

지역 PM_{2.5} 특성조사를 위한 연구교류 세미나

I

추진배경

- PM_{2.5}에 대한 개선정책 수립을 위해 기초자료 조사가 수행되고 있으며, 최근에는 AMS나 ACSM과 같은 첨단 장비를 활용한 연구가 추진되고 있음
- 충남지역에서는 서산에 위치한 충청권 대기환경연구소에서 첨단장비를 활용한 PM_{2.5} 자료를 생산하고 있으나 지역 연구 인력의 부족과 첨단장비에 대한 이해부족으로 관련 정보가 적절히 활용되지 못하고 있음
- KIST는 국내 최대 연구기관으로 대기질을 모니터링할 수 있는 최첨단 장비를 다수 보유하고 있으며, 연구 인력 또한 풍부하여 관련 연구를 다수 수행하고 있음
- 이에 KIST와의 연구교류와 현장방문을 통해 연구사례를 조사하고, 장비 운영 및 데이터 해석 노하우를 전달받는 연구교류 세미나를 추진하고자 함

II

추진목적

- 유관기관간 인적 네트워크 구축
- 각 기관별 업무추진 현황 공유 및 공동연구방안 모색
- 최첨단 대기분야 측정분석 시스템 및 이동관측차량 견학 및 시연

III

기대효과

- 도 내 전문인력의 연구역량 강화
- 최신 연구동향 파악을 통한 지역 연구에 반영
- 공동 연구를 통한 충청남도 대기환경관련 유관기관의 역량 강화

IV 행사개요

- 지역별 PM_{2.5} 측정분석을 통한 기여도 분석방법 공유
- 일시 : 2023년 3월 7일(화) 15:00 ~ 8일(수) 12:00
- 참석 : 충남연구원, 한국과학기술연구원
- 장소 : 한국과학기술연구원 L3534A
- 참석인원 : 김종범 책임연구원 외 10명

V 세부일정

시 간	내 용	
3월 7일 (화)		
15:00~15:05	개회사	배귀남 단장 (한국과학기술연구원)
15:05~15:10	환영사	김경환 선임연구원 (한국과학기술연구원)
15:10~15:20	참석자 소개	김종범 책임연구원 (충남연구원)
15:20~16:00	충남연구원 연구추진 현황 및 충남지역 PM _{2.5} 연구사례	김종범 책임연구원 (충남연구원)
16:00~16:40	KIST 지속가능환경연구단 연구사례 및 첨단장비를 활용한 연구사례 공유	김경환 선임연구원 (한국과학기술연구원)
16:40~17:20	열역학 모형을 활용한 에어로졸 특성화 연구사례 공유	서지훈 박사후연구원 (한국과학기술연구원)
17:20~17:50	종합토의	김종범 책임연구원 (충남연구원)
17:50~18:00	마무리	
3월 8일 (수)		
09:00~10:30	KIST Lab tour	김경환 선임연구원 (한국과학기술연구원)
10:30~11:50	지역 PM _{2.5} 특성분석 연구를 위한 공동연구방안 논의	
11:50~12:00	마무리	

【별첨 1】

참석자 명단 (11명)

	소 속	직 위	이 름
1	충남연구원 (3)	책임연구원	김종범
2		연구원	황규철
3		연구원	송한결
4	한국과학기술연구원 (8)	선임연구원	김경환
5		박사후연구원	서지훈
6		인턴연구원	최수연
7		인턴연구원	이원재
8		박사과정생	이석현
9		학연실습생	안현준
10		학연실습생	최훈
11		학연실습생	권재은

충남연구원 연구추진 현황 및 충남지역 대기질 관련 연구사례

2023. 3. 7

김 종 범, 황 규 철, 송한결

충남연구원 서해안기후환경연구소





CONTENTS

1. 충청남도 대기환경 이슈
2. 충남연구원(서해안기후환경연구소)
3. 충남연구원의 역할
4. 연구사례 소개





1. 충청남도 대기환경 이슈

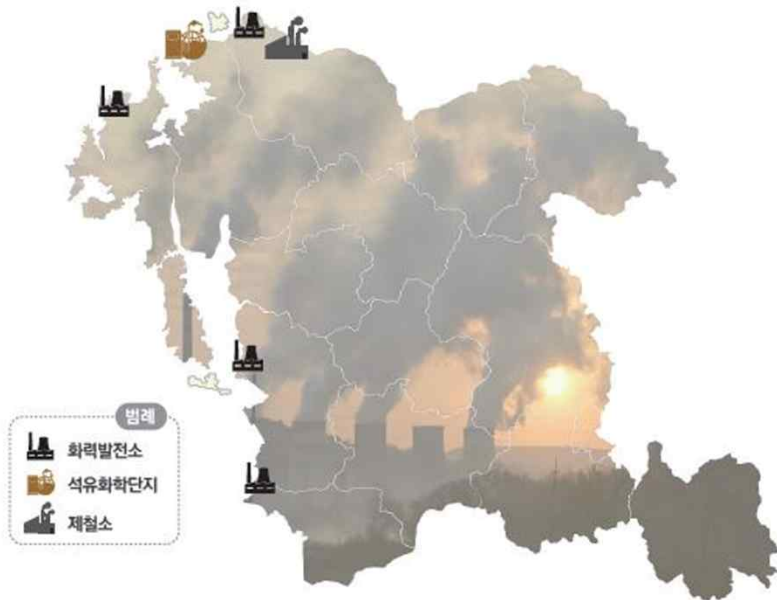


1. 충청남도의 대기환경 이슈



충청남도의 지역·환경적 여건: 편서풍 지대에 위치하여 중국의 영향, 실 틈 없는 오염벨트 지역

- 지리적 여건 : 중국발 미세먼지는 대륙고기압 중심이 남쪽으로 이동하거나 북서풍이 강할 때 국내 유입됨
- 환경적 여건 : 석탄화력발전소(당진, 보령, 태안, 서천), 대산 석유화학단지, 현대제철소 등 다수의 대형배출시설 위치



1

지리적 영향

편서풍 지대
장거리 이동 대기오염물질
중국발 황사의 영향

2

환경적 영향

전국 석탄화력발전소의 1/2 위치
전국 3대 석유화학단지 위치
실 틈 없는 오염벨트(자체+외부영향)

3

끊임없는
사건사고와
보도자료

한화토탈 유증기 사고 등 지속적 화학사고
대기오염물질 배출급증(KORUS-AQ)
주민들의 우려와 정부에 대한 불신 증가

복합적인 환경문제 발생

주민 건강 보호와 대기환경 개선을 위한 대기 관리 대책 마련이 시급



1. 충남연구원(서해안기후환경연구소)



2. 충남연구원(서해안기후환경연구소)



충남연구원(ChungNam Institute)

충남연구원은 **충남**을 연구합니다

● 미션

- ✓ 도민이 행복한 지역발전을 위한 정책개발 · 활용

● 목표

- ✓ 미래정책 선도발굴
- ✓ 도민참여 연구 추진
- ✓ 이슈과제 지원 확대
- ✓ 통합조직 역량 강화

● 구성

- ✓ 5실 1단으로 구성
- ✓ 약 160여명 근무
- ✓ 전국 3위 규모의 지역정책 연구기관(1위 서울, 2위 경기)



2. 충남연구원(서해안기후환경연구소)



충남연구원(ChungNam Institute)

기획경영실	사회통합연구실	경제·산업연구실
기획조정과 - 연구기획, 연구조정, 연구결과 평가 - 사군 정책협력단 사업 활성화 - 연구성과 홍보 및 출판사업 등 각종 매체 관리 - 연구정보 및 자료 수집, 관리 인사복지과 - 중장기 연구인력 계획 수립 - 인사관리시스템 관리 - 연구원 역량 및 자기개발 지원 - 복지 증진 사업 발굴 및 확대 경영지원과 - 대의협력 및 대내행사 지원 - 규정·규칙 관리 - 청사관리 - 전산 및 정보관리 재무회계과 - 복식부기 회계처리 및 법인 결산 - 공익법인 세무이행사항 및 납세 협력사업 - 운영자금 관리 및 지출·출납에 관한 사항	- 포용사회로의 전환을 위한 연구기반 확충 - 기존 행정복지분야 연구기능과 사회적경제, 공동체 등에 대한 연구기능을 통합·운영함으로써 지역사회에 대한 밀착연구 추진	- 행복한 성장기반 마련 - 제조업중심에서 소상공인 등의 서비스업, 관광·해양신산업, 미래 농업 등의 새로운 먹거리와 일자리 창출기반 마련 연구
	지역도시·문화연구실	공간환경연구실
	- 지역의 균형발전 정책 발굴 체계구축 - 도시와 농촌에 대한 삶의 공간으로서의 정책발굴과 문화와 예술을 통한 특성화 된 지역창출로 새로운 균형발전 모델 발굴	- 지속가능한 발전 기반 마련 - 국토·도시계획과 환경계획·정책을 연계하여 충청남도의 지속가능한 발전을 위한 통합적 연구기반체계구축



정책사업지원단
충남서해안기후환경연구소 - 기후변화대응 정책개발 및 지원 - 물관리정책 모니터링 및 홍보 - 서해안지역 환경 모니터링 기후변화대응연구센터 - 온실가스 감축지원 및 배출권 거래제 대응 - 충남 기후변화대응 지원 및 모니터링 - 연안 및 해안지역 모니터링 물환경연구센터 - 수계별 수질환경 용량 및 오염실태 등 기초조사 - 물관합관리 정보시스템 운영 및 관리 - 수질오염총량관리 계획수립 및 이행평가 - 물 환경 관련 정책방향 연구 및 도내 현안 컨설팅 교육운영팀 - 충남 기후변화대응 인식제고 교육 및 네트워크 구축
충남공공디자인센터 - 충청남도 디자인 정책 및 사업발굴 연구 - 사군 및 공공기관 대상 공공디자인실현 무상지원 - 가이드라인, 매뉴얼 등 공공디자인 기준 마련 - 도 및 시·군을 대상으로 한 교육 및 워크숍 개최 충남경제동향분석센터 - 경제위기대응시스템 구축 및 운영 - 충남지역 경제동향 전문지인 월간 "충남경제"발행 - 충남 경기종합지수 개발 및 작성 충남경제교육센터 - 초·중·고등학생 대상 경제교육 제공 - 취약 소외계층 대상 경제교육 제공 - 도민 맞춤형 경제교육 제공 - 경제교육 프로그램 개발 및 경제교육 전문강사 육성 충남농업6차산업센터 - 충남 농업6차산업의 홍보 및 확산·보급 활동 - 충남 농업6차산업 경영체 모니터링 및 컨설팅 지원 활동 - 충남 지역순환농식품체계(로컬푸드) 구축 및 지원 활동 - 농업6차산업의 모델 개발 연구 활동
충남재난안전연구센터 - 재난, 안전사고의 체계적 분석과 연구 - 안전문화 정책과 의식제고를 위한 안전기반사업 강화 - 도내 재난안전 DB구축과 빅데이터 분석 충남마을만들기지원센터 - 마을만들기 시책개발 및 조사, 분석 연구 - 상담지원, 의견제출, 교육 등 - 홍보 및 민간조직 구축 운영 충남어촌특화지원센터 - 어촌6차산업융복합 지원조사 및 충남형 어촌 특화 네트워크 구축 - 도내 어촌마을 대상 연구개발, 창업 및 경영 컨설팅 - 특화상품 판로 확보 충남도시재생지원센터 - 충청남도 도시재생지원센터 설치 및 운영 - 도시재생대학 운영 - 도시재생 뉴딜사업 모니터링 및 정책 방향 제안

충남공공투자관리센터

- 도내 재정사업의 발굴 및 지원
- 투자사업 재무성 및 경제성 검토, 검증을 통한 합리적 사업 추진 도모
- 지방재정투자 타당성 조사 및 예비 타당성 조사, 재조사 연구지원

2. 충남연구원(서해안기후환경연구소)



서해안기후환경연구소



설립목적 (2015. 3 개소)

- 충청남도 산하 지방출연기관인 충남연구원 부설 연구소
- 충청남도와 서해안 연안의 기후변화 대응 기반을 조성
- 환경보전을 통한 지속가능한 발전 도모

주요연구분야

- 기후변화 정책지원
- 에너지·온실가스 관리
- 기후변화적응대책 수립
- 연안환경관리
- 기후변화 모니터링
- 녹색경영지원

☑ 직원 연락처 기후대기 + 연안환경 (기후센터 15명)

성명	직책	담당업무
오혜정	연구소장	
윤종주	기후변화대응연구센터 센터장	해양환경 관리 및 대응 정책 수립 연구, 연안방재 연구 등
이상신	기후변화대응연구센터 전임연구위원	기후변화대응연구센터 총괄, 기후변화 적응 및 완화 관련 연구, 산업단지 주변 기후환경영향 연구, 수자원계획 연구 등
김종범	기후변화대응연구센터 전임책임연구원	대기환경(미세먼지) 연구, 실내공기질 관리 연구 등
최영남	기후변화대응연구센터 초빙책임연구원	마을 대기 측정망 통합대기센터 운영
박세찬	기후변화대응연구센터 초빙책임연구원	충청남도 마을대기측정망 통합정보센터 운영 총괄
송혜영	기후변화대응연구센터 연구원	마을대기 측정망 통합 대기센터 운영
이가혜	기후변화대응연구센터 연구원	마을대기측정 운영, 대기환경
이상우	기후변화대응연구센터 연구원	기후변화, 해양환경
김아람	기후변화대응연구센터 연구원	기후변화, 온실가스
황규철	기후변화대응연구센터 연구원	대기환경연구
이상기	기후변화대응연구센터 연구원	
이아네스	기후변화대응연구센터 연구원	마을대기측정망 운영지원
김민정	기후변화대응연구센터 연구원	마을대기측정망 운영지원
송한결	기후변화대응연구센터 연구원	마을대기측정망 운영
이다혜	기후변화대응연구센터 연구원	행정업무지원



3. 충남연구원의 역할



3. 충남연구원의 역할



■ 충남연구원(서해안기후환경연구소)은 무슨 업무를 하나요?



〈기후변화 영향 조사〉



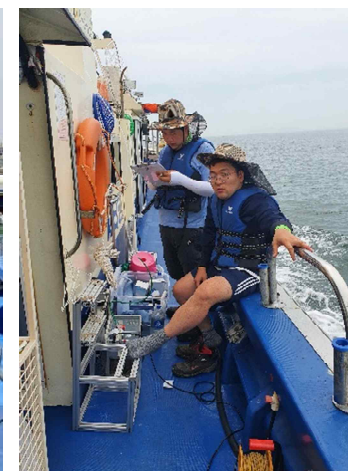
〈대형배출시설 주변지역 대기질 모니터링〉



〈석유화학단지 주변지역 오염도 조사〉



〈선박 배출량 조사〉



3. 충남연구원의 역할



환경연구

원인 조사	· 배출시설에 대한 현장조사, 모니터링, 자료 취합 · 오염물질 누출공정 파악
자료 해석	· 어떤 물질이, 언제, 어디서, 어떻게 나오는지 원인 분석 · 유해물질에 대한 영향파악
기술 개발	· 유해물질에 대한 개선기술 개발(공학적 접근) · 현장적용 및 개선효과분석
정책 개발	· 배출시설이나 환경, 지역에 대한 개선계획 수립 · 계획추진을 위한 조례, 법규 재정
주민 지원	· 주민 의견수렴, 민원 지원, 정책 반영 · 교육 및 홍보

제51주년 지구의 날

2021. 4. 22.(목)
20:00 ~ 20:10

2030 탈석탄
바로 지금, 나부터 2050 탄소중립

전국 소등행사

지구를 위해
잠깐 불을
꺼주세요

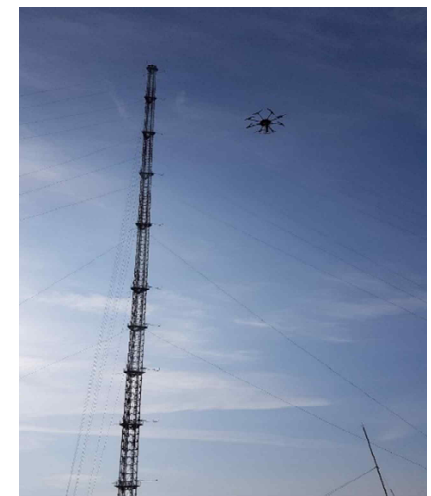
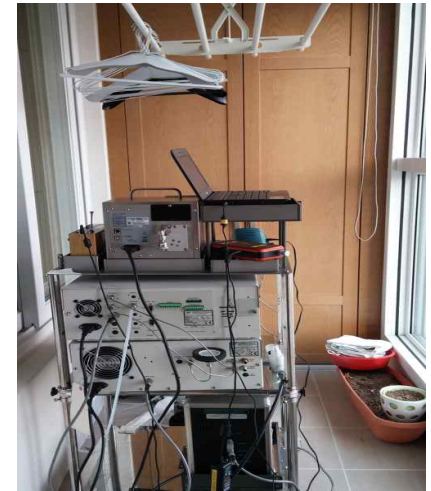
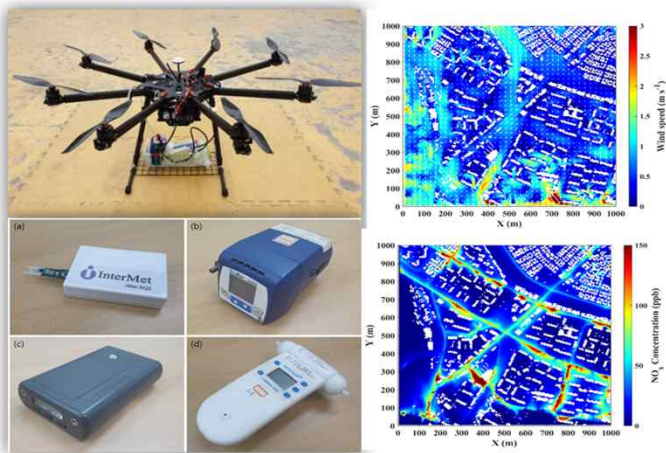
저녁 8시부터 8시10분까지
전국 소등행사가 진행됩니다.

충청남도 충청기후·환경네트워크 충청남도지속가능발전협의회 기후위기충남행동

3. 충남연구원의 역할



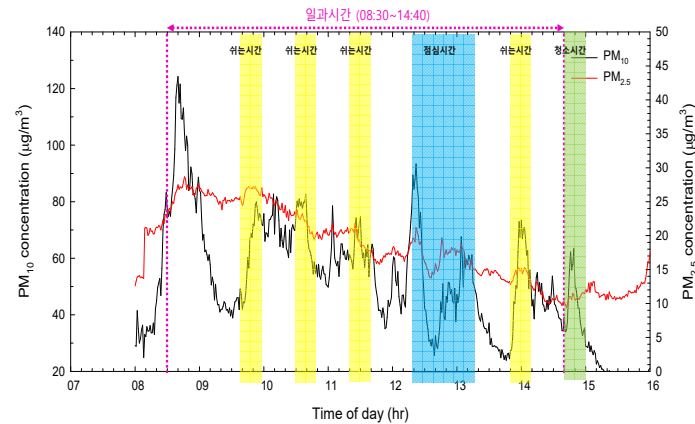
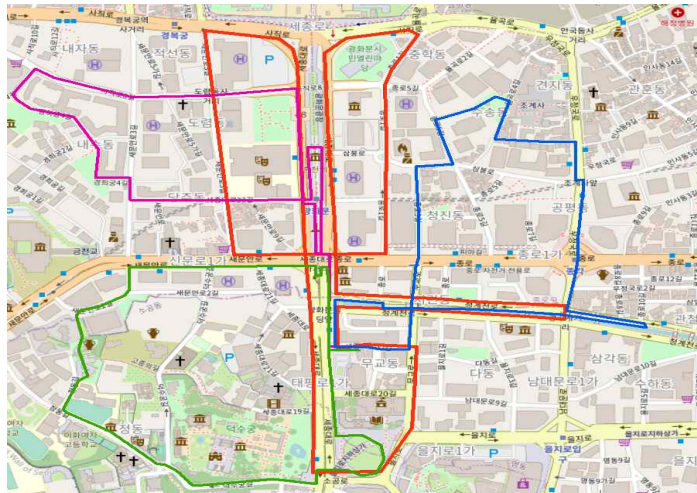
원인 조사: 현장 조사(모니터링) 및 공정 파악



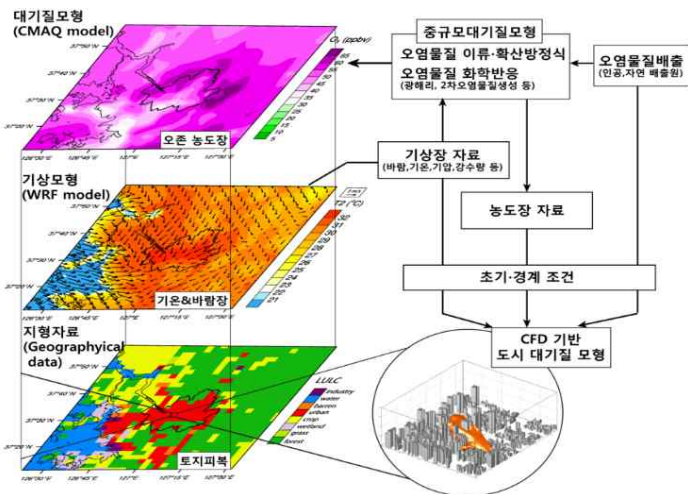
3. 충남연구원의 역할



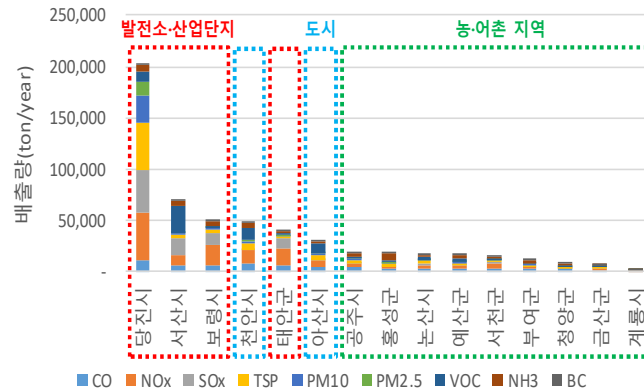
자료 해석: 원인분석 및 영향 파악



※ 오전 출근시간대, 쉬는시간대 PM₁₀ 농도 증가



충청남도 대기오염물질 배출량 순위(2016)



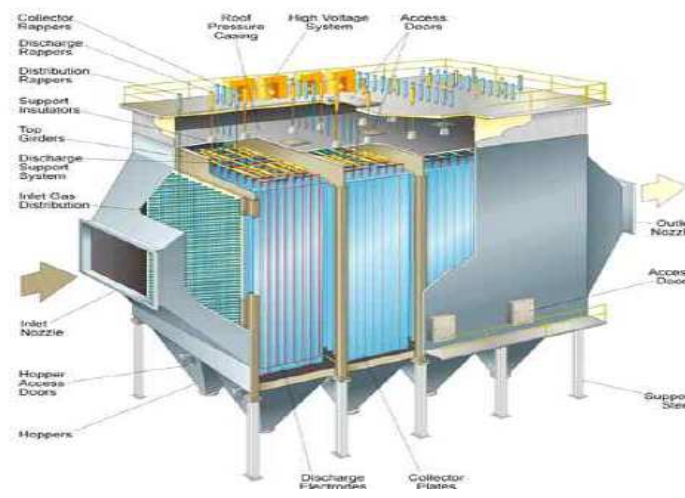
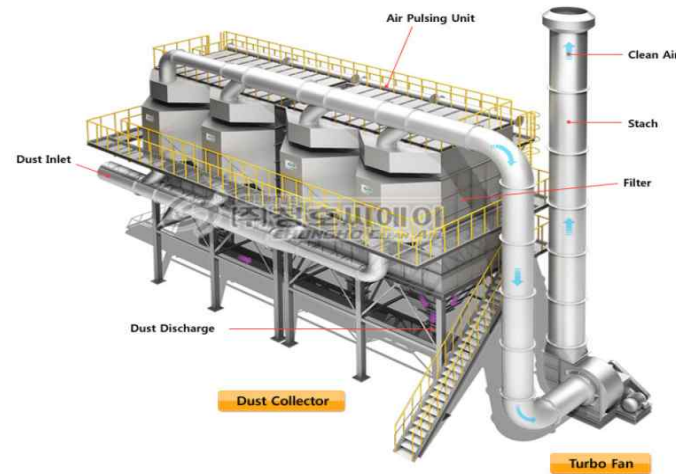
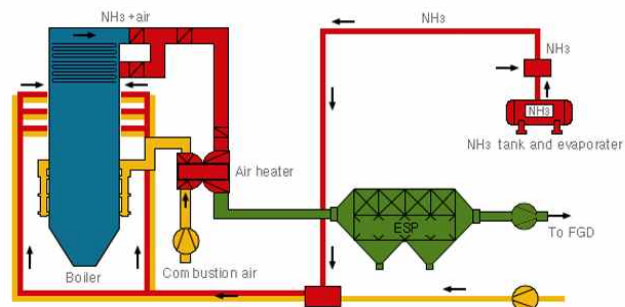
3. 충남연구원의 역할



기술개발: 방지시설 설계/설치/운영



배연탈질공정



3. 충남연구원의 역할



정책 개발 및 주민 지원: 교육, 세미나, 홍보, 의견수렴 등





4. 연구사례 소개

1) 밀폐형 버스정류장의 실내외 대기오염도 분석



1. 연구배경 및 버스정류장 현황



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)

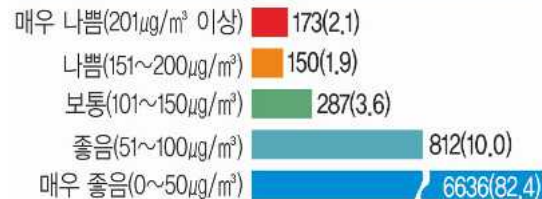
시사 > 전체기사

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

2년 동안 수도권 도로 미세먼지 측정해보니

입력 : 2018-05-15 18:55

2017~2018년 수도권(서울·경기도·인천)
도로 미세먼지 측정 결과 (단위: 도로 수, %)



환경공단, 2017~2018년 조사

일반 미세먼지보다 인체 해롭고 직접 영향

측정 8058곳 중 323곳이 '나쁨 $151\mu\text{g}$ ' 넘어

공사현장 주변은 $1000\mu\text{g}$ 훌쩍... 대책 시급

지자체들, 기준초과에도 도로 물청소 소홀

수도권 일부 도로에서 발생하는 미세먼지가 '매우 나쁨'($201\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상) 수준의 5배가 넘는 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)



미국의 한 연구 결과*에 따르면
자동차 안에서 측정된 초미세먼지 양이
도로변에서 측정된 양보다 2배나 많았다고 해요.

차에 타 창문을 꼭꼭 닫아도
미세먼지가 차량 내부로 침투하기 때문이죠.

그럼 차 안의 미세먼지 수치를
어떻게 줄일 수 있을까요?

*출처: 국제 학술지 대기환경(Atmospheric Environment)

자료 : SBS뉴스(20.02.07)

1. 연구배경 및 버스정류장 현황



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



자료 : 더청라(21.03.09)



자료 : 동아일보(22.06.21)

1. 연구배경 및 버스정류장 현황



지자체의 버스정류장 관리 노력

자료 : 구리시



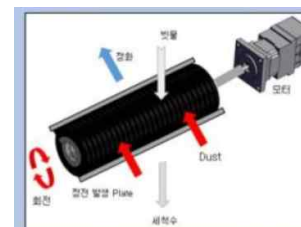
버스정류장 완전개방형 미세먼지 저감시스템

한양대 구리병원 앞 버스정류장 완전개방형 미세먼지 저감시스템 설치
- 버스정류장 외부대기 내부농도 50% 이상 저감

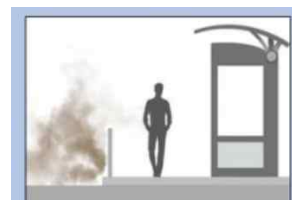


자료 : 부천시 미세먼지 프로젝트

미세먼지 저감 공간 분리형 버스정류장은
공기청정시스템, 공간분리안전펜스,
지능형제어시스템, 태양광 발전으로 구성됩니다.



< 미세먼지 제거용 스크류-브러쉬 모듈 >



< 공간 분리 안전펜스의 도로 미세먼지 유입 차단 >

1. 연구배경 및 버스정류장 현황



지자체의 버스정류장 관리 노력



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



자료 : KICT(21.05.12)



자료 : 성동구청



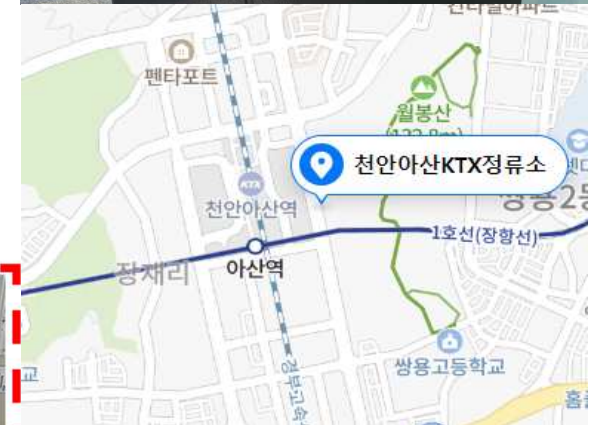
자료 : 쿤(20.12.24)

2. 연구 방법



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}, PM₁₀, 온습도, CO₂
실외 - PM_{2.5}, PM₁₀, 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

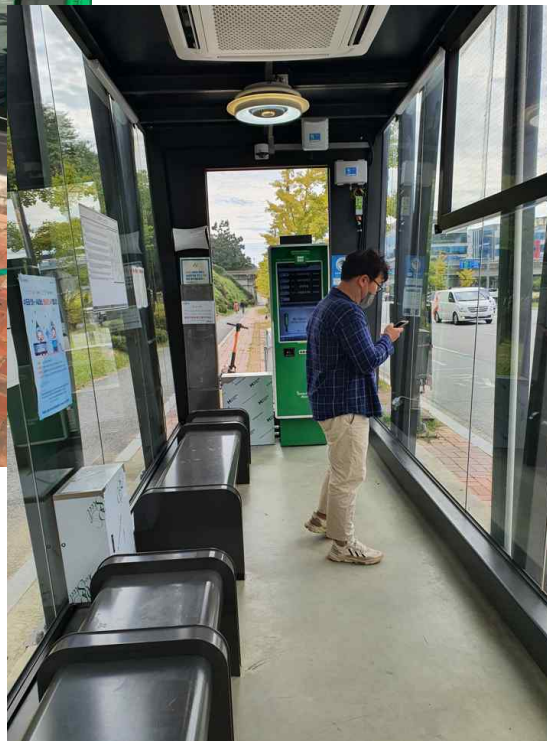


2. 연구 방법



측정장비 현황

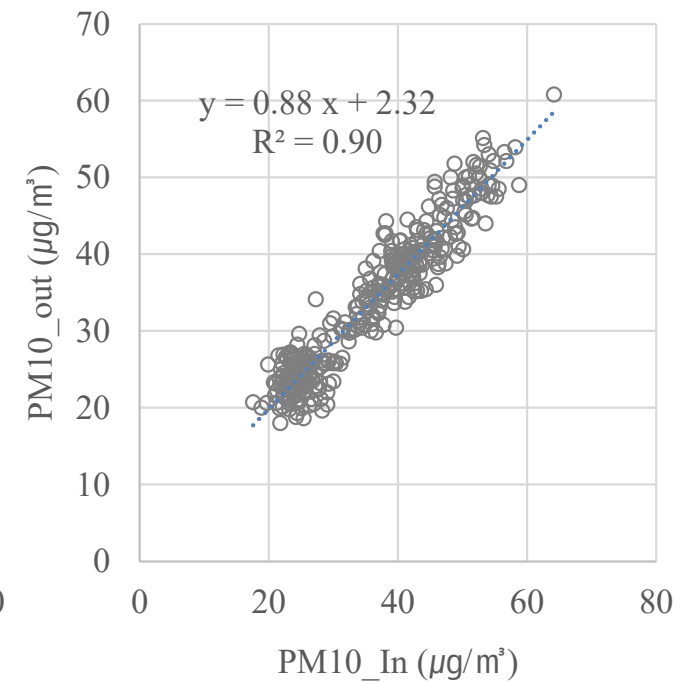
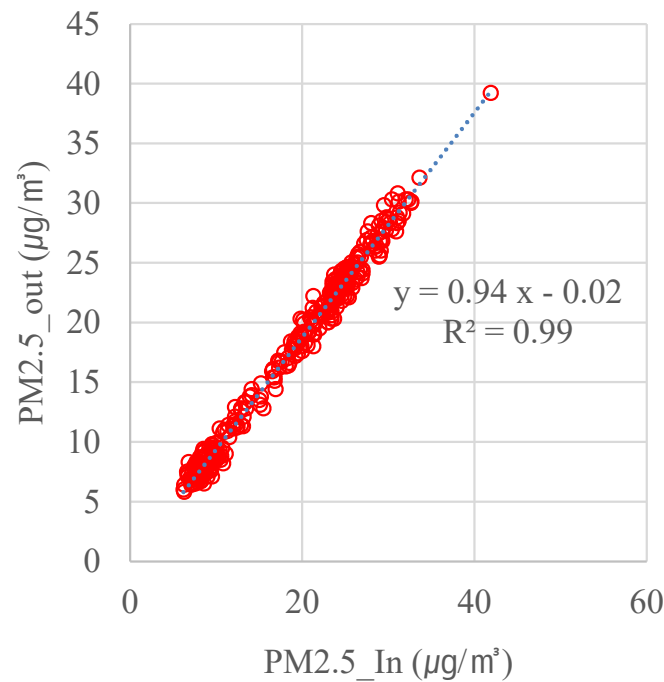
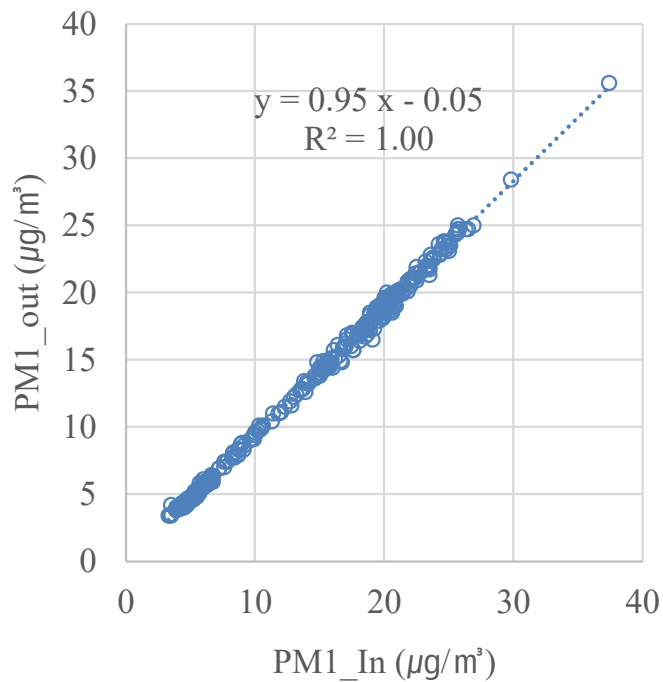
- 도로 주요배출인자인 CO, NO/NO_x, BC를 실외 측정, 실내외 분석에는 PN 2대를 실내와 실외에 설치하여 비교분석
- PMS는 PM_{2.5}에 대해 필터 샘플링 후 중금속 분석 (XRF)



항목	수량	장비	크기(cm) 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

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 (R^2 : 0.90~1.00)

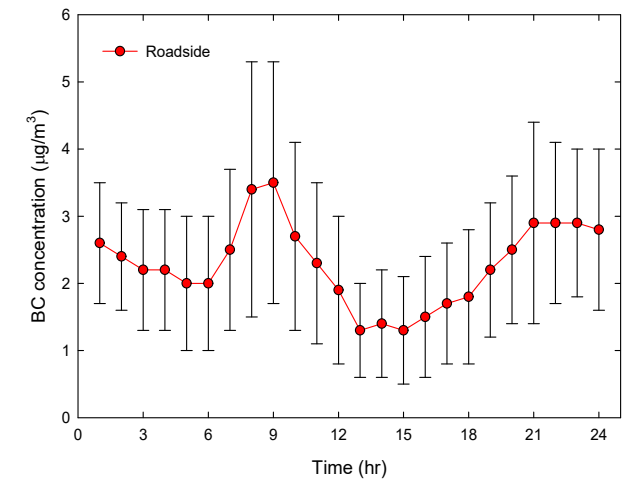
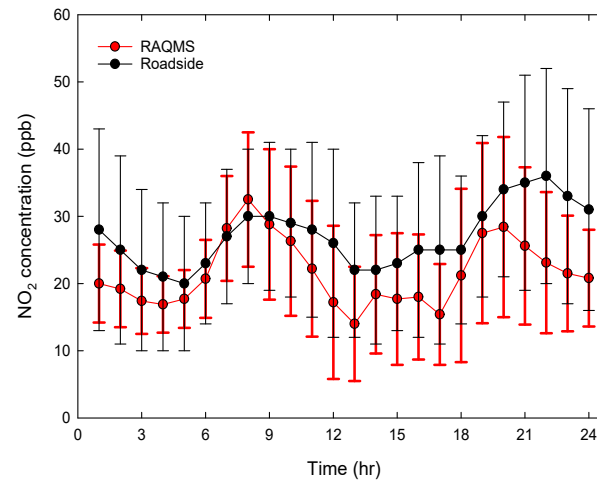
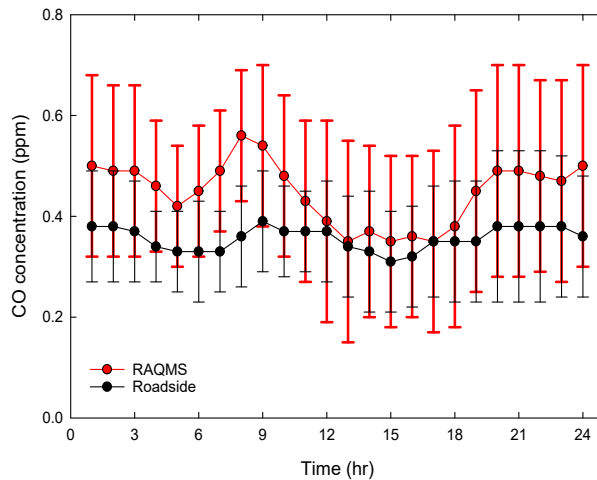
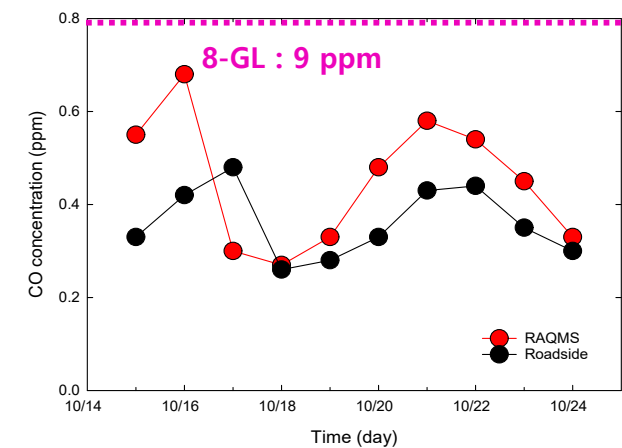
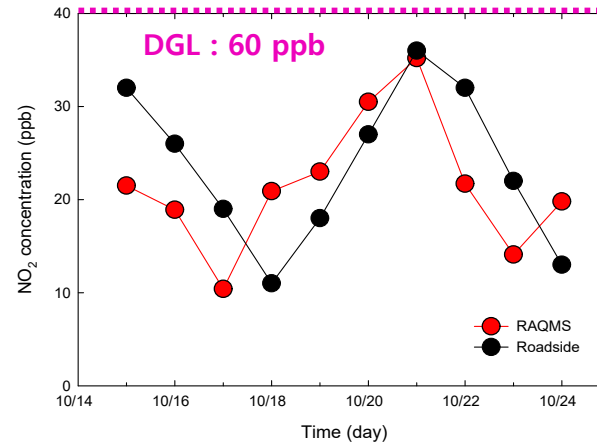
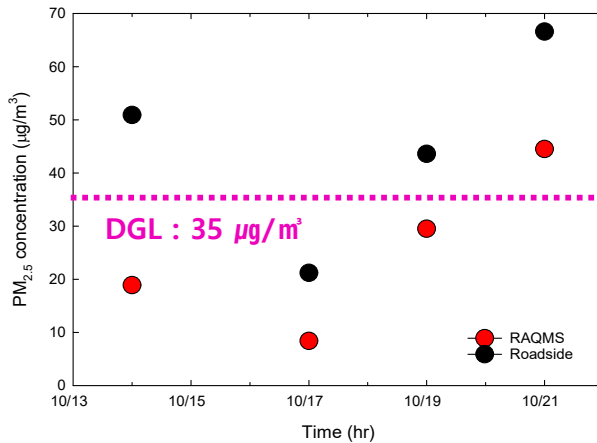


3. 실내외 측정분석 결과



도로변 미세먼지 농도 비교 (도로변 실측 vs RAQMS)

- PM_{2.5} 평균 농도 : 도로변 $45.4 \pm 16.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, RAQMS $26.5 \pm 13.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (도로변 > RAQMS)
- NO₂ 평균농도 : 도로변 $23.5 \pm 8.0 \text{ ppb}$ / RAQMS $21.6 \pm 6.8 \text{ ppb}$ (도로변 > RAQMS)
- CO 평균농도 : 도로변 $0.36 \pm 0.07 \text{ ppm}$ / RAQMS $0.45 \pm 0.13 \text{ ppm}$ (도로변 < RAQMS)
- BC 평균농도 : $2.3 \pm 1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

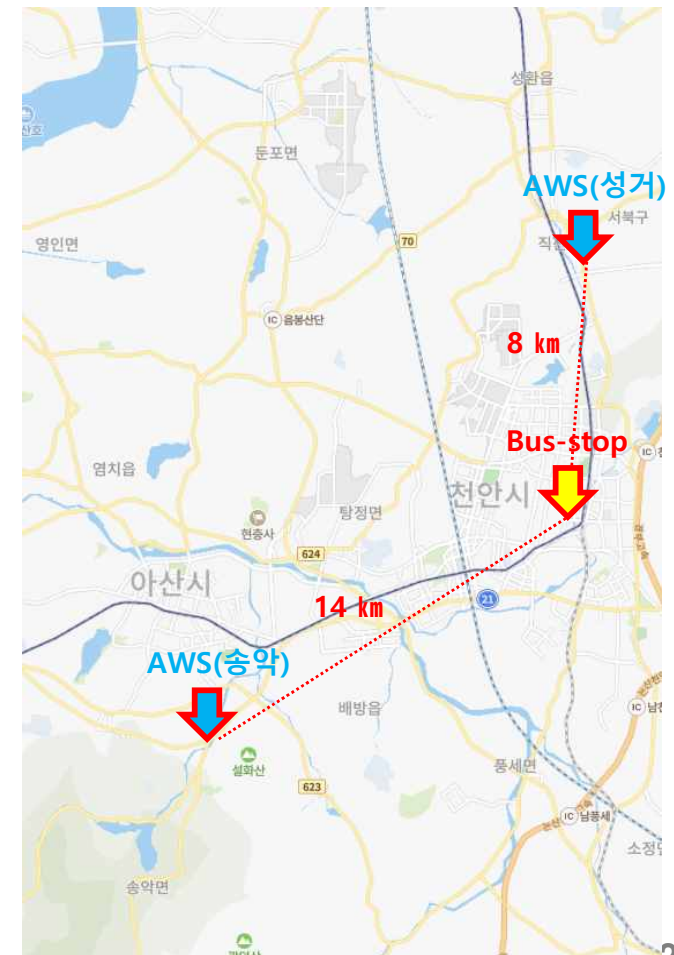
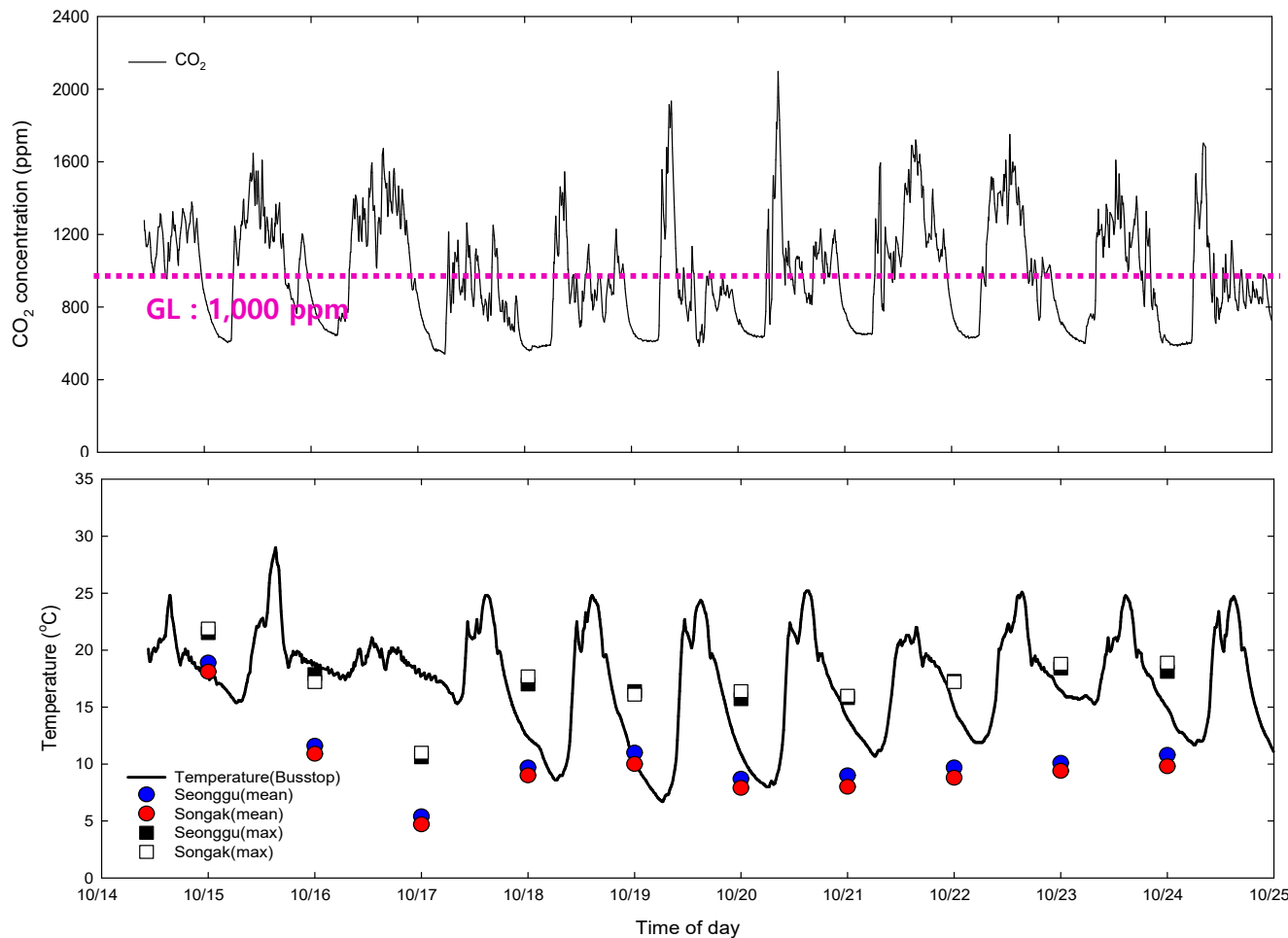


