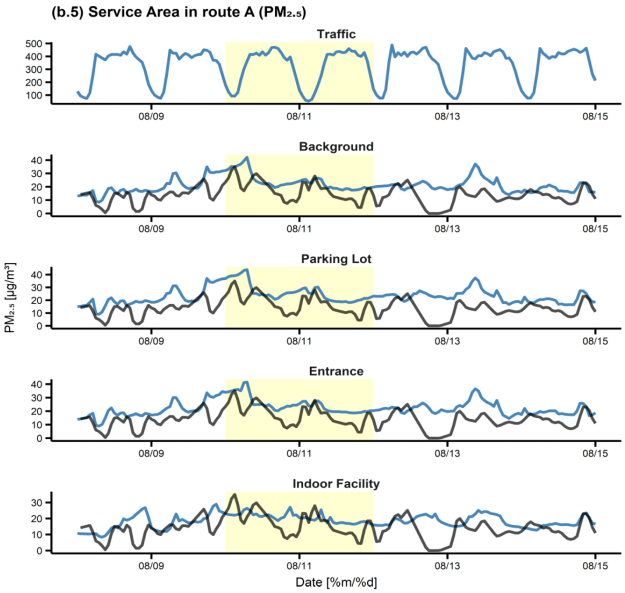
CHAPTER 4. 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과

01 고속도로 지점별 정보 구축

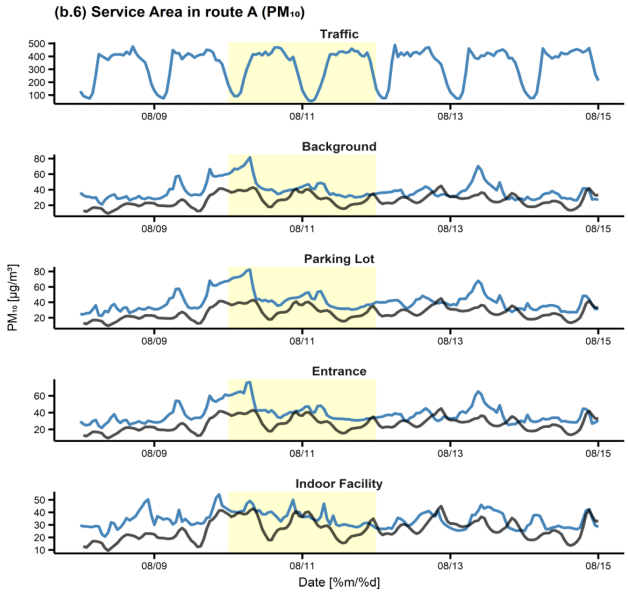
A. 모니터링 장소별 오염물질의 시계열 분석

Blue line: 측정 값; Black line: AQMS; Yellow area: 주말

기흥 휴게소 ($PM_{2.5}$)



기흥 휴게소 (PM_{10})



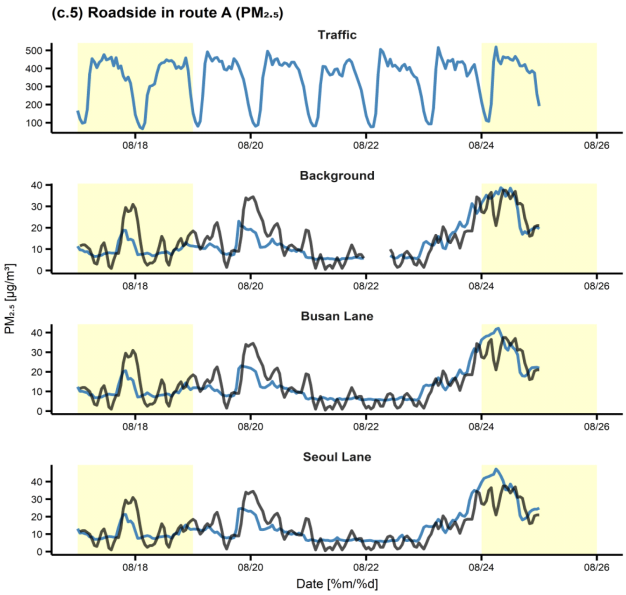
CHAPTER 4. 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과

01 고속도로 지점별 정보 구축

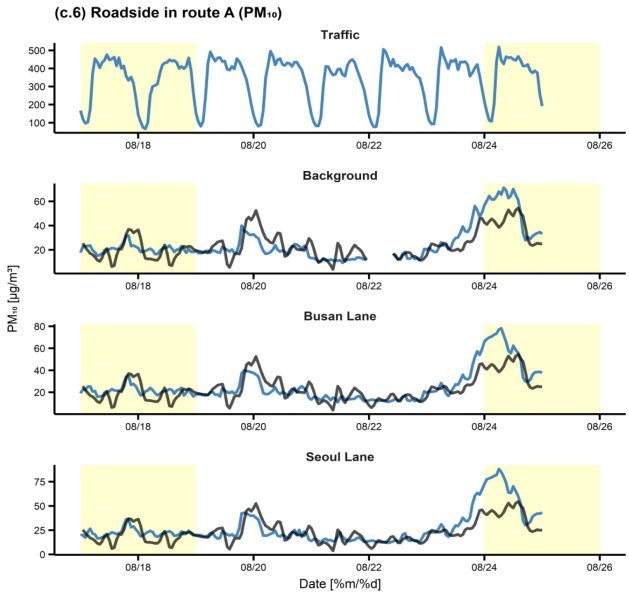
A. 모니터링 장소별 오염물질의 시계열 분석

Blue line: 측정 값; Black line: AQMS; Yellow area: 주말

도로변 ($PM_{2.5}$)



도로변 (PM_{10})



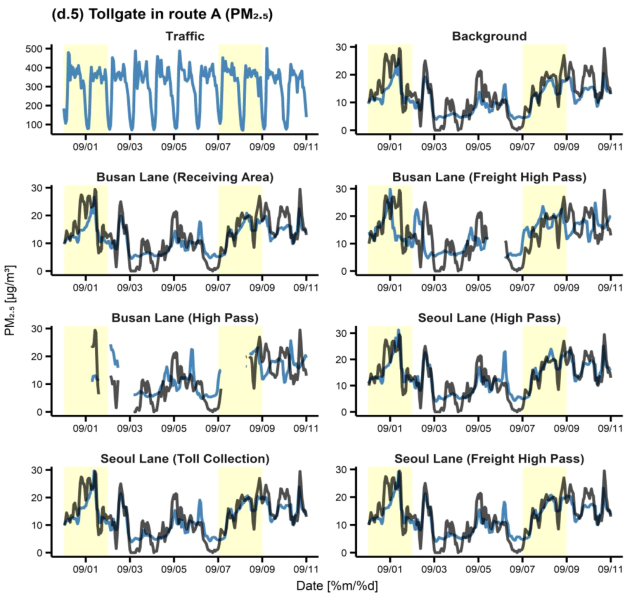
CHAPTER 4. 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과

01 고속도로 지점별 정보 구축

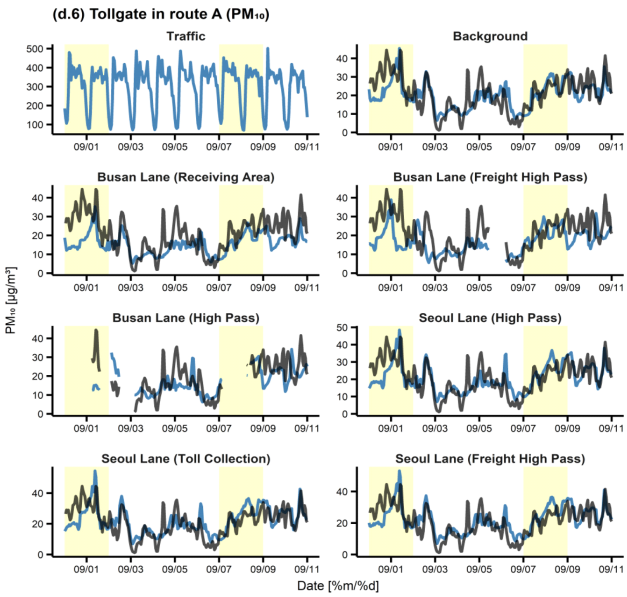
A. 모니터링 장소별 오염물질의 시계열 분석

Blue line: 측정 값; Black line: AQMS; Yellow area: 주말

서울 요금소 ($PM_{2.5}$)



서울 요금소 (PM_{10})



CHAPTER 4. 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과

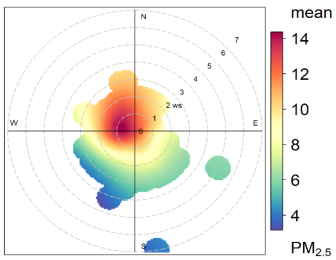
01 고속도로 지점별 정보 구축

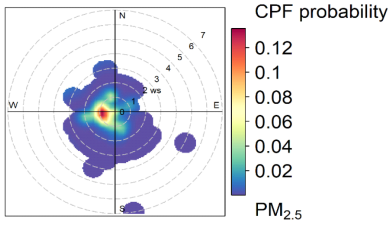
A. 측정지점별 기상인자 영향 (오산 졸음쉼터)



#1 주차장

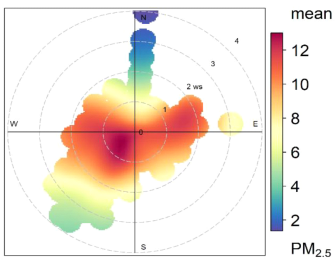


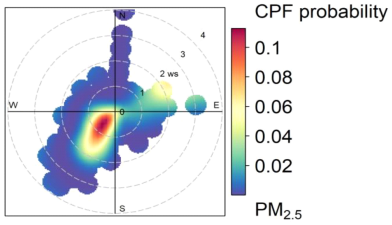




#2 이용시설







CHAPTER 4. 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과

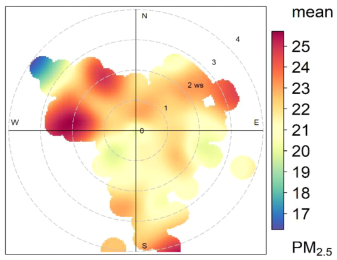
01 고속도로 지점별 정보 구축

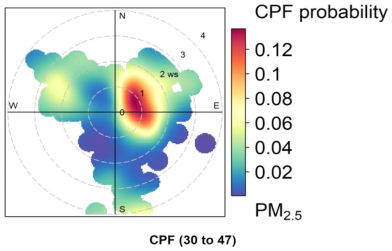
A. 측정지점별 기상인자 영향 (기흥휴게소, 부산방향)



#1 입구

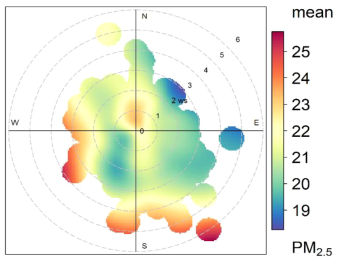


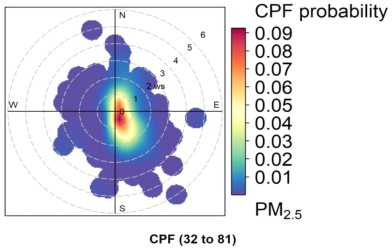




#2 주차장



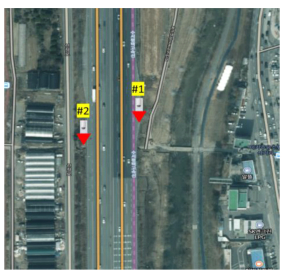




CHAPTER 4. 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과

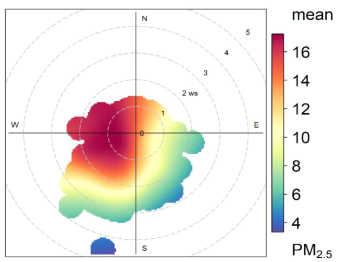
01 고속도로 지점별 정보 구축

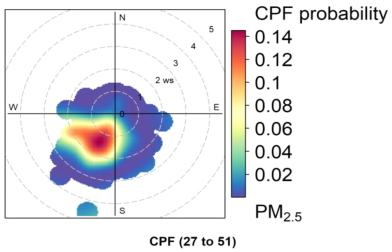
A. 측정지점별 기상인자 영향 (도로변, 397.2 지점)