3. 실내외 측정분석 결과



밀폐형 버스정류장 내부 공기질 현황

- CO₂ : 987±296 ppm / Max 2,098 ppm (실내공기질 유지기준 1,000 ppm)
- 측정기간 중 CO₂ 농도는 실내공기질 유지기준 이내, 단 다수구간 기준치 초과 (CO₂ 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℃)

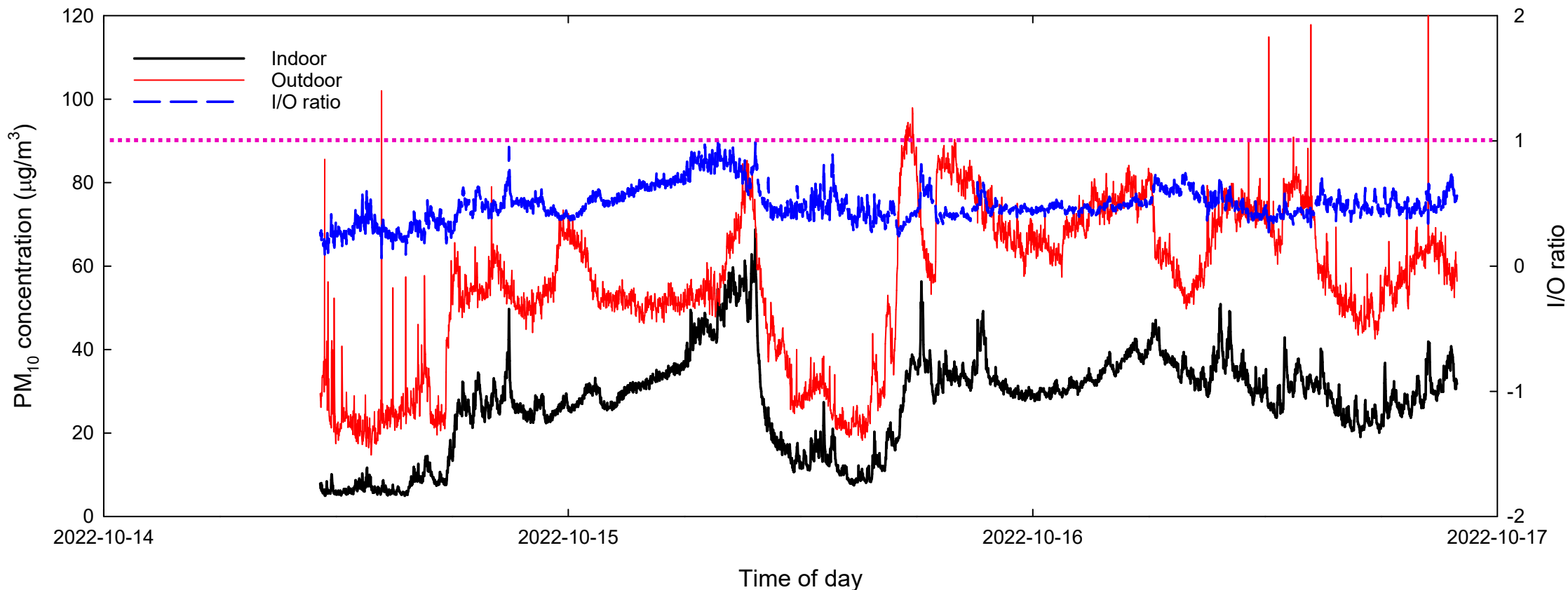


3. 실내외 측정분석 결과



■ 버스정류장 실내외 농도 비교 (PM₁₀)

- 실내 : $27.7 \pm 11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / 외부 $55.7 \pm 18.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (실내외 차이 2.0배)
- I/O ratio : 0.49 (대부분 외부기인) / 1 이상일 경우 내부소스가 지배적, 1 이하일 경우 외부소스가 지배적 영향
- AQMS : $44.6 \pm 16.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ → AQMS 대비 실내는 63% 수준, 외부는 1.26배 높음
- 버스정류장을 밀폐함으로써 이용객이 노출되는 PM₁₀의 농도 1/2 수준으로 감소

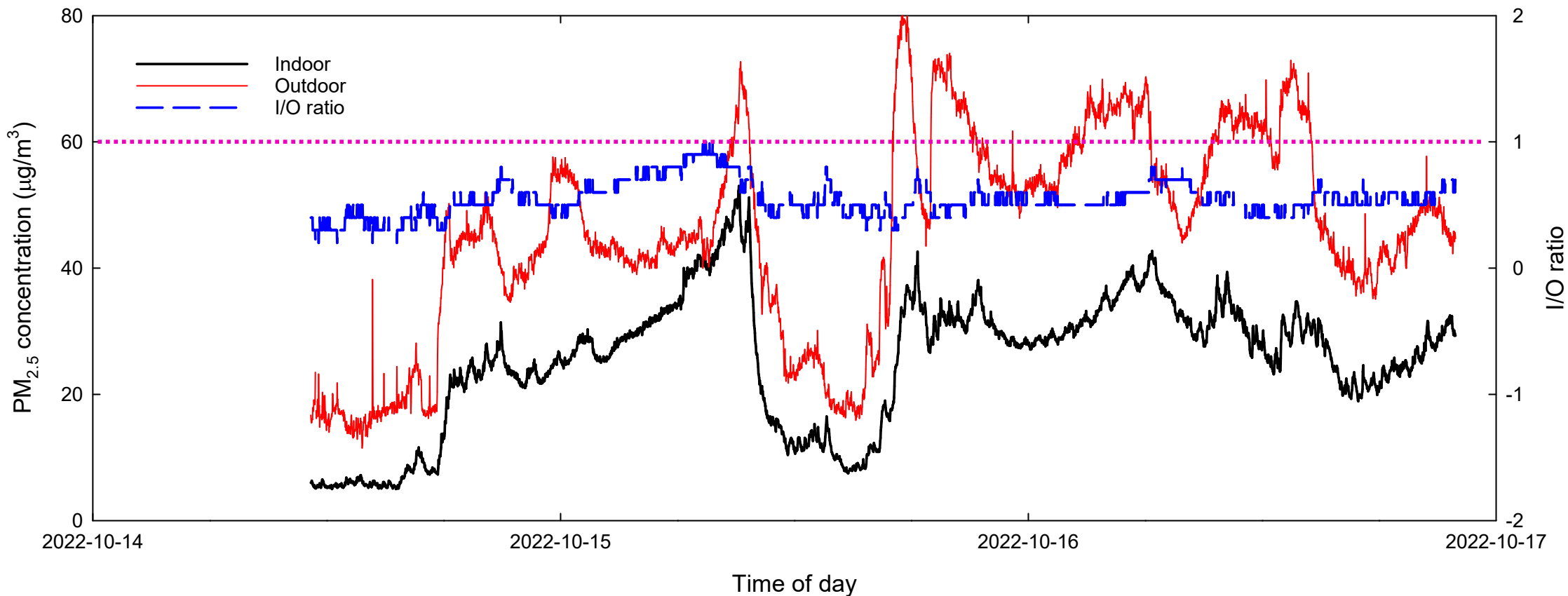


3. 실내외 측정분석 결과



■ 버스정류장 실내외 농도 비교 (PM_{2.5})

- 실내 : $25.4 \pm 10.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / 외부 $45.6 \pm 16.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (실내외 차이 1.8배)
- I/O ratio : 0.55 (대부분 외부기인) / 1 이상일 경우 내부소스가 지배적, 1 이하일 경우 외부소스가 지배적 영향
- AQMS : $25.9 \pm 11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ → AQMS 대비 실내는 98% 수준, 외부는 1.76배 높음
- 실내 = AQMS < 외부 / 외부대비 실내의 농도는 1/2 수준, PM₁₀과 유사한 차단효과



3. 실내외 측정분석 결과



I 결론

□ RAQMS < 버스정류장 주변 대기질

- 도로변 측정소보다 버스정류장 인근지역의 대기오염도가 더 높은 것으로 확인됨
- 측정소 인렛(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 CO₂농도는 기준치 미만, 단 환기설비와 연동된 관리방향 제시 필요

- 측정기간 중 CO₂ 농도는 실내공기질관리법 유지기준(1,000 ppm) 이하 987 ppm
- 밀폐된 공간에 승객의 여부에 따라 기준치 상회구간 다수 발견
- 버스정류장 내 오염도수준(PM)과 CO₂를 연계한 관리시스템 구축 및 운영 필요

□ 밀폐된 버스정류장 내·외부 영향 분석결과 PM₁₀과 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 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도는 ½수준으로 감소 (효과 높음)
- 정류장 밀폐가 PM₁₀(조대입자)에 대한 저감효과는 가시적이거나 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



4. 연구사례 소개

2) PTR-ToF-MS를 이용한 석유화학단지 인근지역
VOCs의 시공간분포



1. 연구배경 및 목표



■ 대산석유화학단지에 의한 지속적인 주민 피해 발생



석유화학단지 내 30년 이상 노후시설에서의 **안전누출 사고 발생**



화학사고를 포함하여 **총 149건의 민원** 제기(2017~2020)



대기영향조사결과 석유화학단지 배출물질 주변 영향 보고(대죽리, 독곶리, 오지리, 화곡리 등)



위행평가 결과 포름알데하이드, 1,2디클로로에탄, 벤젠 등의 관리가 필요한 것으로 나타남



건강악화 및 악취, 누출 사고등으로 인해 지역 주민들 지속적인 이주 및 대책 마련 요구 중



2. 대산석유화학단지 현황



서산시 산업단지 현황 (2021년 3월 기준)



자료 : 전국산업단지 현황지도, 2021 (한국산업단지공단)

유형	시도	시군	단지명	조성상태	지정면적	관리면적	입주업체	가동업체
국가	충남	서산시	대죽자원비축	완료	912	912	1	1
일반	충남	서산시	대산	완료	1,103	1,103	4	4
일반	충남	서산시	대죽	완료	2,101	2,101	11	11
일반	충남	서산시	대산컴플렉스	완료	648	648	3	3
일반	충남	서산시	대산3	완료	542	539	2	1
일반	충남	서산시	서산오토밸리(구 서산)	완료	3,990	3,989	49	41
일반	충남	서산시	현대대죽	조성중	673	672	2	-
일반	충남	서산시	씨지엔대산전력(구 엠피씨)	조성중	166	166	1	-
일반	충남	서산시	서산인더스밸리(구 서산2)	완료	812	812	12	9
농공	충남	서산시	고북	완료	125	124	13	10
농공	충남	서산시	명천자동차전문	완료	143	143	6	6
농공	충남	서산시	성연	완료	777	775	3	3
농공	충남	서산시	수석	완료	231	223	22	22
일반	충남	서산시	서산테크노밸리	완료	1,986	1,987	80	52
일반	충남	서산시	서산남부(구 서산도시형)	미개발	878	878	-	-

□ 서산시 전체 : 국가 1, 일반 8(+2), 농공단지 4

□ 대산석유화학단지 : 국가 1, 일반 5(+2) / 입주업체 70(+3)



자료 : 대산공단지역 대기환경영향 조사, 2019 (한국대기환경학회)

2. 대산석유화학단지 현황



대기오염물질 배출시설 현황

□ 충남 대기오염 배출사업장 : 3,711개소 (1~2종 사업장 비율 : 6.5% / 소형사업장(4, 5종) 사업장 비율 89.3%)

□ 서산시 주요 배출시설(1, 2종사업장) : 37개소 위치 (대산읍 22개소, 75.9% 분포)

	1종	2종	3종	4종	5종	전체
대산읍	22	5	11	14	41	93
인지면				1	9	10
부석면				3	5	8
팔봉면		1	1	2	6	10
지곡면	3		1	7	19	30
성연면	3	1	4	10	50	68
음암면			2	5	39	46
운산면			1	9	19	29
해미면			2	7	28	37
고북면	1	1	1	6	21	30
부춘동				3	14	17
동문1동					18	18
동문2동					8	8
수석동			1	9	30	40
석남동				8	24	32
서산시	29	8	24	84	331	476
충청남도	133	107	158	1,278	2,035	3,711
충남대비 서산시 비율	21.8%	7.5%	15.2%	6.6%	16.3%	12.8%

* 출처: 충청남도 통계연보(2020), 서산시 내부 정보

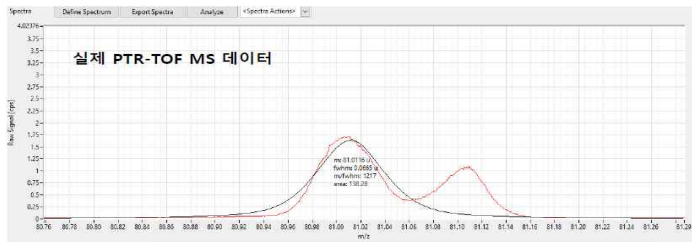


* 출처: 전준민, 대산공단지역 대기환경영향조사 용역 발표자료(2017)

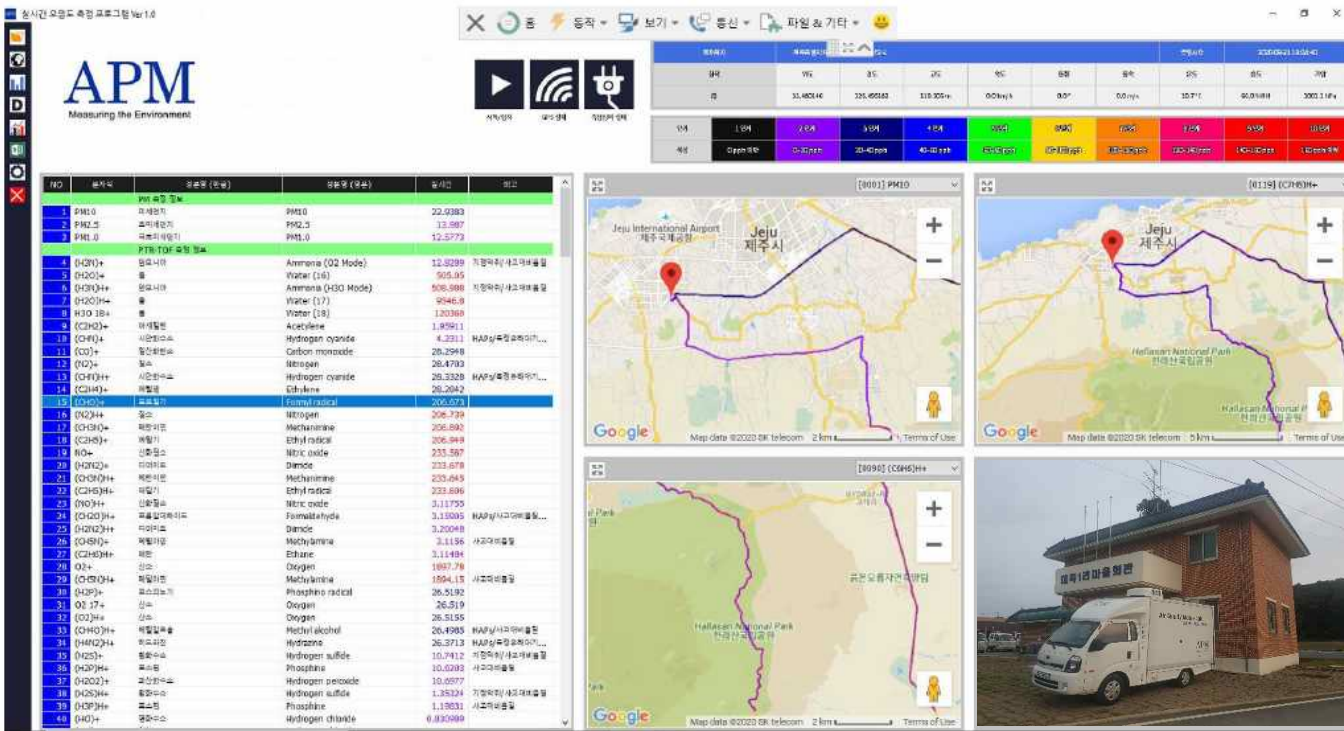
3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

실시간 측정장비를 활용한 시공간분포 측정

- 실시간 측정장비를 활용한 대산공단지역 모니터링 연구 수행 : 산업단지 주변의 시공간분포 확보 가능
- 측정과 동시 Mapping이 가능하여 이동관측 후 고농도지역에 대해 24시간 고정측정



- 실시간 Mapping 조건
- 시속 40km 주행 시 초당 11m 이동
- <2km 주행 시, 180초 소요>
- : TOF의 경우 약 181개 Point 측정 (측정 물질 수 1,000개 이상)
- 즉 측정 분석 물질의 수가 늘어나도 1초에 데이터를 얻을 수 있음.
- : Quadrupole(PTR-QMS)은 약 9개 Point 측정

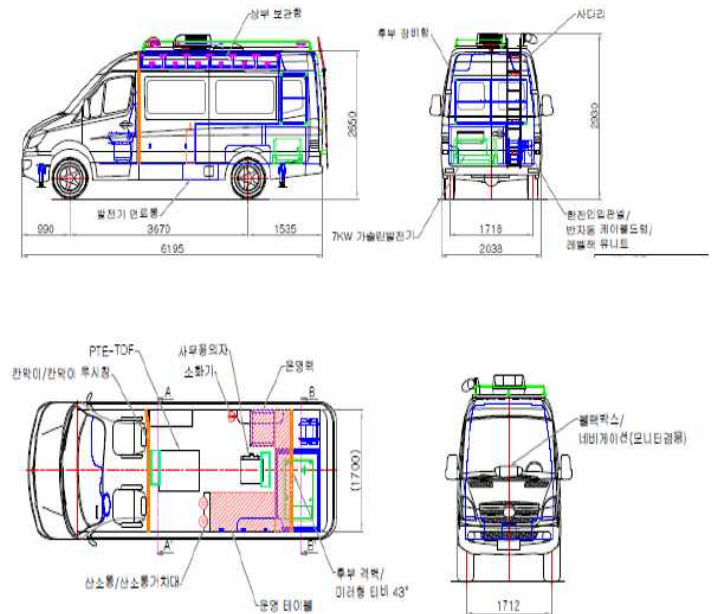


<이동관측차량과 데이터 Mapping 모습>



<PTR-TOF-MS>

<FMPS>



<이동관측차량 모습>

3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

이동 및 고정측정 루트



3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

측정경로 및 야장

- 대죽1리 마을회관(Base camp)과 대조군(화곡리, 서산수 뒷편) 설정 / 이동측정 외에는 마을회관 고정측정 실시
- 총 19개 지점에서 point check / 측정차량 이동시 30~40 km/hr로 운행

대산석유화학단지 주변지역 VOCs 모니터링

일시	2021년 7월 19일	운전자/동승자	이선형 / 조현준
회차	새벽 / 오전 / 오후	날씨	

	지점명	1회차	비고	2회차	비고
1	대죽1리마을회관(출발)	19:06:40		19:07:24	
2	대죽리진입교차로	19:08:44		19:09:33	
3	화곡교차로	19:13:40		19:13:45	
4	반곡교차로	19:19:39		19:20:00	
5	화곡1리마을회관(도착)	19:24:26		19:23:45	
6	대산항교차로	19:38:02		19:38:42	
7	대산항 입구	19:34:30		19:35:10	
8	대산항 출구	19:36:48		19:37:49	
9	코오롱인더스트리	19:39:47		19:40:50	
10	대죽산업로 진입	19:49:46		19:50:58	
11	대죽산업로 유턴	19:52:35		19:53:53	
12	29번국도(대로) 진입	19:57:25		19:59:31	
13	독곶1리 교차로	19:58:37		20:01:25	
14	현대스틸 유턴	18:01:45		20:04:13	
15	독곶2리 교차로	18:04:27		20:06:53	
16	황금산 교차로	18:09:13		20:11:28	
17	독곶1리 교차로	18:15:21		20:19:25	
18	대죽리진입교차로	18:18:58		20:21:35	
19	대죽1리마을회관(도착)	18:20:51		20:23:40	

대산석유화학단지 주변지역 VOCs 모니터링

일시	2021년 7월 20일	운전자/동승자	이선형 / 김종범
회차	새벽 / 오전 / 오후	날씨	구름

	지점명	3회차	비고	4회차	비고
1	대죽1리마을회관(출발)	6:00:09			
2	대죽리진입교차로	02:36			
3	화곡교차로	09:46			
4	반곡교차로	12:20	구름 많음		
5	화곡1리마을회관(도착)	13:30	미세먼지		
6	대산항교차로	29:12	구름 많음		
7	대산항 입구	30:37			
8	대산항 출구	34:18			
9	코오롱인더스트리	38:14			
10	대죽산업로 진입	44:13			
11	대죽산업로 유턴	51:30	구름 많음		
12	29번국도(대로) 진입	1:04:14			
13	독곶1리 교차로	65:27			
14	현대스틸 유턴	09:26			
15	독곶2리 교차로	11:46			
16	황금산 교차로	19:15			
17	독곶1리 교차로	28:17			
18	대죽리진입교차로	28:35			
19	대죽1리마을회관(도착)	30:40			

대산석유화학단지 주변지역 VOCs 모니터링

일시	2021년 7월 21일	운전자/동승자	김종범 / 조민철
회차	새벽 / 오전 / 오후	날씨	대체로 맑

	지점명	1회차	비고	2회차	비고
1	대죽1리마을회관(출발)	00:38:30	구름 많음	02:06:17	구름 많음
2	대죽리진입교차로	00:40:28		02:08:16	
3	화곡교차로	00:45:10		02:12:39	
4	반곡교차로	00:49:10	구름 많음	02:19:13	
5	화곡1리마을회관(도착)	00:54:04	구름 많음	02:22:05	
6	대산항교차로	00:59:08	구름 많음	02:29:39	
7	대산항 입구	01:04:36		02:34:12	
8	대산항 출구	01:09:58		02:38:42	
9	코오롱인더스트리	01:15:49		02:44:20	
10	대죽산업로 진입	01:26:20		02:53:19	
11	대죽산업로 유턴	01:29:13		02:56:22	
12	29번국도(대로) 진입	01:33:51		03:01:48	
13	독곶1리 교차로	01:39:40		03:09:22	
14	현대스틸 유턴	01:39:10		03:09:49	
15	독곶2리 교차로	01:42:16		03:10:36	
16	황금산 교차로	01:44:12		03:15:35	
17	독곶1리 교차로	01:53:35		03:24:35	
18	대죽리진입교차로	01:57:47		03:28:05	
19	대죽1리마을회관(도착)	01:59:16		03:30:11	

3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

측정 결과

- 측정은 새벽(12:00~08), 오전(08:00~16:00), 오후(16:00~24:00)로 구분 / 1회 8시간씩 운행 (4 set)
- 이동측정차량은 2021년 7월 16일 Base camp(화곡1리 마을회관)에 도착하여 장비 예열 시작 / 19일부터 측정 시작
- 이동관측은 이동관측 루트(1회 운행시 1시간~1시간반)를 8시간동안 반복 운행
- 총 10회(새벽 3회, 오전 4회, 오후 3회 총 38 set 획득)

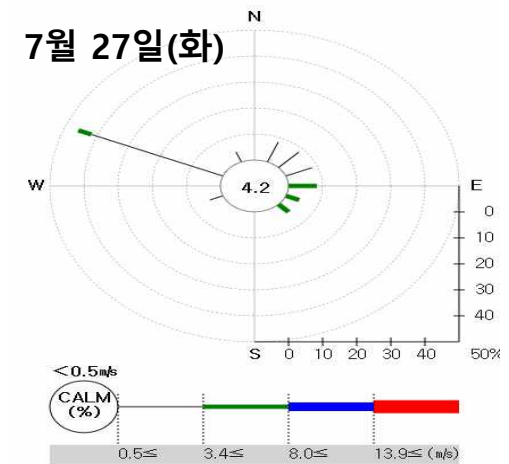
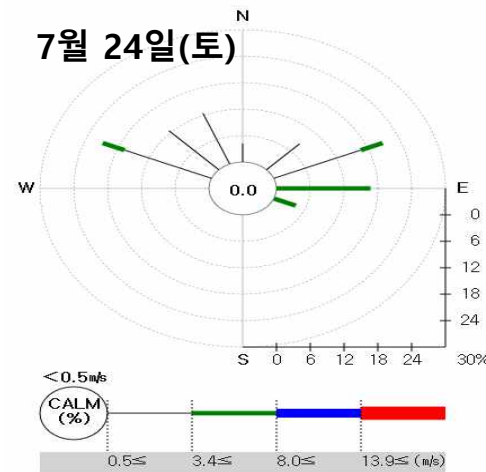
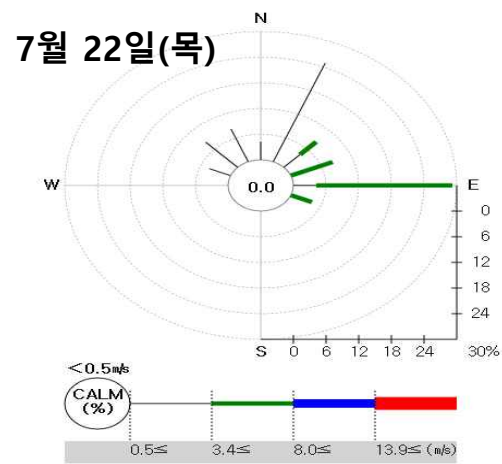
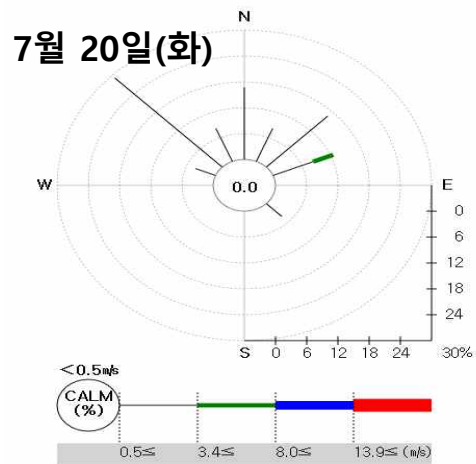
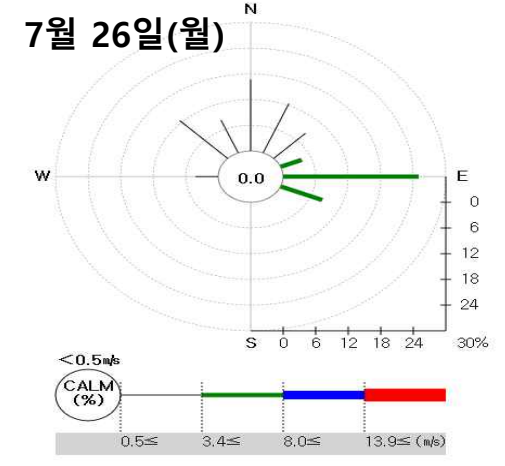
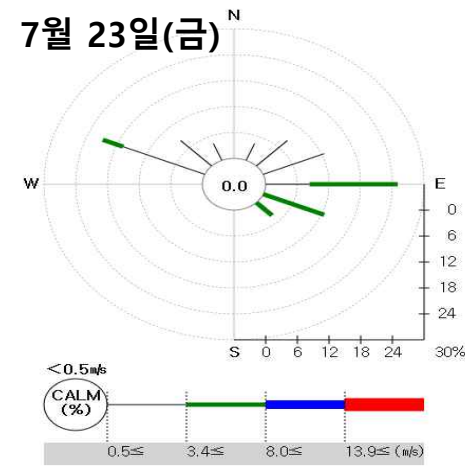
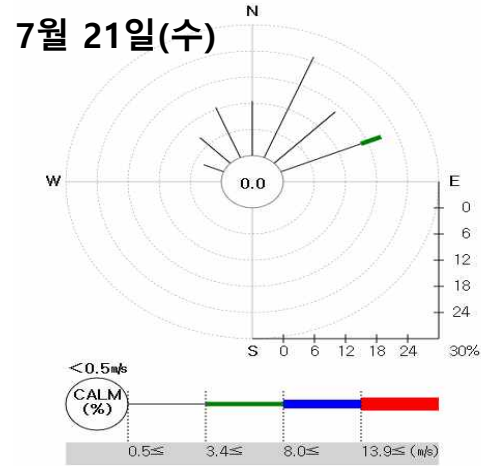
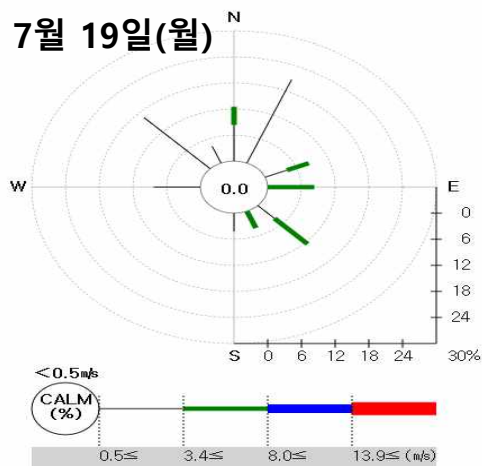
18(일)	19(월)	20(화)	21(수)	22(목)	23(금)	24(토)
		○	○	○	고정	고정
		○	○	고정	고정	고정
	○	○	○	고정	고정	고정
25(일)	26(월)	27(화)	28(수)			
고정	고정	고정				
고정	○	○				
고정	고정					

3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

기상자료 분석 결과

□ 기상조건 : 평균온도 27.1℃ / 강수 : 47.5 mm (7월 19일 오후) / 습도 : 73.7% / 기압 : 1006.5 hPa

□ 주풍향 : 북동풍 또는 북서풍 / 평균풍속 : 2.50 m/s



3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

대상 VOCs 물질 선정

- 측정항목 : 톨루엔 스티렌 등 지정악취 물질 6가지를 포함한 총 21개 항목 (지정악취+석유화학단지 주요배출물질로 선정)
- 악취관리지역 지정(2006) : 대산공업단지(3곳) → 엄격한 배출허용기준 적용(2017년)

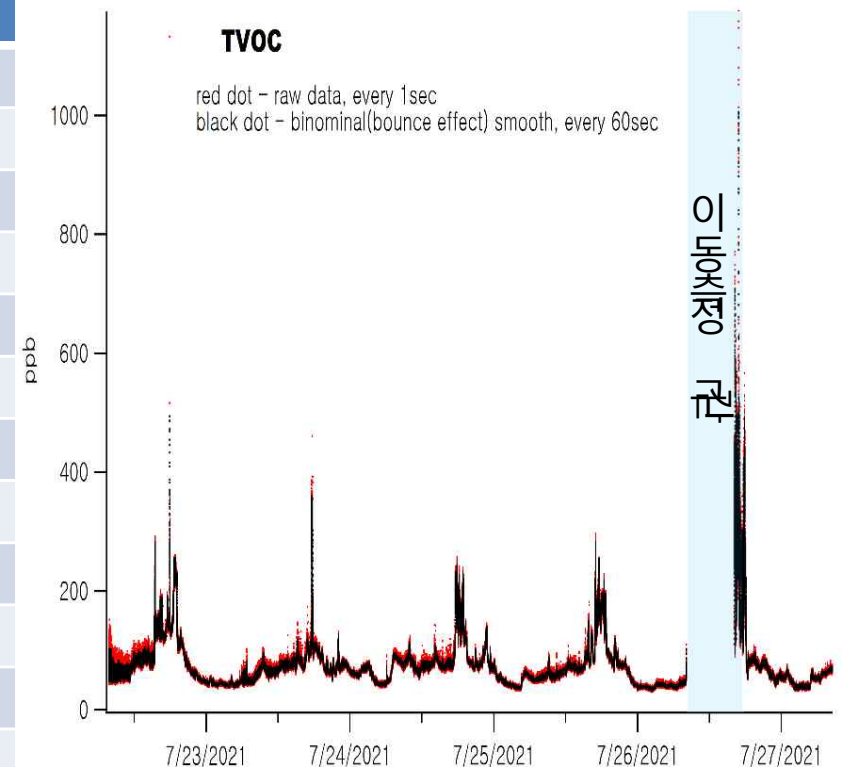
Abb.	Compounds	formular	Mass(H+)	Vapor Pressure	Boiling Point (°C)	PA(kcal/mol)
HCHO	Form aldehyde	CH ₂ O	31.01471	> 101.325 kPa	-19	170.4
MOH	Methanol	CH ₄ O	33.0314	13.02 kPa	64.7	180.3
PPY	Propyne	C ₃ H ₄	41.0386	526.89 kPa	-23.2	178.8
AN	Acetonitrile	C ₂ H ₃ N	42.0344	9.71 kPa	81.3 ~ 82.1	186.2
KT	Ketene	C ₂ H ₂ O	43.0184	1675.73 kPa	-56.1	197.3
PP	Propene	C ₃ H ₆	43.054	1130.15 kPa	-47.6	179.6
AA	Acetaldehyde	C₂H₄O	45.0341	98.65 kPa	20.2	183.8
B13	1,3-Butadiene	C ₄ H ₆	55.0542	243.18kPa	-4.4	187.1
B2	2-Butene	C ₄ H ₈	57.06965	212.77 kPa	0.8 ~ 3.7	178.5
ACT	Acetone	C ₃ H ₆ O	59.0497	30.6 kPa	56.05	194.1
AAC	Acetic Acid	C ₂ H ₄ O ₂	61.0284	1.5 kPa	118 ~ 119	186.9
DMS	Dimethyl Sulfide	C₂H₆S	63.0266	53.7 kPa	35 ~ 41	198.6
ISP	Isoprene	C ₅ H ₈	69.0725	73.33 kPa	34.067	198.9
MVK	Methyl Vinyl Ketone	C ₄ H ₆ O	71.0479	41 kPa	81.4	199.5
MEK	Methyl Ethyl Ketone	C₄H₈O	73.0633	10.39 kPa	79.64	197.8
BZ	Benzene	C ₆ H ₆	79.0548	12.7 kPa	80.1	179.3
TOL	Toluene	C₇H₈	93.0704	2.8 kPa	111	187.4
STR	Styrene	C₈H₈	105.0699	0.66 kPa	145	200.3
XYL	Xylene	C₈H₁₀	107.0861	0.82 kPa	138.5	190.0
TMB	Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	121.1012	0.27 kPa	169 ~ 171	199.9
PN	Pinene	C ₁₀ H ₁₆	137.1325	0.63 kPa	155 ~ 156	215.0

3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

고정측정 결과 대산지역 및 타 지역의TVOC 농도 수준

- 국내 VOCs에 대한 기준 → 벤젠 1.5 ppb($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) : 기준 치 이내 / 여수나 평동, 전주보다 낮은 수치임
- BTX의 경우도 타 지역 농도수준보다 낮게 나타남 / 대부분의 타지역은 공정시험법을 통한 측정결과임

저자	도시	지역	오염물질 (단위 : ppb)			
			벤젠	톨루엔	자일렌	합계
Jeon et al	여수	산업단지	1.16	1.85	0.33	3.34
Jeon et al	여수	산업단지	1.32	4.55	0.27	5.87
Baek et al	포항	산업단지	0.83	3.50	4.5	8.83
	구미	산업단지	0.62	7.81	1.29	9.72
Jung et al	난지도	매립지	31.8	259	10.4	290.8
	경산	매립지	2.5	34.4	10.2	47.1
Im et al	안산	산업단지	16.4	423	43.6	439.4
Park et al	대구	도로변	1.18	20.4	1.87	21.6
	경산	도시지역	0.89	4.31	0.87	5.2
Ryoo et al	전주	도로변	3.1	6.3	3.1	9.4
	금산	산업단지	3.0	11.8	3.8	14.8
Baek et al	대산	산업단지	1.13	1.2	0.94	2.3
Kim et al	대산	산업단지	8.3	4.5	1.8	14.6
Kim et al	평동	산업단지	1.67	15.5	4.2	17.2
Kim et al	대산	산업단지	3.10	1.5	1.88	6.48

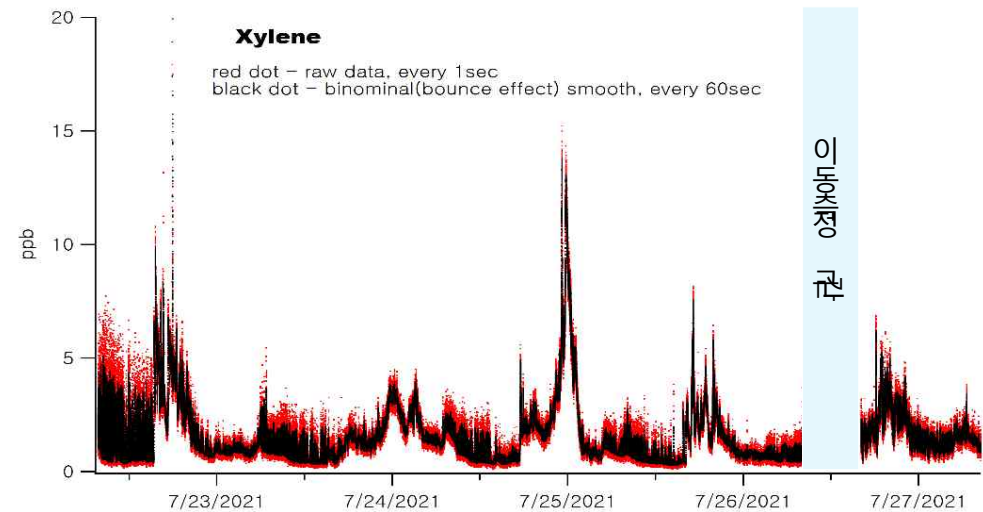
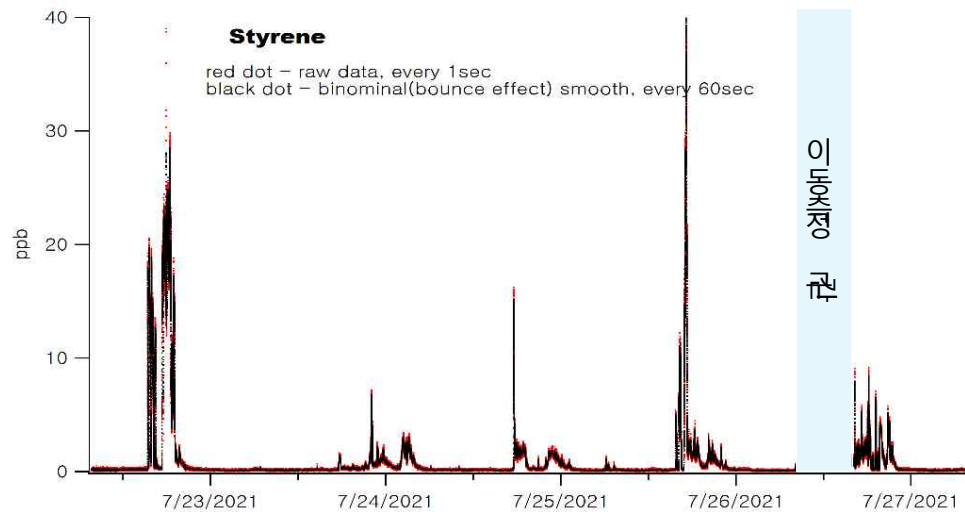
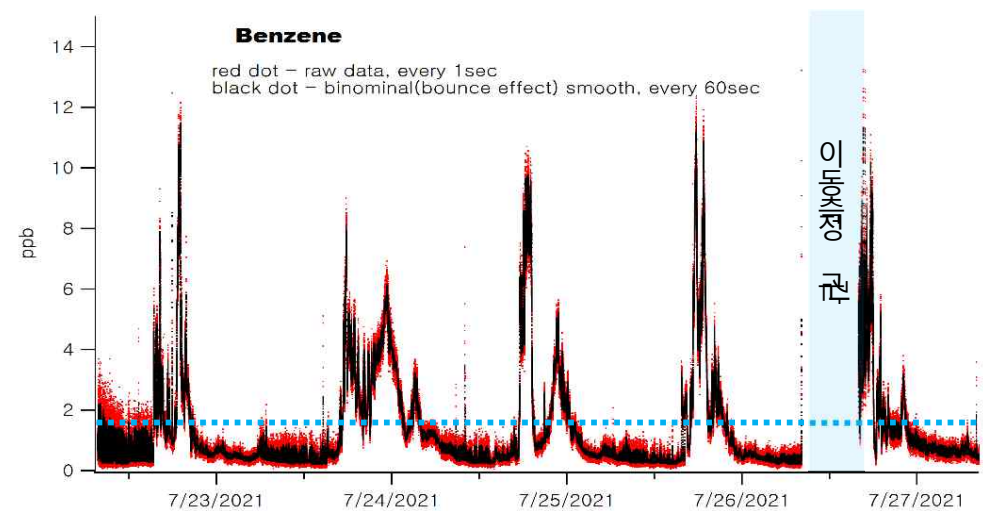
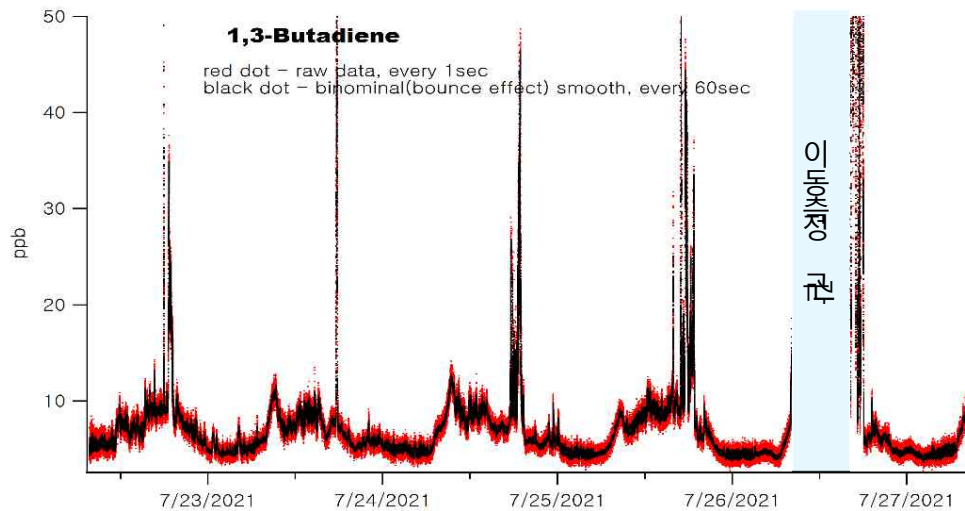


벤젠 : 1.3 ± 1.7 ppb
 톨루엔 : 1.9 ± 1.1 ppb
 자일렌 : 1.6 ± 1.4 ppb

3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

고정측정 결과 : 산업단지 주요 배출물질 변화 추이

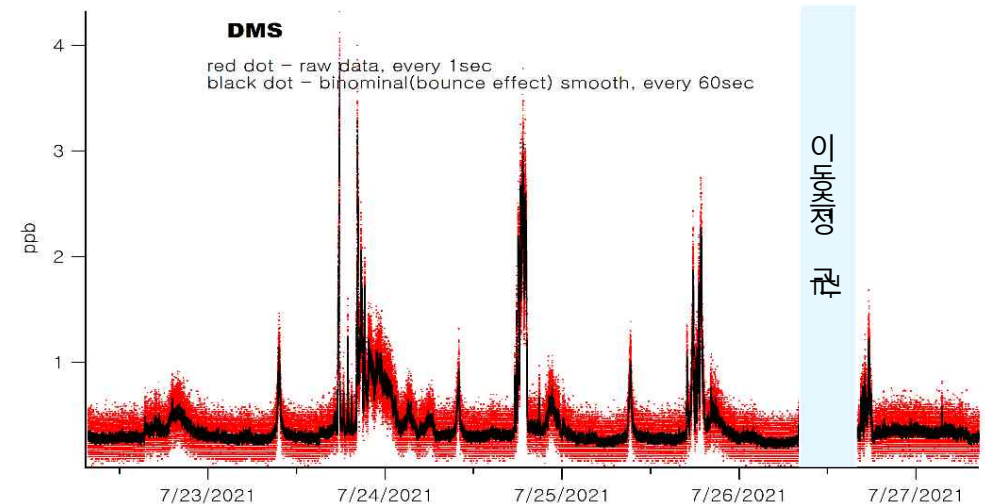
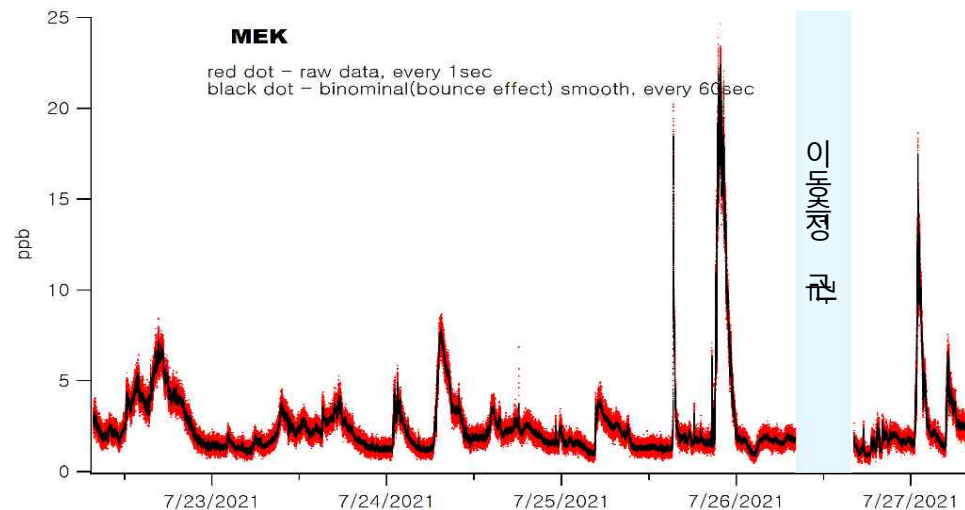
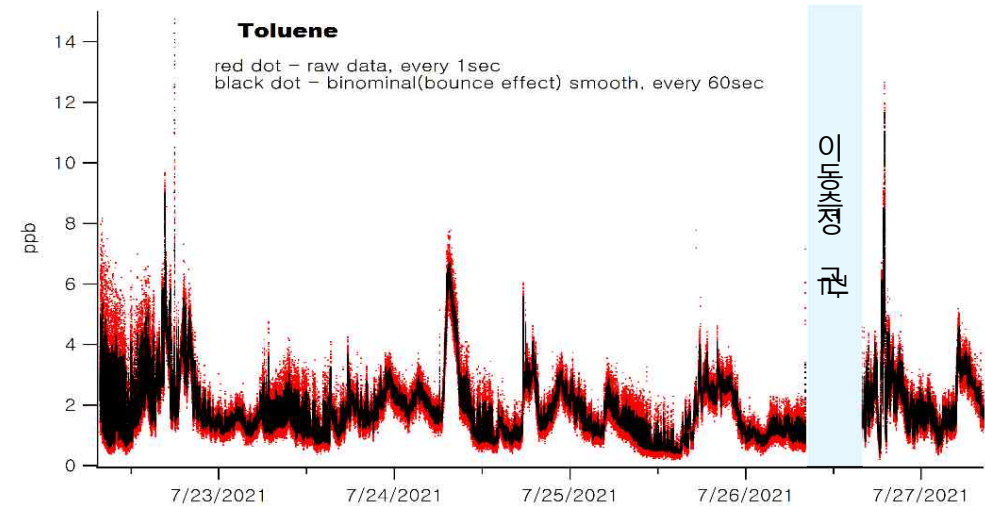
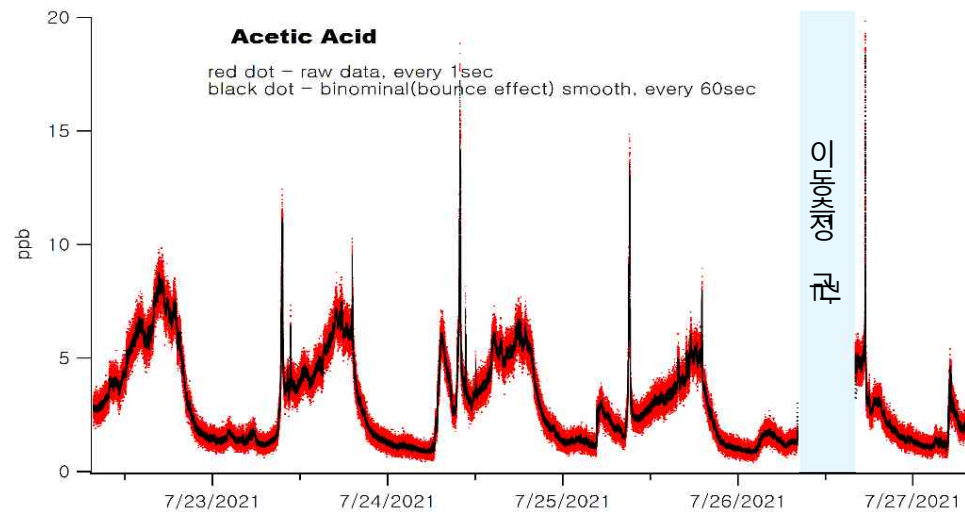
- 오염물질별 농도 수준 : 1,3 부타디엔 8.5 ± 16.8 ppb, 벤젠 1.3 ± 1.7 ppb, 스티렌 0.9 ± 2.9 ppb, 자일렌 1.6 ± 1.4 ppb
- 특정공정에서 순간적으로 배출 : 1,3 부타디엔, 스티렌 / 지속적으로 배출 : 벤젠, 자일렌



3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

고정측정 결과 : 지정악취 물질 변화 추이

- 오염물질별 농도 수준 : 아세트산 4.9 ± 4.2 ppb, 톨루엔 1.9 ± 1.1 ppb, 메틸에틸케톤 2.5 ± 2.1 ppb, 디메틸황 0.4 ± 0.3 ppb
- 모든 물질이 시간차가 있지만 연속 배출 / 전반적으로 배출특성 유사



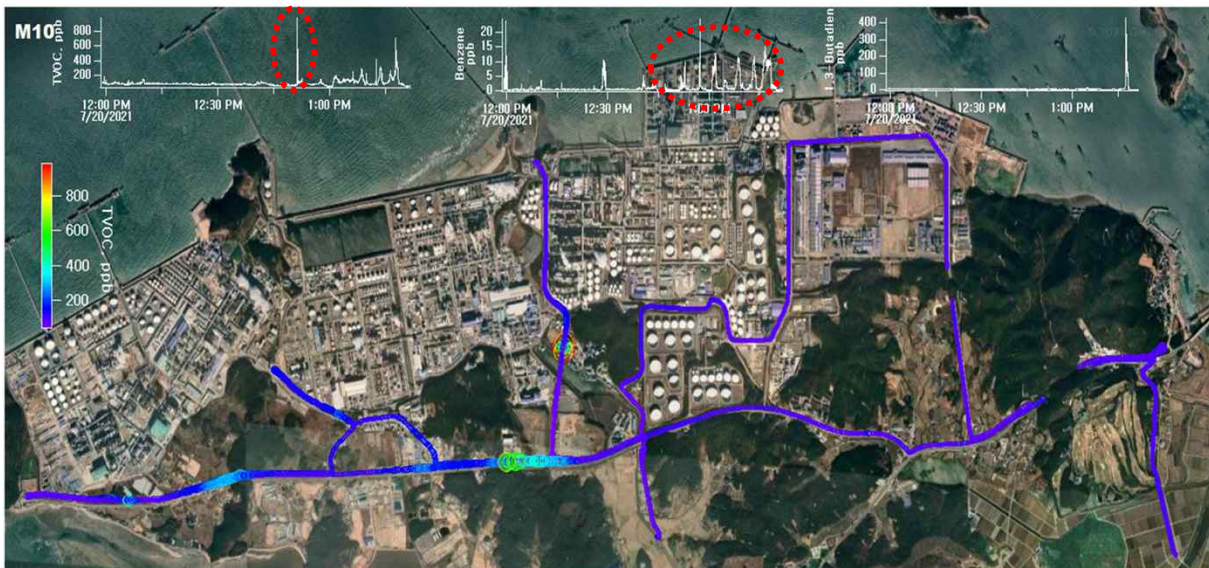
3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

이동관측 결과 : 오전



□ 고농도 지역(M8) 8:00~9:30

- 엘지화학 및 롯데케미칼 인근
- 화곡리 마을회관 인근
- 특정 배출원의 지속 영향보다는 **순간 배출된 고농도에 의한 영향**으로 판단됨



□ 고농도 지역(M10) 12:00~13:30

- 엘지화학 및 롯데케미칼 진입로
- 엘지화학 및 롯데케미칼 인근
- 공정에 의한 국지적인 영향으로 판단됨



3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

이동관측 결과 : 오후



- 고농도 지역(M1) 17:00~18:30
 - KCC부터 대죽1리마을회관까지 고농도 발생
 - 전반적으로 모든 물질 배출량 높음
 - **대산제1산업단지** 및 현대오일뱅크 등 산업단지 내 배출물질이 북서풍을 타고 전반적인 영향
- 고농도 지역(M23) 17:00~18:30
 - 엘지화학 및 롯데케미칼 진입로
 - 독곶2리 교차로부터 황금산 진입로까지 특별한 차량 통행이 없음
 - 북서쪽 **대산제2산업단지** 영향으로 판단됨



3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

이동관측 결과 : 새벽



- 고농도 지역(M5) 2:00~3:30
 - 엘지화학 및 롯데케미칼 인근
 - 쓰레기 매립장 인근
 - 공정에 의한 국지적인 영향으로 판단됨

- 고농도 지역(M17) 2:00~3:30
 - 엘지화학 및 롯데케미칼 진입로
 - KCC, 현대오일뱅크
 - 공정에 의한 국지적인 영향으로 판단됨



3. 이동관측차량을 활용한 오염물질 시공간분포

I 이동관측 결과 요약

- 전반적인 오염도 수준은 타 지역과 유사하거나 낮은 수준, 단 시간대별 농도 편차가 큼
 - 벤젠은 연평균 기준(1.5 ppb) 이하, 이 외 BTEX 역시 낮은 농도 수준 / 단, 각 오염물질의 시간대별 농도편차가 큼
 - 현재 벤젠 외 다른 VOCs에 대해서는 기준치가 없음
 - 1,3 부타디엔과 같이 유해성이 큰 물질은 순간적으로 평균대비 수십배 높은 농도값 검출(KORUS-AQ 등 다수 보고)

- 반복적으로 높은 농도 발생 구간 확인
 - 현대오일뱅크 사택, 롯데케미칼, LG화학, 독곶사거리 등에서 지속적인 고농도 사례 확인
 - 위 구간에 대해서는 새벽시간대에도 순간적인 고농도 피크 발생
 - 2019년 자체 측정, 충남보건연 측정에서도 지속적인 농도 증가 보고 (정책적 개선방안 없음)

- 북풍계열(북서풍, 북동풍) 발생시 풍하 지역에 면(area) 단위의 오염구간 확인
 - M1, M23과 같이 일정 구간에 대해 지속적인 고농도 구간 발생
 - 일부 간헐적으로 발생하는 오염물질을 제외하고, 시간대별 발생특성 유사

감사합니다



Chungnam Institute

실시간 에어로졸 질량분석기 기반 에어로졸 특성 규명 연구

2023. 3. 9
한국과학기술연구원 지속가능환경연구단

AMS 기반 고해상의 미세먼지 국제 공동 측정망 구축을 통한 동북아시아 미세먼지 오염원 규명

한국과학기술연구원 지속가능환경연구단
김경환

국내위탁1 : ACSM 상층 관측을 통한 경계층 영향 이해 및 장거리 이동 영향 해석
(서울대학교 김화진)

국제공동1 : 중국 북경의 AMS 기반 미세먼지 연구 국제 공동 네트워크
(Chinese Academy of Science, Beijing, Yele Sun)

국제공동2 : 중국 난징의 AMS 기반 미세먼지 연구 국제 공동 네트워크
(NUIST, Xinlei Ge)

국제공동3 : 중국 란저우의 AMS 기반 미세먼지 연구 국제 공동 네트워크
(Chinese Academy of Science, Lanzhou, Jianzhong Xu)



CONTENTS

| 목 차 |

대기과학

I. 연구 배경 및 필요성

II. 연구 목표 및 내용

III. 추진전략 및 연구방법

IV. 1단계 연구 목표 및 내용

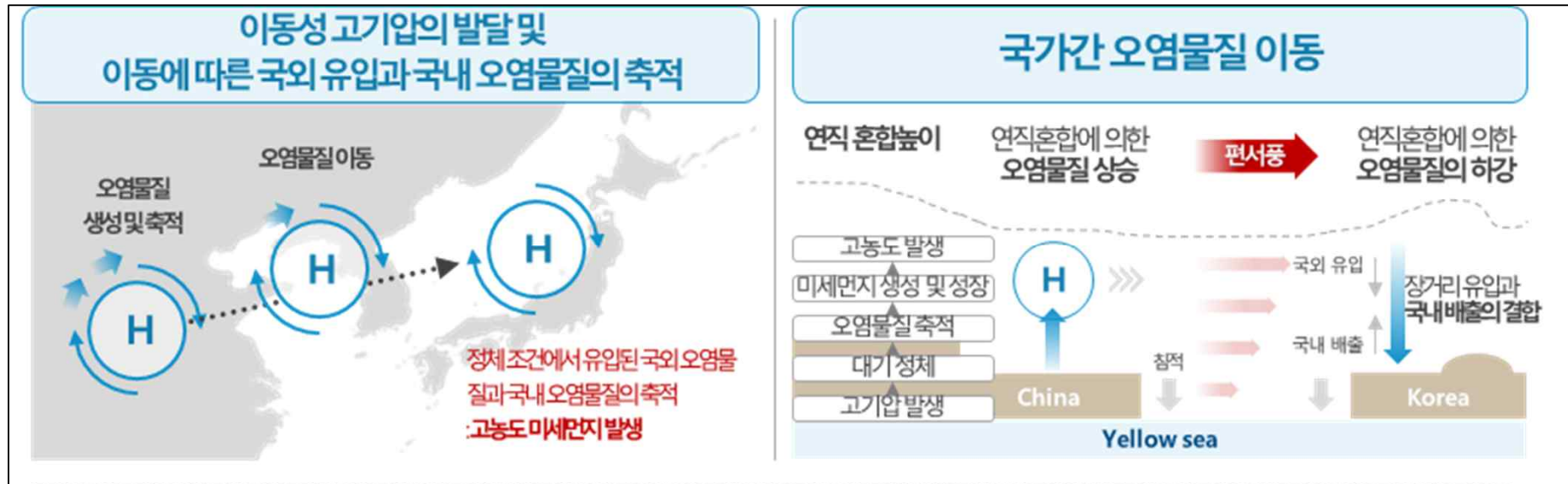
V. 결과

VI. 연구성과 (2020~2022)

VII. 2단계 추진계획

I. 연구 배경 및 필요성

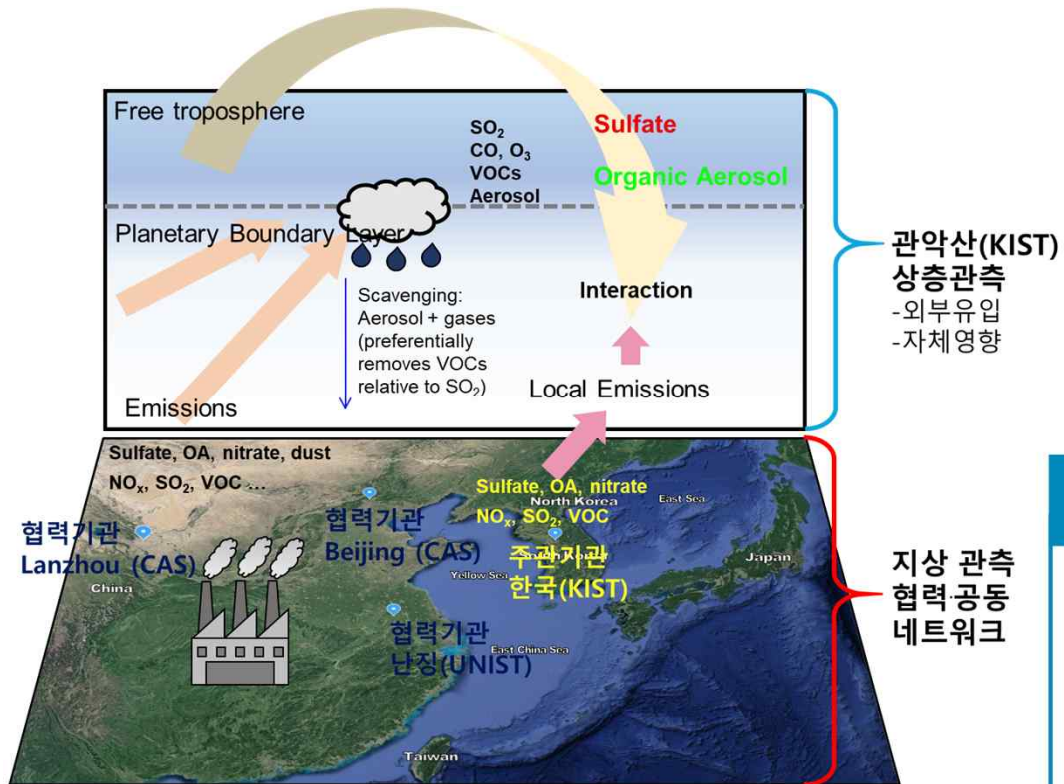
국내배출? 국외유입?



범부처 프로젝트 성과 공유회(2020)

II. 연구 목표 및 내용

AMS 활용 동아시아 국제 협력 기반 실시간 화학성분 측정 고도화 및 장거리 이동 규명



세부

KIST

고도화 측정 시스템 구축 및 한중일
미세먼지 공동 측정을 통한 미세먼지
생성 특성 및 오염원 규명

AMS, PTR-MS, SP-AMS

AMS 협력 네트워크



- 베이징 (CAS)
- 난징 (NUIST)
- Lanzhou (CAS)
- 일본 (NIES)

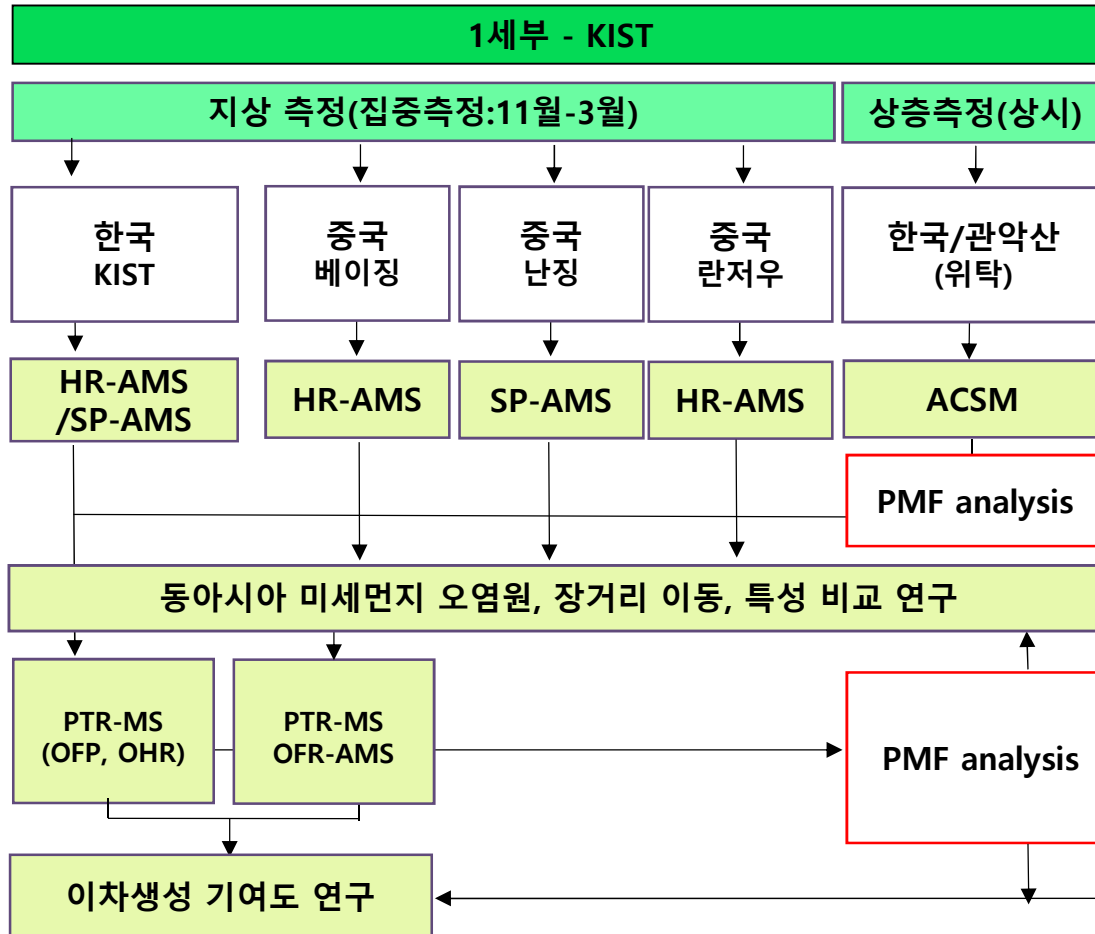
상시 상공 관측



- 한국, 서울 관악산 관측소 (KIST, ACSM)
- 서울시 보건환경연구원 협조

최종: 동아시아 미세먼지 생성 특성 규명 / 배출원, 이동 특성 규명

III. 추진전략 및 연구방법



(1) 측정, 분석

- 11월-3월 (중국 고농도 시간) 집중 측정 공동 실시(풍상, 풍하)
- 고도화된 측정시스템을 바탕으로 한 집중 측정 참여
- 데이터 공유 및 정기적 데이터 워크숍 실시
- 상시 상공 측정추진을 통하여 장거리 이동 물질 모니터링

(2) 해석

- 통합형 PMF분석을 통한 오염원규명 세분화
- 고도화된 측정 결과 해석을 통한 국내외 이차생성 기여도 규명

V.결과

AMS 기반 국제 공동 측정망 운영 시스템 구축

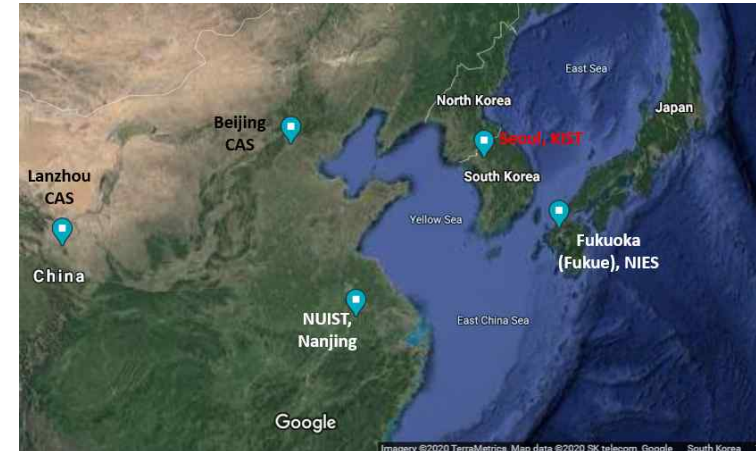
집중측정 AMS 측정자료 확보 (3차년도)

(1) 측정, 분석

- 11월~3월 (중국 고농도 시간) 집중 측정 공동 실시(풍상, 풍하)
- 고도화된 측정시스템을 바탕으로 한 집중 측정 참여
- 데이터 공유 및 정기적 데이터 워크샵 실시

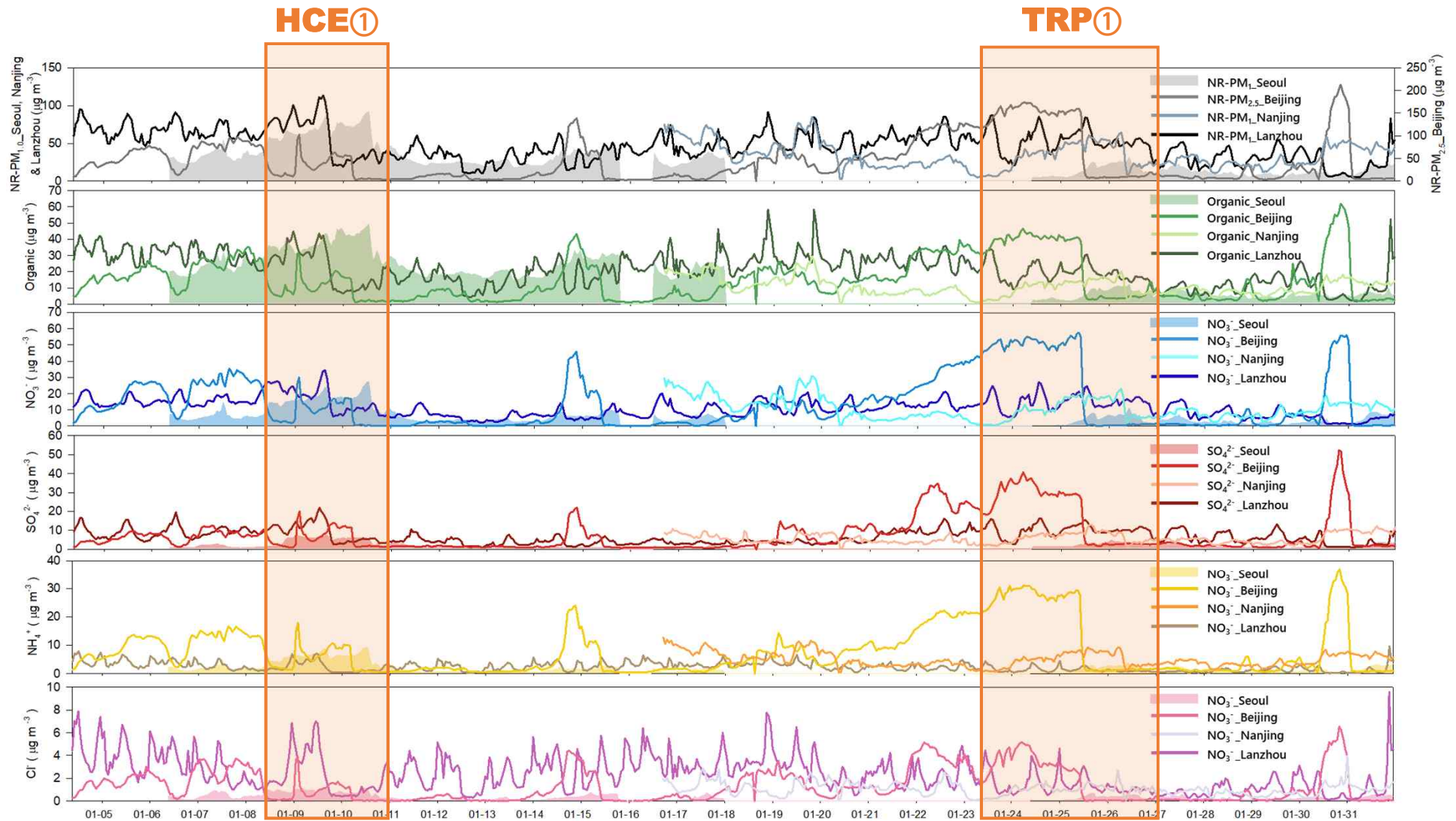
(2) 해석

- HR MS분석과 PMF분석을 통한 오염원 규명 세분화 중
- 고도화된 측정 결과 해석을 통한 국내외 이차생성 기여도 규명



국가/도시	소속/위치	2020 AMS data	2021 AMS data	2022 AMS data
한국 /서울	Korea Institute of Science and Technology/L4동 4층(HR-ToF-AMS, SP-AMS)	11.1.~12.31.	1.1.~3.31. 11.17~12.31.	1.1.~3.31.
	서울시 보건환경연구원/ 관악산 대기 측정소 (KIST ToF-ACSM)	11.18.~12.31.	1.1.~12.31. 11.1.~12.31.	1.1.~3.31.
중국 /베이징	Chinese Academy of Science /CAS Beijing (HR-ToF-AMS, ToF-ACSM)	11.1.~12.31.	1.1.~3.31. 11.1.~12.31.	1.1.~3.22.
중국 /난징	NUIST, Nanjing /NUIST Nanjing, Liyang city(SP-AMS)	11.1.~12.31.	1.1.~1.5.	1.16.~2.24.
중국 /란저우	Chinese Academy of Science, Lanzhou /CAS Lanzhou(HR-ToF-AMS)	-	12.8~12.31.	1.1.~2.20.
일본 /후쿠오카	NIES, Fukuoka /Fukue island(Q-ACSM)	-	-	-

2022년 1월 서울-북경-난징-란저우 시계열 변화 (3차년도)

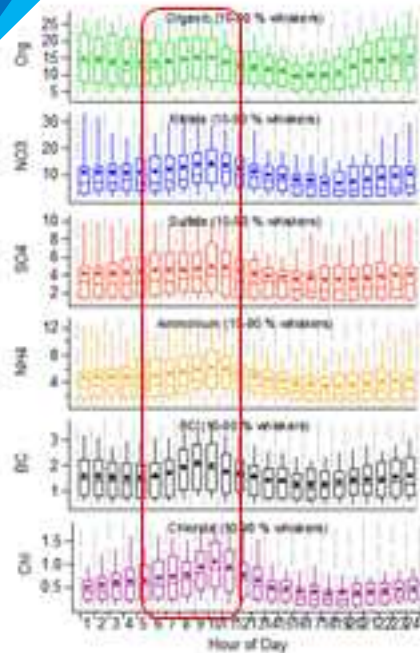


V. 결과2

실시간 입체관측을 위한 상공 시스템 구축

상공 측정 시스템 구축·상시 측정 (1차년도, '20.11.18~현재)

관악산 측정소에서 측정하는 물질 목록, 관련 기기 및 담당 보유 기관

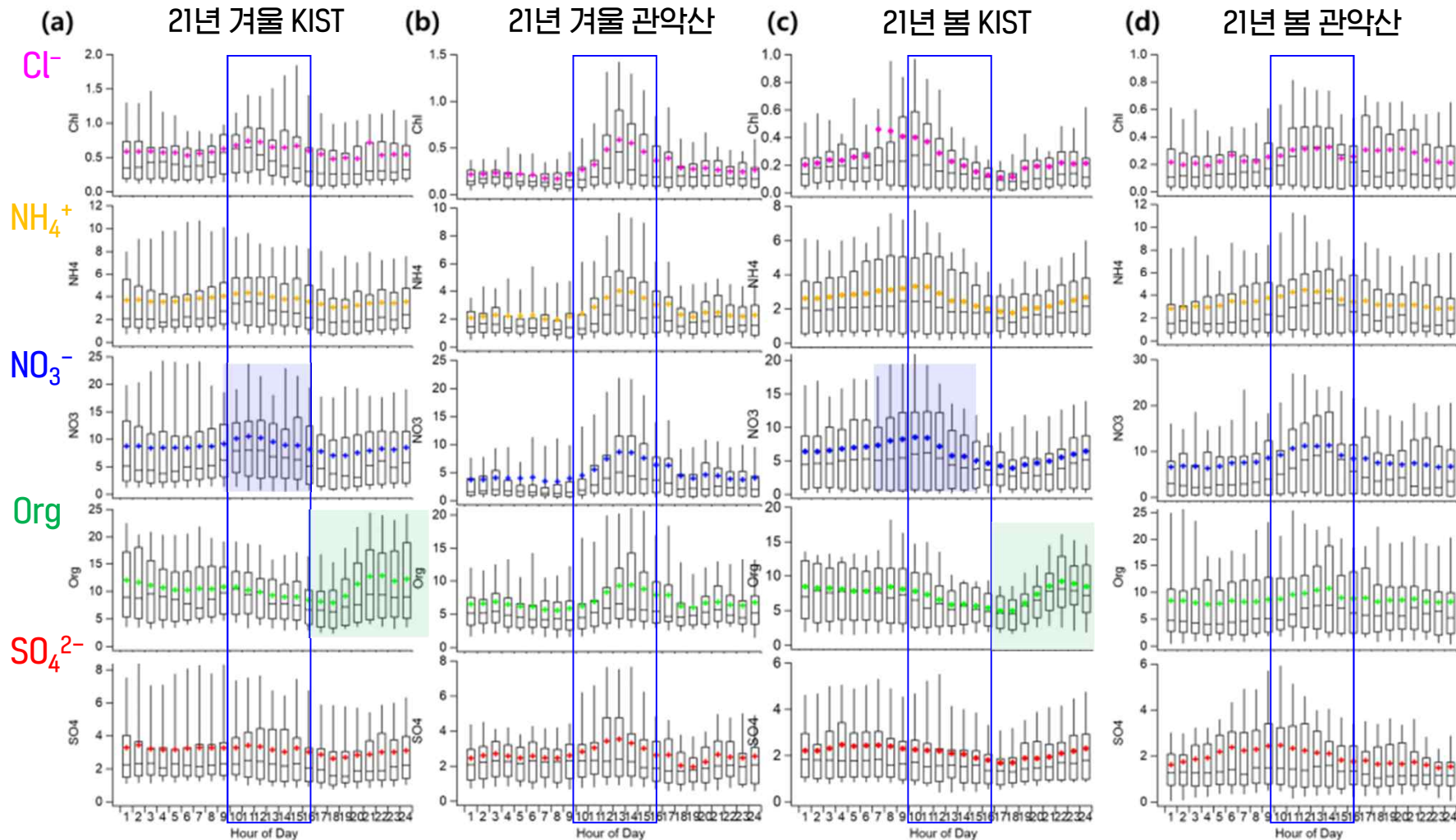


기기명	측정항목	보유기관
ToF-ACSM	NR-PM _{2.5}	한국과학기술연구원
MAAP	Black Carbon	한국과학기술연구원
SMPS	Size distribution	한국과학기술연구원
Hi-Vol sampler	Filter sample	한국과학기술연구원
Thermo	오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스, 일산화질소	보건환경연구원
BAM1020	PM ₁₀ , PM _{2.5} mass	보건환경연구원
Picarro	NH ₃	보건환경연구원
Vaisala	온도, 습도, 풍향, 풍속	기상청



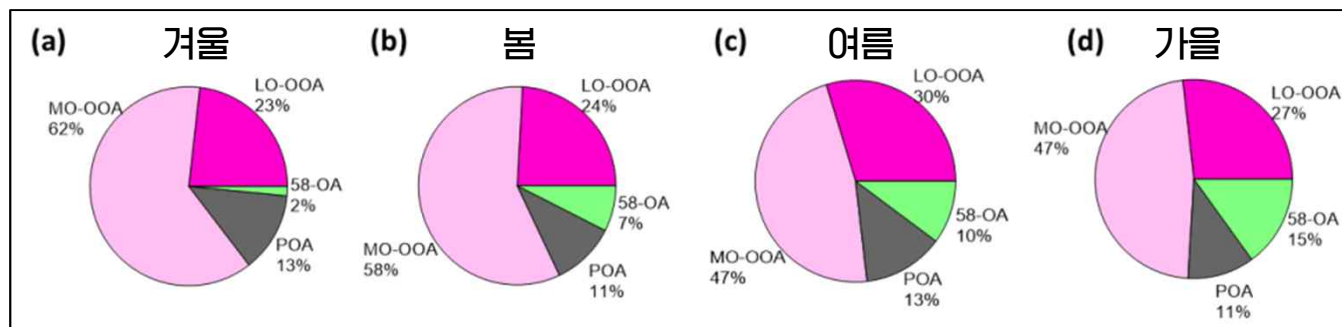
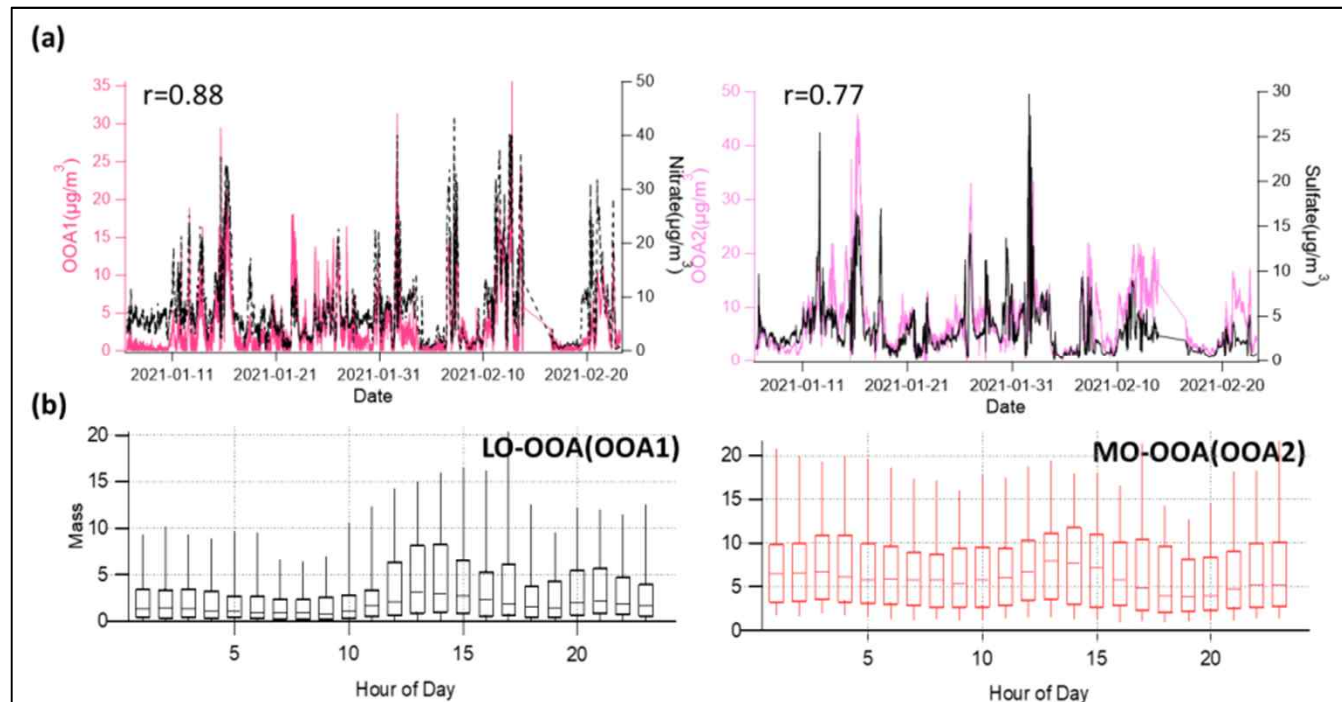
KIST(지상) PM_{1.0} 과 관악산(상층) PM_{2.5} 화학조성 비교 (3차년도)

- 1) 상공: 주간 농도 증가, 지표: rush hour와 야간 농도 증가
- 2) 상공에서 주간 농도 증가는 PBL확장에 따른 지상오염원의 영향
- 3) 성분별 상층/지상 비: 황산염 제외 모두 야간 1미만, 오후 2~3시 10이상



관악산(상층) PM_{2.5} 계절별 오염원 분석 (3차년도)

- 1) 모든 계절에서 일차배출 POA, 이차생성 OOA와 m/z 58-OA로 두드러짐
- 2) OOA는 황산 및 질산이온과의 상관분석과 일변화 패턴으로 LO-OOA와 MO-OOA 구분
- 3) MO-OOA: 47-62%, 직접적인 배출원이 없기 때문에 OOA 비율이 POA보다 약 4-5배 높음

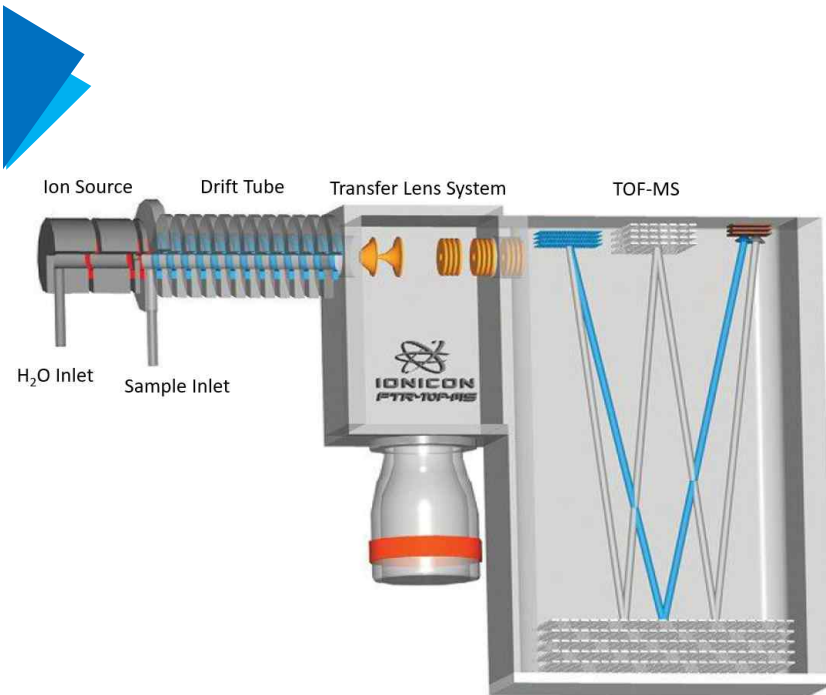


V. 결과3

AMS 기반 측정시스템의 고도화를 통한 미세먼지 오염원 및 생성 프로세스 규명

대기중 VOC 측정을 위한 PTR-MS시스템 구축 (2차년도)

PTR-ToF-MS setup 조건



Items		Condition
Model/Manufacture		PTR-ToF-MS4000/IONICON
Sampling Flow rate		100 sccm
Primary Ion		H_3O^+
H_2O Flow rate		6 sccm
Ion source emission		4.0 mA
Drift Tube	Temp.	80 °C
	Voltage	600 V
	E/N(electric field)	105Td(Townsend)
	Pressure	2.8 mbar
Time of Flight Mass Analyzer	Mass Range	4.2–386.5 amu
	Ion Extraction Rate	40 kHz
	Spectrum	Every 1 min.



PTR-MS 기반 VOCs 정량을 위한 표준물질 리스트 (2~3차년도)

Apel Riemer Environmental, Inc., St Miami, FL, U.S.