#1 서울방향

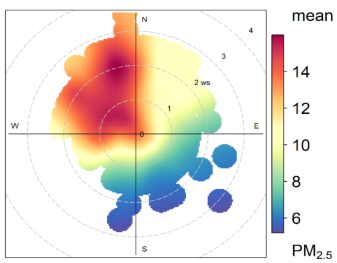


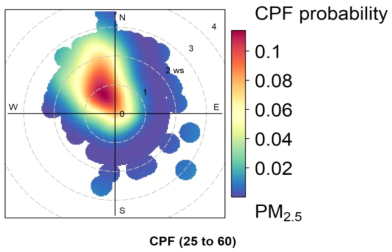




#2 부산방향







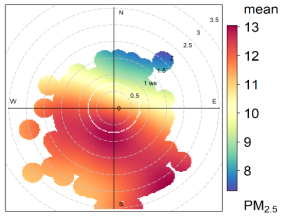
CHAPTER 4. 고속도로 지점별 오염물질 모니터링 결과

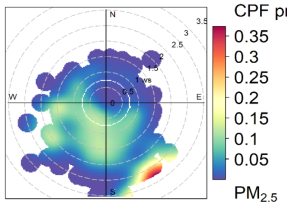
01 고속도로 지점별 정보 구축

A. 측정지점별 기상인자 영향 (서울 요금소)



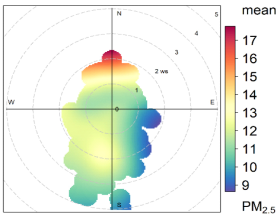
#4 서울방향 (하이패스)

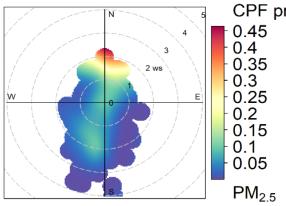




CPF (22 to 68)

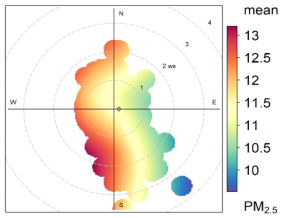
#5 서울방향 (요금수납)

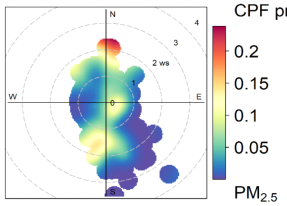




CPF (19 to 97)

#6 서울방향(화물하이패스)





CPF (19 to 36)



Thank You

for your listening 감/사/합/니/다

2

fNIRS를 활용한 철도 및 지하철 이용 승객의 쾌적성 기반 실내환경 연구

이주연 연구원(한국철도기술연구원)

철도 및 지하철 이용 승객의 쾌적성을 위한 fNIRS 기반 적정 풍속 및 풍향 조건 연구

2024. 12. 21

이주연

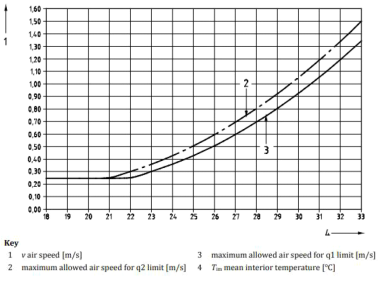
한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

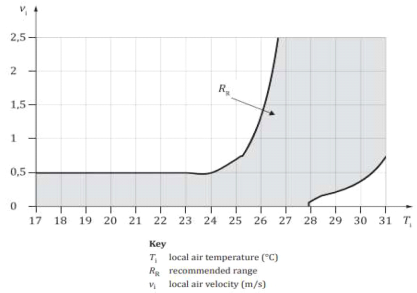
목차

1. 연구 배경
2. 연구 방법
3. 연구 결과
4. 연구 고찰 및 향후 연구 방향

01. 연구 배경







< 고속철도 및 도시철도 시험 규격 - 풍속 곡선 >

- 열차 이용 승객은 적정 쾌적성을 누릴 필요성이 있음
- 고속철도 및 도시철도 시험 규격에 따르면 승객의 편안함 및 쾌적성을 위하여 객차 내부 공기조화장치의 풍속에 대한 제한이 있음
- 그러나 이 기준에 대한 근거는 해당 규격에 명확히 표기되어 있지 않음
- **ASHRAE 55, ISO 7730, PMV, PPD 등 실내 열적 쾌적성 평가 표준 및 기준, 열적 쾌적성 평가 모델, 현장 시험 결과 등에서 기인된 것으로 사료됨**

Ref) EN 13129:2016, ISO 19659-2:2020

01. 연구 배경

- 쾌적성 평가



설문조사



사람의 신체반응

- 기존의 설문조사를 통한 쾌적성 평가는 개인의 감정 및 주변 환경에 따라 편차가 발생할 수 있음
- 쾌적한 실내 환경을 조성하기 위해서는 정량적 인자 분석이 필수적
- 환경 인자의 적절성은 단지 편안함에 의거하는 것이 아닌 작업 수행의 반응으로 평가함

신체 반응에 의거한 쾌적성 평가 필요

01. 연구 배경



EEG
(Electro Encephalo Graphy)



MEG
(Magnetic Encephalography)



fMRI
(functional magnetic resonance imaging)



fNIRS
(Functional Near-Infrared Spectroscopy)