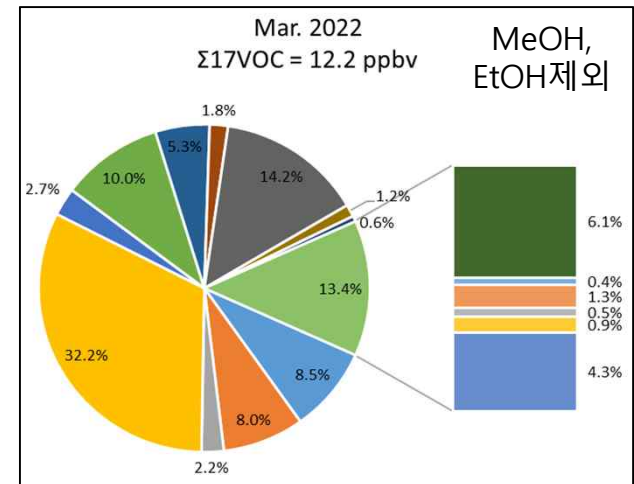
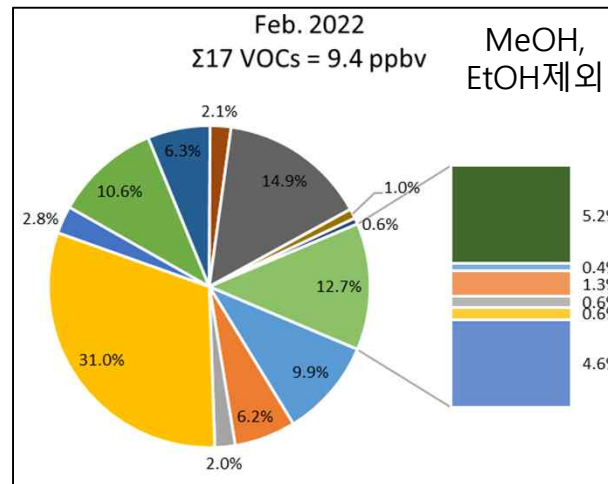
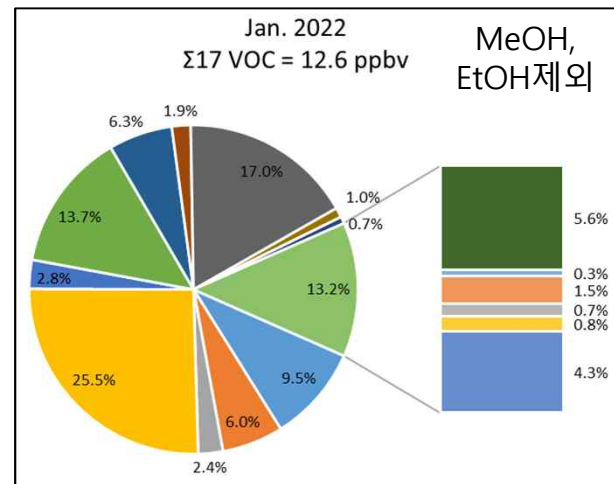
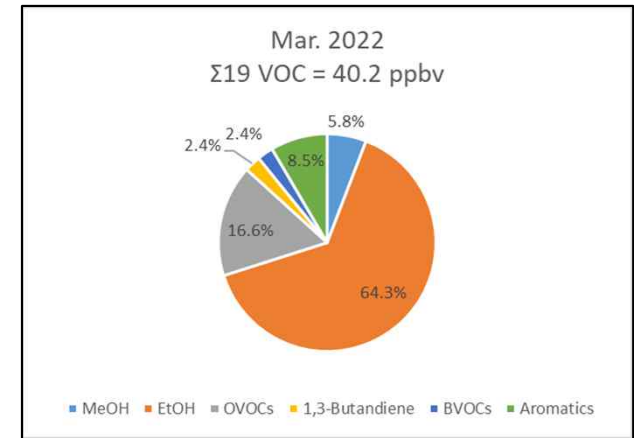
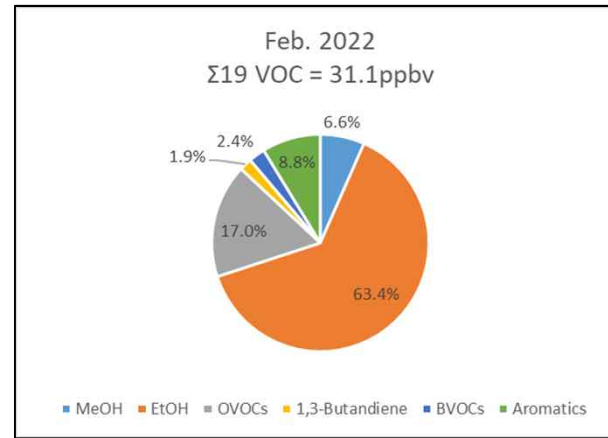
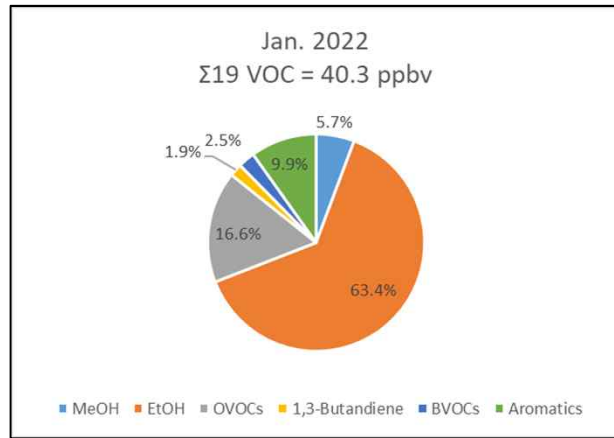
Number	M.W. (g/mol)	Ion mass (g/mol)	Ion formular (IONICON)	Compound	CAS#	Formular	IONICON identified mass
1	32.04	33	(CH4O)H+ (Corr)	Methanol	67-56-1	CH4O	33.033
2	41.05	42	(C2H3N)H+ (Corr)	Acetonitrile	75-05-8	C2H3N	42.034
3	44.05	45	(C2H5O)+ (Corr)	Acetaldehyde	75-07-0	C2H4O	45.033
4	46.07	47	(C2H6O)H+ (Corr)	Ethanol	64-17-5	C2H6O	47.049
5	53.06	54	(C3H3N)+ (Corr)	Acrylonitrile	107-13-1	C3H3N	54.034
6	54.09	55	(C4H6)+ (Corr)	1,3-Butadiene	106-99-0	C4H6	55.054
7	26.06	57	(C3H4O)H+ (Corr)	Acrolein	107-02-8	C3H4O	57.033
8	58.08	59	(C3H6O)H+ (Corr)	Acetone	67-64-1	C3H6O	59.049
9	68.12	69	(C5H8)H+ (Corr)	Isoprene	78-79-5	C5H8	69.070
10	72.11	73	(C4H8O)H+ (Corr)	MEK	78-93-3	C4H8O	73.065
11	78.11	79	(C6H6)H+ (Corr)	Benzene	71-43-2	C6H6	79.054
12	86.13	87	(C5H10O)H+ (Corr)	2-Pentanone	107-87-9	C5H10O	87.080
13	92.14	93	(C7H8)H+ (Corr)	Toluene	108-88-3	C7H8	93.070
14	100.16	101	(C6H12O)H+ (Corr)	2-Hexanone	591-78-6	C6H12O	101.096
15	104.15	105	(C8H8)H+ (Corr)	Styrene	100-42-5	C8H8	105.070
16	106.16	107	(C8H10)H+ (Corr)	C8H10	108-38-3	C8H10	107.086
17	114.18	115	(C7H14O)H+ (Corr)	2-Heptanone	110-43-0	C7H14O	115.112
18	120.19	121	(C9H12)H+ (Corr)	C9H12	95-63-6	C9H12	121.101
19	128.17	129	(C10H8)H+ (Corr)	Naphthalene	91-20-3	C10H8	129.070
20	136.24	137	(C10H16)H+ (Corr)	a-pinene	80-56-8	C10H16	137.132
21	204.36	205	(C15H24)H+ (Corr)	b-caryophyllene	87-44-5	C15H24	205.195

Group name	19 Volatile organic compounds excluding acetonitrile and acrylonitrile
Methanol	Methanol
Oxygenated VOCs	Acetaldehyde, Ethanol, Acrolein, Acetone, MEK, 2-Pentanone, 2-hexanone, 2-Heptanone
Biogenic VOCs	Isoprene, a-pinene, b-caryophyllene
1,3-Butandiene	1,3-Butandiene
Aromatics	Benzene, Toluene, Styrene, C8H10, C9H12, Naphthalene

22년 1~3월 $\Sigma 19$ VOCs와 $\Sigma 17$ VOCs 구성비율 (3차년도)

Ethanol과 Methanol 제외한 VOCs농도

Acetone > Toluene > MEK > Acetaldehyde > Benzene > 1,3-Butadiene > C8H10 > b-caryophyllene > Isoprene



■ Acetaldehyde
■ MEK
■ Styrene
■ a-pinene

■ 1,3-Butadiene
■ Benzene
■ C8H10
■ b-caryophyllene

■ Acrolein
■ 2-Pentanone
■ 2-Heptanone

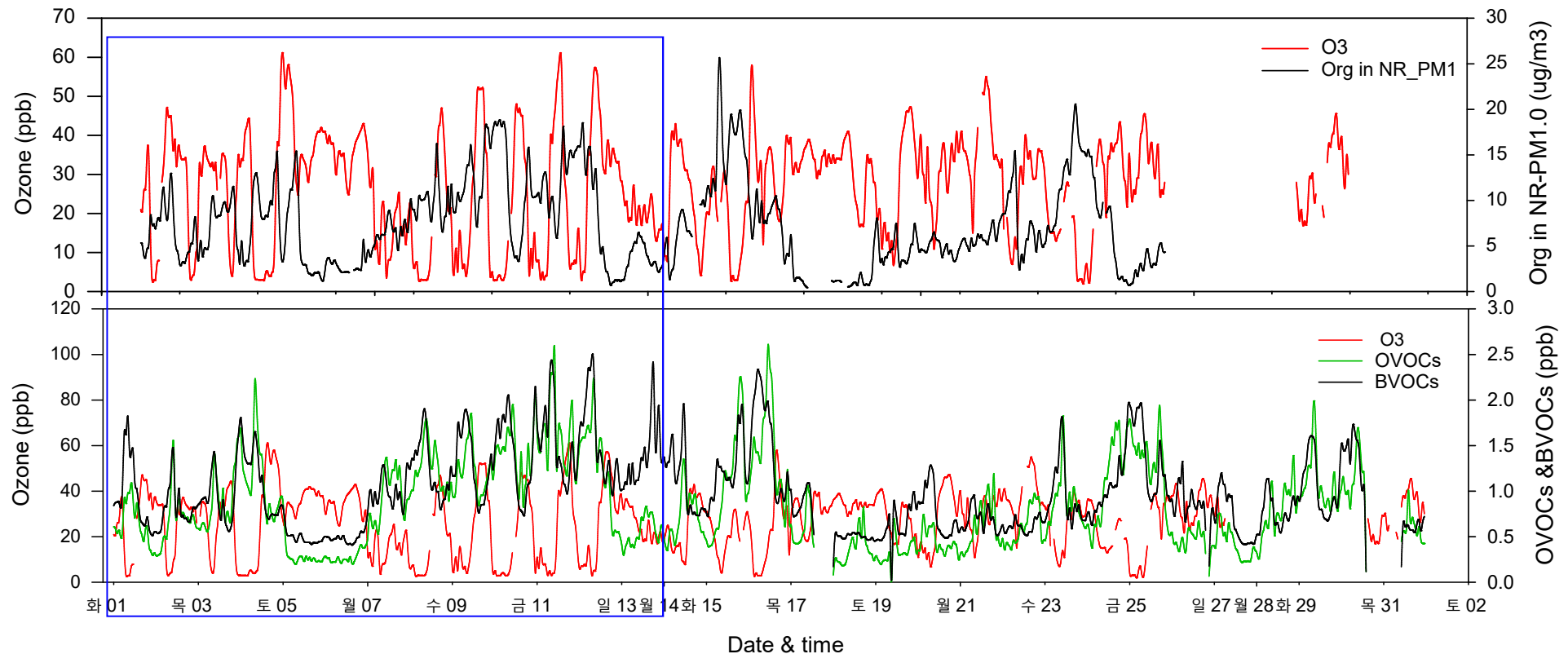
■ Acetone
■ Toluene
■ C9H12

■ Isoprene
■ 2-Hexanone
■ Naphthalene

VOCs, ozone, and Org in NR-PM_{1.0} 상세분석 (3차년도)

전반적인 추세로 분석으로 SOA 기여 VOCs소모에 따른 오존 생성이 SOA까지 연결되는 현상을 규명하기엔 한계가 있기 때문에 Event선별 후, 상세 분석 필요

: VOCs 감소 → 오존증가 → Org 증가 경향



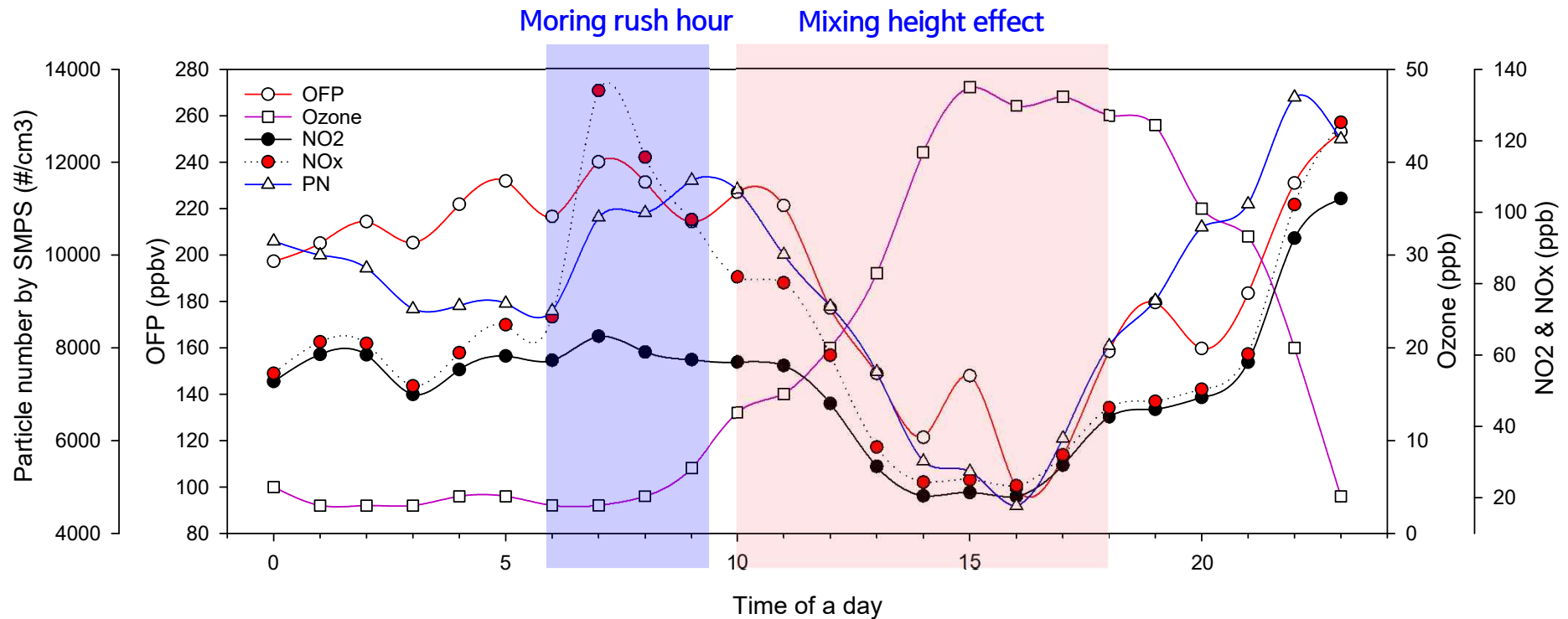
1) OFP 산출

$$OFP(ppb) = MIR \times VOC(ppb) \times \frac{VOC(MW)}{O_3(MW)}$$

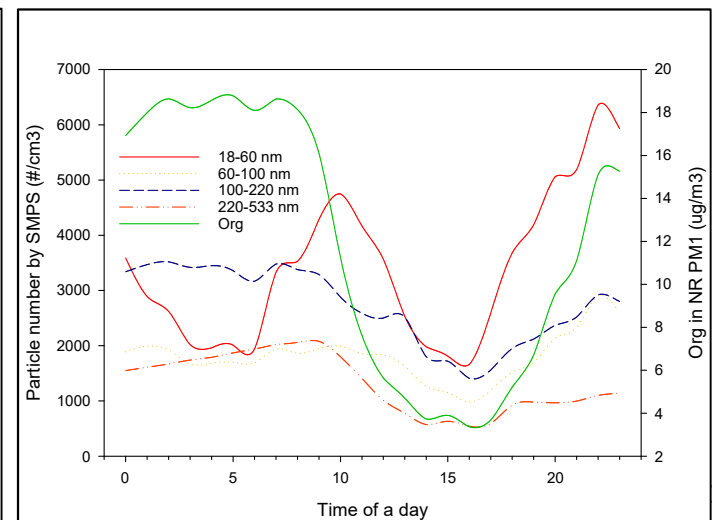
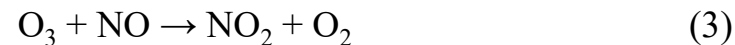
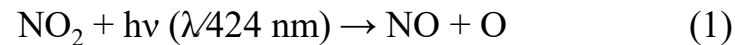
2) OHR 산출

$$OHR(sec^{-1}) = OHRrate[k_{OH}](cm^3/molecule \cdot sec) \times [VOC(ppb) \times 10^{-9} \frac{cm^3}{cm^3}] \times \frac{1mmol}{24.4cm^3} \times \frac{6.02 \times 10^{23} molecule}{1mol} \times \frac{1mol}{10^3 mmol}$$

NO_x, PN, OFP, OHR, and ozone 일변화 (3차년도)



시간	일사량(MJ/m ²)
9:00	0.64
10:00	1.65
11:00	2.09
12:00	2.36
13:00	2.41
14:00	2.16
15:00	2.02
16:00	1.75
17:00	1.03
18:00	0.45
19:00	0.05



2022년 1~3월 VOCs 종별 OFP, OHR 상대 기여도 (3차년도)

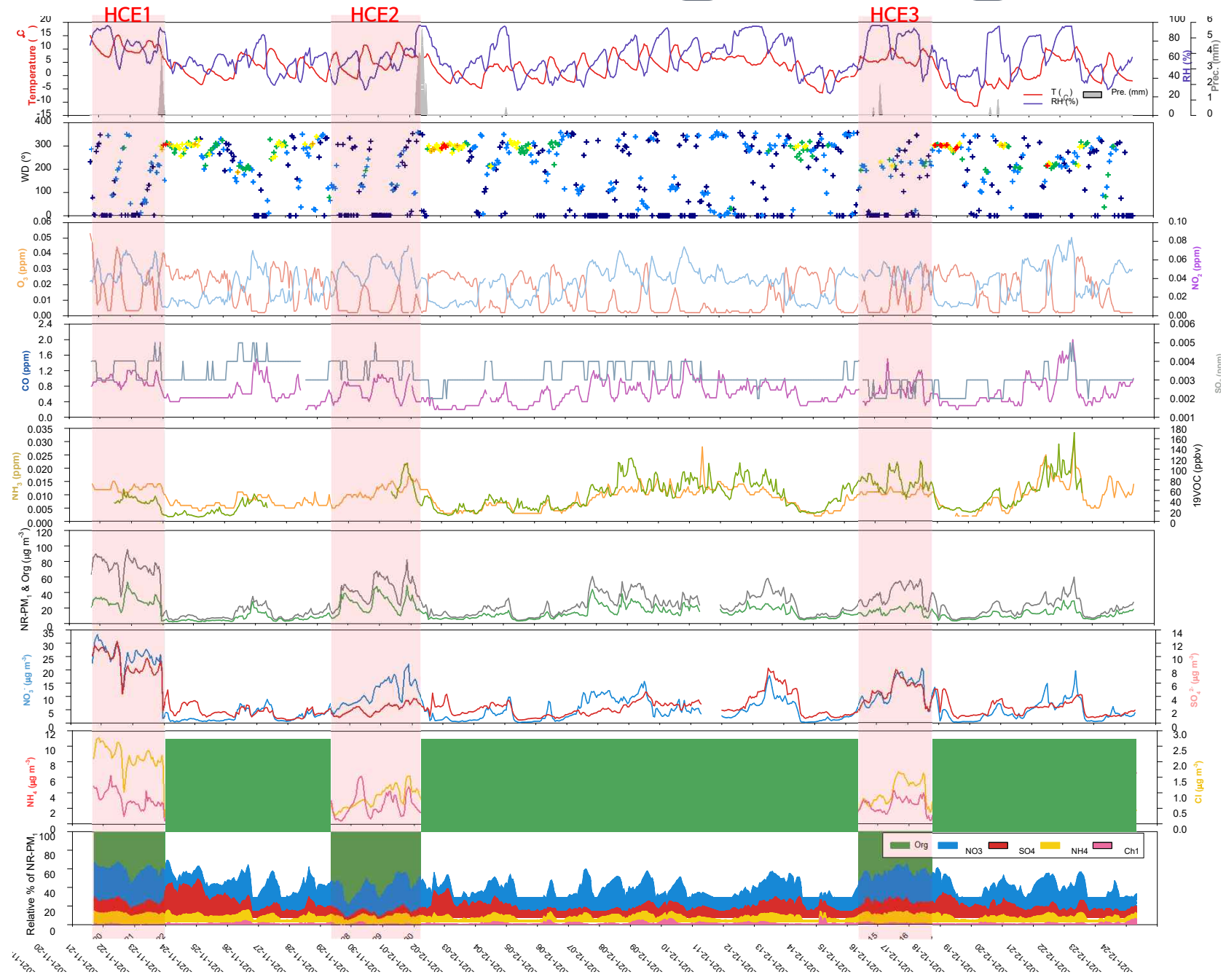
No	Compound	OHR (s ⁻¹)	Relative contribution (%)
1	Ethanol	1.88	32.3%
2	1,3-Butadiene	1.38	23.8%
3	Isoprene	0.76	13.2%
4	C ₈ H ₁₀	0.38	6.5%
5	Acetaldehyde	0.37	6.4%
6	a-pinene	0.29	5.1%
7	Toluene	0.22	3.9%

No	Compound	OFP (ppb)	Relative contribution (%)
1	Ethanol	34.94	35.4%
2	C ₈ H ₁₀	14.25	14.4%
3	Toluene	12.45	12.6%
4	1,3-Butadiene	11.93	12.1%
5	Acetaldehyde	5.98	6.1%
6	Isoprene	4.67	4.7%
7	C ₉ H ₁₂	3.20	3.2%

VOCs의 1~3월 평균 농도는 Ethanol(23.8 ppbv) > Methanol(2.2 ppbv) > Acetone(3.6 ppbv) > Toluene(1.6 ppbv) > MEK(1.1 ppbv)

Number	Compound	M.W. (g/mol)	Mean conc (ppbv)				OH reactivity (s ⁻¹)					Ozone formation potential (ppb)				
			Jan.	Feb.	Mar.	Mean	OHR rate (cm ³ /molec ule·sec)	Jan.	Feb.	Mar.	Mean	MIR	Jan.	Feb.	Mar.	Mean
1	Methanol	32.04	2.34	2.05	2.34	2.24	9.40E-13	0.05	0.05	0.05	0.05	0.67	1.05	0.92	1.05	1.00
2	Acetonitrile	41.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Acetaldehyde	44.05	1.03	0.93	1.03	1.00	1.50E-11	0.38	0.34	0.38	0.37	6.54	6.18	5.60	6.18	5.98
4	Ethanol	46.07	25.83	19.72	25.83	23.79	3.20E-12	2.04	1.55	2.04	1.88	1.53	37.93	28.96	37.93	34.94
5	Acrylonitrile	53.06	0.02	0.02	0.02	0.02	4.90E-12	0.00	0.00	0.00	0.00	2.24	0.05	0.05	0.05	0.05
6	1,3-Butadiene	54.09	0.97	0.58	0.97	0.84	6.66E-11	1.59	0.95	1.59	1.38	12.61	13.76	8.26	13.76	11.93
7	Acrolein	26.06	0.26	0.19	0.26	0.24	1.99E-11	0.13	0.09	0.13	0.12	7.45	2.28	1.67	2.28	2.08
8	Acetone	58.08	3.92	2.92	3.92	3.59	1.70E-13	0.02	0.01	0.02	0.02	0.36	1.71	1.27	1.71	1.56
9	Isoprene	68.12	0.33	0.26	0.33	0.31	1.00E-10	0.82	0.64	0.82	0.76	10.61	5.04	3.94	5.04	4.67
10	MEK	72.11	1.22	1.00	1.22	1.14	1.22E-12	0.04	0.03	0.04	0.03	1.48	2.70	2.22	2.70	2.54
11	Benzene	78.11	0.64	0.59	0.64	0.63	1.22E-12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.72	0.75	0.69	0.75	0.73
12	2-Pentanone	86.13	0.22	0.20	0.22	0.21	4.40E-12	0.02	0.02	0.02	0.02	2.81	1.10	1.00	1.10	1.07
13	Toluene	92.14	1.73	1.40	1.73	1.62	5.63E-12	0.24	0.19	0.24	0.22	4.00	13.30	10.76	13.30	12.45
14	2-Hexanone	100.16	0.15	0.09	0.15	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Styrene	104.15	0.07	0.06	0.07	0.06	5.80E-11	0.10	0.08	0.10	0.09	1.73	0.25	0.22	0.25	0.24
16	C ₈ H ₁₀	106.16	0.75	0.49	0.75	0.66	2.31E-11	0.43	0.28	0.43	0.38	9.75	16.12	10.51	16.12	14.25
17	2-Heptanone	114.18	0.05	0.04	0.05	0.04	1.10E-11	0.01	0.01	0.01	0.01	2.36	0.26	0.20	0.26	0.24
18	C ₉ H ₁₂	120.19	0.15	0.13	0.15	0.14	3.25E-11	0.12	0.10	0.12	0.12	8.87	3.38	2.83	3.38	3.20
19	Naphthalene	128.17	0.06	0.05	0.06	0.06	2.30E-11	0.03	0.03	0.03	0.03	3.34	0.52	0.49	0.52	0.51
20	a-pinene	136.24	0.11	0.06	0.11	0.09	5.23E-11	0.67	0.08	0.14	0.29	4.51	1.36	0.77	1.36	1.16
21	b-caryophyllene	204.36	0.52	0.44	0.52	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2021년 11.17~12.23. 서울 KIST 고농도 사례 선정

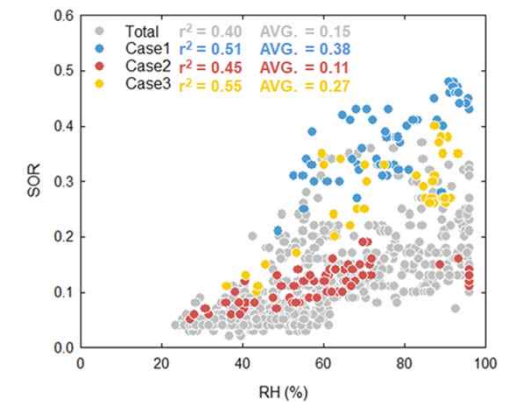
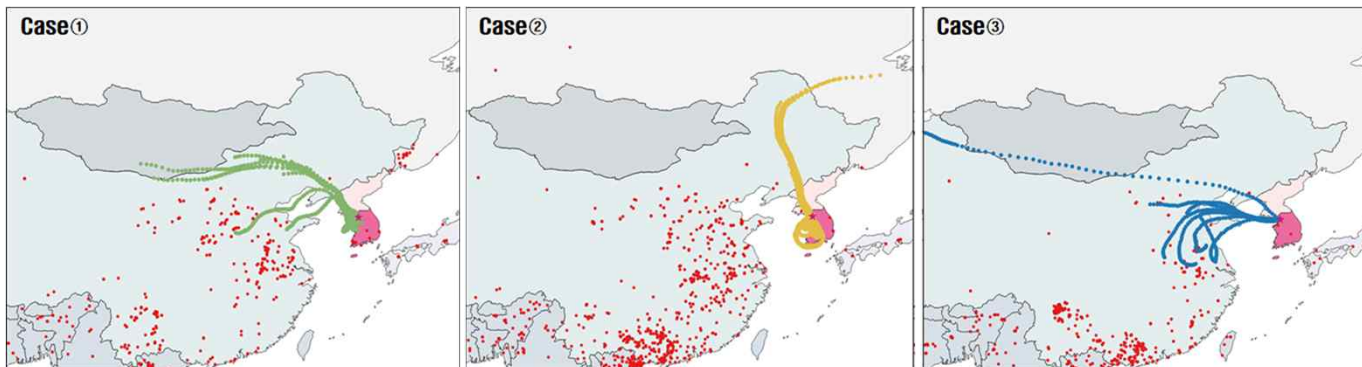
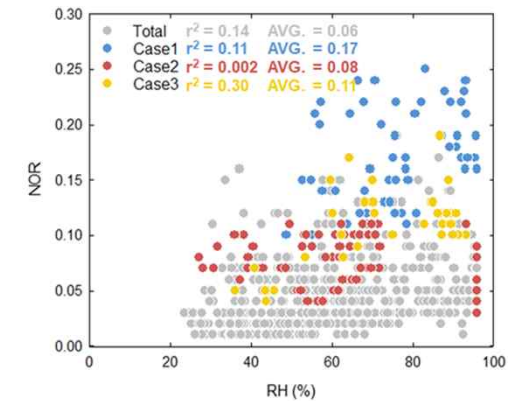
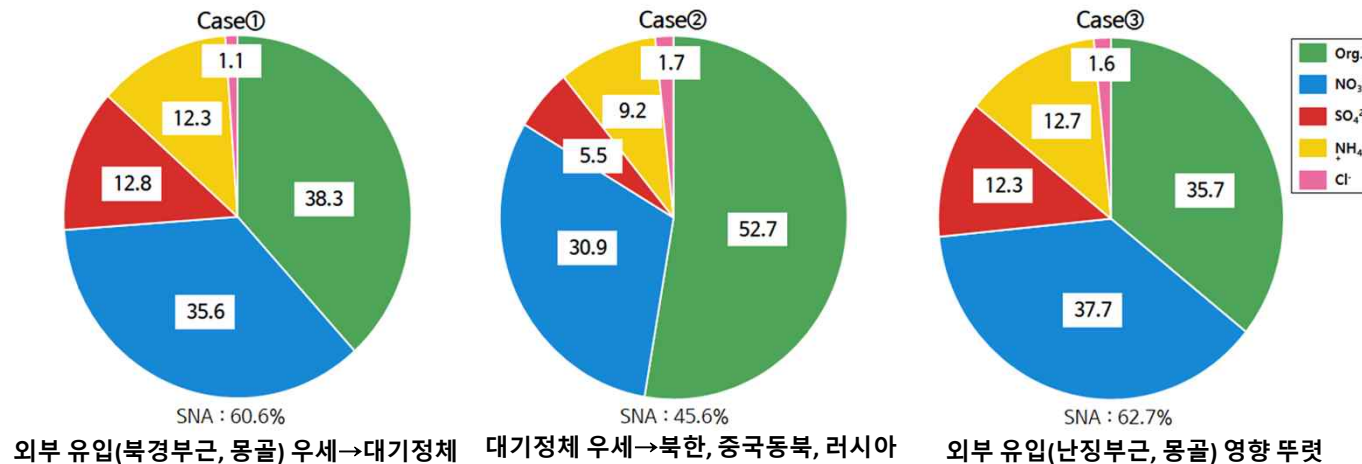


2021년 11.17~12.23. 서울 KIST 고농도 사례 성분비율

- 연구기간 중 총 3개의 고농도 기간 분석
- Case① : 2021-11-19 17:00 ~ 2021-11-21 22:00
- Case② : 2021-11-27 19:00 ~ 2021-11-30 13:00
- Case③ : 2021-12-15 13:00 ~ 2021-12-16 23:00

Case①&③ : NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ 2차 무기 이온과 유사 경향

Case② : CO, Cl와 같은 1차 지표 물질과 org와 유사 경향



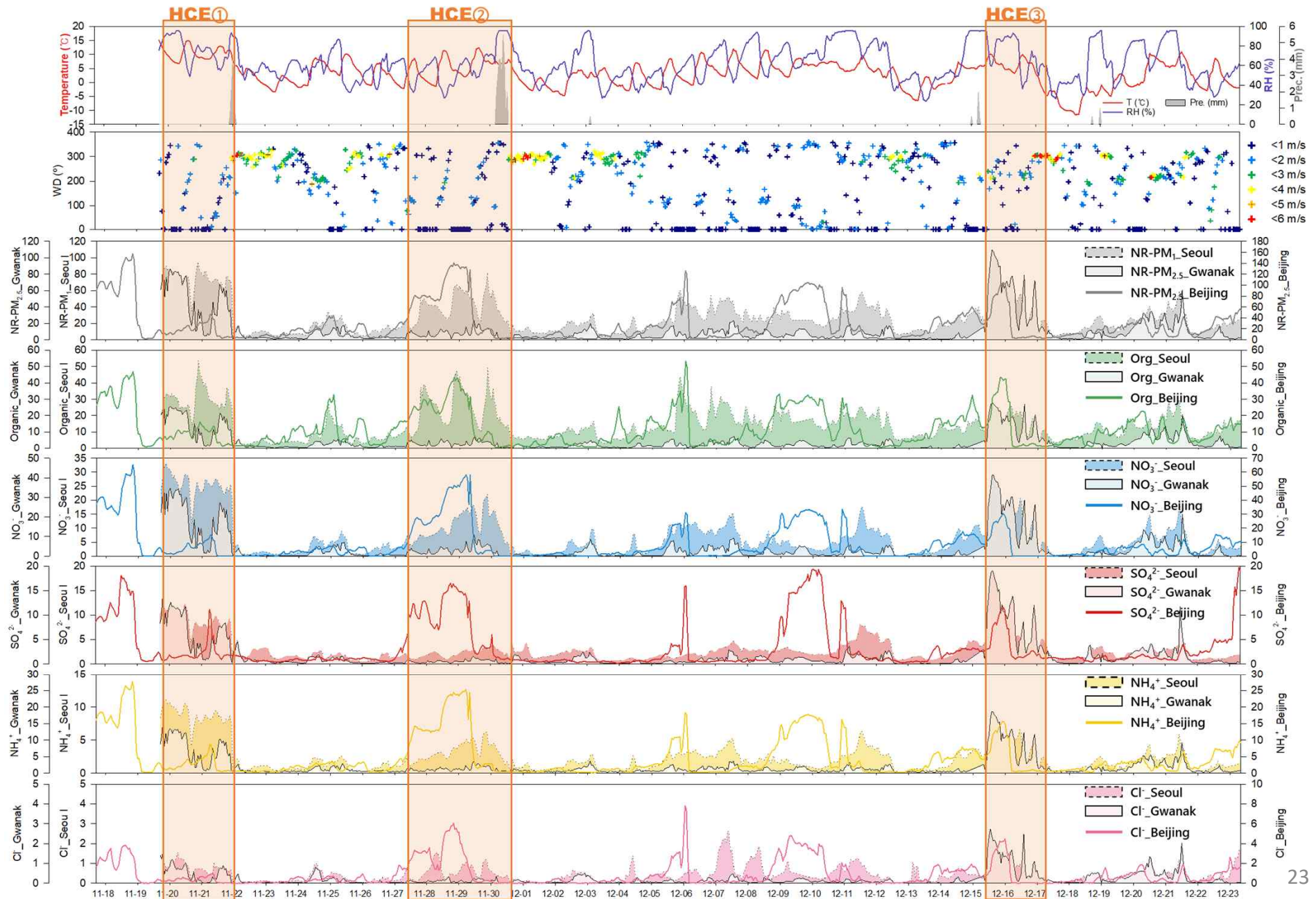
- NOR (nitrogen oxidation ratio), SOR (sulfur oxidation ratio)

$$\text{NOR} = \frac{[\text{NO}_3^-]}{[\text{NO}_3^-] + [\text{NO}_2]}$$

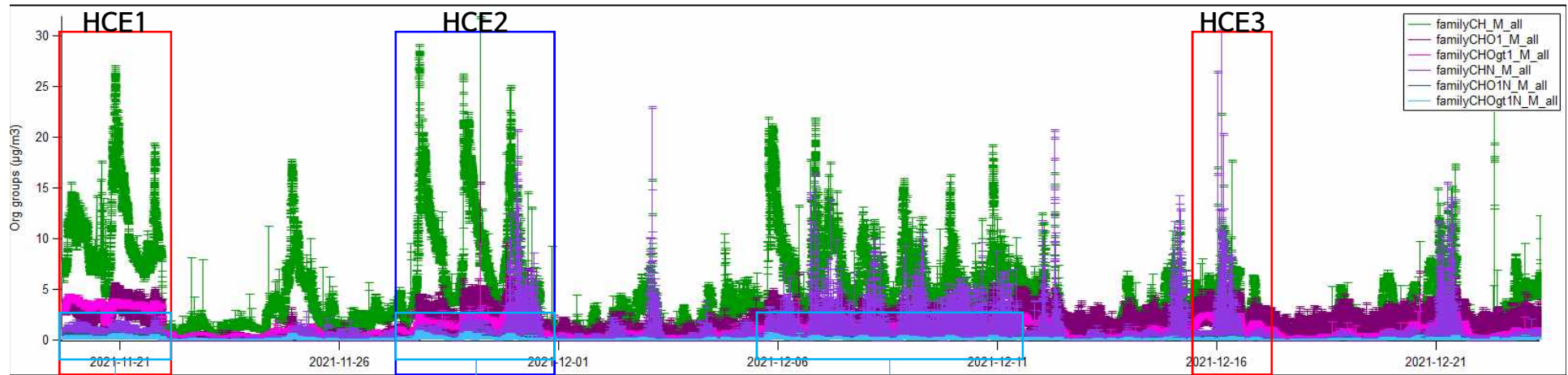
$$\text{SOR} = \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{SO}_2]}$$

- $[\text{NO}_3^-]$, $[\text{NO}_2]$, $[\text{SO}_4^{2-}]$, $[\text{SO}_2]$: molar concentration

2021년 11.17~12.23. KIST-관악산-북경 시계열 변화



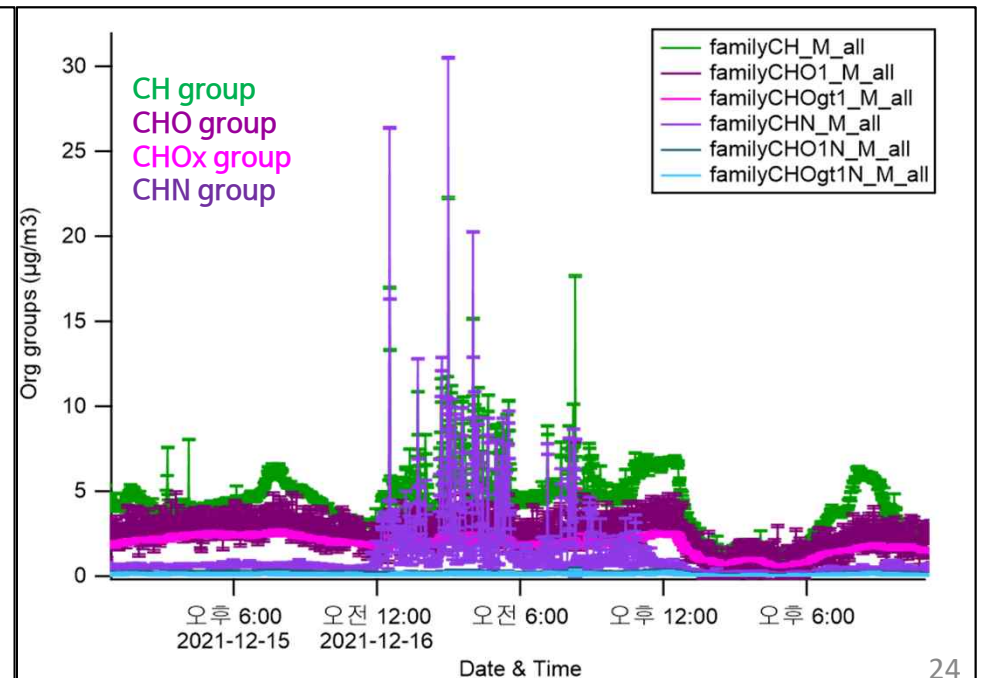
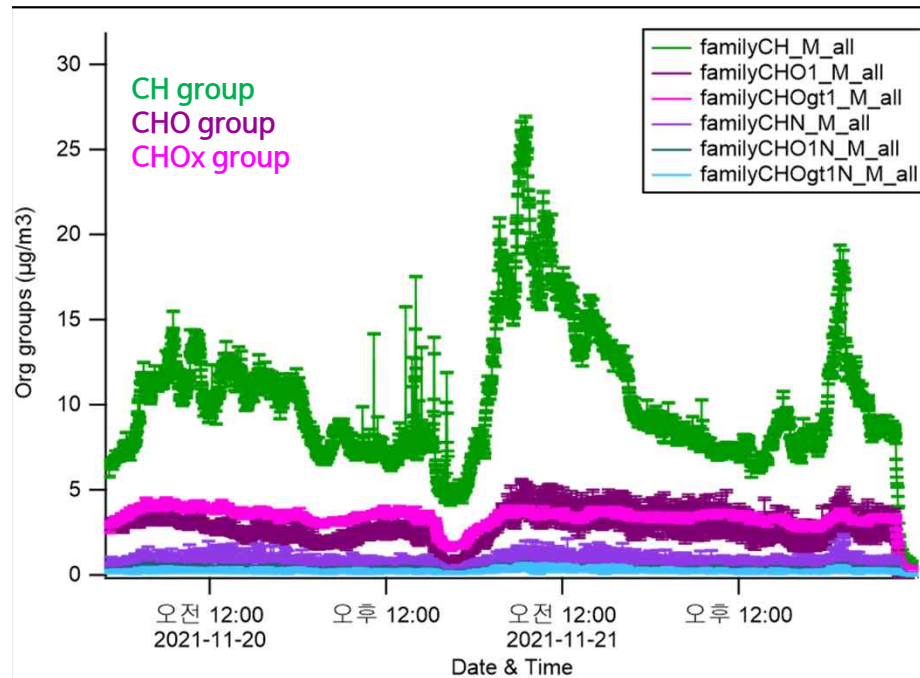
2021년 11.17~12.23. 고농도 사례 Org group 분석



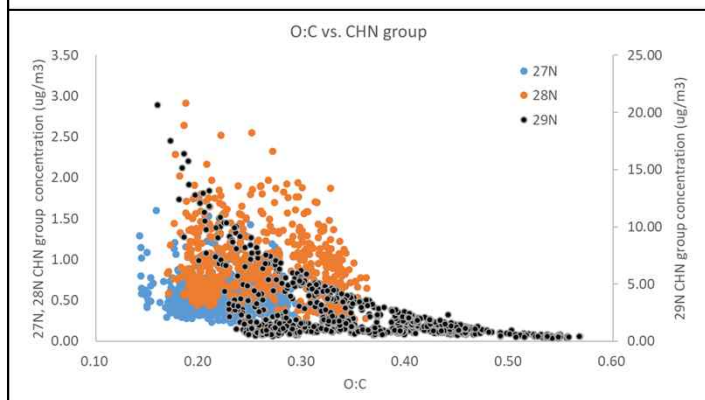
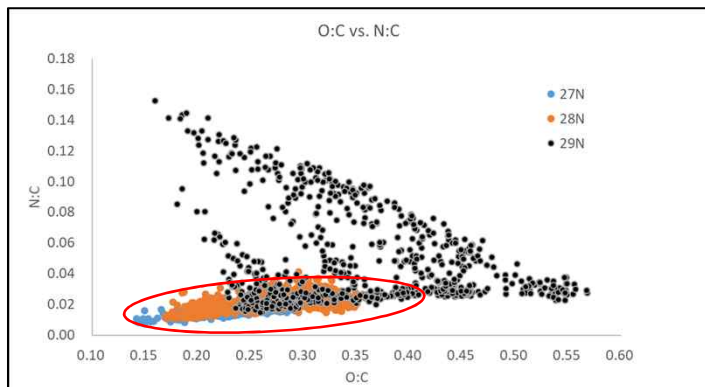
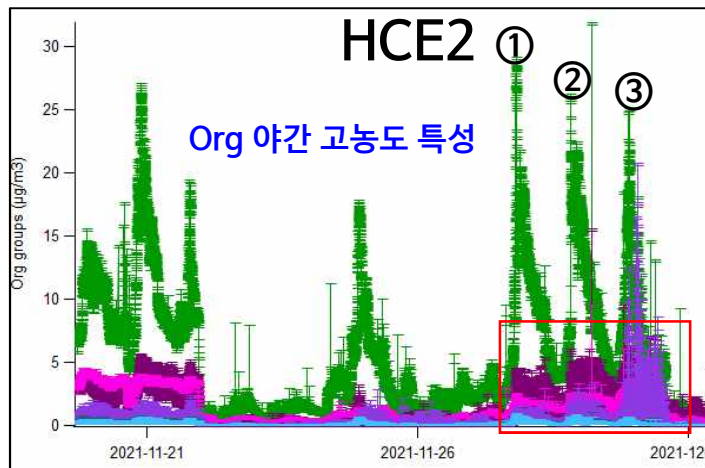
HCE1

CHOxN group

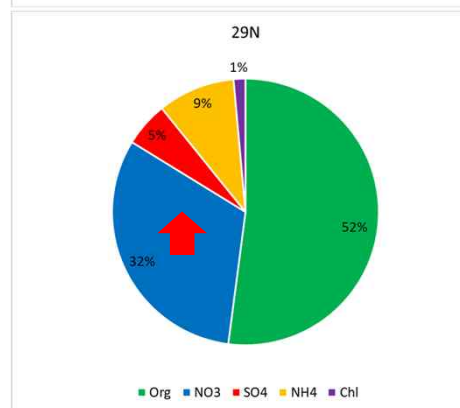
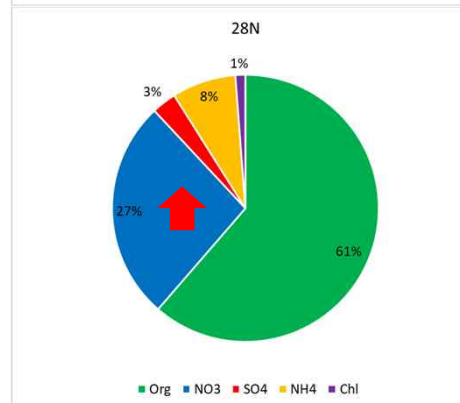
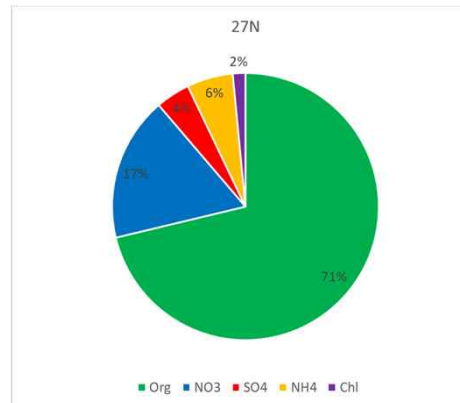
HCE3



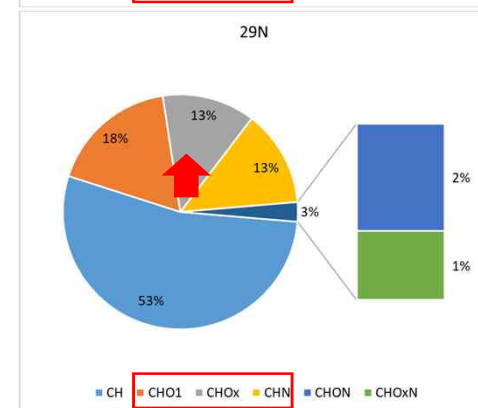
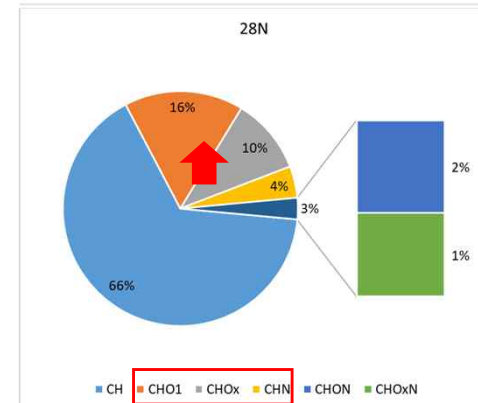
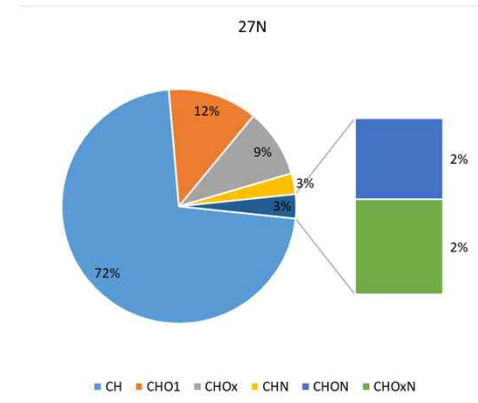
2021년 11.17~12.23. 고농도 사례2 Org group 분석



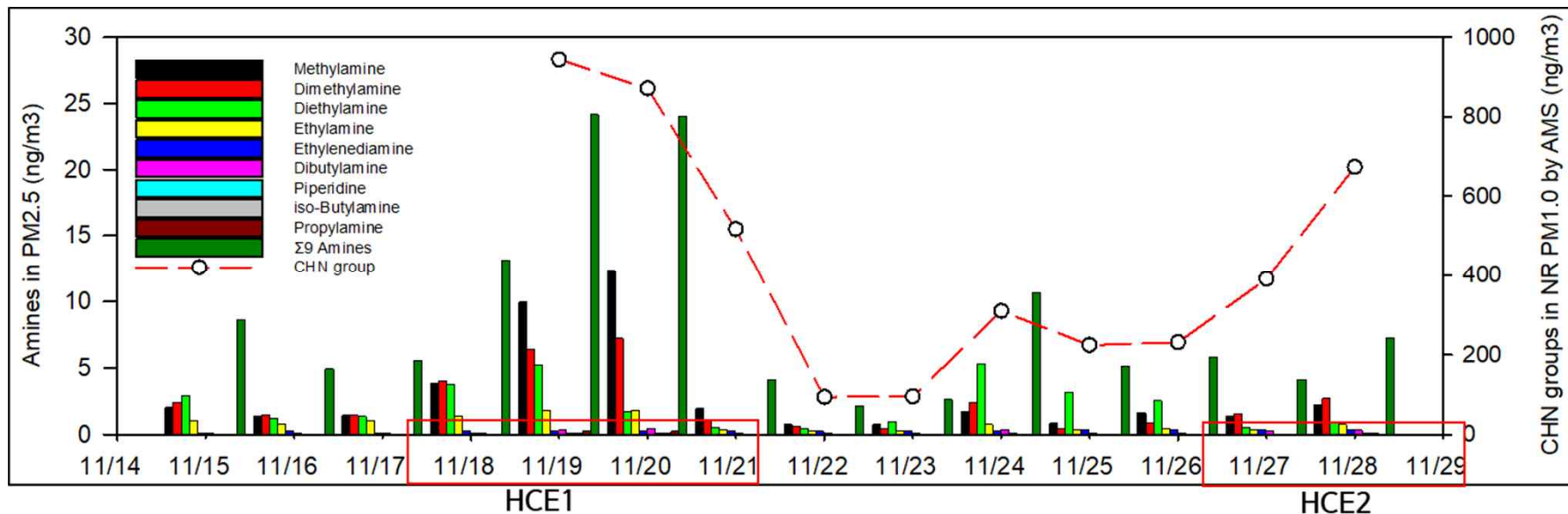
Chemical composition



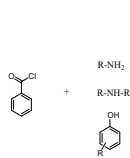
Org group composition



21년 11.15~28. PM_{2.5} 필터기반 아민·아미노산류 분석 결과



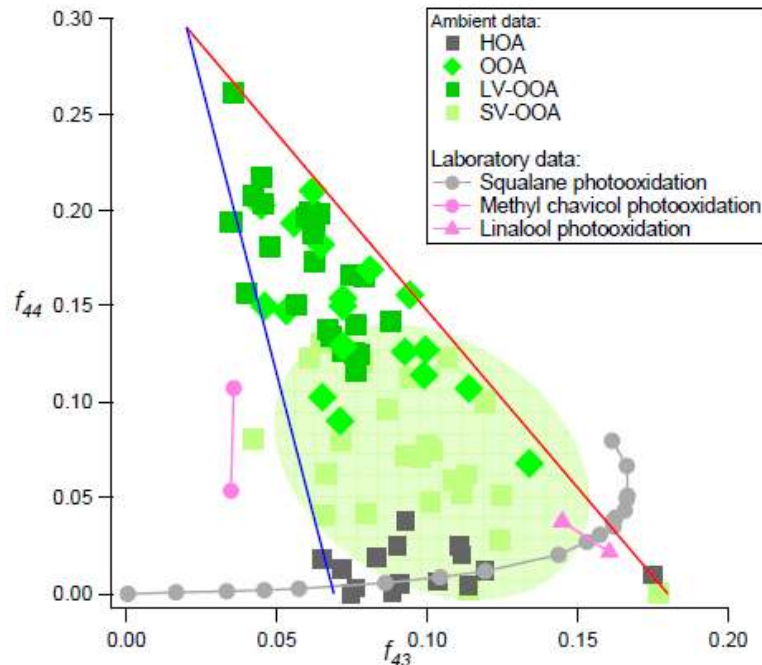
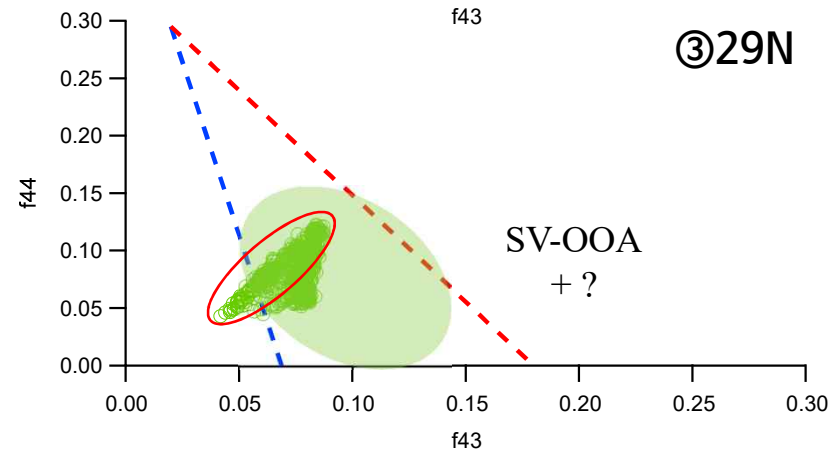
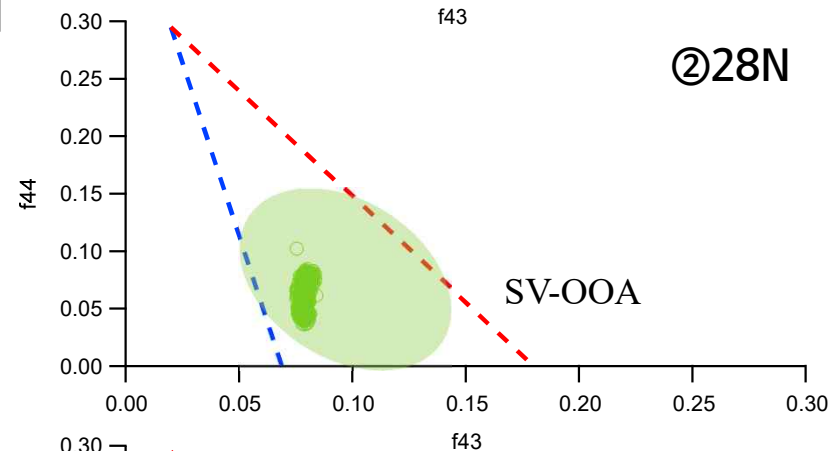
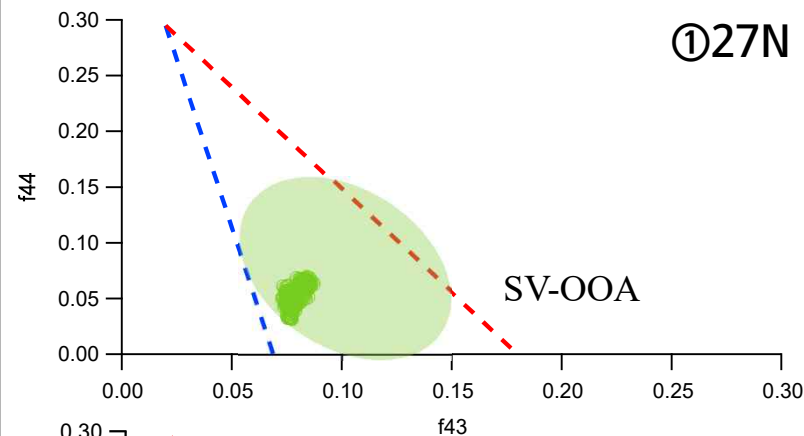
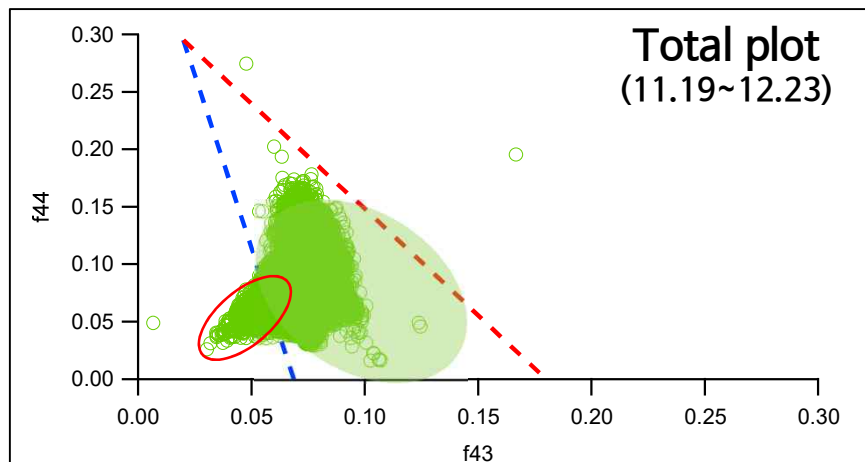
No.	Target Compound	Ret. Time (min)	Ionization Form	Precursor Ion (m/z)	Product Ion (m/z)	Internal Standard	Ret. Time (min)	Ionization Form	Precursor Ion (m/z)	Product Ion (m/z)
1	Alanine	2.08	[M+BzCl-H]	192	77, 148	Alanine-IS	2.07	[M+BzCl-H]	197	153, 82
2	Arginine	1.50	[M+BzCl-H]	277	191, 235	Arginine-IS	1.49	[M+BzCl-H]	282	196, 240
3	Asparagine	1.48	[M+BzCl-H]	235	120, 114	Asparagine-IS	1.48	[M+BzCl-H]	240	222, 125
4	Aspartic acid	1.58	[M+BzCl-H]	236	120, 192	Aspartic acid-IS	1.58	[M+BzCl-H]	241	125, 197
5	Cysteine	6.63	[M+2BzCl-H]	328	137, 77	Cysteine-IS	6.57	[M+2BzCl-H]	338	142, 82
6	Cystine	3.72	[M+2BzCl-H]	447	190, 224	Cystine-IS	3.65	[M+2BzCl-H]	457	195, 229
7	Glutamic acid	1.69	[M+BzCl-H]	250	206, 121	Glutamic acid-IS	1.68	[M+BzCl-H]	255	211, 126
8	Glutamine	1.50	[M+BzCl-H]	249	187, 120	Glutamine-IS	1.50	[M+BzCl-H]	254	192, 125
9	Glycine	1.77	[M+BzCl-H]	178	77, 134	Glycine-IS	1.75	[M+BzCl-H]	183	139, 82
10	Histidine	1.40	[M+BzCl-H]	258	120, 214	Histidine-IS	1.38	[M+BzCl-H]	263	219, 125
11	Hydroxyproline	1.48	[M+BzCl-H]	234	162, 134	Hydroxyproline-IS	1.48	[M+BzCl-H]	239	167, 139
12	Isoleucine	5.14	[M+BzCl-H]	234	190, 77	Isoleucine-IS	5.10	[M+BzCl-H]	239	195, 82
13	Leucine	5.34	[M+BzCl-H]	234	190, 77	Leucine-IS	5.31	[M+BzCl-H]	239	195, 82
14	Lysine	4.54	[M+2BzCl-H]	353	120, 309	Lysine-IS	4.47	[M+2BzCl-H]	363	319, 125
15	Methionine	3.57	[M+BzCl-H]	252	204, 160	Methionine-IS	3.54	[M+BzCl-H]	257	209, 165
16	Phenylalanine	5.60	[M+BzCl-H]	268	224, 120	Phenylalanine-IS	5.57	[M+BzCl-H]	273	229, 125
17	Proline	2.23	[M+BzCl-H]	218	146, 172	Proline-IS	2.22	[M+BzCl-H]	223	151, 179
18	Serine	1.54	[M+BzCl-H]	208	178, 134	Serine-IS	1.53	[M+BzCl-H]	213	183, 139
19	Threonine	1.72	[M+BzCl-H]	222	178, 134	Threonine-IS	1.71	[M+BzCl-H]	227	183, 139
20	Tryptophan	5.71	[M+BzCl-H]	307	120, 178	Tryptophan-IS	5.68	[M+BzCl-H]	312	183, 125
21	Tyrosine	8.33	[M+2BzCl-H]	388	344, 211	Tyrosine-IS	8.28	[M+2BzCl-H]	398	354, 216
22	Valine	3.69	[M+BzCl-H]	220	176, 77	Valine-IS	3.65	[M+BzCl-H]	225	181, 82
23	2-Amino-1-butanol	2.35	[M+BzCl-H]	194	105, 77	2-Amino-1-butanol-IS	2.33	[M+BzCl-H]	199	110, 82
24	2-Aminobutyric acid	2.67	[M+BzCl-H]	206	162, 77	2-Aminobutyric acid-IS	2.64	[M+BzCl-H]	211	167, 82
25	2-Methylphenylamine	7.13	[M+BzCl-H]	212	105, 77	2-Methylphenylamine-IS	7.09	[M+BzCl-H]	217	110, 82
26	4-Aminobenzoic acid	5.48	[M+BzCl-H]	240	196, 118	4-Aminobenzoic acid-IS	5.44	[M+BzCl-H]	245	201, 82
27	4-Ethylphenylamine	9.27	[M+BzCl-H]	226	105, 77	4-Ethylphenylamine-IS	9.24	[M+BzCl-H]	231	110, 82
28	4-Methylphenylamine	7.14	[M+BzCl-H]	212	105, 77	4-Methylphenylamine-IS	7.09	[M+BzCl-H]	217	110, 82
29	Dibutylamine	9.65	[M+BzCl-H]	234	105, 77	Dibutylamine-IS	9.65	[M+BzCl-H]	239	110, 82
30	Diethylamine	5.17	[M+BzCl-H]	178	105, 77	Diethylamine-IS	5.12	[M+BzCl-H]	183	110, 82
31	Dimethylamine	2.67	[M+BzCl-H]	150	105, 77	Dimethylamine-IS	2.65	[M+BzCl-H]	155	110, 82
32	Dipropylamine	7.69	[M+BzCl-H]	206	105, 77	Dipropylamine-IS	7.66	[M+BzCl-H]	211	110, 82
33	Ethanolamine	1.70	[M+BzCl-H]	166	105, 77	Ethanolamine-IS	1.69	[M+BzCl-H]	171	110, 82
34	Ethylamine	2.87	[M+BzCl-H]	150	105, 77	Ethylamine-IS	2.84	[M+BzCl-H]	155	110, 82
35	Ethylenediamine	1.48	[M+BzCl-H]	165	148, 77	Ethylenediamine-IS	1.48	[M+BzCl-H]	170	153, 82
36	iso-Butylamine	5.66	[M+BzCl-H]	178	122, 79	iso-Butylamine-IS	5.61	[M+BzCl-H]	183	127, 84
37	Methylamine	2.16	[M+BzCl-H]	136	58, 105	Methylamine-IS	2.14	[M+BzCl-H]	141	58, 110
38	N-Methylphenylamine	6.88	[M+BzCl-H]	212	105, 77	N-Methylphenylamine-IS	6.85	[M+BzCl-H]	217	110, 82
39	p-Aminophenol	10.03	[M+2BzCl-H]	316	134, 211	p-Aminophenol-IS	10.00	[M+2BzCl-H]	326	216, 134
40	Phenylamine	7.44	[M+BzCl-H]	198	105, 77	Phenylamine-IS	7.40	[M+BzCl-H]	203	110, 82
41	Piperidine	5.54	[M+BzCl-H]	190	105, 77	Piperidine-IS	5.54	[M+BzCl-H]	195	110, 82
42	Propylamine	4.18	[M+BzCl-H]	164	105, 77	Propylamine-IS	4.18	[M+BzCl-H]	169	110, 82
43	sec-Butylamine	5.45	[M+BzCl-H]	178	122, 79	sec-Butylamine-IS	5.40	[M+BzCl-H]	183	127, 84



1. 매질효과 완벽 보정 모든 성분 isotope ISTD 분석
2. 1분 이내 수행 전처리 및 유도체화
3. 44종의 Free amino acid, alkyl amines 동시분석
4. 높은 회수율, 재현성, 낮은 검출한계(LC-MS/MS 분석)

No	Compounds	Rel. % of 42 compounds	Formular	Org group
1	Methylamine	23.7%	CH ₃ NH ₂	CHN
2	Dimethylamine	18.6%	(CH ₃) ₂ NH	CHN
3	Diethylamine	17.2%	C ₄ H ₁₁ N	CHN
4	Glycine	16.9%	C ₂ H ₆ NO ₂	CHON
5	Ethylamine	6.1%	C ₂ H ₅ NH ₂	CHN
6	Alanine	4.3%	C ₃ H ₇ NO ₂	CHON
7	Ethanolamine	3.9%	C ₂ H ₇ NO	CHON
8	Ethylenediamine	1.7%	C ₂ H ₈ N ₂	CHN
9	Dibutylamine	1.3%	C ₈ H ₁₉ N	CHN
10	Serine	0.8%	C ₃ H ₇ NO ₃	CHON

2021년 11.17~12.23. 고농도 사례2 Triangle plot (f_{44} vs. f_{43})



N. L. Ng et al.: Changes in organic aerosol composition, ACP, 2011

VI. 연구성과 AMS 국제 Meeting 개최('21.6.29, '22.5.19)

CIA2 2021 Virtual Meeting: June 29, 2021



Due to concerns about the COVID-19 crisis, this year's meeting will be virtual. We intend to provide the same opportunity that you are used to for sharing your latest research progress in atmospheric aerosols, while networking and reconnecting with colleagues. Plans for the CIA2 2021 meeting include research outcomes from smog chamber & AMS investigations, and an exciting array of scientists' talks. This meeting is organized by the Center for FRIEND Project and Clean Air Center in Korea Institute of Science and Technology (KIST), Korea.

Moderator: Dr. Hwajin Kim (KIST, Korea)

Session 1. Characterization of SOA and soot particles

CIA2 2022 Virtual Meeting : May 19 (Thursday), 2022



Zoom Meeting ID: 836 4950 2143
Password: pmcenter

Due to ongoing COVID-19 pandemic, this year's meeting will be virtual. The CIA2 2022 meeting focuses on the smog chamber & AMS investigations, and exciting outcomes will be presented by outstanding speakers from China, Japan, Germany, and Korea. This meeting is organized by the Center for FRIEND (Fine Particle Research Initiative in East Asia Considering National Differences) Project and Clean Air Center in Korea Institute of Science and Technology (KIST), Korea.

Session 1. Atmospheric aerosol study (Chair: Dr. Kyung Hwan Kim, KIST, Korea)

Time (KST)	Title	Presenter
10:55 - 11:00	Opening address	Dr. Gwi-Nam Bae (KIST, Korea)
11:00 - 11:30	Characteristics of PM _{2.5} Haze Episode revealed by highly time-resolved aerial and ground measurement in the Seoul super site	Dr. Jun Young Ahn (NIER, Korea)
11:30 - 12:00	ICP-TOFMS for trace multi-elemental aerosols: Development to exhaust, non-exhaust, and atmospheric measurements	Dr. Hiroyuki Hagino (JARI, Japan)
12:00 - 13:10	Lunch Break	

Session 2. AMS study (Chair: Dr. Kyung Hwan Kim, KIST, Korea)

Time (KST)	Title	Presenter
13:10 - 13:40	Algorithms measurements of chemical composition and evolution of atmospheric aerosols on the large point sources	Prof. Tae Hyoung Lee (NUIST, China)
13:40 - 14:10	Brown carbon in fine particles in four typical northwestern cities during winter: optical properties and source apportionment	Dr. Jiangchong Xu (CAS, Lanzhou, China)
14:10 - 14:40	Chemical properties, sources and size-resolved hygroscopicity of submicron black carbon-containing aerosols in urban Shanghai	Prof. Xinlei Ge (NUIST, China)
14:40 - 15:10	Long-term changes in aerosol particle composition in Beijing	Dr. Yele Sun (CAS, Beijing, China)
15:10 - 15:30	Break	

Session 3. Smog chamber study (Chair: Dr. Seung-Bok Lee, KIST, Korea)

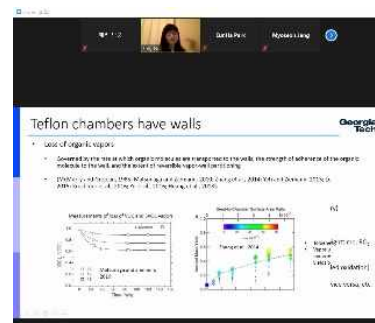
Time (KST)	Title	Presenter
15:30 - 16:00	Hygroscopic aerosols and partitioning of nitrates, a lab study	Prof. Yong Bin Lim (Ewha Women's U., Korea)
16:00 - 16:30	C ₂ -dicarboxylic acids present in anthropogenic and biogenic secondary organic aerosols	Dr. Kei Sato (NIES, Japan)
16:30 - 17:00	Reflections and explorations on the needs for laboratory simulation research in the context of current atmospheric complex pollution in China	Dr. Hong Li (CAS, China)
17:00 - 17:30	Design of a continuously stirred tank reactor for detailed investigation of mechanisms of SOA formation	Dr. Sören Zorn (Jülich, Germany)
17:30 - 18:00	Measurements of volatile organic compounds: Insights from measurement of F18-TOF-MS and application to smog chamber studies	Dr. Jisoon Lee (KIST, Korea)
18:00 - 18:05	Closing remarks	Dr. Jin Young Kim (KIST, Korea)

Registration (free of charge): pmcenter@kist.re.kr, pre-registration required until May 16, 2022

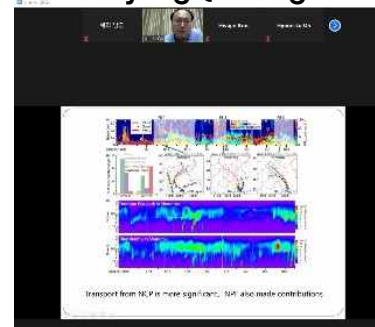


2021 International Meeting on Characterization and Identification of Atmospheric Aerosols

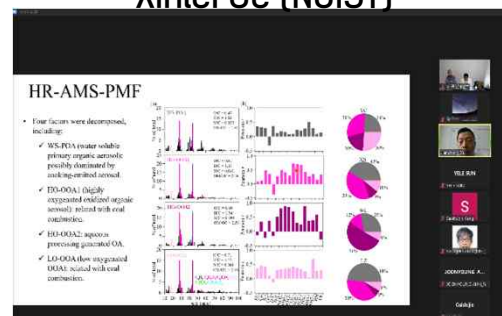
2022 International Meeting on Characterization and Identification of Atmospheric Aerosols



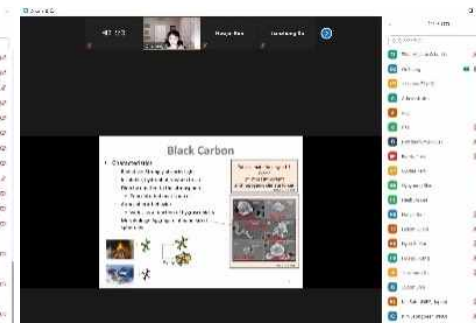
AMS 네트워크 자문
Sally Ng (Georgia Tech.)



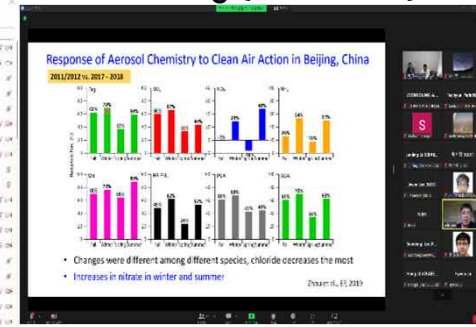
중국, 난징 AMS측정
Xinlei Ge (NUIST)



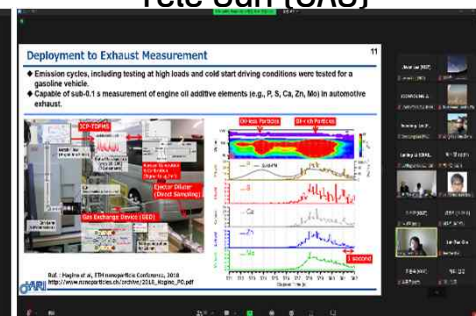
중국, 란저우 AMS측정
Jianzhong Xu (CAS)



AMS 네트워크 자문
Qi Zhang (U.C. Davis)



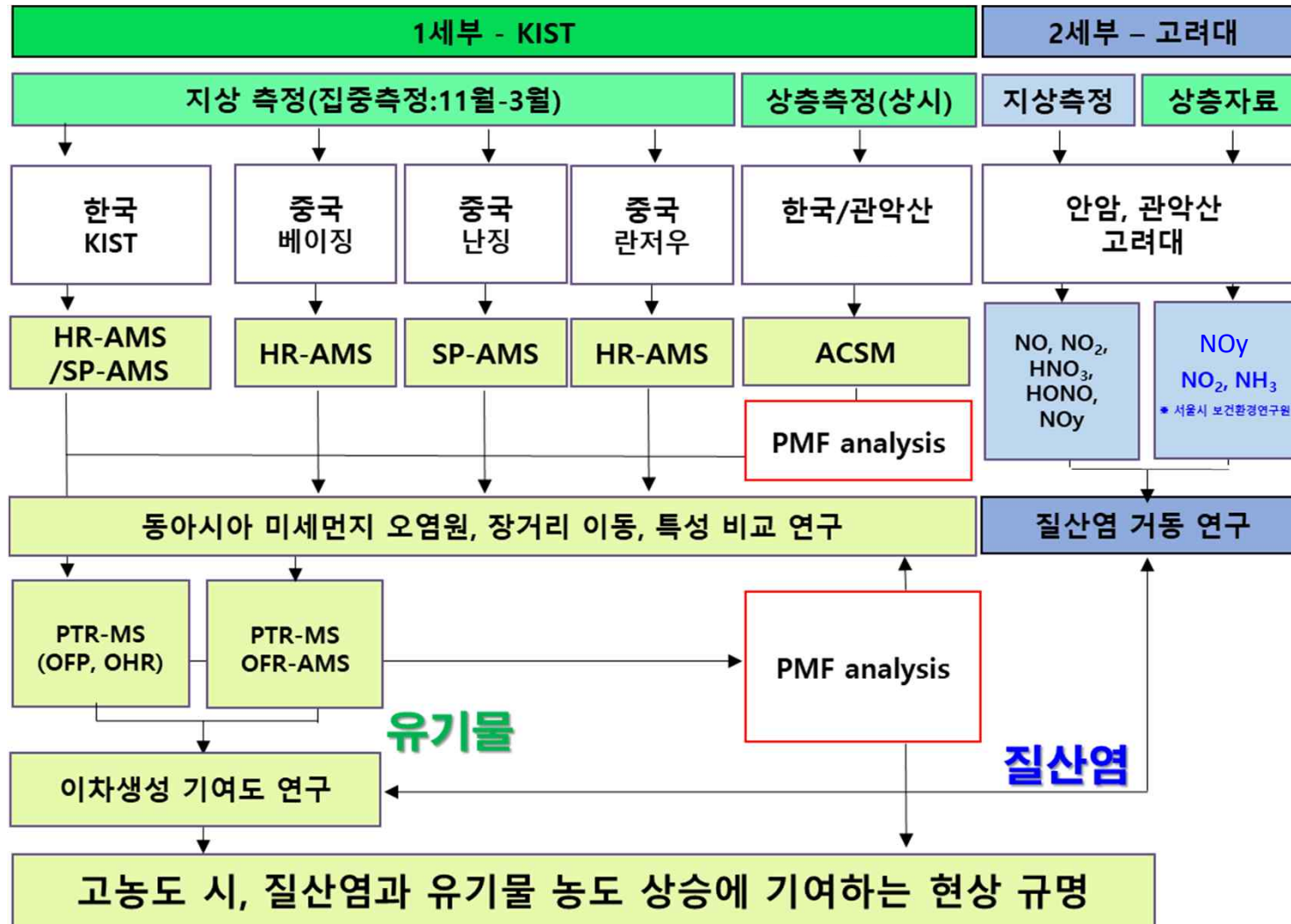
중국, 베이징 AMS측정
Yele Sun (CAS)



일본, 도쿄, ICP-ToF-MS개발
Hiroyuki Hagino (JARI)

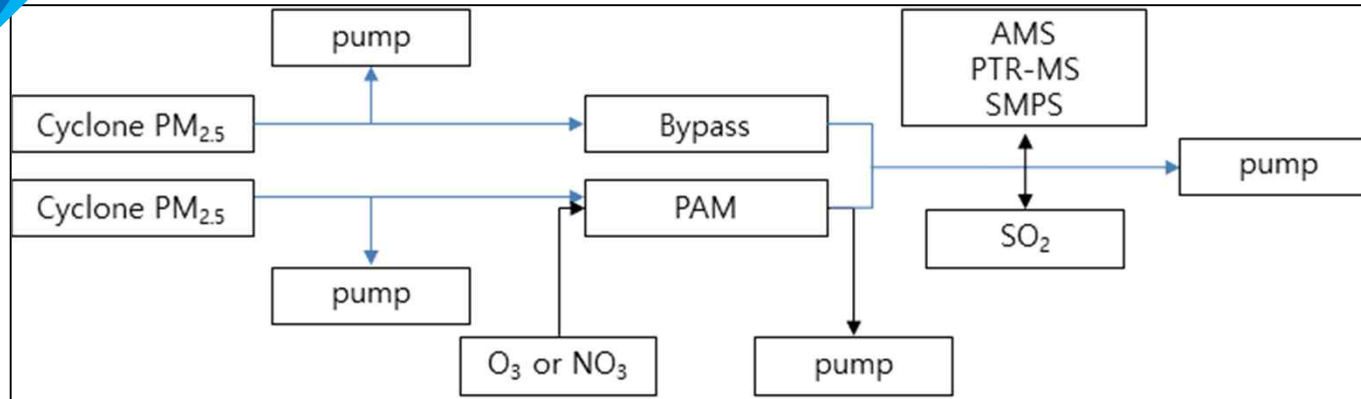
VII. 2단계 추진계획

VI. 2단계 계획

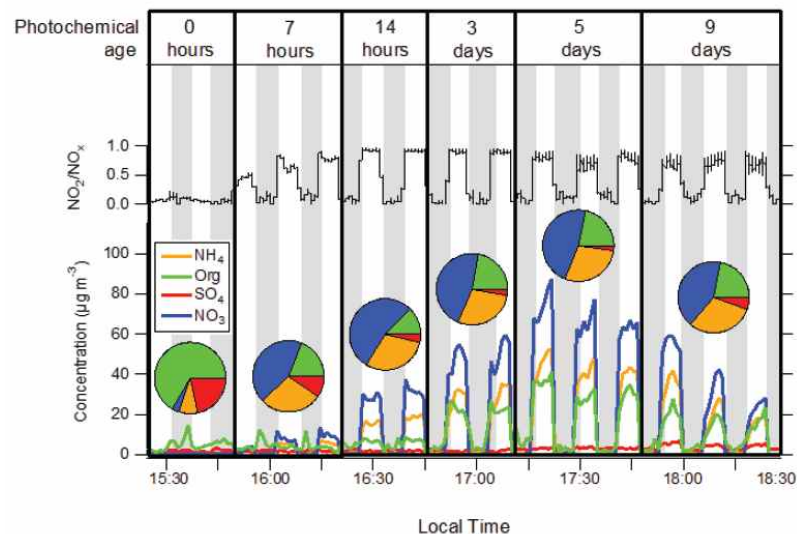


- 국제협력 연구 동시 관측 : NASA GTE (Global Tropospheric Experiment) Asia-AQ 2024년 2-3월 중 수행
DC-8 항공관측 (NASA) + 지상관측 (NIER)
- 관악산 상공관측 : NOy (NOx + HNO₃, PAN, HONO, HO₂NO₂, org. nitrate, NO₃, N₂O₅, particulate nitrate + etc.)
상공 NOx, pNO₃ 그리고 지상자료(고려대)와 함께 비교
- OFR oxidant source NO₃ 추가로 야간 Org 생성반응 모사

서울시 대기의 OFP, OHR, SOAFP 산출 연구



OA enhancement case 비교



- 인위적 산화반응 통한 대기중 SOA의 Fragmentation 혹은 Enhancement 측정을 통해 입자 노화도 판별
- 산화작용으로 대기중 OA중 노화과정 모사
- PTR-MS 활용으로 Enhancement 시, 소모되는 주요 VOCs 정성/정량으로 SOA 기여 VOCs 간접적 제시
- 야간에 빈번하게 관측되었던 현상을 규명을 위해 야간반응을 모사하는 NO₃ 라디칼을 생성하여, 주간과 야간의 산화반응 모사로 특히, 국내 대기정체 시 주로 관찰되는 야간 Org 고농도 현상을 규명

서울시 대기의 야간반응에 의한 SOAFP 산출 연구

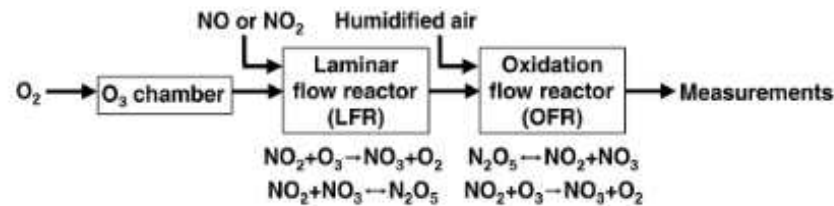


Figure 1. Process flow diagram of the OFR-iN₂O₅ technique used to generate nitrate radicals (NO₃).

Suggested starting setup for LFR inlet

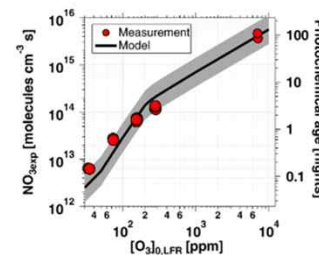
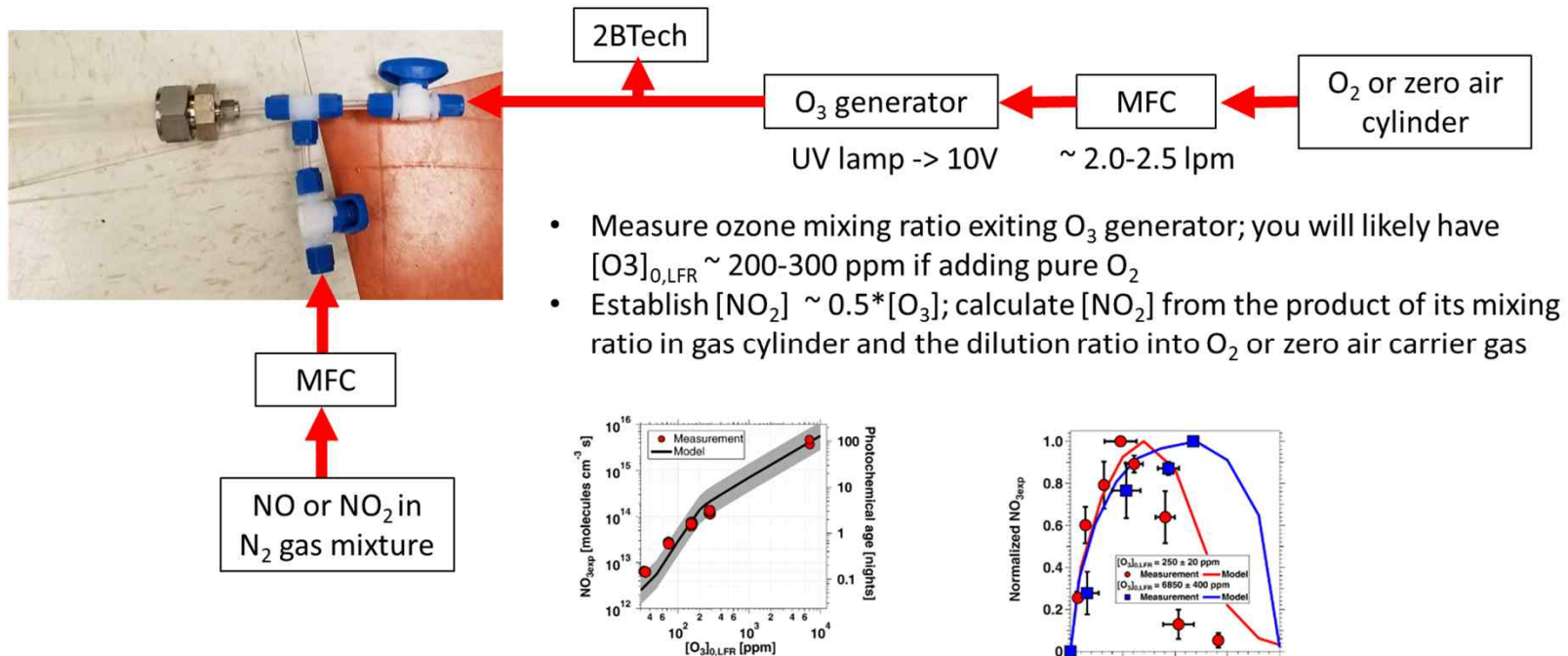


Figure 5. NO_{3exp} as a function of [O₃]_{0,LFR} for measurements with [NO₂]_{0,LFR} : [O₃]_{0,LFR} = 0.5 ± 0.1. Equivalent ambient photochemical age was calculated assuming a 14 h average nighttime NO₃ mixing ratio of 30 ppt and 10 h daytime average NO₃ mixing ratio of 0 ppt (Asaf et al., 2010). Model inputs were $k_{w,N_2O_5} = 0.01 \text{ s}^{-1}$ and $\text{NO}_3\text{R}_{\text{ext}} = 0.07 \text{ s}^{-1}$ ([O₃]_{0,LFR} < 1000 ppm) or 0.38 s^{-1} ([O₃]_{0,LFR} > 1000 ppm). The shaded region encompasses model output scaled by factors of 0.5 and 2.

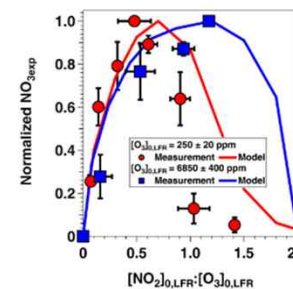
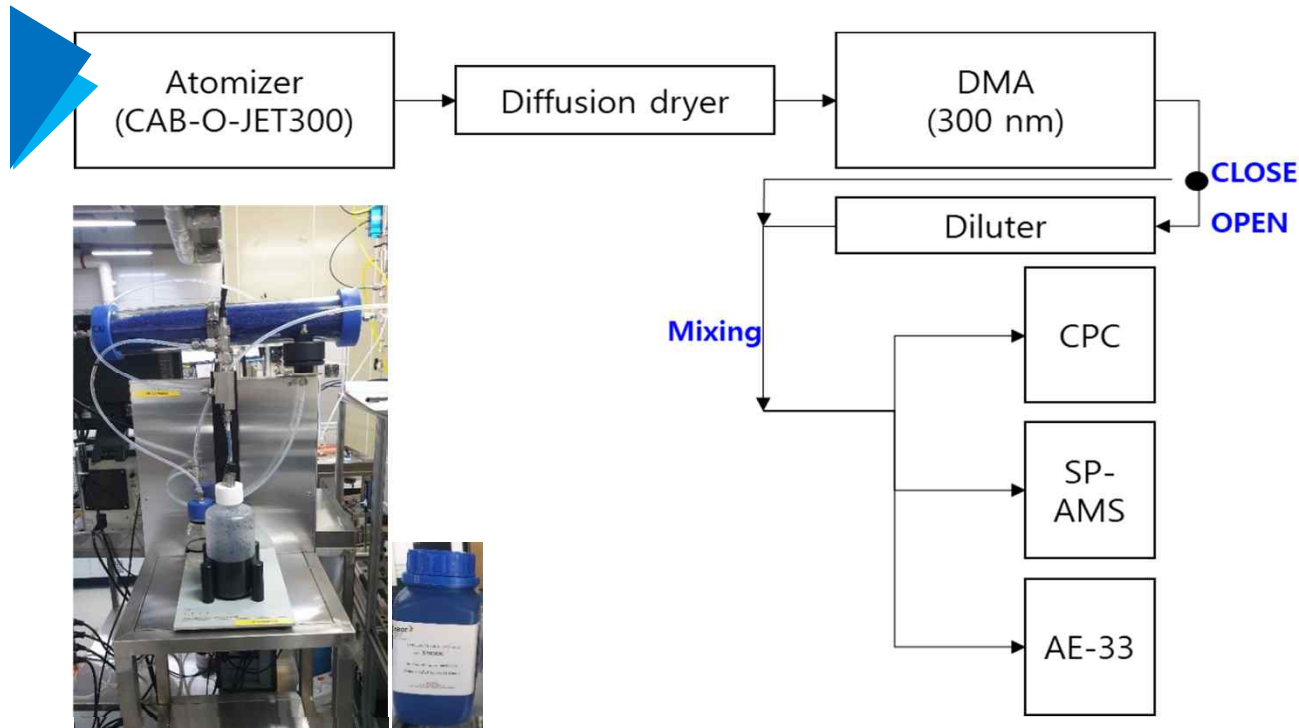


Figure 6. NO_{3exp} as a function of [NO₂]_{0,LFR} : [O₃]_{0,LFR} at fixed [O₃]_{0,LFR} values of 250 ± 20 and 6850 ± 400 ppm and RH_{OFR} = 11 % to 81 %. NO_{3exp} values were normalized to the maximum NO_{3exp} value obtained at the same RH.