- 낮은 공간해상도
- 고시간해상도
- 고정형
- 고비용

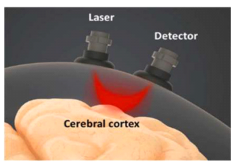
- 비침습적
- 실시간 측정
- 휴대 가능
- 저렴한 비용

01. 연구 배경

- **fNIRS (Functional Near-Infrared Spectroscopy , 기능적 근적외선 분광법)**

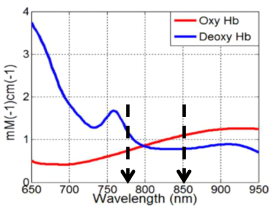
  두 파장의 근적외선 (780nm, 850nm)을 대뇌피질에 조사하여 뇌 혈액 내 산소 포화도 변화를 측정하여 측정 채널 별 분포를 뇌영상으로 표시해 뇌의 활성화를 모니터링 할 수 있게 하는 기술





근적외선 입사와 검출

두피에 위치한 광원으로부터 입사된 근적외선은 피부와 뼈를 쉽게 투과



근적외선 파장대역에서
HbO_2(1) 와 HbR(2) 의 흡광도

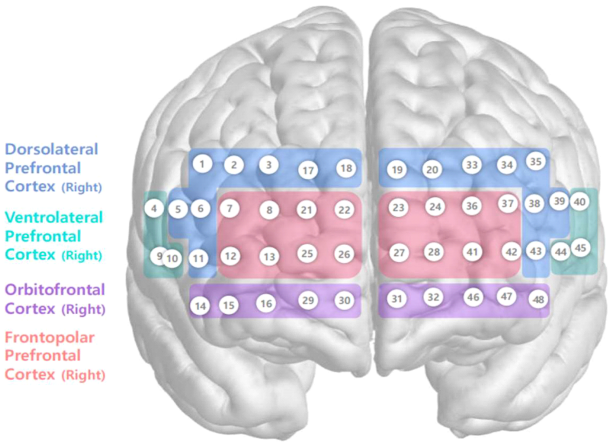
대뇌 피질의 헤모글로빈의 산화 정도에 따라 빛의 세기가 민감하게 변함

(1) Oxy-hemoglobin
(2) Deoxy-hemoglobin

뇌 혈역학적 변화를 비침습적으로 **측정**

01. 연구 배경

- fNIRS (Functional Near-Infrared Spectroscopy , 기능적 근적외선 분광법)
  - Brodmann mapping of NIRSIT Channels



- DLPFC
  - 실행 기능 (Executive function), 작업 기억, 계획, 추론, 문제해결, 충동 억제 등 고차원적인 인지 기능
- VLPFC
  - 언어 처리, 감정 조절, 사회적 판단 관련
  - 언어 이해 및 생성, 주의 조절 등
- OFC
  - 감정 처리, 의사 결정, 보상 평가 등 사회적 행동 관여
  - 감정적인 반응 조절, 보상과 처벌 등
- FPC
  - 고차원적 인지 기능과 관련
  - 자기 성찰, 목표 지향적 행동, 미래 계획 수립 등

7

01. 연구 배경



사람의 신체반응



fNIRS
(Functional Near-Infrared Spectroscopy)

사람의 심리적, 생리적 반응을 고려한 쾌적성 평가를 위하여,
뇌 반응 기반의 적정 풍속 및 풍향 조건 연구

8

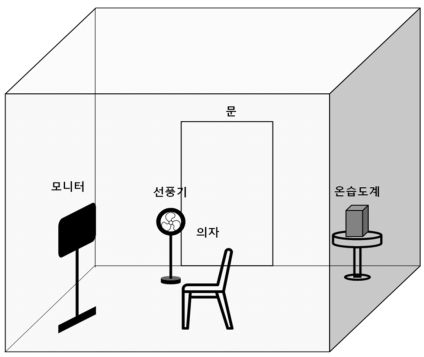
2. 연구 방법

9

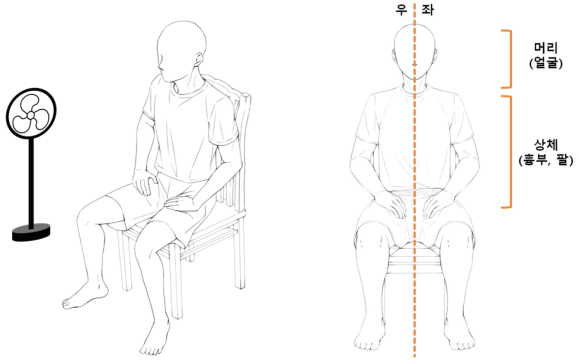
02. 연구 방법

- **연구대상자 :** 20대 ~ 40대 병력 이력이 없는 인원 30명
- **풍속 조건 :** 저속(0.2 m/s), 중속(0.6 m/s), 고속(1.2 m/s)
- **노출 위치 :** 좌/우 – 머리 (얼굴), 상체 (흉부, 팔)