SP-AMS 적용 입자의 PMF고도화 연구

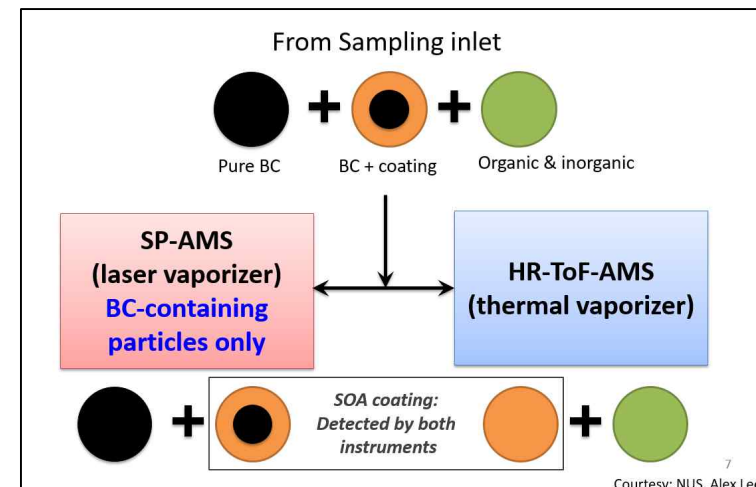


KIST가 도입한 SP-AMS



rBC: Refractory Black Carbon

- Ionization efficiency (IE) 와 SP의 Relative Ionization efficiency (RIE) 산출 QA/QC
- AE-33 농도 변화와 비교하여 BC(aethal.)와 rBC(SP-AMS)의 정량적 차이 산출
- 고려대 SP2의 결과와 상호 비교로 결과 해석으로 응용성 확장



VII. 2단계 추진계획

- AMS 국제공동 관측 네트워크 기반 동아시아 대기오염 현상 및 지역간 영향 연구
 - 획득 데이터 상세 분석을 통한 국제공동 논문 투고
 - 한중-AMS 집중측정(11월~3월) 실시
 - SP-AMS측정을 통한 배출원 기여도 세분화 방법 개발
 - 한중 AMS공동워크숍 개최로 연구추진상황 공유
- 상공 대기 측정을 통한 도심 내 대기질의 PBL 영향 연구
 - 경계층 영향 이해
 - 상층 외부유입 장거리 이동 영향 해석
 - ACSM 데이터의 PMF해석을 통한 배출원 기여도 산출방법 연구
- VOCs의 주요 배출원 및 O₃과 SOA생성잠재력 산정 연구
 - 집중/상시 측정을 통한 계절변화 데이터 확보
 - OFP, OHR, SOAFP 산출로 각 주요 VOC와 SOA 생성잠재력 제시
 - PTR-MS 데이터 Mass spectrum을 통한 PMF 방법 연구
 - PAM-OFR-AMS 시스템을 활용한 SOA이차생성잠재력 주/야간 영향 연구
- 국외유입 및 국내정체 특성 규명
 - 고농도 국외유입 이벤트별(중국북동 및 북한, 북경, 난징지역) 화학성분 특성 규명
 - 대기정체에 따른 자체영향 고농도 이벤트 특성 규명
 - 국외유입과 국내영향 구분방법 제시

1-5 시범지역 초미세먼지 발생원인 규명 연구 : 중부권

중부권 해안과 내륙지역의 초미세먼지(PM_{2.5}) 및 전구물질의 지역적 특성 규명 연구

2023. 3. 9
한국과학기술연구원 지속가능환경연구단

위탁 : 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사
(충남연구원 서해안기후환경연구소 김종범)



CONTENTS

| 목 차 |

시범지역-중부권

I. 연구 배경

II. 연구 필요성

III. 연구 목표

IV. 추진전략 및 연구방법

V. 연구 내용

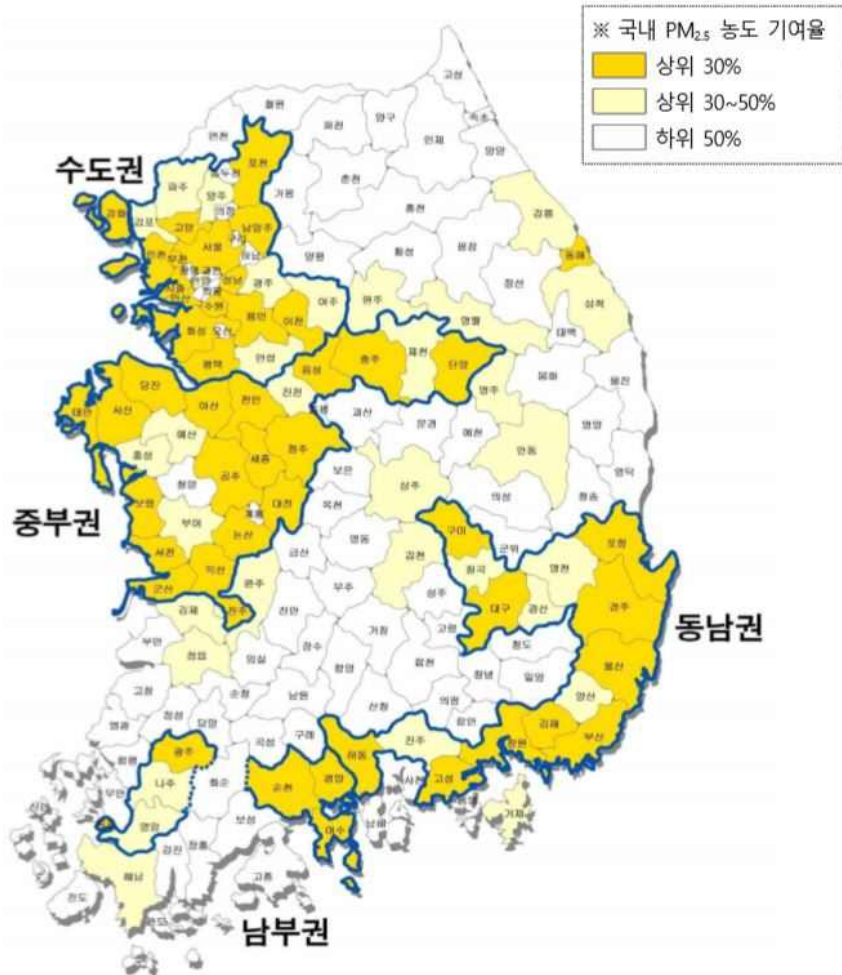
VI. 연차별 추진일정

VII. 연구팀의 우수성

VIII. 국립환경과학원 및 지자체 기관 협업방안

XI. 최종연구목표 및 기대효과

I. 연구 배경



지역 배출원 관리 방안에 지역 배출 특성 반영 한계

- 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법으로 수도권, 중부권, 동남권, 남부권 관리 권역 설정(20.4.3 시행)
- 중앙정부/수도권 중심의 대기환경관리 정책 탈피
- 배출원 주변지역 상호영향 고려 지자체 관리 본격화
- 하지만, 현재 지역 관리방안에는 지역 특성 반영 한계

배출지역-고농도 지역간 정책 이슈

- 2016년 CAPSS 기준, 17개 시군구(바다 제외) 중 충남지역의 SO_x, NO_x 배출량 각각 상위 1위(22.8%), 2위(10.8%)
- 또한, 충청지역 NO_x 59%, SO_x 89%, NH₃ 70%, VOCs 54%, PM_{2.5} 79%, PM₁₀ 68%가 충남 배출(공지영 등, 2021)
- 대기질 모의 결과, 충청지역 내에서 충남이 가장 큰 기여를 나타낸 반면, 주 배출지역보다 그 주변 지역과 충북 전역이 고농도 지역으로 분류되어 타지역 영향(공지영 등, 2021)
- 대기질 모의 결과가 아닌, 지역특성을 제시할 수 있는 상세 측정 결과 기반의 근거를 뒷받침할 수 있는 연구는 부재

중부권 기본계획 투입 예산의 미스매칭

- 도심에서 NO_x 배출량이 대부분 이동오염원에 의한 배출(76%)인 경우와 달리, 충남지역은 NO_x 배출량 중 약 64%가 사업장에서 배출(최우영 등, 2021)
- 중부권 기본계획 투입 예산 전체의 약 86%가 도로이동오염원부문에 할당되어(공지영 등, 2021), 보다 실효성 있는 지역 정책 마련의 과학적 근거 필요

I. 연구 배경

대기관리권역의 PM_{2.5}기여 관련 주요 통계 자료

	Administrative district (Cities/Do)	Contributions on PM _{2.5} concentration ¹⁾	Places of business ²⁾	Land area ³⁾
Total	77개	82 %	1,094개	38 %
Metropolitan	30개	21 %	407개	9 %
Central	25개	31 %	256개	14 %
Southern	7개	10 %	92개	4 %
Southeastern	15개	20 %	339개	11 %

**Metropolitan area: 수도권/Central area: 중부권/Southern area: 남부권/Southeastern area: 동남권

1) The result of air quality modelling about the effect on the concentration of PM_{2.5} in South Korea by aggregating air pollutants emission volume which can generate PM_{2.5}, weather conditions, etc.

2) The number of places of business to which the total permissible emission volume of pollutants subject to the total volume control is allocated in 2019

3) Total land area in 2018

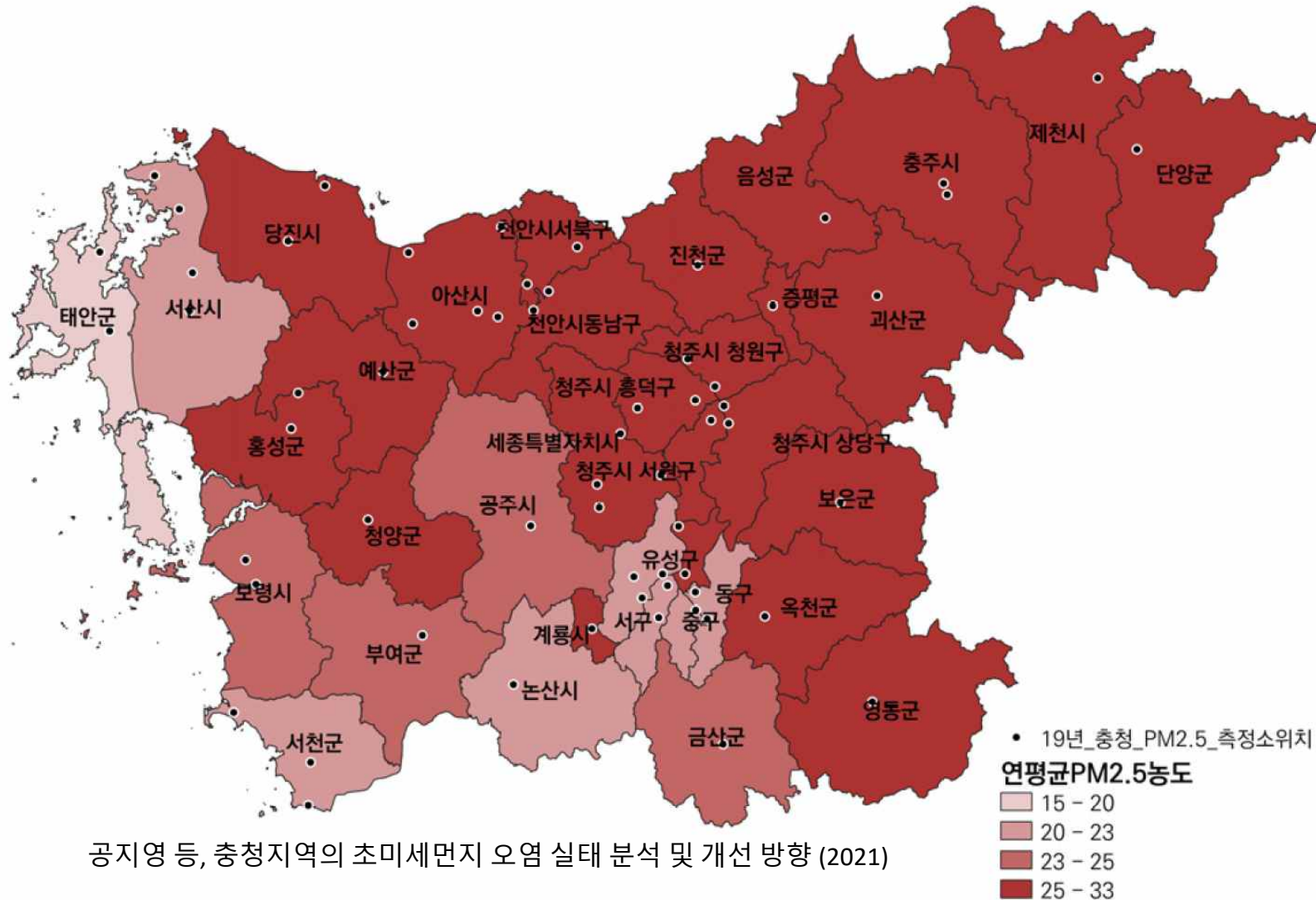
Source: A comprehensive plan on particulate matter management (2020-2024), a master plan on air quality management in metropolitan area, central area, southern area, southeastern area (2020-2024).²⁻⁵⁾

공지영 등, 충청지역의 초미세먼지 오염 실태 분석 및 개선 방향 (2021)



중부권 주요 행정구역인 충청지역 미세먼지 저감을 위해
충청지역의 주요 배출원 파악과 이를 저감하는 것이 대기 개선 목표 달성에 필수적

II. 연구 필요성

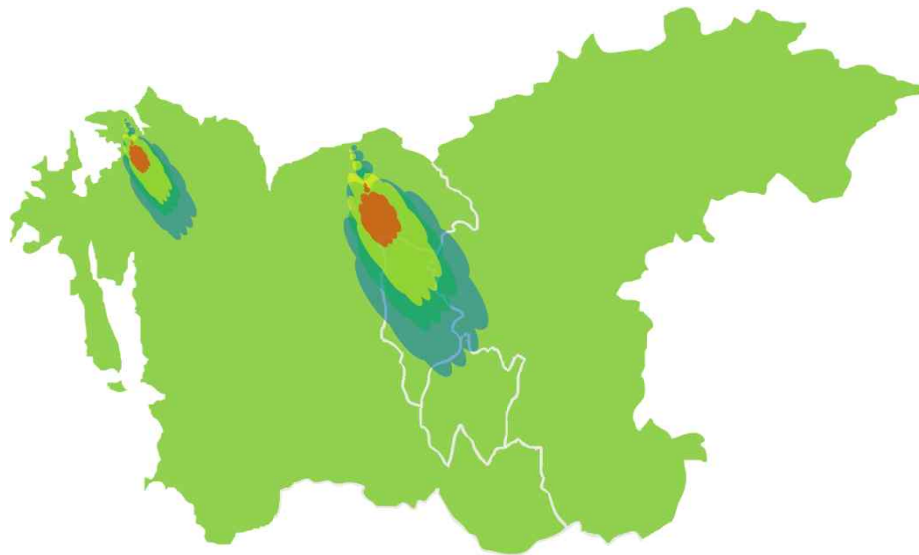


공지영 등, 충청지역의 초미세먼지 오염 실태 분석 및 개선 방향 (2021)

- 중부권 시범지역 초미세먼지의 주요 원인은?
- 해안 배출지역(서산, 당진)이 주변 내륙지역(아산, 천안, 청주, 세종)에 미치는 영향은?
- 시범지역 내 관리가 필요한 배출원(기존/신규)은 무엇이 있는지?

III. 연구 목표 및 내용

» 실시간 측정기반 집중·이동 측정을 통한 중부권 해안과 내륙 지역의 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 규명



성분 특성 측정기반 배출원-수용지 관점

주관

KIST

고해상도 질량분석기 기반 측정 시스템의 이동 측정 플랫폼 구축 및 중부권 시범지역 집중·이동 측정을 통한 미세먼지 생성 특성 및 오염원 규명
ACSM, PTR-MS, XRF, Mobile lab



위탁

충남연구원

충청권 대기환경연구소 PM_{2.5} 성분 특성과 중부권 시범지역 기초자료 분석 및 현장 지원 등을 통한 지역 맞춤형 개선 정책 제언
마을 대기 측정망, PM_{2.5} 필터 샘플



최종: 중부권 시범지역의 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 규명

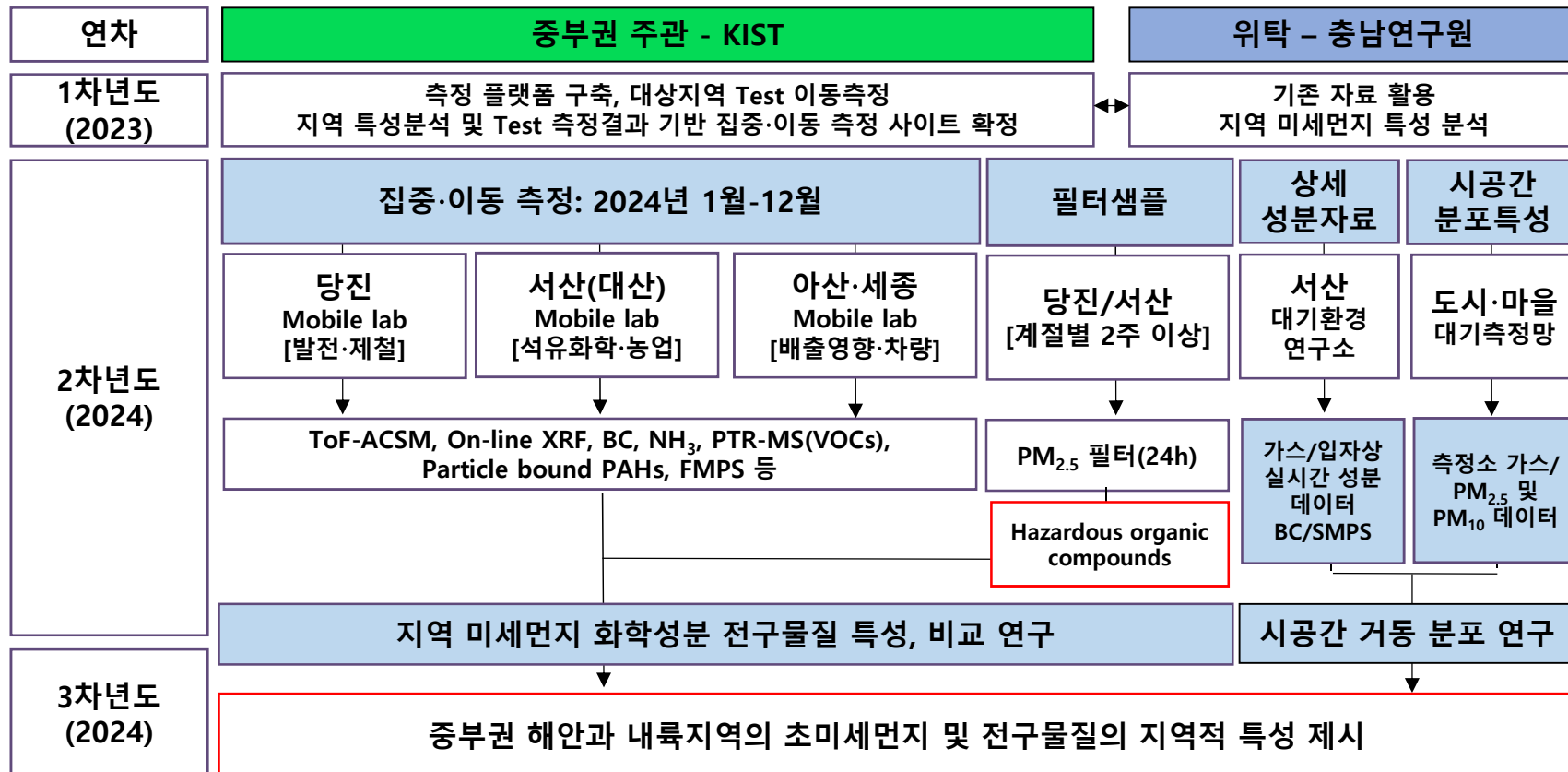
IV. 추진전략 및 연구방법

(1) 측정, 분석

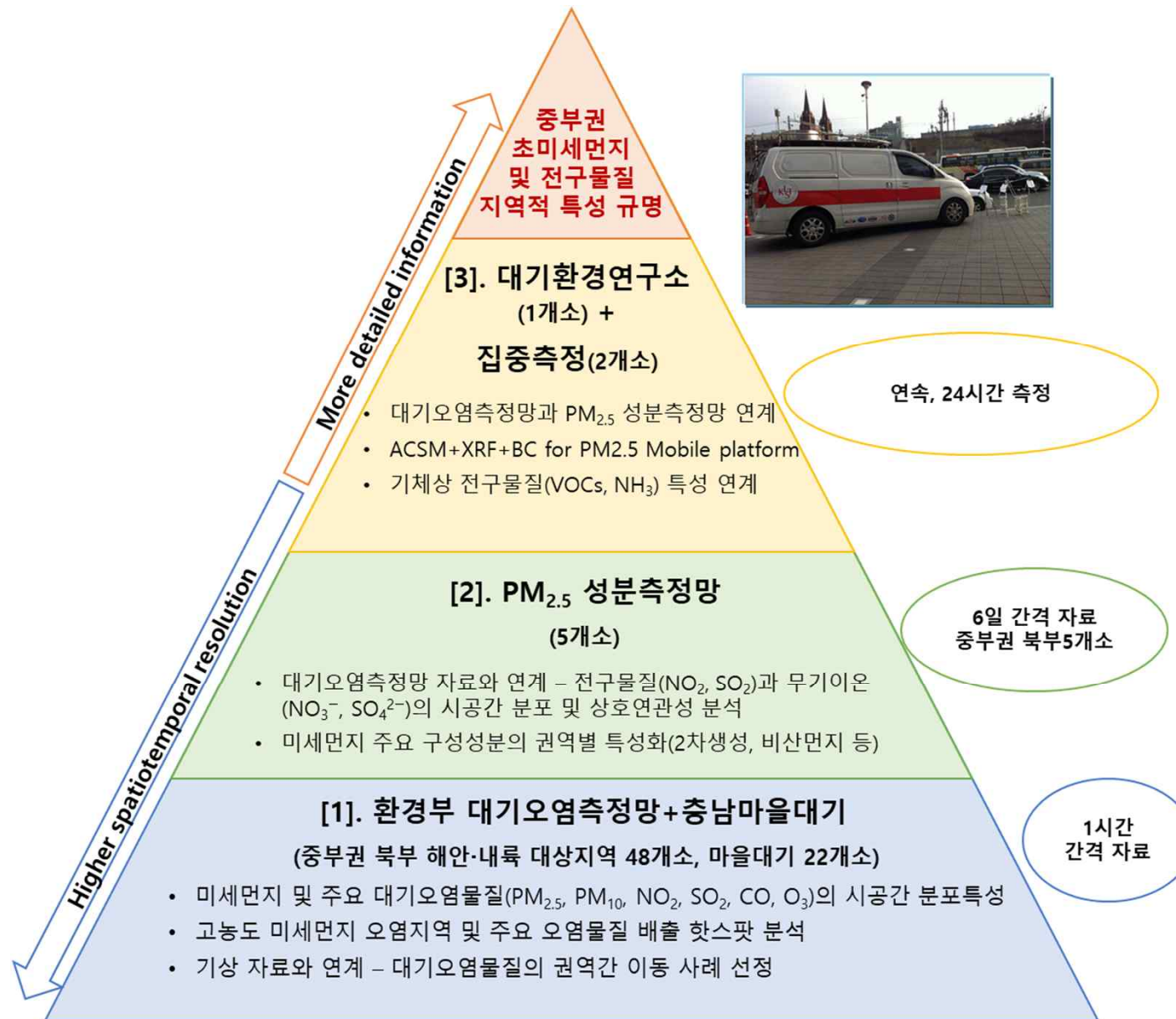
- 1월-12월 집중·이동 측정 공동 실시(풍상, 풍하), 배출원 지역(서산/당진) 계절별 필터샘플
- 고해상도 이동측정시스템을 바탕으로 한 집중 측정 수행

(2) 해석

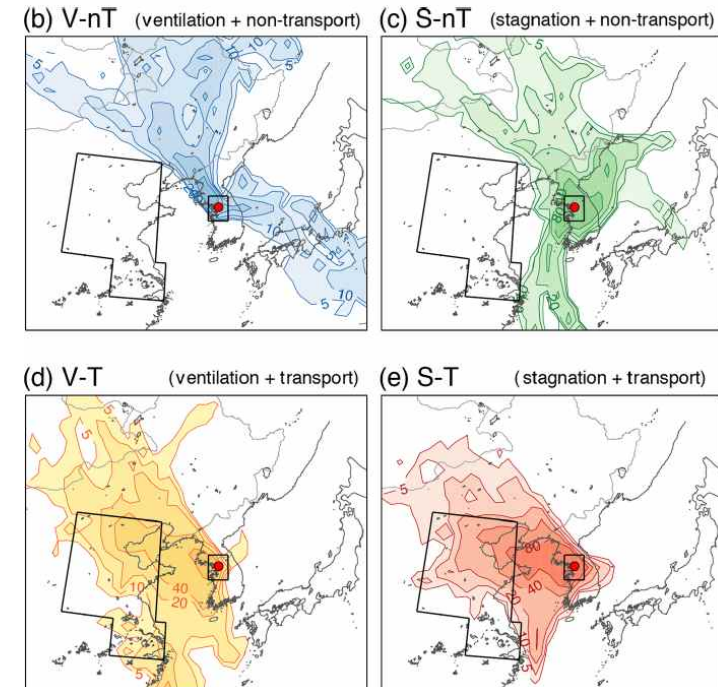
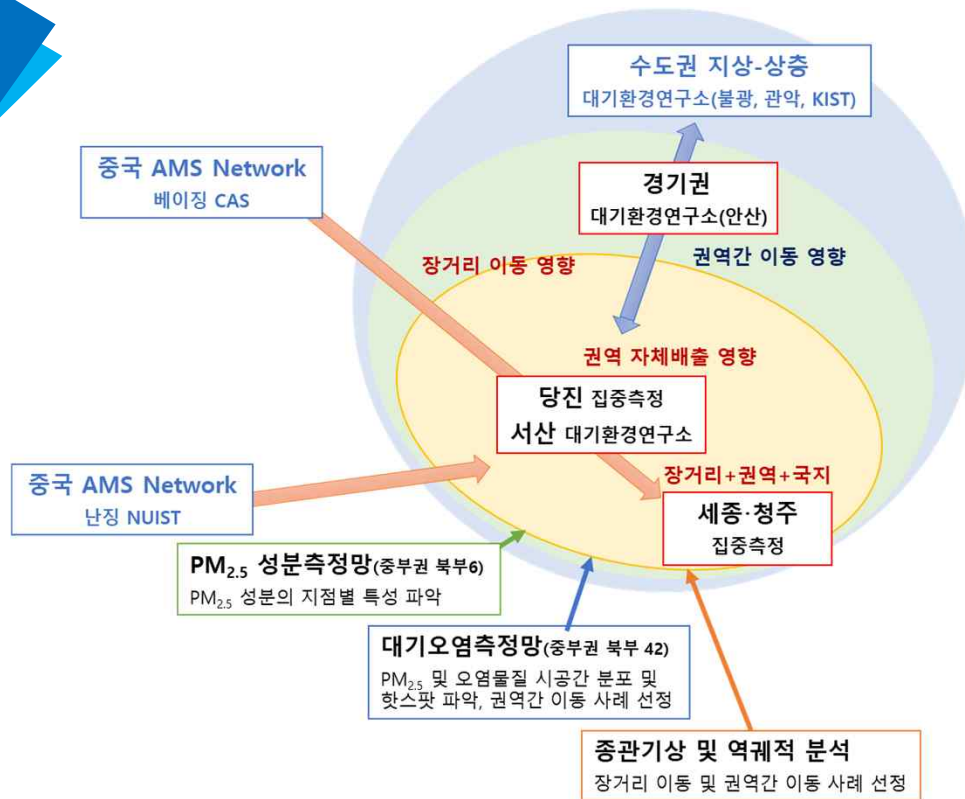
- 주요 대기오염물질의 시·공간 변동성 조사
- 배출원 풍상/풍하 비교, 풍하지역 이격거리 영향, Org mass spectrum PMF기반 배출원 추적



IV. 추진전략 및 연구방법



V. 연구내용 : 자체영향을 분석하기 위한 국외유입 사례 구분



< 국내·외 영향 구분의 예(Seo et al., 2020) >

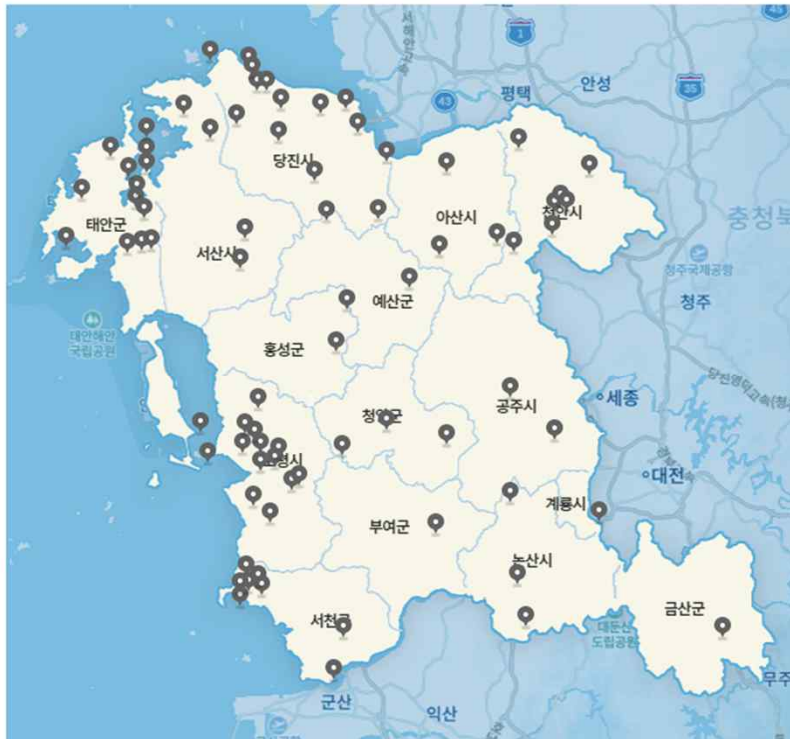
- **종관기상, 역궤적 분석**
 - 자체영향 및 권역간 이동 사례 선정
- **충청권 대기오염측정망**
 - PM_{2.5}와 오염물질 시공간 분포
 - 핫스팟 구분 및 이동사례 선정
- **PM_{2.5} 성분측정망**
 - PM_{2.5} 성분 지점별 특성 파악
- **대기환경연구소 및 집중측정**
 - 배출특성 : 서산, 당진
 - 주변지역 이동 : 서산·당진 → 천안·청주·세종

V. 연구내용 : 대기측정망-집중측정-대기환경연구소 연계분석

- 시범지역 주요 대기오염물질의 시·공간 변동성 조사
- Kolmogorov-Zurbenko (KZ) filter 등 시계열 분석 방법을 이용한 충청권 대기오염물질의 단기·계절·장기 변동 특성 분석
- 경험직교함수(Empirical orthogonal function; EOF) 분석을 통한 충청권 대기오염물질의 시·공간 분포의 주요 모드 해석

- 대기오염물질 집중측정·대기환경연구소 측정자료 연계 분석
- 측정기간 중 주요 고농도 대기오염 사례 구분
- 주요 고농도 대기오염 사례 시, 통합 측정망 대기오염물질의 시·공간 분포 변화 분석 및 해석
- 주요 기상 관측지점의 기상변수 및 종관기상장 연계 분석

통합 대기오염물질 측정망



국가·지자체 대기질 측정망

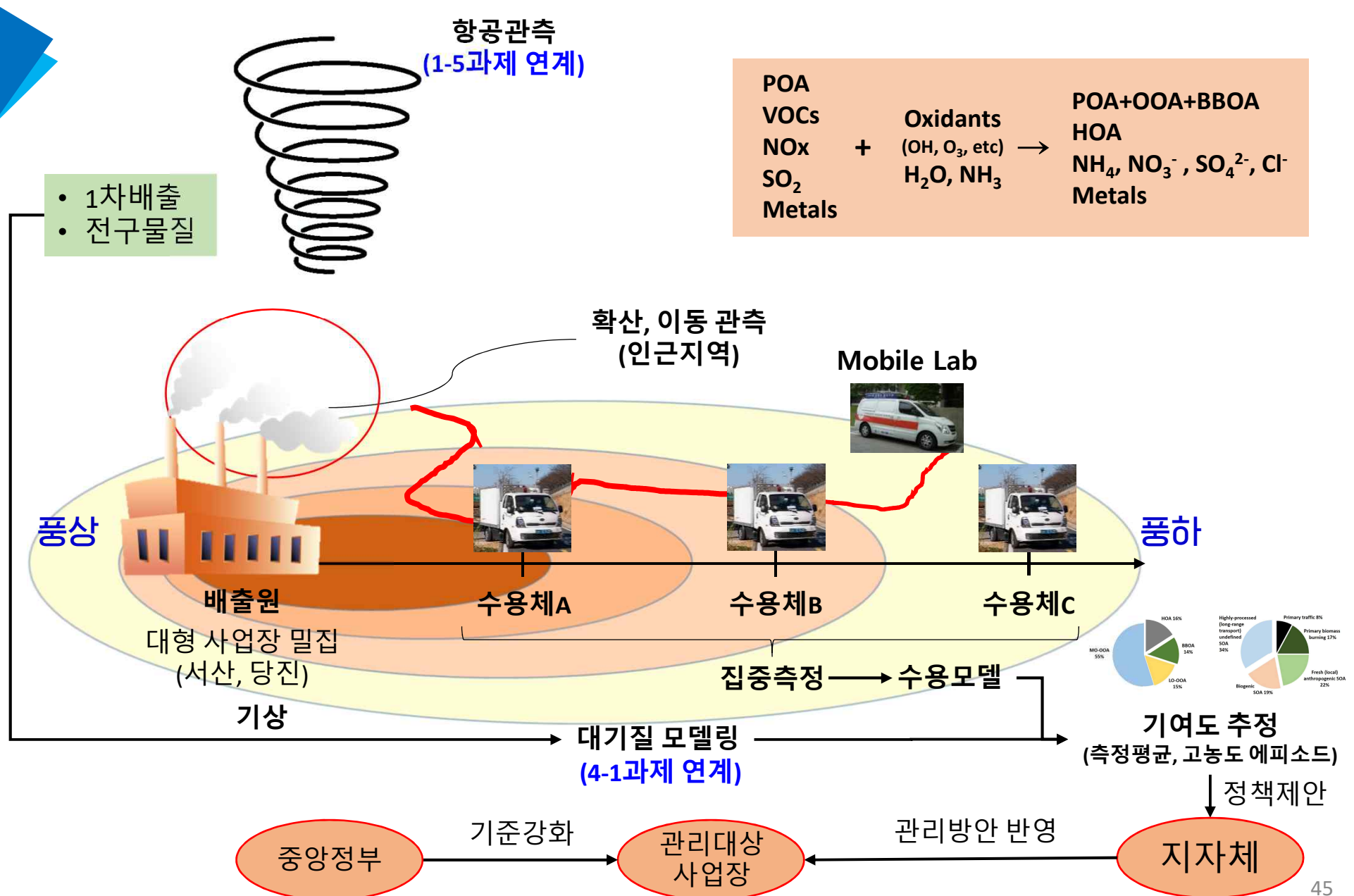
- 충청권 주요 도시지역에 위치
- 지표면 대기오염농도 변화 반영



충청남도 마을대기 측정망

- 주요 화력발전소 인근에 위치
- 배출원 인근의 대기오염물질 농도 변화 반영

V. 연구내용 : 집중이동측정 기반 배출 특성 및 영향 연구



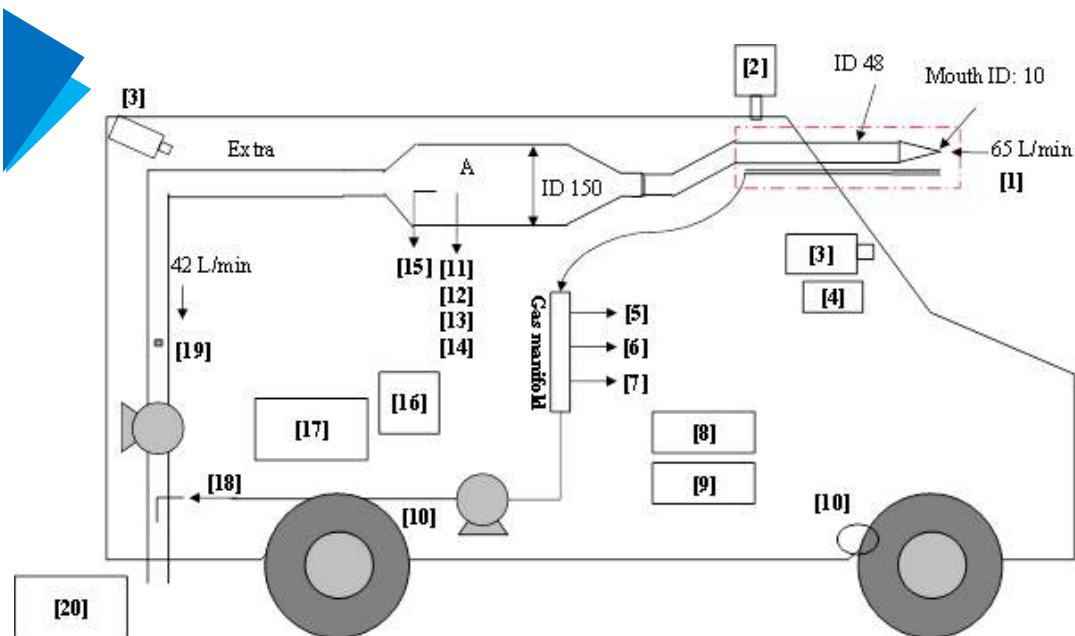
V. 연구내용 : 집중측정차량 플랫폼 구축과 테스트 정지측정(1차년도)



전기차 기반의 KIST 이동식 대기측정 차량 (정지측정)

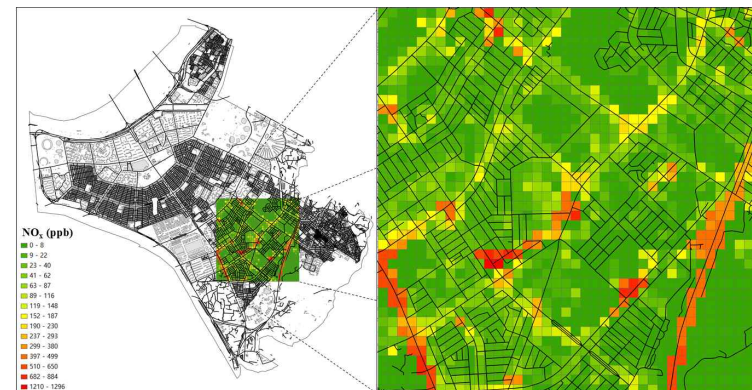
Instrument	Parameter measured	Time resolution (min)
Time of Flight Aerosol Chemical Speciation Monitor (CV-ToF-ACSM, Aerodyne Res. Inc.)	NR-PM _{2.5} (μg/m ³)	2
Ambient/Fence-Line Multi-Metals Monitor (Xact 625i, Cooper Environmental Services, Beaverton, OR)	Metal elements in PM _{2.5} (μg/m ³)	15~30
Aethalometer, model AE33 (seven-wave length)	Black carbon mass (ng m ⁻³)	1
Picarro NH ₃ /H ₂ O analyzer (model G2103, Picarro Inc., Santa Clara, CA, USA)	NH ₃ (ppb)	1
PTR(Proton Transfer Reaction)-ToF-MS (Model 4000, Ionicon Analytik, Innsbruck, Austria)	BTXS, OVOCs, BVOCs, Furan 등 10~20 species VOCs (ppb)	1

V. 연구내용 : 이동측정차량 플랫폼 정비 및 핫스팟 발굴 측정(차년도)



- [1] Sampling inlets [2] Weather sensor [3] CCTV [4] GPS [5] CO/CO₂
- [6] NO/NO_y/NO_x [7] NMHC [8] Inverter [9] Battery [10] Air suspension
- [11] Condensation particle counter [12] Nanoparticle aerosol monitor
- [14] Aethalometer [15] Fast mobility particle sizer
- [17] Power controller [18] Gas vent [19] Air velocity sensor
- [20] Power generator

도시내 핫스팟 발굴 예시



Instrument	Parameter measured	Time resolution (s)	
TSI Fast Mobility Particle Sizer (FMPS), model 3091	UFPs number, 5.6 - 560 nm (particles cm ⁻³)	1	
AEROTRAK Nanoparticle Aerosol Monitor (NAM), model 9000	Deposited particle surface area (Alveolar region; D _p < 1 μm). (μm ² cm ⁻³)	1	
Aethalometer, model AE42 (Dual-wave length)	Black carbon mass (ng m ⁻³)	60	
EcoChem PAS, model 2000 (Photoelectric aerosol sensor)	Particle-bound PAHs (ng m ⁻³)	6	
Environmental S.A. CO analyzer, model CO12M (Infrared GFC CO analyzer)	CO, CO ₂ (ppm)	3	
Environmental S.A. NO _x analyzer, model AC32M (Chemiluminescence detector)	NO, NO ₂ , NO _x (ppb)	10	47

V. 연구내용 : 필터 기반 주요 화학조성 분석을 통한 계절변동과 PMF분석

Chemical composition	Analytical method
Organic and elemental carbon	▪ Thermal-optical carbon analyzer with a TOT protocol
Anions and cations	▪ Ion chromatography
Water soluble organic compounds	▪ Total carbon analyzer
Trace elements	▪ XRF
Amines and amino acids	▪ LC-MS/MS with extraction and derivatization method
Hazardous organic compounds	▪ PAHs or Nitrosamines, etc.

Punching



Extraction



Sampling

Derivatization



GC-MS/MS

Analysis



LC-MS/MS

VI. 연차별 추진일정

1차년도	추진 일정												책임자 [소속기관]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
중부권 대기측정망과 화력발전소 마을대기 측정망 데이터 연계 오염특징 분석(2021~2022)													김종범(충남연)
대기측정망-서산 대기환경연구소 측정데이터 통합 분석(2021~2022)													김경환(KIST) 김종범(충남연)
최적 측정지점 선정 추가 조사/협의													김경환(KIST) 김종범(충남연)
실시간 질량분석 측정 기반 집중관측 플랫폼 구축													김경환/김준태 (KIST)
Mobile lab을 활용한 집중측정 대상지역 스크리닝 측정/데이터 분석													김경환(KIST)
기존 ACSM, PTR-MS 측정 결과 기반 PMF 해석방법 연구													김경환/김준태 (KIST)
2차년도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
겨울(1~2월), 봄(4~6월), 여름(7~8월), 가을(9~11월) 집중·이동측정 수행													김경환(KIST) 김종범(충남연)
ACSM, PTR-MS 등 측정 결과 데이터 분석													김경환/김준태 (KIST)
초미세먼지 전구물질(VOCs와 암모니아)의 지역적 특성 제시													김경환(KIST)
집중측정 및 대기환경연구소 측정결과와 연계된 미세먼지 화학적 특성 분석													김경환(KIST) 김종범(충남연)
계절별 2~3주 필터 샘플링 수행/분석													김경환(KIST) 김종범(충남연)
3차년도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
중부권 해안과 내륙지역의 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 통합분석													김경환/서지훈 (KIST)
집중·이동측정, 도시·마을대기, 대기환경연구소 데이터 연계 해석 방법론 제시													김경환/서지훈 (KIST)
자체배출 고농도, 권역간 이동사례 특성 분석													서지훈(KIST)
집중측정 결과 기반 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 결과 제시													김경환/김준태 (KIST)
중부권 시범지역 대상 맞춤형 개선정책 제시													김종범(충남연)

Ⅶ. 연구팀의 우수성

중부권 미세먼지 연구팀

김경환 (세부책임)

- KIST 지속가능환경연구단 선임연구원
- KIST 기관고유 총괄 책임: AMS 기반 고해상의 미세먼지 국제 공동 측정망 구축을 통한 동북아시아 미세먼지 오염원 규명
- Mobile lab기반 대기오염 핫스팟 연구 (Atmospheric Environment, 2014; Environmental Pollution, 2016, Atmosphere 2020 등)
- KIST HR-ToF-AMS, SP-AMS, PTR-MS 실시간 질량분석장비 운영

- 우수한 연구진으로 팀 구성
- 실시간 고해상도 질량 분석기 활용 연구 전문가
- 대기대기 측정망 자료 등 데이터 통합분석 전문가
- 오염물질 극미량 분석 및 거동 연구 전문가
- 지역 미세먼지 특성 및 지자체 연계 협력/소통 전문가

서지훈 (참여연구)

- KIST 지속가능환경연구단 Post-Doc
- 고농도 미세먼지 오염의 기상 영향 및 생성 기작 연구 (Atmospheric Chemistry and Physics 2017; 2020 등)
- 대기오염물질 시공간 자료를 분석 활용한 기상 요인 및 인위적 요인 분리 (Atmospheric Chemistry and Physics 2018)



김준태 (참여연구)

- KIST 지속가능환경연구단 선임연구원
- AMS 및 GC/LC-HRMS화학물질 정량/정성
- 신종 장거리 이동성 오염물질의 극미량분석 및 거동 연구 (ES & T 2016, Journal of Hazardous Materials 2020 등)
- GC-HRMS, LC-MS/MS 등 오프라인 질량분석장비 운영

김종범 (위탁책임)

- 충남연구원 책임연구원
- 국립환경과학원 과제 "지역별(충남-경기) PM₁₀, PM_{2.5} 상세분석 결과를 활용한 미세먼지 특성 및 생성원인 규명" 세부 책임
- 중부권 대기환경관리 실무위원회 위원활동 및 충남 대기환경 시행계획 수립 등 정책개발활동
- 충청권 대기환경연구소-충남보건환경연구원-중부권 미세먼지 연구관리센터와 공동연구 및 업무협력

VII. 연구팀 인프라의 우수성

기관	특징	연구시설 및 장비
KIST	- 초미세먼지 거동(생성/확산/변환/노출) 관측 - 실시간 고해상도 PM₁, PM_{2.5}, VOCs 측정기 - 에어로졸의 생성성장 관측 Nano-SMPS, SMPS - NH₃, NO_x, PAHs 등 가스 및 입자 이동형 대기질 측정차량 - 방대한 데이터 처리/분석 가능 전용 서버	 Smog Chamber  HR-ToF-AMS  Mobile Laboratory  Modeling Server  PTR-ToF-MS  ACSM  TEM
충남연	- 발전소 주변지역 마을대기측정망/측정장비 - 실시간 대기오염물질 측정(b-ray, SO₂, NO_x 등) - 마이크로발란스 미세먼지 질량농도 측정 등	 베타레이  High-Vol  Low-Vol  3차원 풍속계  별도 연구용 측정소 1개  마을대기 측정소 38개

연구팀 보유 **전문인력** 및 **측정/실험/분석 장비** 활용

VIII. 국립환경과학원 및 지자체 기관 협업방안

- » 충남연구원: 위탁과제 기관으로 측정자료 확보/분석, 집중측정 공동 수행 및 지역 정책발굴/제안
- » 충청권대기환경연구소: 실시간데이터자료 공유 협조
- » 충남보건환경연구원: 집중측정, 필터샘플링 등을 위한 장소 협조
- » 중부권 미세먼지연구·관리센터: 데이터 활용을 통한 지역 정책 개발, 공동연구 및 업무협력 협조



IX. 최종 연구 목표 및 기대효과

➤ 최종 연구목표

- 중부권 해안과 내륙지역의 초미세먼지(PM_{2.5}) 및 전구물질(VOCs, NH₃ 등)의 지역적 특성 규명

➤ 기대효과

- 서산 대기환경연구소와 대기오염측정망 실시간 자료 연계 종합해석방안 제시
- 당진, 세종(청주) 등 지역 초미세먼지 화학성분과 전구물질 고해상도 측정 데이터를 지역에 제공
- 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 제시를 통한 지역 미세먼지 관리방안 수립에 효율성 제고
- 도시대기와 마을대기 측정망 데이터 연계 활용 방법론 제시로 마을대기 측정망 운영의 효율성 제고

세부내용	2023-2025			최종 성과물 [예상]
	2023	2024	2025	
중부권 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 규명	고해상도 미세먼지 집중이동측정 + 도시·마을 대기측정망 + 대기환경연구소			JCR25%이내 국제학술 논문 게재(2편 이상)
	대기측정망-서산 대기환경연구소 통합 분석	집중측정·대기환경연구 소 결과와 연계된 미세먼지 배출영향 특성 분석	집중측정 통합해석 결과 도출	지역특성 반영 과학적 근거 기반 미세먼지 관리방안 제시
	최적 측정지점 선정 및 실시간 질량분석 측정 기반 집중관측 플랫폼 구축	겨울, 봄, 여름, 가을 집중·이동 측정 수행	중부권 데이터 연계 해석 방법론 제시	
	Mobile lab을 활용한 집중측정 대상지역 스크리닝 측정	겨울, 봄, 여름, 가을 집중·이동 측정 수행	초미세먼지, 전구물질 지역 특성 제시	대기측정망 데이터의 연계통합해석방안 효율성 제고
			중부권 시범지역 대상 맞춤형 개선정책 제시	



감사합니다.

별첨
동북아 사업 중부권
선정평가 의견

1. 우수한 점

- 측정 분석과 기상/이동 모델링 두 파트의 역량이 상호 균형되고 보완적으로 계획됨
- 집중측정차량의 활용방안을 제시함
- 연구진의 연구수행 능력이 우수함
- 다른 세부과제와 연계성, 시너지를 낼 수 있는 방향이 잘 제시됨
- 모바일랩을 비롯한 최신기법 활용이 연구결과 도출 시 유용할 것으로 기대됨
- 이동측정 플랫폼을 이용해 해안/내륙지역 배출 특성 파악이 가능할 것이고, 마을대기측정망자료 분석을 통해 기존 대기오염측정망의 공간 한계성 극복이 가능해 지역적 특성을 반영할 수 있는 점이 우수함
- 국외영향/국내영향의 구분을 통해 중부권에서 배출되는 대기오염물질의 정확도 높은 특성 분석이 가능할 것으로 보임
- 이동측정 차량을 활용한 시공간의 대표성/대표지역의 선정이 가능함
- 중부권 대기질 특성을 규명하기 위해 이동 측정망 자료를 이용해 자체 배출원 특성의 분석이 가능함
- AMS network 자료는 장거리 이동되어 중부권 대기질에 미치는 영향을 파악하는데 큰 도움이 될 것으로 사료됨
- 최신 측정장비를 활용하여 다양한 방식으로 접근하는 것이 우수함
- 첨단 측정장비를 차량에 탑재해 도심지역의 가스 및 입자상 물질의 측정 전략이 우수함
- 서해안기후환경연구소, 지자체, 국립환경과학원, 해외 사이트와 협업체계가 잘 구성됨

2. 미흡한 점

- 핫스팟 발굴을 위한 이동측정차량이 접근 불가능한 작은 도로에서 면오염원 평가방법이 미흡함
- 세종시에 대한 연구계획의 보완이 필요함
- 세부적인 측정계획이 미흡함
- 측정을 어떻게 할 것인지에 대한 구체적인 제시가 다소 미흡함
- 시범지역 의미에 대한 고민이 드러나지 않아 아쉬움
- 집중/이동측정 지점에 대한 지역별 연구 분배가 적절히 이루어져야 할 것임
- 집중측정 지역의 시료채취 일수(2주)가 충분하지 않음
- 가을의 기간 설정 시 9월 중순까지는 오히려 여름으로 분류 가능(현재 가을 기간 : 9-11월로 선정됨)→가을 측정시기의 적절성(10월-11월 중순)
- 계절의 대표시간(측정일수)의 연장 고려가 필요함
- 중부권 지역은 다른 지역에 비해 특히 넓기 때문에 세종 등 중부권 도심지역의 특성도 포함시켜야 함
- 측정방법이나 계획이 구체적이지 않음

3. 조정/권고사항

- 계절의 특성을 대표할 수 있는 샘플링 기간을 설정해야 함
- 1차년도와 2차년도 연구 목적을 구분해 샘플링할 것을 권고함. 예를 들어, 도심의 특성이 강한 세종과 다른 지역을 구분해서 연구할 필요가 있음
- 연구내용을 보다 구체적으로 제시할 필요가 있음
- 이동측정차량의 활용계획 및 도출 결과(예상)에 대한 제시를 권고함
- 이동측정에 대한 구체적 스케줄 수립이 필요함 : 장소 선정, 시기 등

4. 연구비 적정성

- 4차년도 예산이 계획 내용과 기간에 비해 다소 과다하게 책정된 것 같음
- 주관기관/위탁기관 연구수행에 있어 연구비가 적정하다고 판단됨
- 4차년도 활동에 비하여 연구비가 다소 과다함
- 4~5차년도의 시료 채취 기간의 확대가 요망됨
- 연구비 산정이 적절함

<종합점검의견>

1. 우수한 점

- 이동차량을 이용한 시범지역/대표 측정지점의 선정에 도움이 됨

2. 미흡한 점

- 제시된 계절별 시료 측정 기간(최대 2주)이 충분하다고 보기 어려움
- 주관기관이 중부지역에서 다소 거리가 있어서 측정을 충분히 할 수 있을지 검토가 필요함

3. 조정/권고사항

- 연구수행(측정) 일정이나 계획의 구체성을 제고하여야 함
- 측정 시 배출원 지역과 영향 지역을 동시에 측정하는 것을 고려할 필요가 있음

4. 연구비 적정성

- 다소 과다하다는 일부 의견이 있음

<자문위원회 의견>

- 평가의견을 반영하여 협약용 연구계획서를 보완하여 기한 내에 제출하여야 함
- 과제명을 다른 세부과제와 유사하게 수정할 필요가 있음
- RFP에 공고된 대로 총괄연구책임자의 역할을 수행하여야 함
- 4차년도에 세종시를 집중 측정하는 연구를 추가하여 4차년도 연구비로 3.5억원이 적절함

열역학 모형을 활용한 에어로졸 특성화 연구사례 공유

서 지 훈

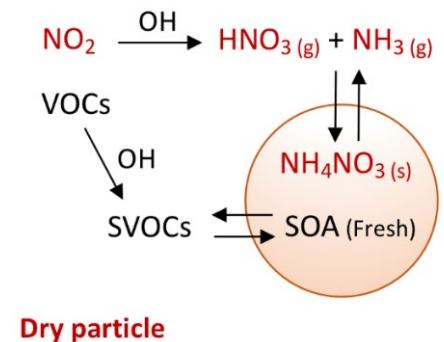
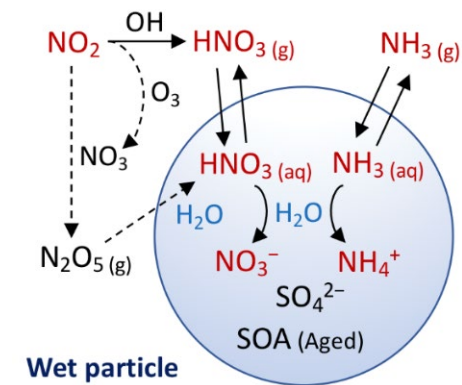
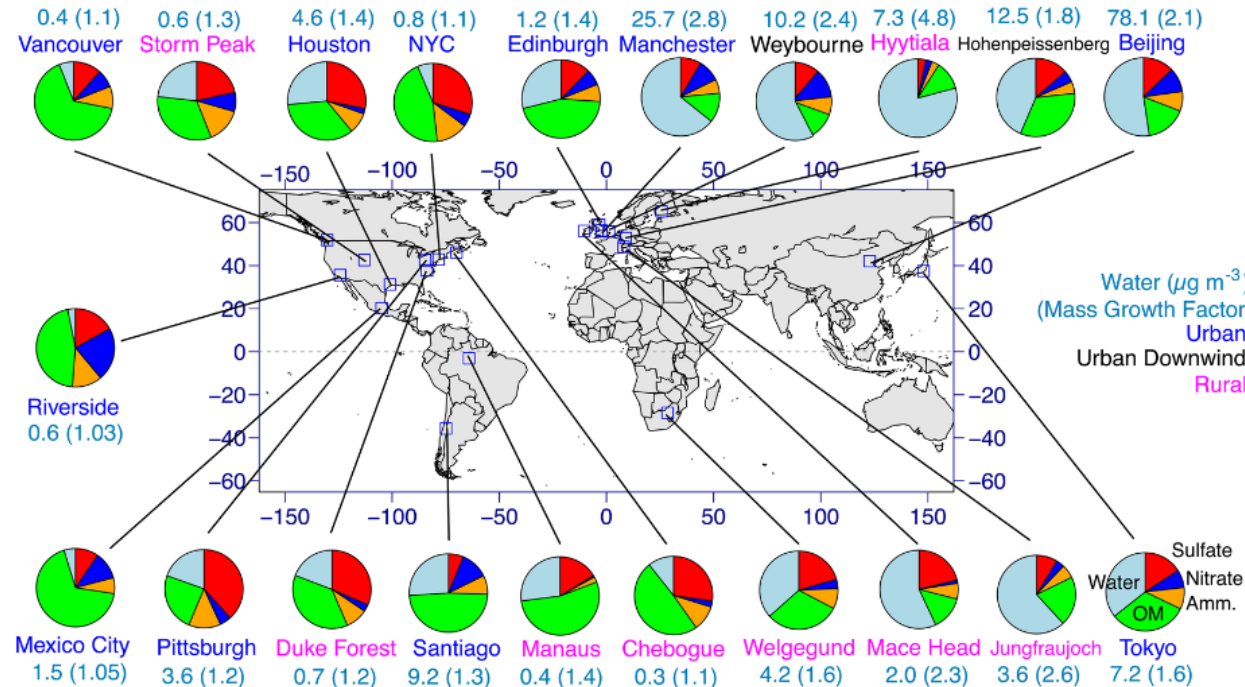
한국과학기술연구원 기후·환경연구소



Aerosol liquid water (ALW)

- **Aerosol liquid water (ALW):** A ubiquitous component of atmospheric aerosol
- Partitioning of polar, water-soluble organic gases to the condensed phase → Secondary organic aerosol (SOA)
- ALW enhances secondary inorganic aerosol (SIA)
 - Nitrate formation through HNO_3 uptake and N_2O_5 hydrolysis
 - Sulfate production through the aqueous oxidation of SO_2

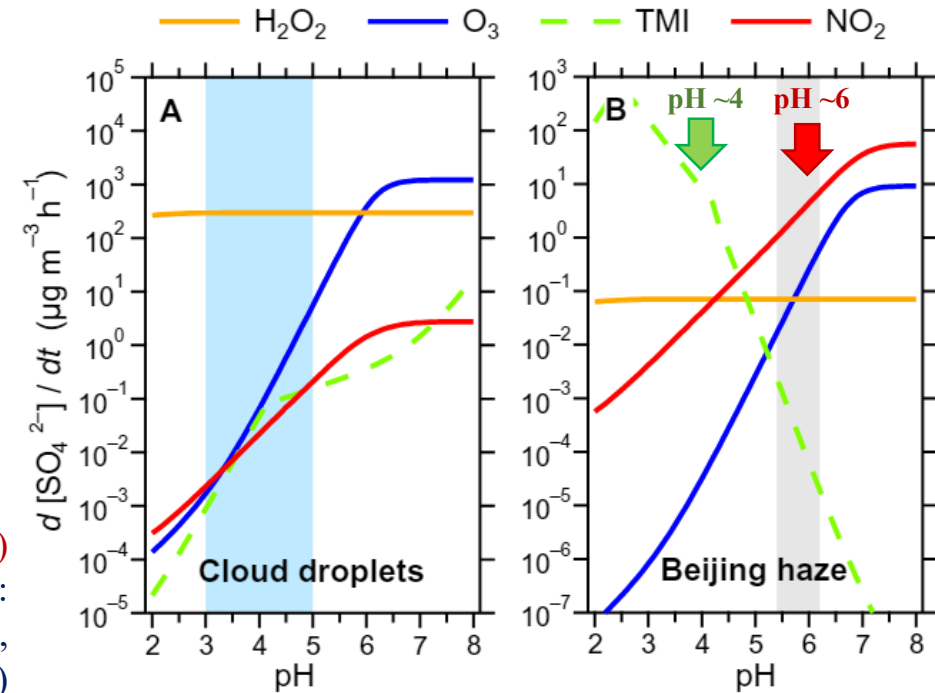
Nguyen et al. (2016, EST Lett.)



Aerosol acidity (pH)

- **Hydrogen ion activity on log-scale (pH):** An essential property describing the acidity of aqueous aerosols
 - Playing a role in the **formation of sulfate and SOA**
 - **Changing the gas-particle partitioning of semi-volatile species**
 - Affecting the solubility of trace metals and aerosol toxicity

Cheng et al. (2016, Sci. Adv.)
Aqueous-phase reaction pathways of sulfate formation with oxidants:
Hydrogen peroxide (H_2O_2), Ozone (O_3),
Transition metal ions (TMIs), Nitrogen dioxide (NO_2)



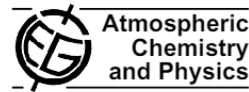
- Direct filter sampling approach is challenged because H^+ ion concentration in a solution does not scale in proportion to the level of dilution and is subject to sampling errors (Hennigan et al., 2015, ACP)
- **Indirect methods (e.g., thermodynamic equilibrium model) are frequently employed to estimate the aerosol pH !!**

Thermodynamic equilibrium model

- **Thermodynamic equilibrium model** (e.g., ISORROPIA, AIM)
 - Ammonium (NH_4^+), sodium (Na^+), sulfate (SO_4^{2-}), bisulfate (HSO_4^-), nitrate (NO_3^-), chloride (Cl^-), and crustal species (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}) may be in the **form of aqueous ions or precipitated solids in thermodynamic equilibrium with atmospheric gases and humidity**
 - Driving force for **mass transfer of species between gas and aerosol phases** is the **departure from thermodynamic equilibrium state**.
- **ISORROPIA-II** (Fountoukis and Nenes, 2007, ACP)

https://nenes.eas.gatech.edu/ISORROPIA/index_old.html

Atmos. Chem. Phys., 7, 4639–4659, 2007
www.atmos-chem-phys.net/7/4639/2007/
© Author(s) 2007. This work is licensed
under a Creative Commons License.

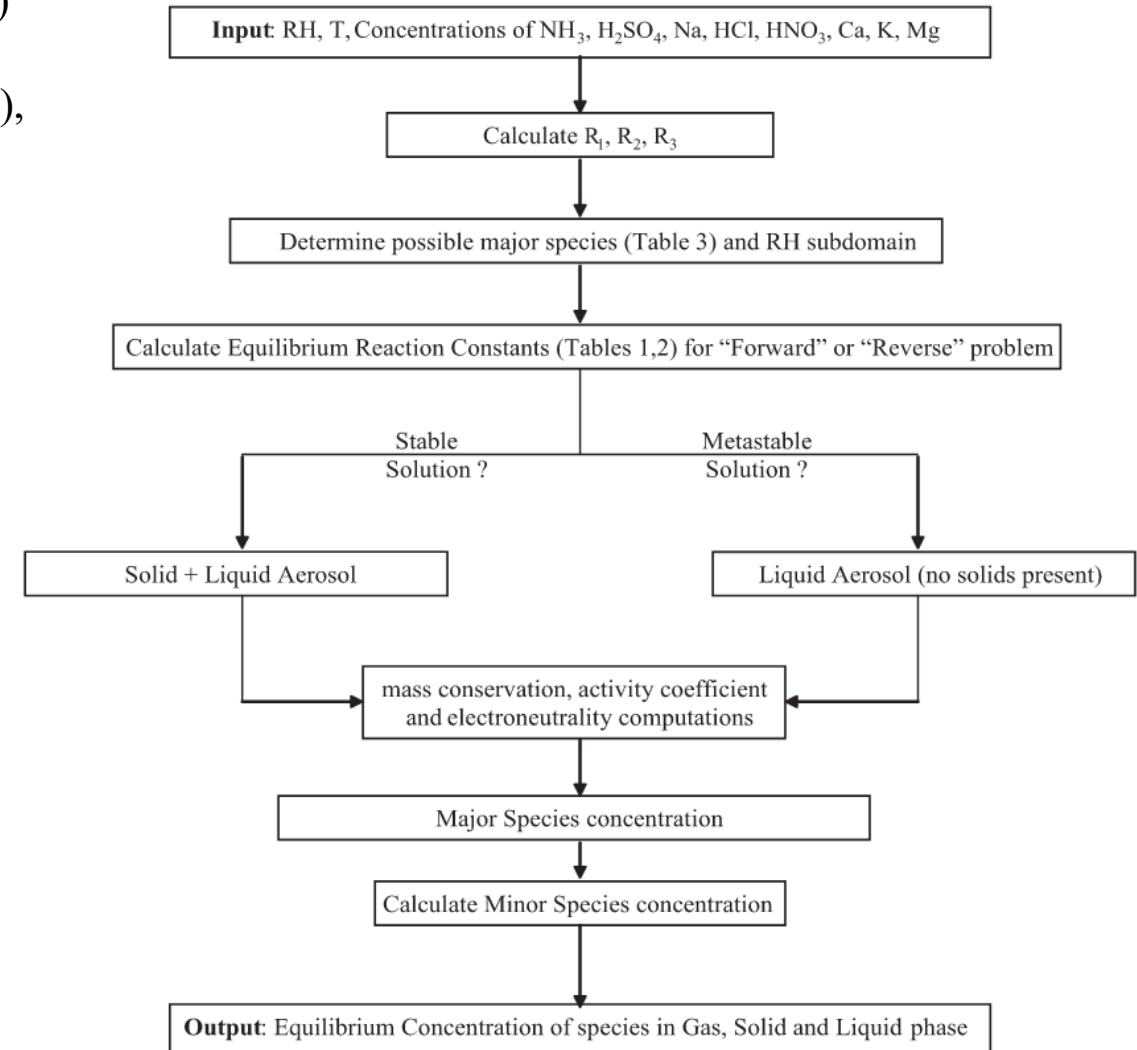


ISORROPIA II: a computationally efficient thermodynamic equilibrium model for K^+ – Ca^{2+} – Mg^{2+} – NH_4^+ – Na^+ – SO_4^{2-} – NO_3^- – Cl^- – H_2O aerosols

C. Fountoukis¹ and A. Nenes^{1,2}

¹School of Chemical and Biomolecular Engineering, Georgia Institute of Technology, 311 Ferst Drive, Atlanta, GA 30332-0100, USA

²School of Earth and Atmospheric Sciences, Georgia Institute of Technology, 311 Ferst Drive, Atlanta, GA 30332-0100, USA



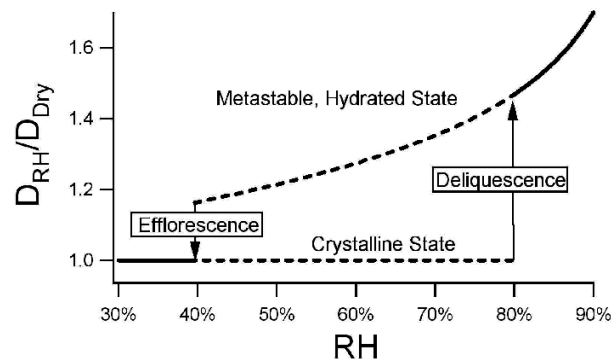
Thermodynamic equilibrium model

- **Forward mode? Reverse mode?**

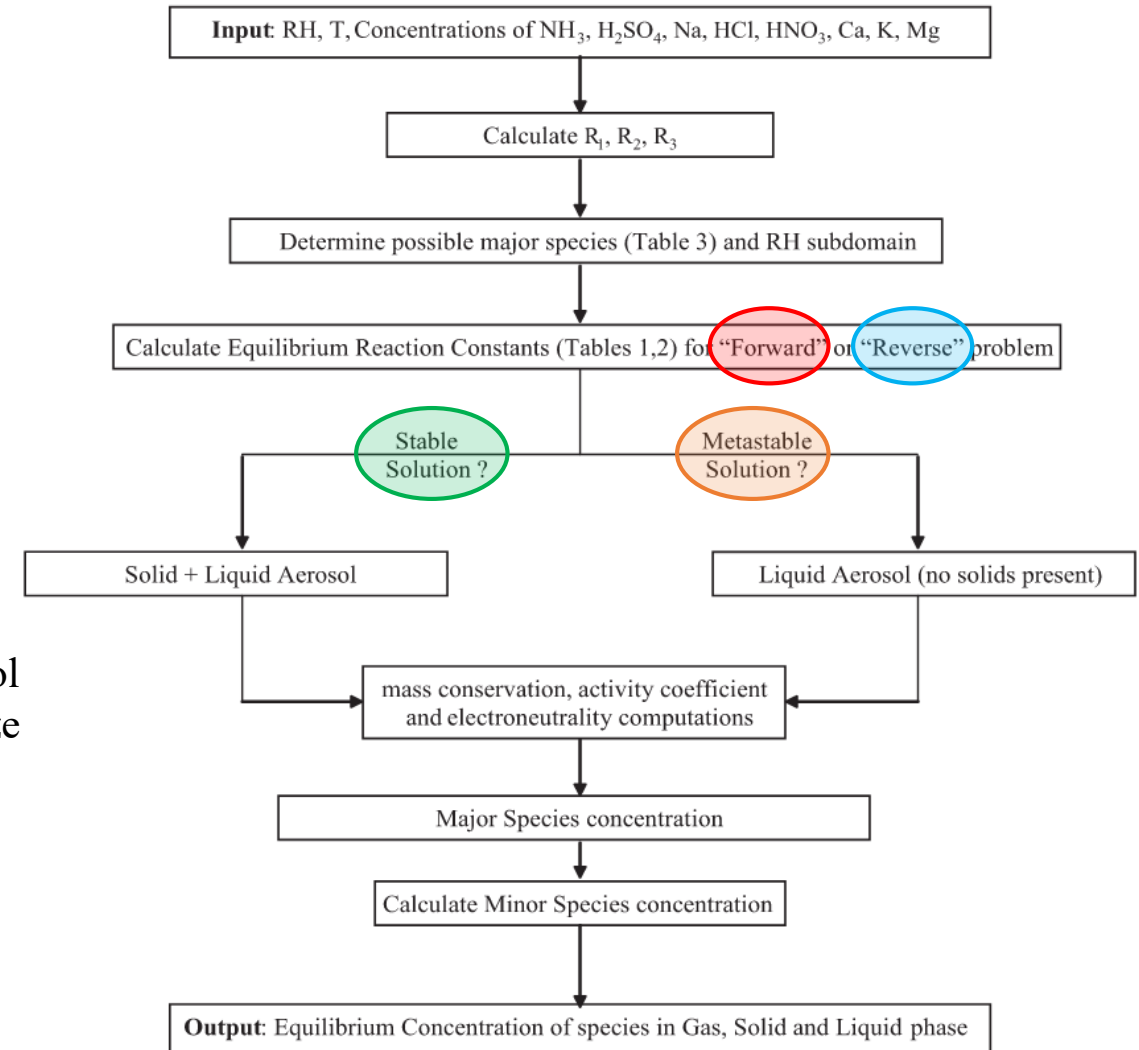
- **Forward mode** relied on both aerosol-phase and gas-phase concentration (Inputs: Aerosol-phase + Gas-phase)
- **Reverse mode** calculated the thermodynamic equilibrium based on aerosol-phase concentrations

- **Stable solution? Metastable solution?**

- **Stable state particle**: Solid, solid + liquid, or liquid as ambient RH increases (liquid phase appears when ambient RH reaches the deliquescence RH)
- **Metastable state**: If the ambient RH over a completely liquid aerosol decreases below the deliquescence RH, the aerosol may not crystallize immediately but may constitute a supersaturated aqueous solution



Idealized ammonium sulfate growth curve
(Taylor et al., 2011, ACP)



Thermodynamic equilibrium model

- **Metastable solution / Forward mode are recommended !** Song et al. (2018, ACP)

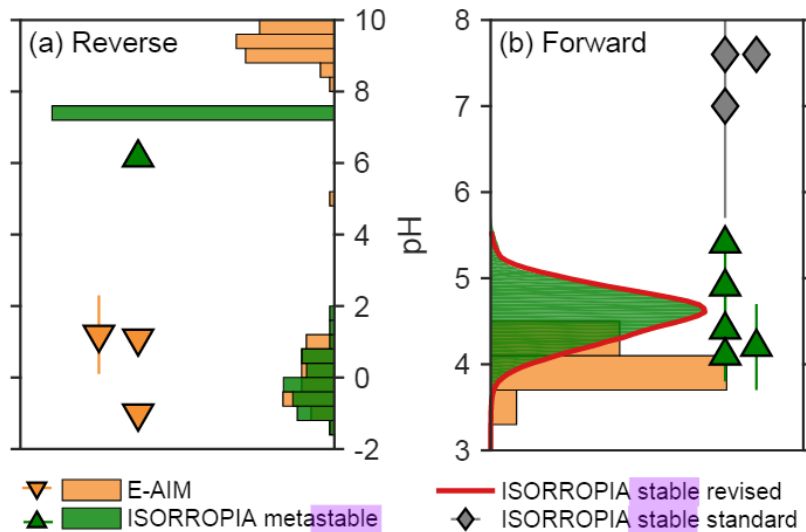


Figure 7. pH predictions during northern China winter haze events from this and previous studies. Note differences in pH scales for the reverse-mode (a) and forward-mode (b) calculations. The frequency distributions and symbols reflect results from this and previous studies, respectively. Here we only include our samples during winter haze events ($RH > 60\%$), with a Monte Carlo approach used in the ISORROPIA forward-mode calculations to better account for the ionic and gas measurement uncertainties.

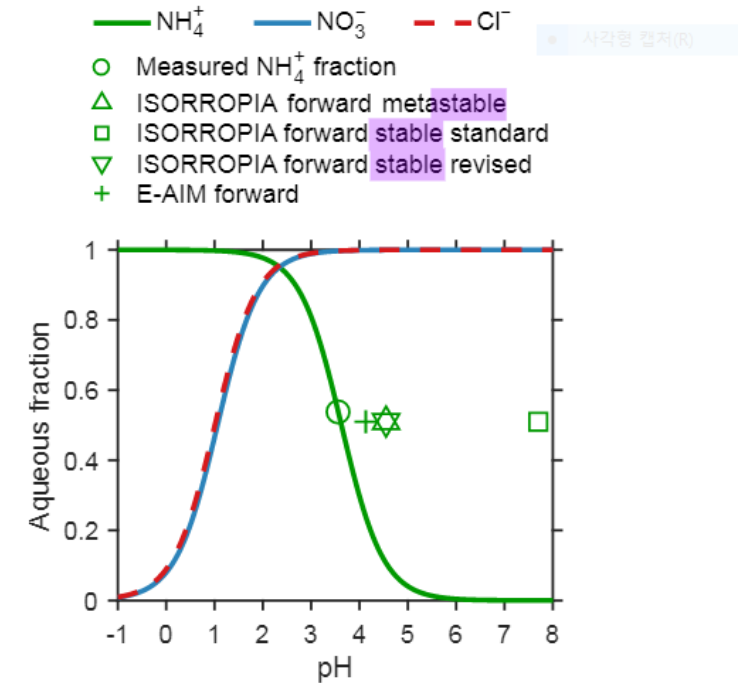
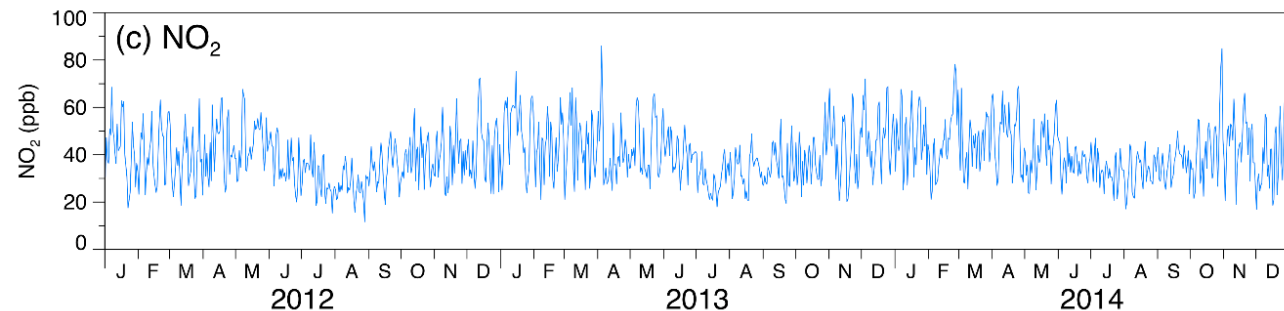
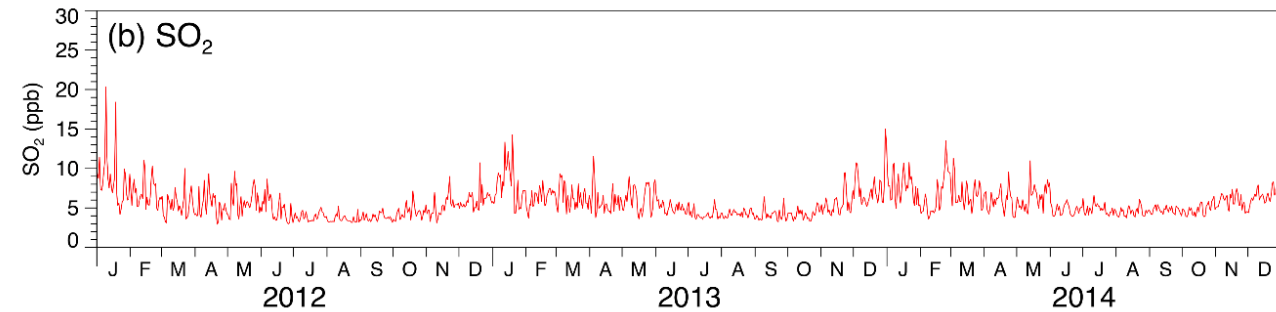
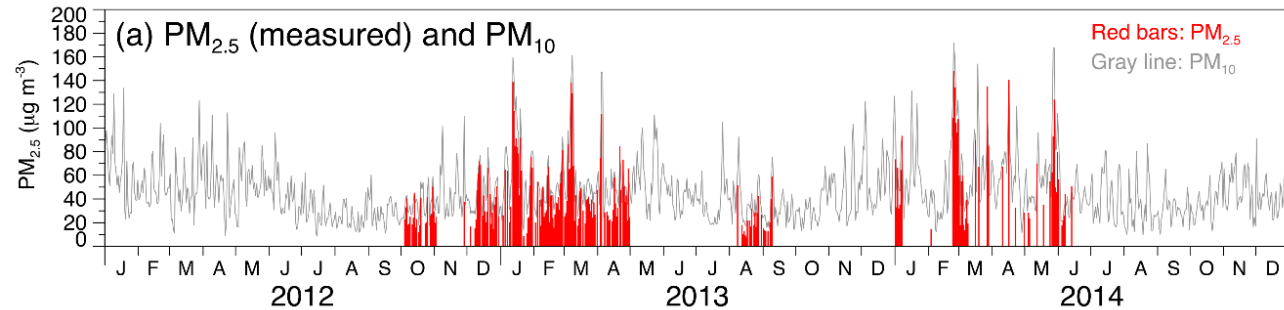


Figure 5. Equilibrium fraction of total ammonia, nitric acid, and hydrochloric acid in the aqueous phase as a function of particle pH. The average temperature (278 K) and aerosol water content ($144 \mu\text{g m}^{-3}$) during severe haze conditions ($RH > 75\%$) are used to calculate these S curves. The circle on top of the ammonia curve indicates the measured average aqueous fraction, which is calculated with the gas-phase NH_3 and $\text{PM}_{2.5}$ NH_4^+ concentrations. The corresponding results from different model calculations are also shown as scatter plots: the x axis is the calculated average pH value and the y axis is the calculated average NH_4^+ aqueous fraction.

PM_{2.5} measurements in Seoul

- **Daily PM_{2.5} sampling at the KIST site (Seoul)**
 - Sampling periods: October 2012 – April 2013, August – September 2013, January – June 2014



- **Samplings: 24-hour integrated sampling (9 a.m. to 9 a.m.)**
 - **Inorganic species** (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}): Low-volume air sampler (16.7 L min^{-1}) with 47 mm Teflon filters
 - **Carbonaceous species** (EC, OC, Individual OM): High-volume air sampler (1000 L min^{-1}) with 203 mm $\times$ 254 mm quartz fiber filters

1. Mass concentrations

- Mettler MT5 microbalance (Mettler-Toledo) with 1 μg precision

2. Ions

- Sonication in a mixture of 0.5 ml of ethanol and 14.5 ml of distilled/deionized water for 30 min
- Dionex 2000i/SP ion chromatograph (Dionex)
- Detection limits: anion $< 0.01 \mu\text{g m}^{-3}$, cation $< 0.006 \mu\text{g m}^{-3}$

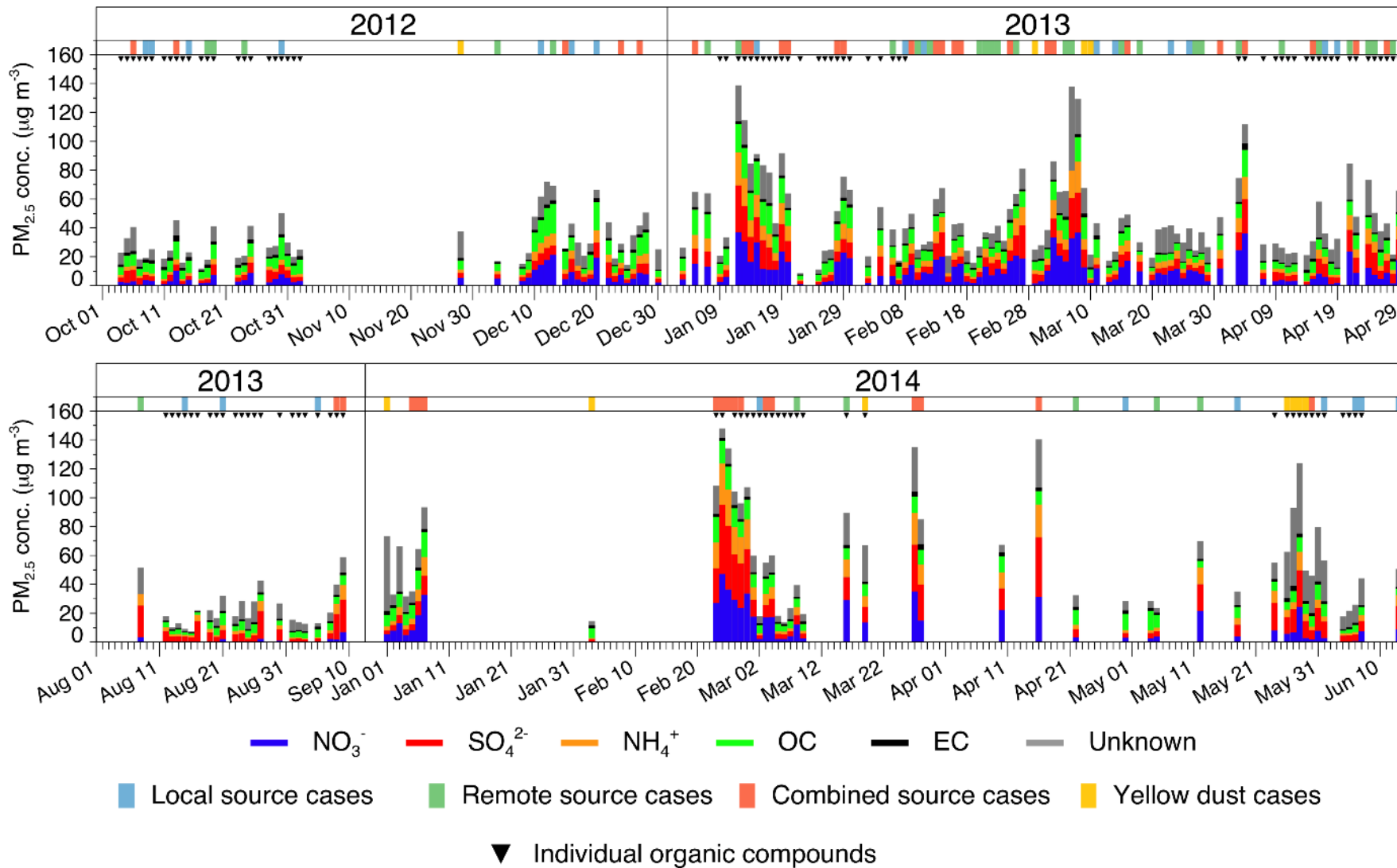
3. Carbon (EC, OC)

- Thermal Optical Transmittance (TOT)
- Thermal/optical carbon aerosol analyzer (Sunset Laboratory) based on the NIOSH Method 5040

4. Organic compounds

- GC/MS-FID
- 9 Sugars, 17 n-Alkanes, 15 PAHs, 19 Monocarboxylic acids (Fatty acids), 19 Dicarboxylic acids

Chemical compositions



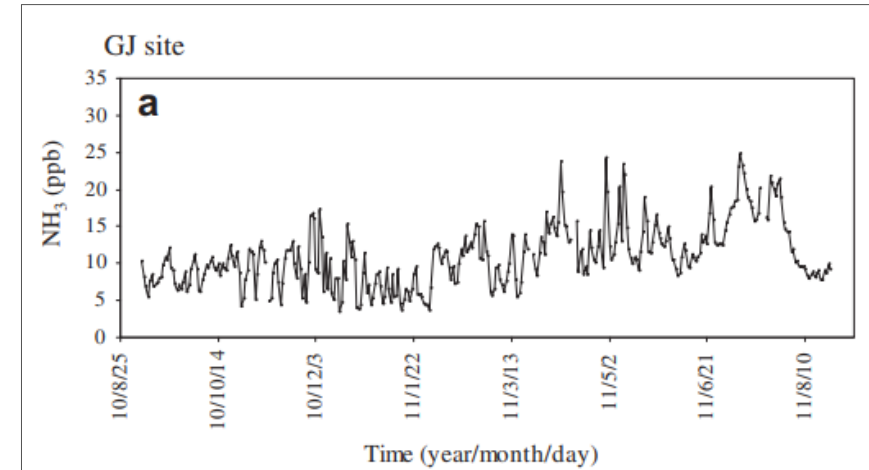
- **ISORROPIA II**

- Forward / Metastable
- Particulate SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , **total NH_3 (gas-phase NH_3 + particulate NH_4^+), total NO_3 (HNO_3 + particulate NO_3^-), and total Cl (gas-phase HCl + particulate Cl^-)** are required.
- The gas-phase concentrations are not available in this study.
- Here we didn't consider gas-phase HCl because of very small fraction of Cl^- in $\text{PM}_{2.5}$ (~1%)

- **Procedure**

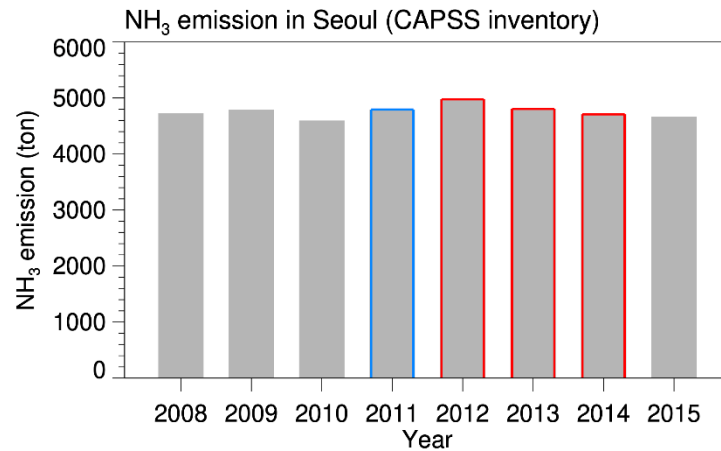
- **Step 1:** Conduct ISORROPIA simulation with statistically reconstructed NH_3 and measured particle ions
- **Step 2:** Deduce ambient HNO_3 from the measured NO_3 and predicted HNO_3 – NO_3^- ratio in (1)
- **Step 3:** Conduct ISORROPIA simulation again with statistically reconstructed NH_3 , deduced HNO_3 , and particle ions

- A year-record of NH_3 at Seoul in the preceding year (Sep. 2010 to Aug. 2011) is provided by *Phan et al. (2013, AE)*
- Average NH_3 concentration was ~ 10.9 ppb.