실험 설정 모식도



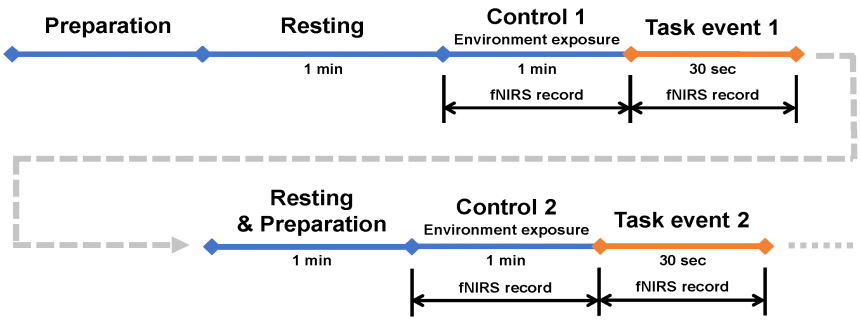
연구대상자 복장 및 조건 노출 위치



10

02. 연구 방법

- 시험 순서도



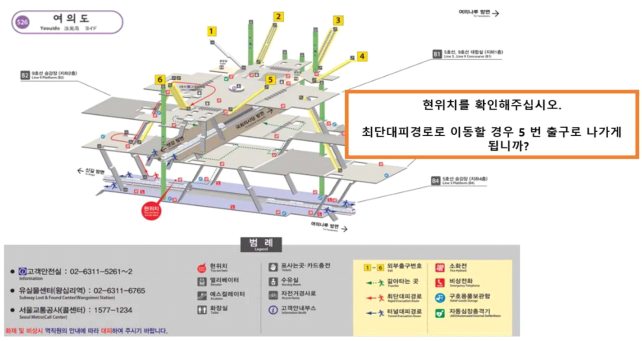
- 연구대상자 별 풍속, 풍향 조건 랜덤화 하여 실험 진행
- **Control :** 풍속 조건에서 바람 노출 위치에 따른 전두엽 활성화 정도를 획득
- **Task event : Task event**를 실시하여 인지 능력 및 질문에 따른 전두엽 활성화 정도를 분석
- 실험 후 쾌적도 설문조사 실시

11

02. 연구 방법

- 연구는 **3회차로 구성** : 1회차 저속, 2회차 중속, 3회차 고속 (회차 당 약 15분/인 수행)
- **Task event**
  - 철도역사 및 지하철 내의 안내도를 보여줌
  - 안내도에 해당하는 정보와 연관된 질문을 제시
  - 질문에 따라 답을 할 때, 뇌의 활성도를 측정

Task event 예시



연구 수행 모습



12

02. 연구 방법

- 데이터 분석 : OBELAB QUEST 분석툴 이용



13

02. 연구 방법

1) Preprocessing

(1) Handling Invalid Values

- Apply nearest-neighbor interpolation (for ≤ 5 in a row)

(2) Channel rejection

- Low intensity threshold: < 30 A.U.
- Coefficient of variation threshold: CV > 15%
- Saturation threshold (% of equal values): > 5%
- Extreme HbO-HbR mirroring ≤ -0.9

(3) Rejected channel padding

- Backup channels
- Brodmann Mean
- Mean of all other channels

(4) Motion artifact correction

- TDDR

(5) Digital Filtering

- Signal to apply: ΔHb
- Filter category: DCT
- Filter type: Bandpass
- Low cutoff frequency: 0.005 Hz
- High Cutoff frequency: 0.1 Hz

14

02. 연구 방법

2) GLM (General Linear Model)

- **Subject-level Block Averaging**
  - Autocorrelation Removal : AR-IRLS
  - 연구대상자별 Contrast vector 추출

- **Group-level Statistics**
  - One-sample t-test
  - One-way Repeated Measures ANOVA

15

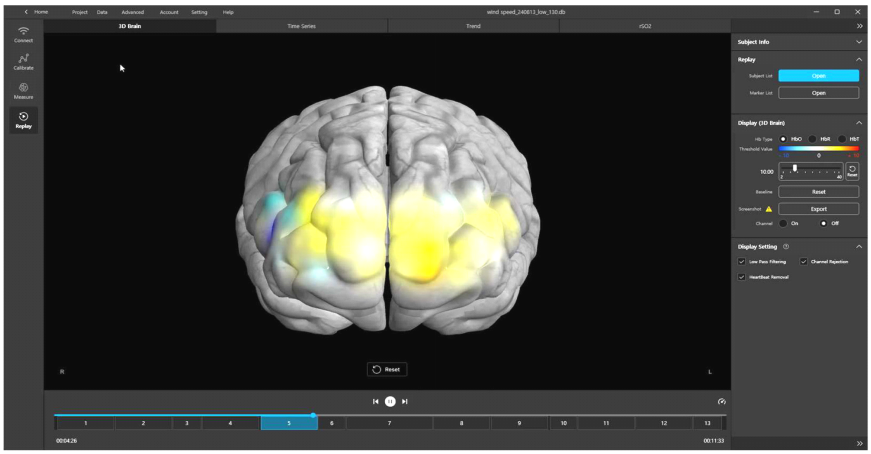
3. 연구 결과

16

03. 연구 결과

- 측정 예시 (동영상)

  - Control 후 Task event 시 brain response

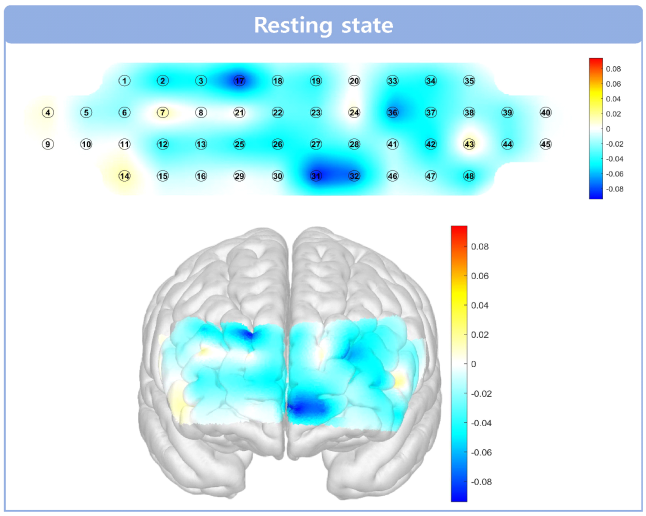


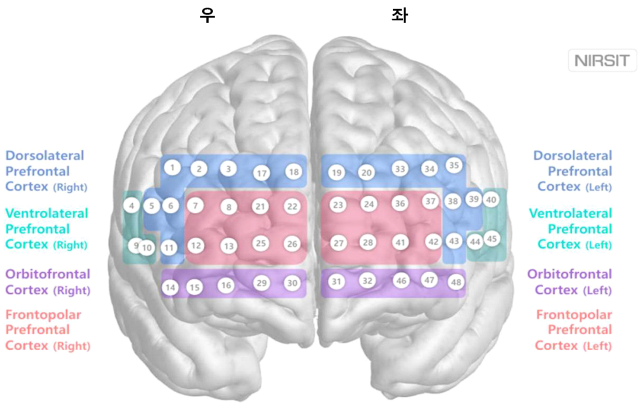
17

03. 연구 결과

1) 풍속에 따른 뇌 반응

- Resting state



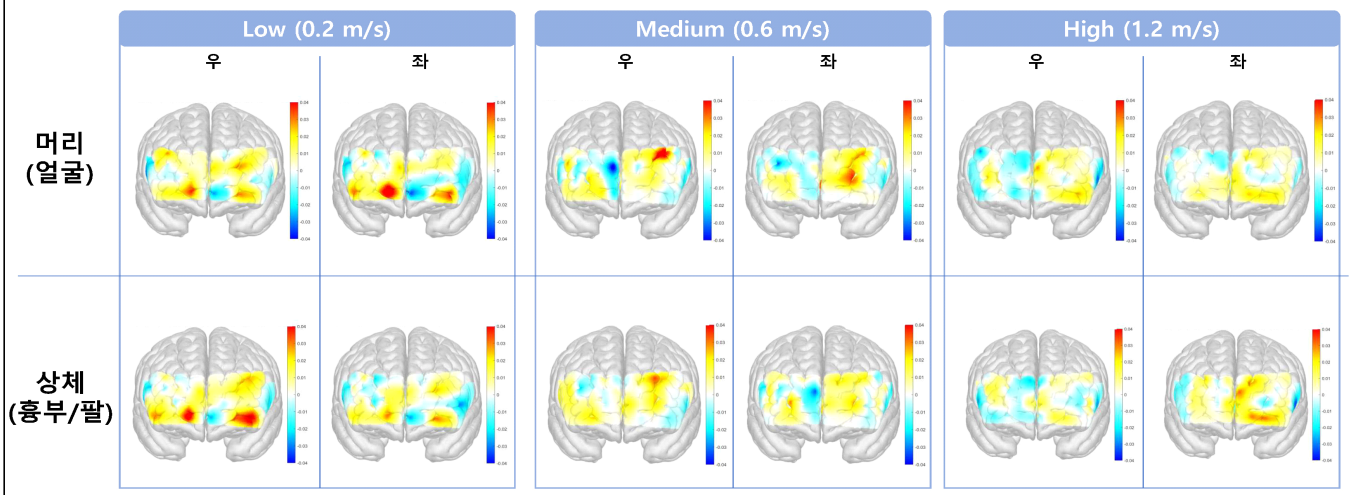


18

03. 연구 결과

1) 풍속에 따른 뇌 반응

- Control (wind speed)

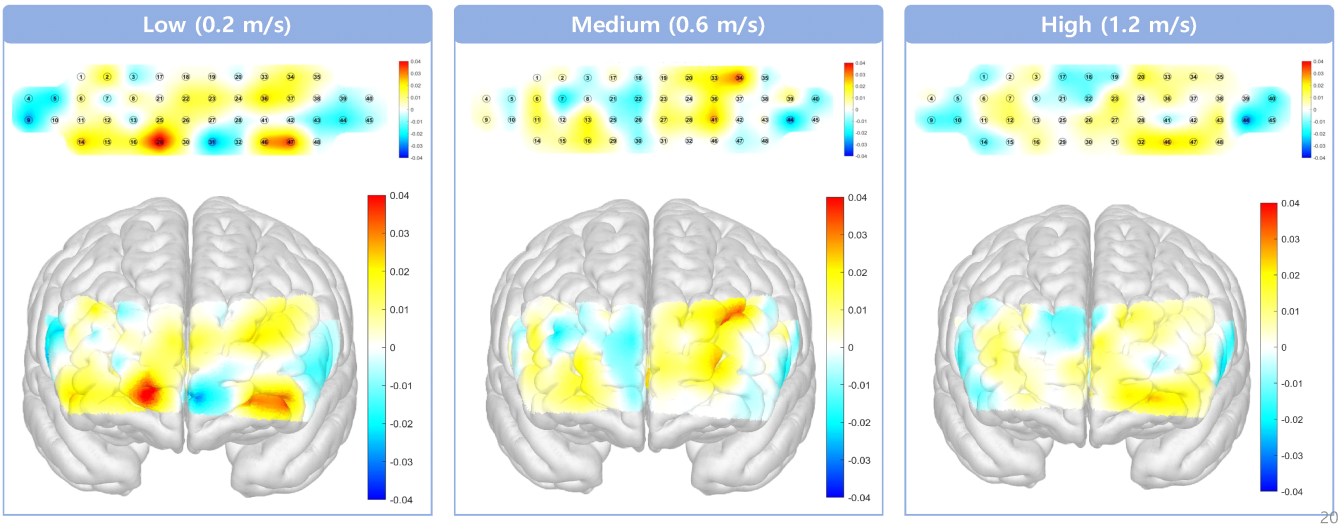


19

03. 연구 결과

1) 풍속에 따른 뇌 반응

- Control (wind speed)

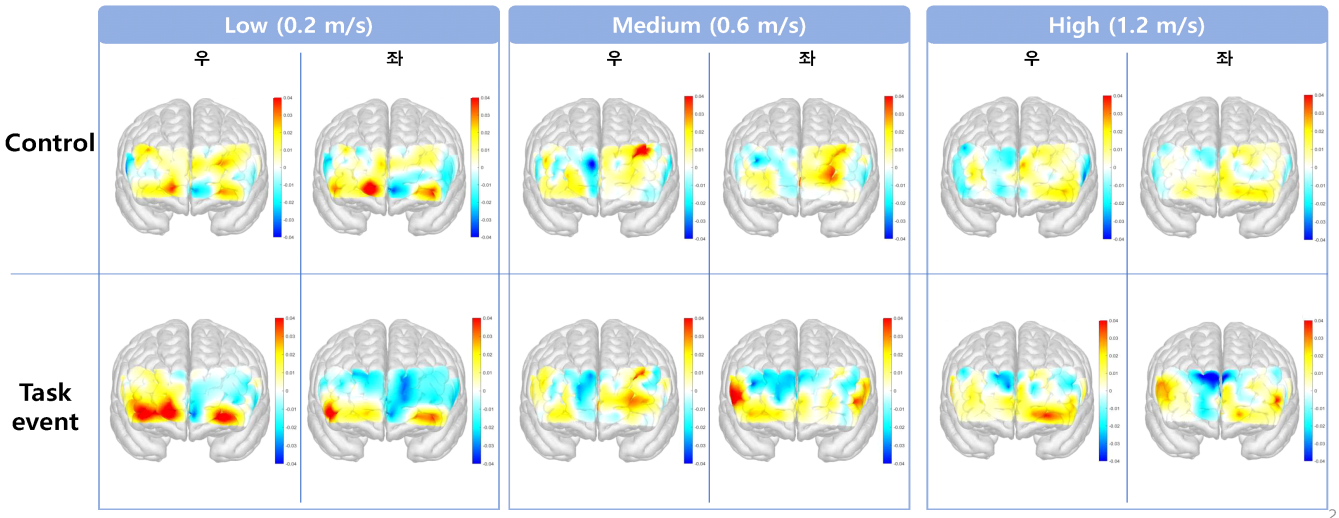


20

03. 연구 결과

2) 인지 반응에 따른 뇌 반응

- 머리(얼굴) 방향일 때 Control – Task event

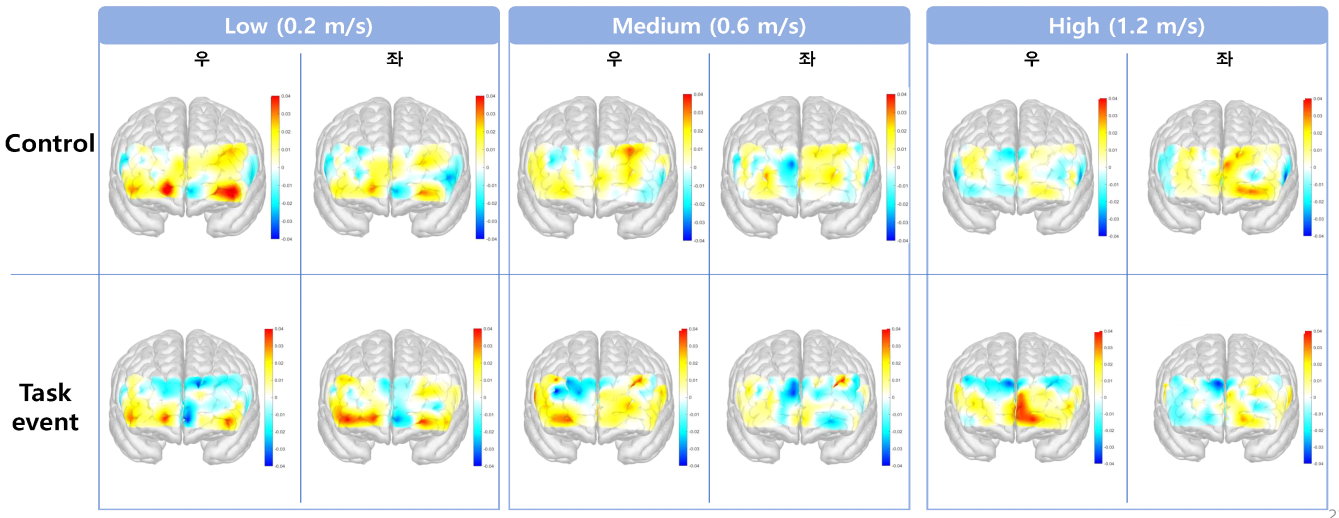


21

03. 연구 결과

2) 인지 반응에 따른 뇌 반응

- 상체(흉부/팔) 방향일 때 Control – Task event

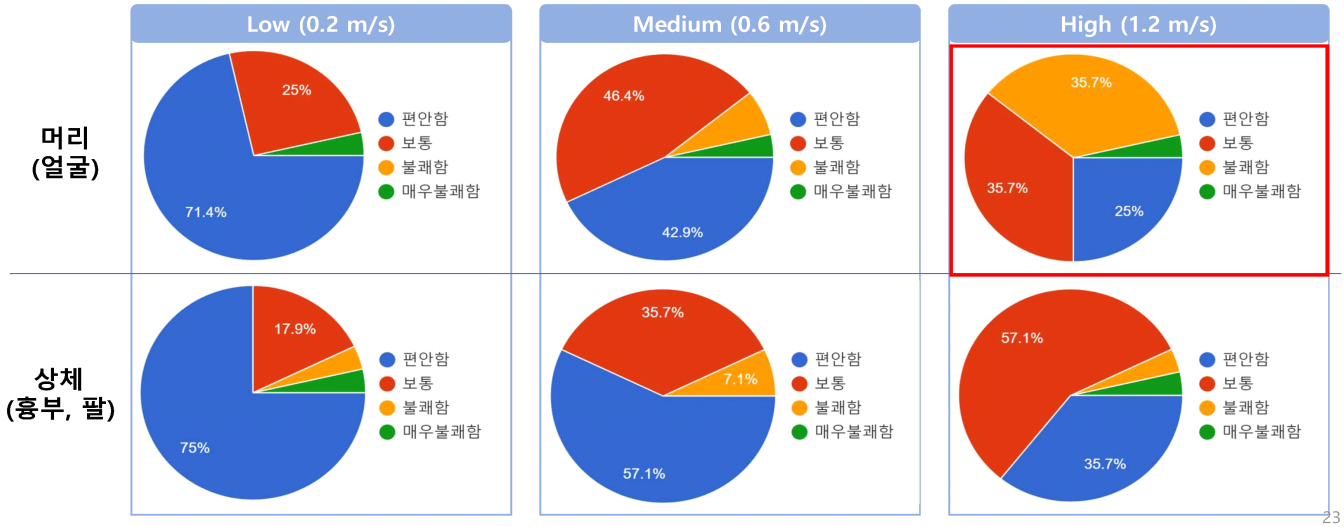


22

03. 연구 결과

3) 풍속/풍향에 따른 쾌적도

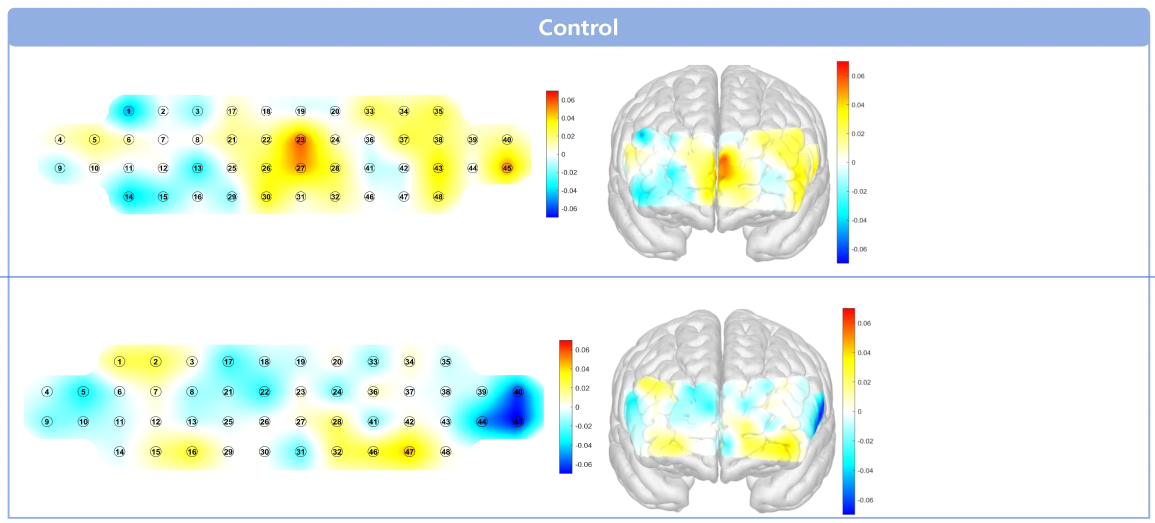
- 설문조사 결과



03. 연구 결과

4) 쾌적도에 따른 뇌 반응

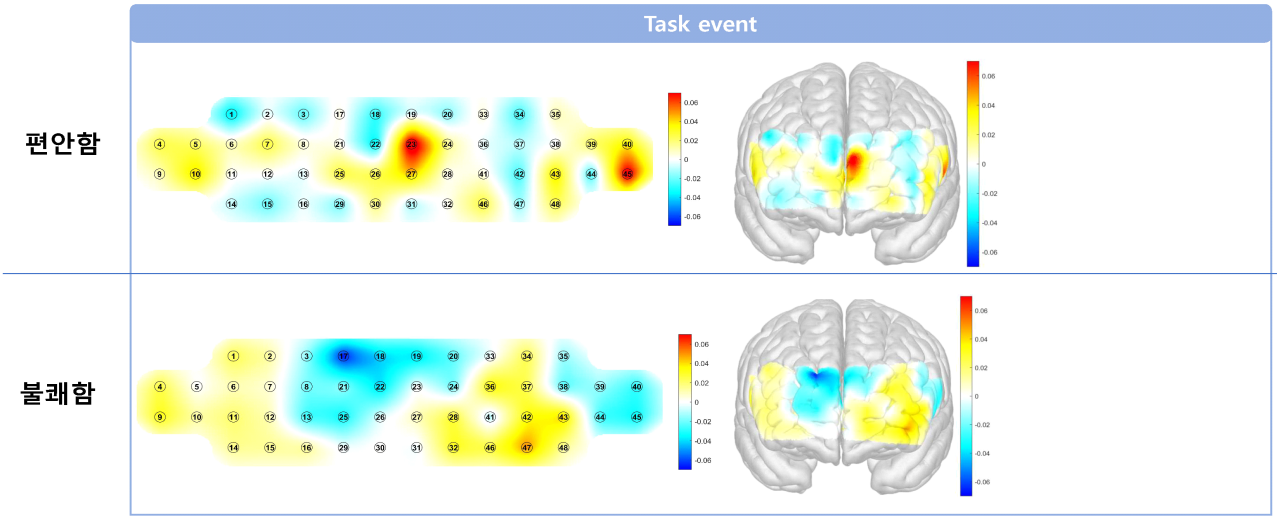
- High(1.2 m/s) , 머리(얼굴) 조건 에서의 뇌 반응



03. 연구 결과

4) 쾌적도에 따른 뇌 반응

- High(1.2 m/s) , 머리(얼굴) 조건 에서의 뇌 반응



25

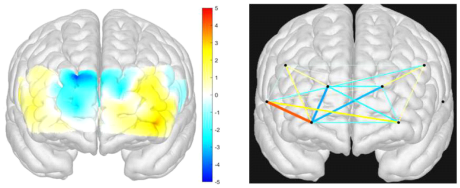
4. 연구 고찰 및 향후 연구 방향

26

04. 연구 고찰 및 향후 연구 방향

- 풍속 및 풍향 조건에 따른 뇌 반응 및 인지 반응 확인
- 풍속 및 풍향 조건에서 쾌적도에 따른 뇌 활성도
- 바람 노출 방향(좌/우), 위치(머리/상체)에 따른 뇌 반응
- 채널 간 연계 작용(Connectivity)

Brain response, Connectivity



풍속/풍향 별 쾌적도에 따른 뇌 반응 경향

뇌 반응에 따른 쾌적도 평가 방안 도출

27

감사합니다.

28

memo

memo