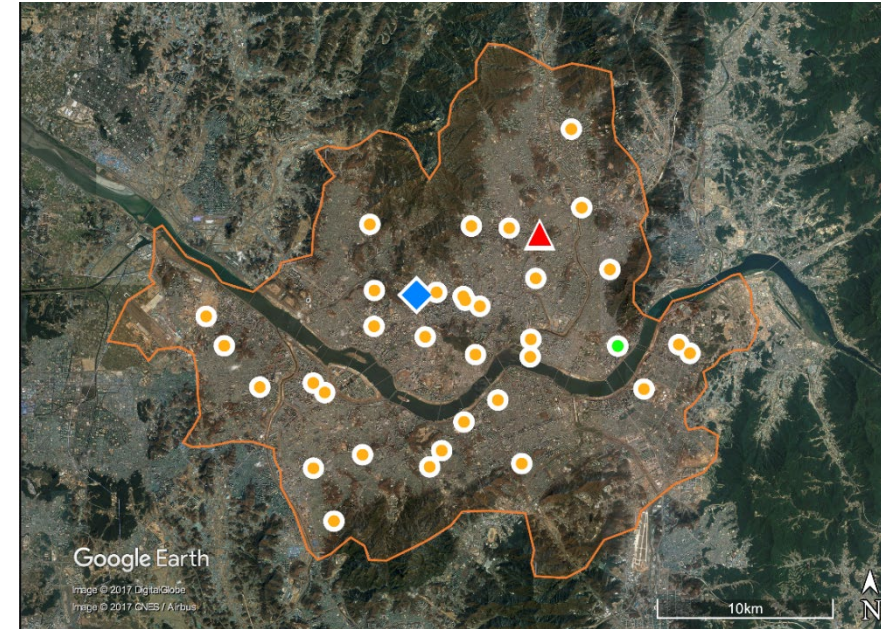
[illegible]

Statistical reconstruction of NH_3

- **KIST site (2012–2014) vs. Gwangjin site (2011)**



- Temporal gap: 1~3 years
- Small interannual changes in estimated NH₃ emissions in Seoul
- Spatial distance between two sites: 7.8 km
- Sharing similar environments located downwind from downtown and surrounded by residential and small urban green areas



- **Multiple linear regression model of NH₃**
 - To satisfy statistical characteristics of mean and standard deviation (10.9 ± 4.25 ppb) and linear correlations with T , RH, WS, SO₂, NO₂, and CO, coefficients α and c_X are statistically determined.

$$[\text{NH}_3]_{\text{est}} = \alpha (c_{\text{SO}_2} [\text{SO}_2]_{\text{nor}} + c_{\text{NO}_2} [\text{NO}_2]_{\text{nor}} + c_{\text{CO}} [\text{CO}]_{\text{nor}} + c_T [T]_{\text{nor}} + c_{\text{RH}} [\text{RH}]_{\text{nor}} + c_{\text{WS}} [\text{WS}]_{\text{nor}}) + \mu_{\text{NH}_3}$$

Table S1: The coefficients for the dependent variables used in the multiple regression model to predict NH₃.

Variables (X)	Correlation coefficient (r) [Phan <i>et al.</i> , 2013]	Coefficient determination (R^2) [Phan <i>et al.</i> , 2013]	of Mean (μ) and standard deviation ($\pm \sigma$) [This study]	Coefficients (c_X)
SO ₂	-0.179**	0.032	5.57 ± 1.87 (ppb)	-0.621
NO ₂	+0.108*	0.011	39.9 ± 12.0 (ppb)	-0.274
CO	+0.151**	0.023	0.60 ± 0.21 (ppm)	+1.377
T	+0.487**	0.237	12.8 ± 11.1 (°C)	+1.000
RH	+0.505**	0.255	59.9 ± 15.2 (%)	+0.377
WS	-0.243**	0.059	2.74 ± 0.86 (m s ⁻¹)	-0.053

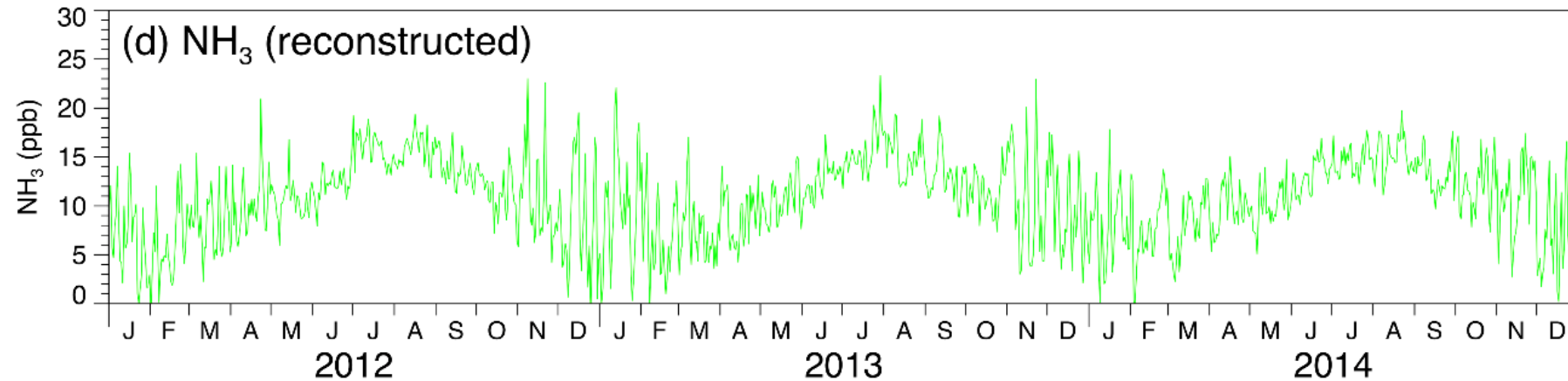
* Significant correlation at the 95% or higher level ($p < 0.05$)

** Significant correlation at the 99% or higher level ($p < 0.01$)

$\alpha = 3.23$

Statistical reconstruction of NH_3

- **Statistically reconstructed NH_3 in Seoul**
 - Seasonally high during the warm season as reported by Phan et al. (2013)
 - High peaks on the polluted days with stagnant condition in the cold season

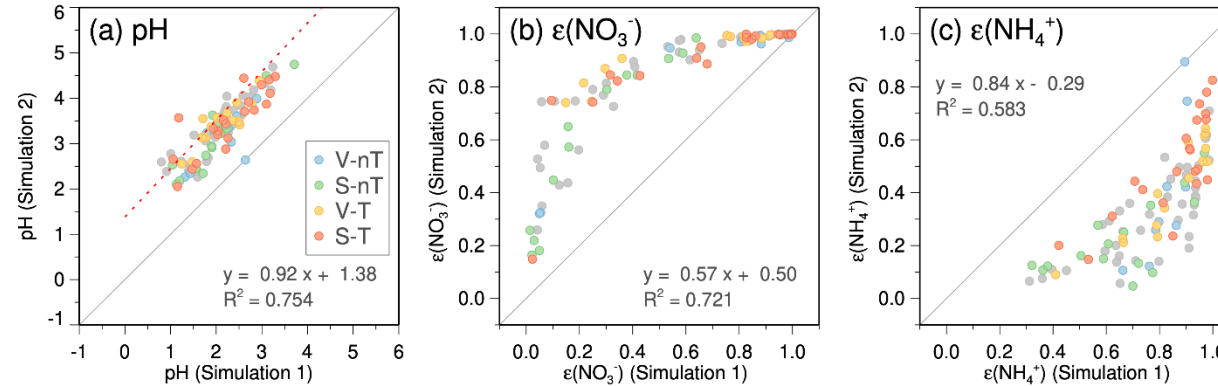


- **Seasonal cycle:** Temperature dependence of aqueous phase partitioning (between NH_3 and NH_4^+) and the equilibrium (between aqueous and gas phase NH_3)
- **Day-to-day variability:** Affected by changes in boundary layer height and transport (Considering short lifespan less than ~ 5 days)

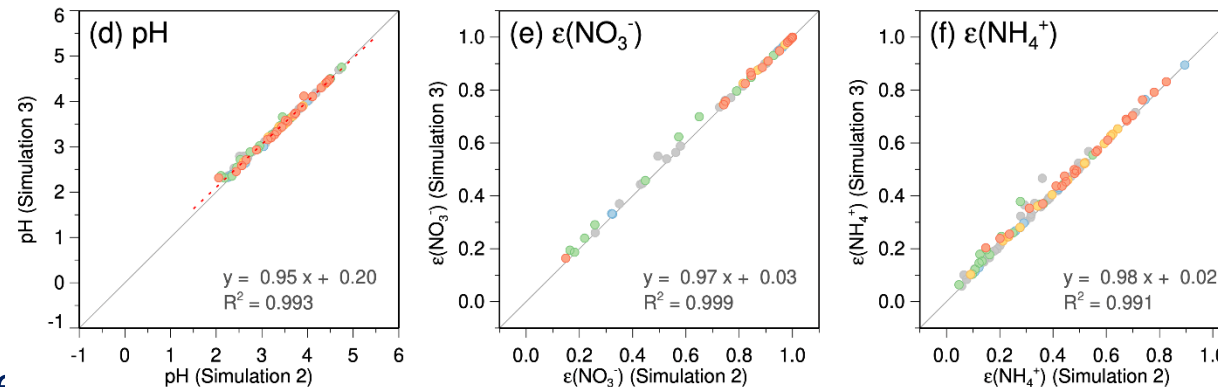
Estimation of nitrate partitioning

- Analytic sigmoid curve (S-curve) for the $\text{HNO}_3\text{--NO}_3^-$ partitioning ratio $\epsilon(\text{NO}_3^-)$

Simulation 2 (with estimated NH_3 gas) vs. Simulation 1 (without NH_3 and HNO_3 information)



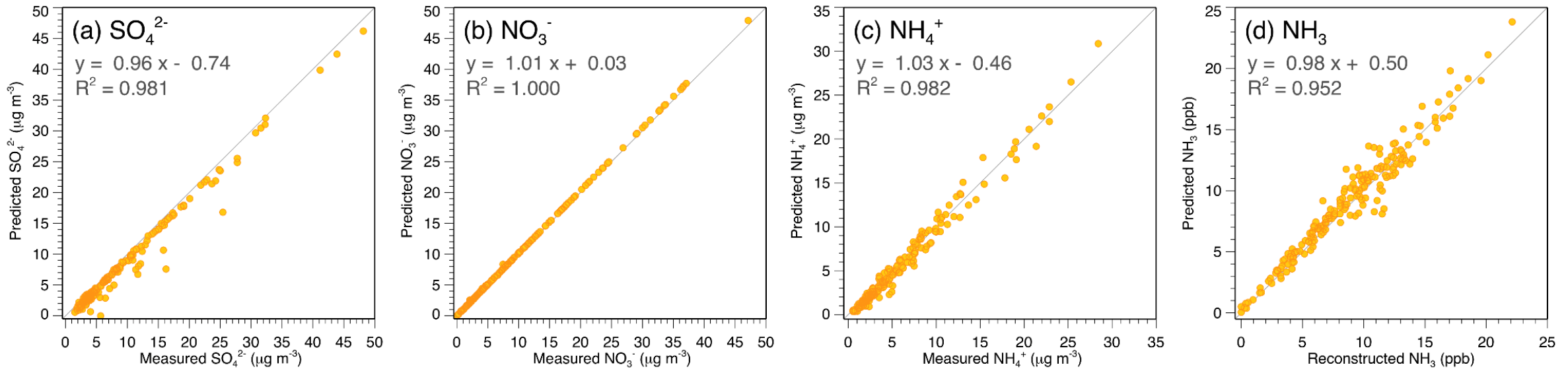
Simulation 3 (with both estimated NH_3 and HNO_3 gases) vs. Simulation 2



- Interquartile range (orange dashed line) and the local source group (blue)
- The higher $\epsilon(\text{NO}_3^-)$ for the combined source group compared to the local source group at the same pH

Uncertainties from reconstructed NH_3 and HNO_3

- Predicted concentrations vs. Measured concentrations**

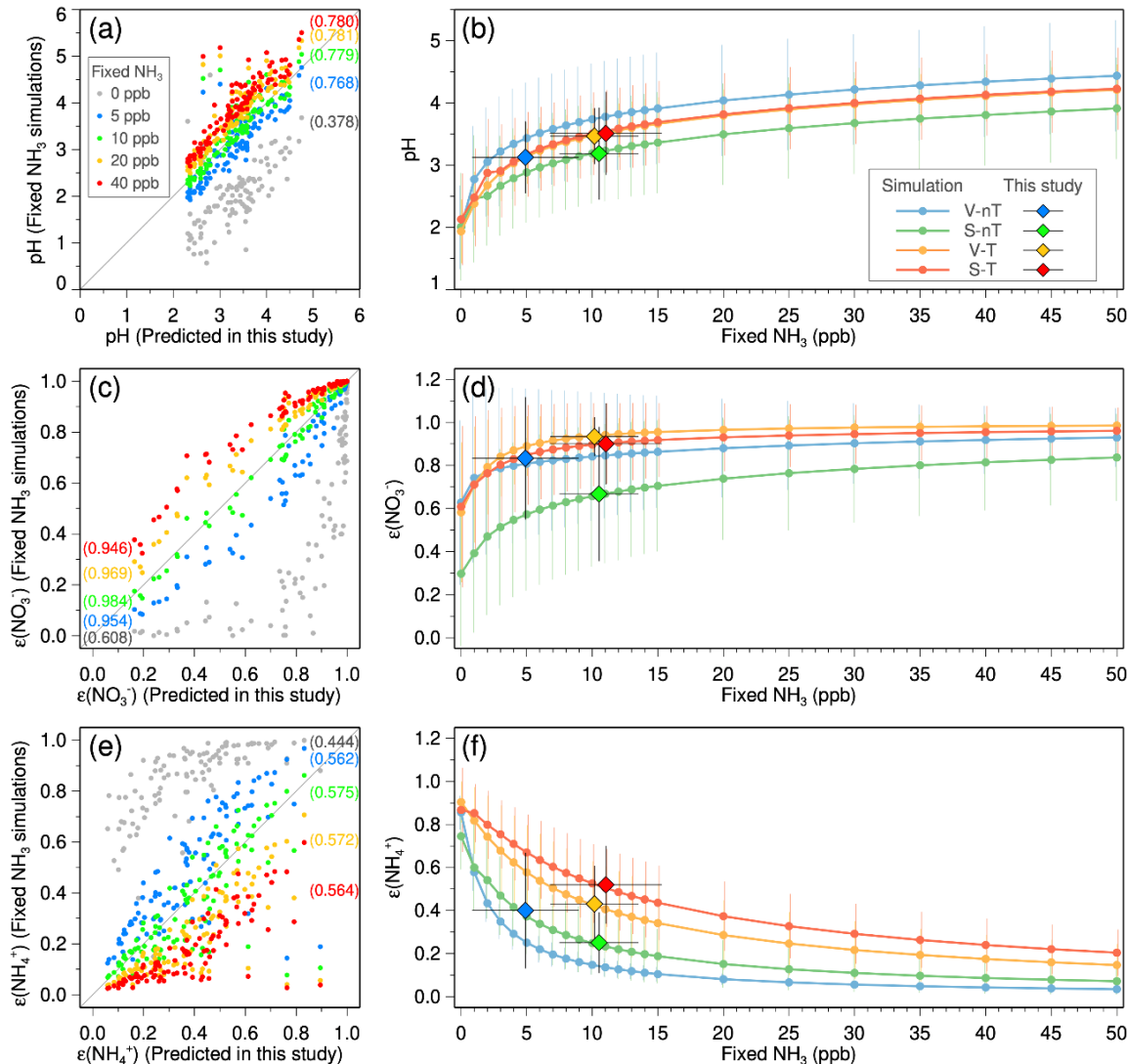


- Good agreement between predicted and measured concentrations of the secondary inorganic aerosol (SIA) species (SO_4^{2-} , NO_3^- , and NH_4^+) ($R^2 > 0.98$)
- Predicted NH_3 are also well correlated with statistically reconstructed NH_3 ($R^2 > 0.95$)
- Water uptake by inorganic aerosol in ISORROPIA II approximates the water content of a mixture as a sum of water contents of individual salts at the same RH (Zdanovskii–Stokes–Robinson (ZSR) mixing rule)
 - Expected error in water content induced by potential errors in gases (NH_3 and HNO_3) would be small

Uncertainties from reconstructed NH_3 and HNO_3

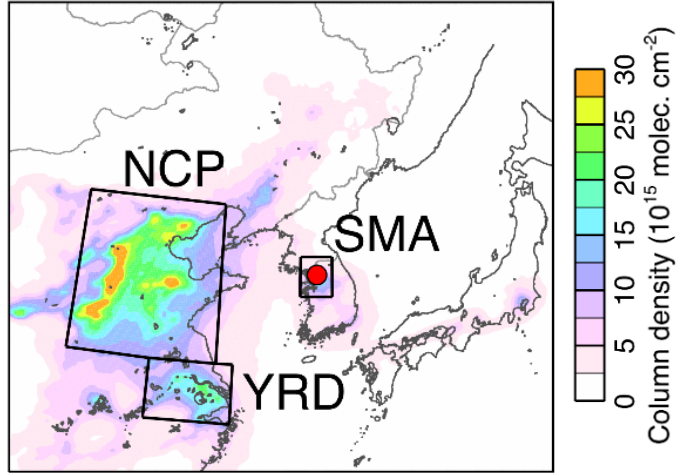
- Sensitivity of predicted pH, $\varepsilon(\text{NO}_3^-)$, and $\varepsilon(\text{NH}_4^+)$ to NH_3

- Buffering effect of semi-volatile NH_3 partitioning reduces the sensitivity of pH to excess NH_3 in the NH_3 -rich conditions (like Seoul, ~10 ppb)
- Comparisons between the simulation in this study (using the daily reconstructed NH_3 concentrations) and the simulations with the various fixed- NH_3 levels
- Good correlations between results from the daily varied- NH_3 simulation and the fixed- NH_3 simulations: Potential errors induced by the estimation of daily NH_3 levels will be small if NH_3 concentrations are nonzero
- The slopes of pH, $\varepsilon(\text{NO}_3^-)$, and $\varepsilon(\text{NH}_4^+)$ curves to the increase in fixed- NH_3 level: Gradually flat at over 5 ppb
- Potential errors in reconstructed NH_3 will not significantly change the results

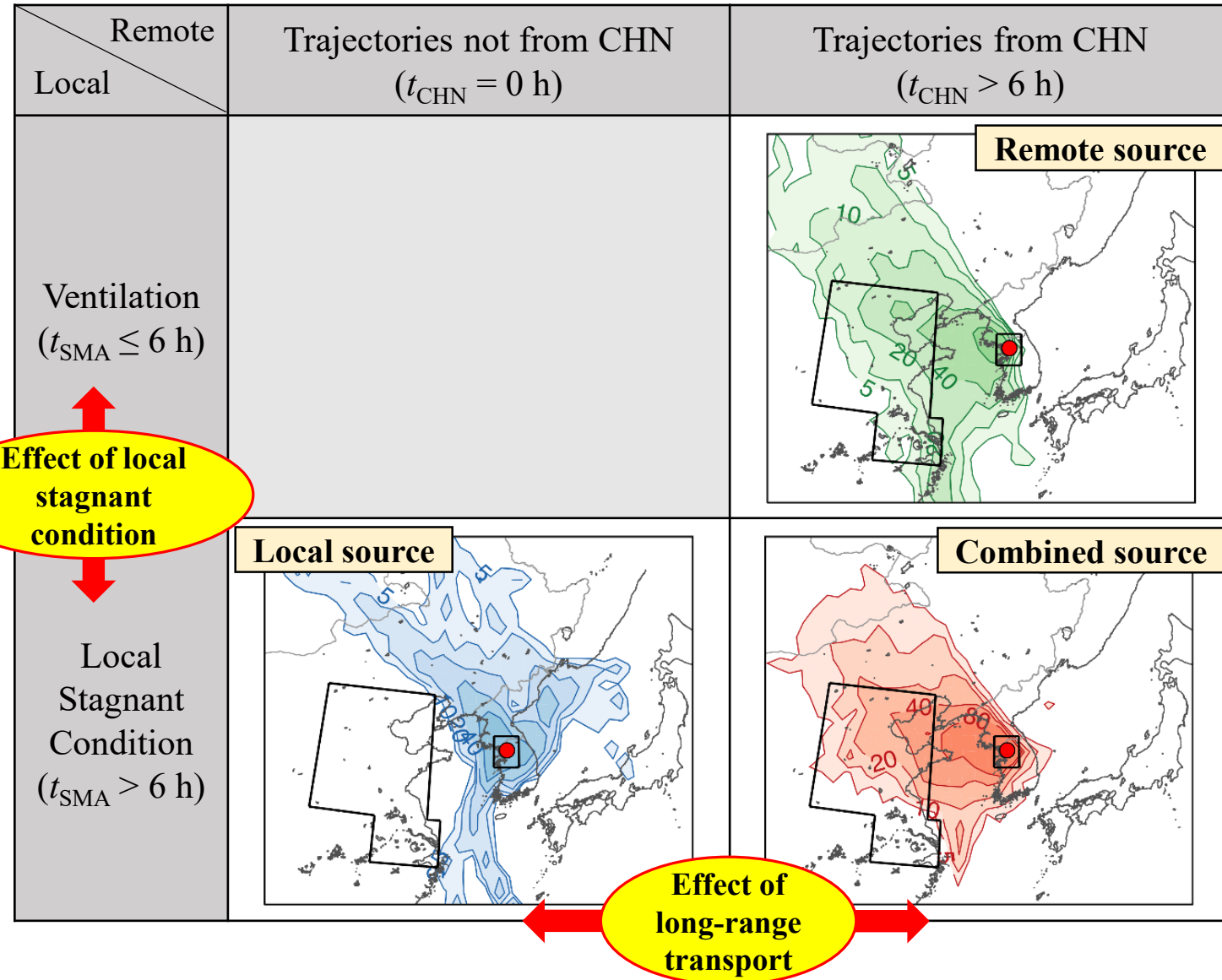


Categorization of daily measurements

- Major anthropogenic source area



- **Remote:** North China Plain (NCP) and Yangtze River Delta (YRD) $\rightarrow$ China (CHN)
- **Local:** Seoul Metropolitan Area (SMA)
- Daily average residence time in each source area (t_{CHN} , t_{SMA}) using the 72-h backward trajectories (HYSPLIT)



Categorization of daily chemical composition

- **Local source group**

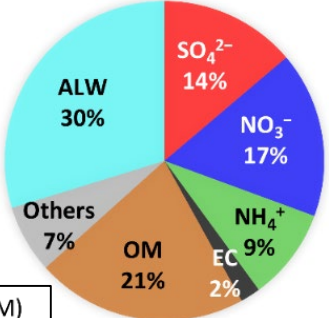
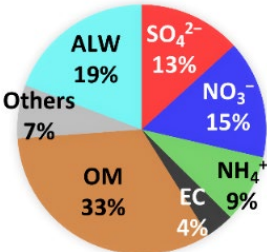
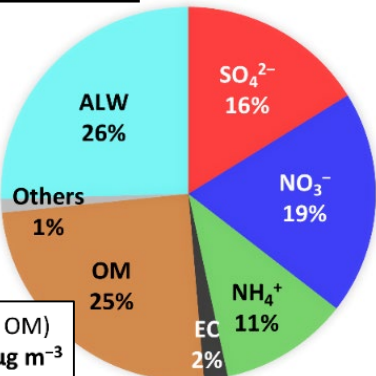
- Low winds, and low BLH
- Low NO₂ and SO₂ concentrations
- Large OM fraction (~33%) but small SIA (37%) and ALW (19%) fractions

- **Remote source group**

- High winds, and high BLH
- Low NO₂ and SO₂ concentrations
- Large SIA (40%) and ALW (30%) fractions but small OM fraction (~21%)

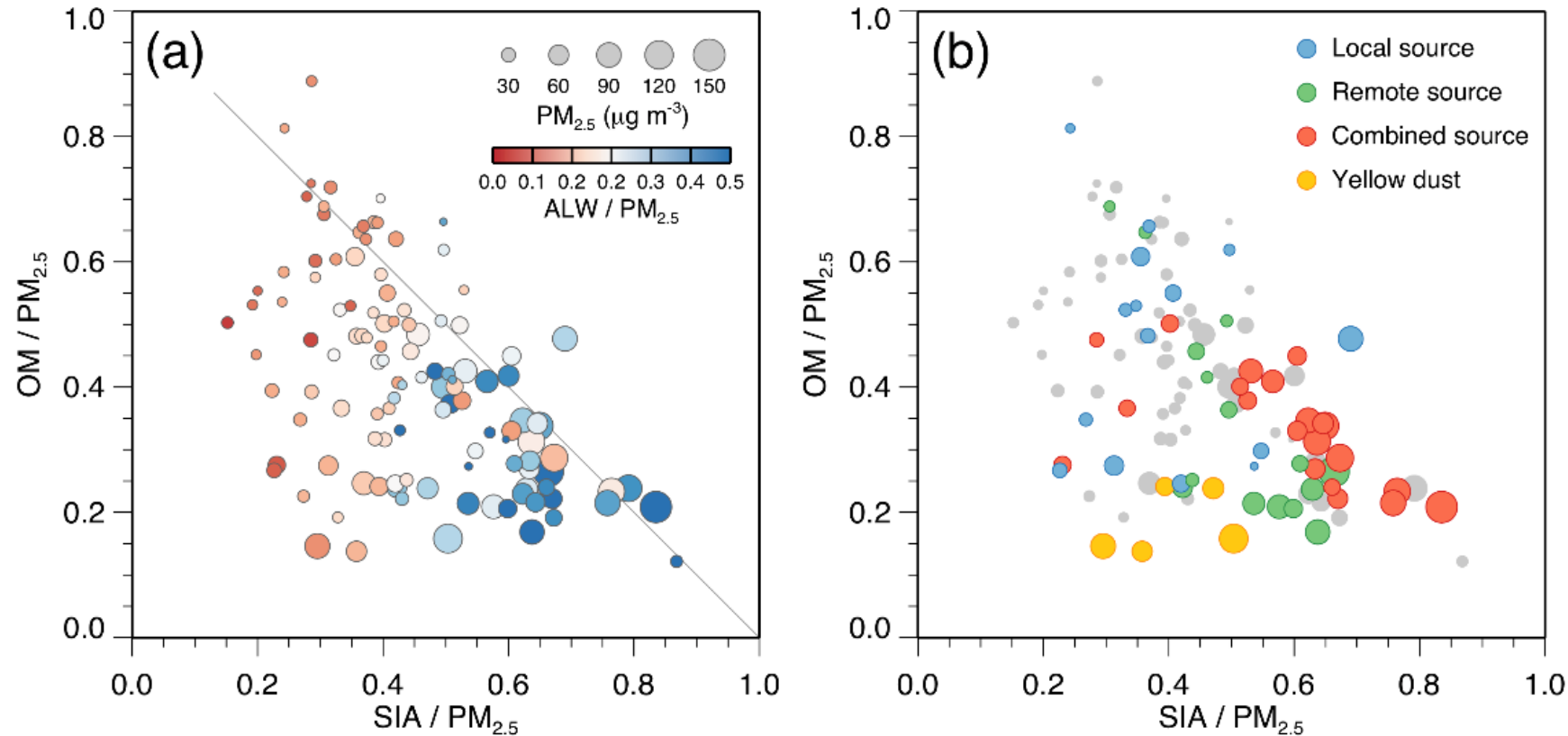
- **Combined source group**

- Low winds, and low BLH
- High NO₂ and SO₂ concentrations
- Largest SIA fractions (46%) and large ALW fraction (26%)

Remote Local	Trajectories not from CHN ($t_{\text{CHN}} = 0$ h)	Trajectories from CHN ($t_{\text{CHN}} > 6$ h)
Ventilation ($t_{\text{SMA}} \leq 6$ h)		Remote source WS ~ 3.1 m/s BLH ~ 660 m NO ₂ ~ 43 ppb SO ₂ ~ 7 ppb  N = 35 (N = 15 for OM) PM _{2.5} (dry): 49.4 $\mu\text{g m}^{-3}$ ALW: 20.9 $\mu\text{g m}^{-3}$
Local Stagnant Condition ($t_{\text{SMA}} > 6$ h)	Local source WS ~ 2.4 m/s BLH ~ 490 m NO ₂ ~ 45 ppb SO ₂ ~ 6 ppb  N = 26 (N = 15 for OM) PM _{2.5} (dry): 37.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ ALW: 8.9 $\mu\text{g m}^{-3}$	Combined source WS ~ 2.3 m/s BLH ~ 430 m NO ₂ ~ 56 ppb SO ₂ ~ 8 ppb  N = 42 (N = 21 for OM) PM _{2.5} (dry): 69.1 $\mu\text{g m}^{-3}$ ALW: 23.6 $\mu\text{g m}^{-3}$

Aerosol liquid water (ALW) and inorganic species

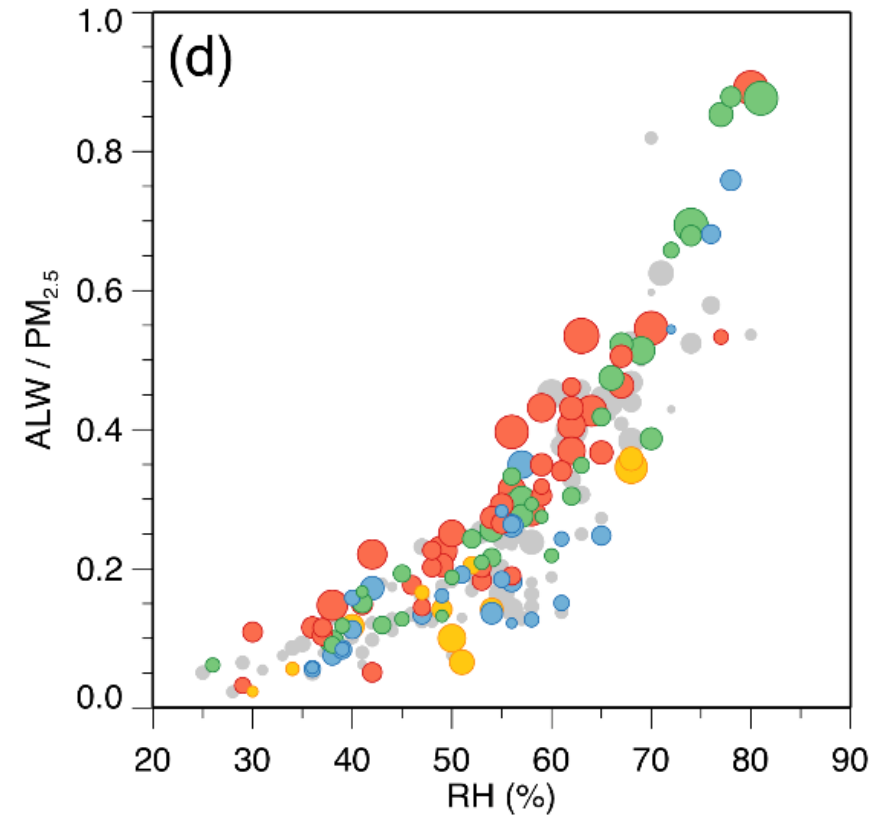
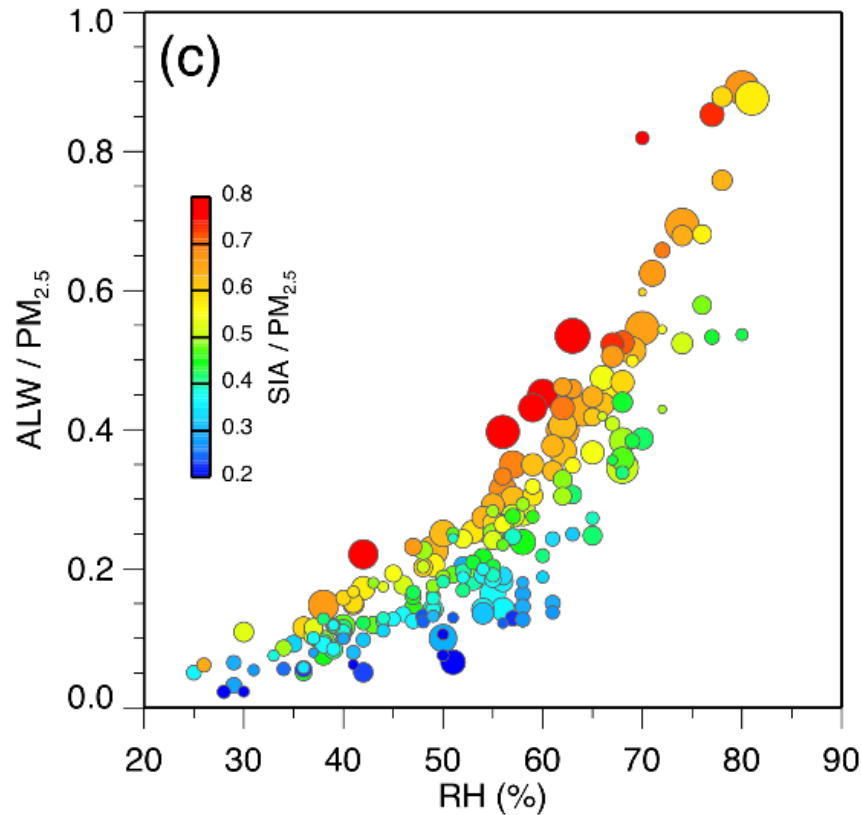
- ALW, inorganic and organic fractions in $PM_{2.5}$



- The more inorganic-rich particle, the more ALW fraction and the higher $PM_{2.5}$ mass concentration
- The wetter particles mostly belong to the “Remote” and “Combined” source groups.

Aerosol liquid water (ALW) and RH

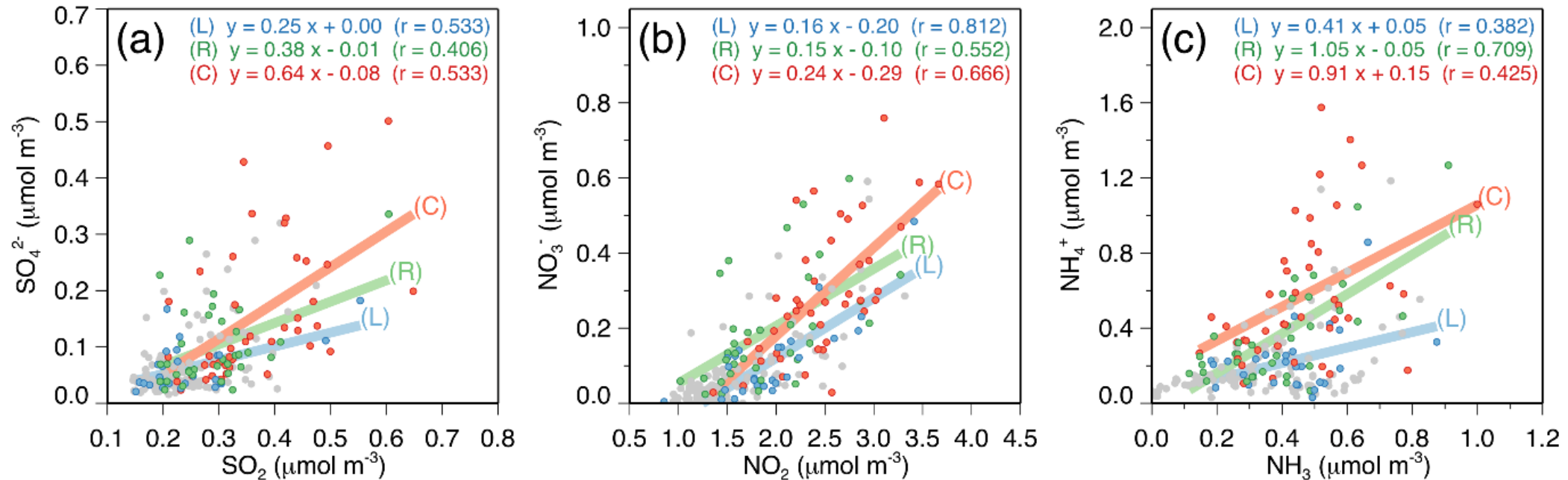
- ALW fraction vs. RH



- The more inorganic fraction, the more hygroscopic growth of particles (in terms of both ALW fraction and $PM_{2.5}$ mass) by the RH increase.
- Hygroscopic growth by the RH increase: Clearer in the “Combined” source group than the “Local” source group.

Inorganic species vs. Gas precursors

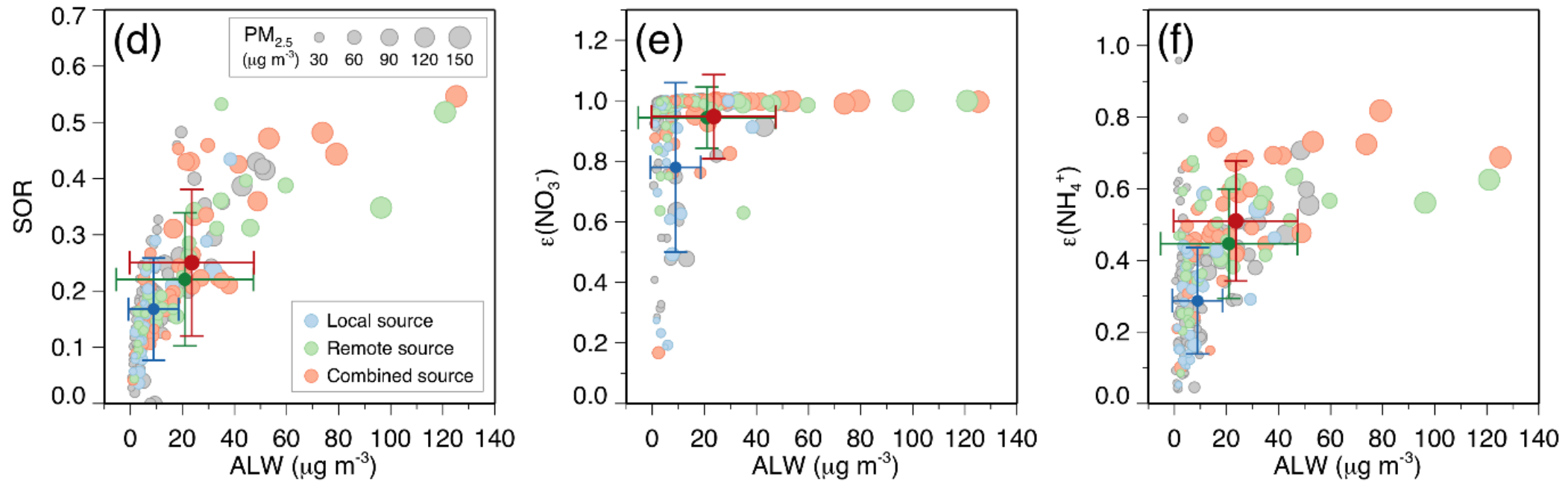
- Particulate inorganic species vs. Gaseous precursors



- Particulate sulfate, nitrate, and ammonium are increased by their precursor gas concentrations with the larger slope in the “Combined” source group compared to the “Local” source group.
- More particulate inorganic mass at the same levels of precursor concentration in the “Combined” source group.

Particle fraction vs. ALW

- Particle fractions vs. ALW



- All the particle fractions are increased with ALW.
- Nitrate partitioning is very sensitive to ALW.
- Remote and combined source group show higher particulate fractions.

- Sulfur oxidation ratio:

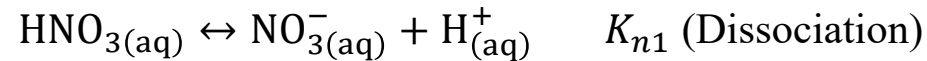
$$\text{SOR} = \text{SO}_4^{2-} / (\text{SO}_2 + \text{SO}_4^{2-})$$
- Nitrate partitioning ratio:

$$\epsilon(\text{NO}_3^-) = \text{NO}_3^- / (\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-)$$
- Ammonium partitioning ratio:

$$\epsilon(\text{NH}_4^+) = \text{NH}_4^+ / (\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+)$$

Nitrate partitioning ratio

- $\text{HNO}_3\text{--NO}_3^-$ partitioning ratio $\varepsilon(\text{NO}_3^-)$



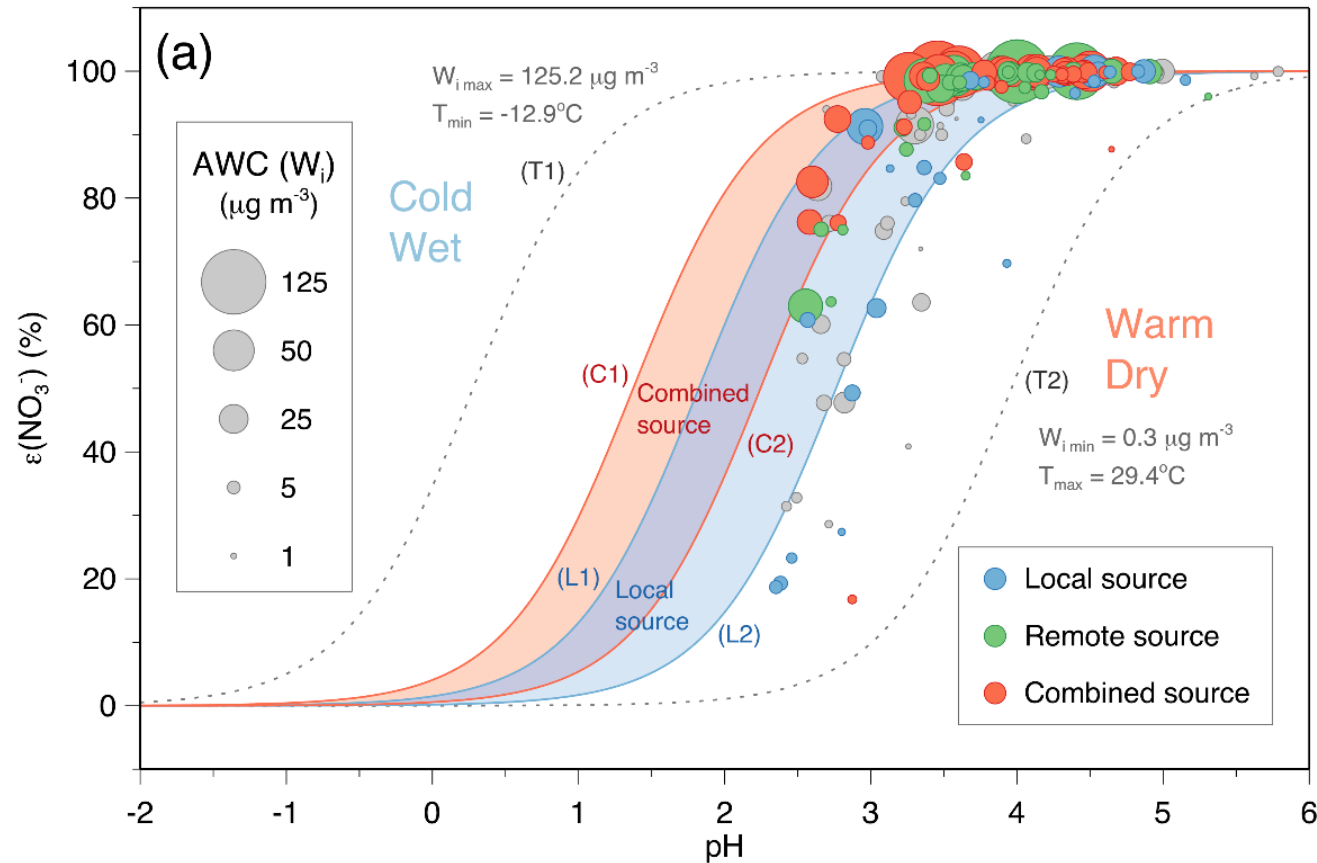
$$\varepsilon(\text{NO}_3^-) = \frac{H_{\text{HNO}_3}^* W_i RT (0.987 \times 10^{-14})}{\gamma_{\text{H}^+} \gamma_{\text{NO}_3^-} 10^{-\text{pH}} + H_{\text{HNO}_3}^* W_i RT (0.987 \times 10^{-14})}$$

$H_{\text{HNO}_3}^*$ ($= H_{\text{HNO}_3} K_{n1}$, $\text{mol}^2 \text{ kg}^{-2} \text{ atm}^{-1}$): Equilibrium constant (T -dependent)

$\gamma_{\text{H}^+} \gamma_{\text{NO}_3^-}$ ($\sim 0.33 \pm 0.16$): Activity coefficients (T and ionic strength dependent)

Nitrate partitioning ratio

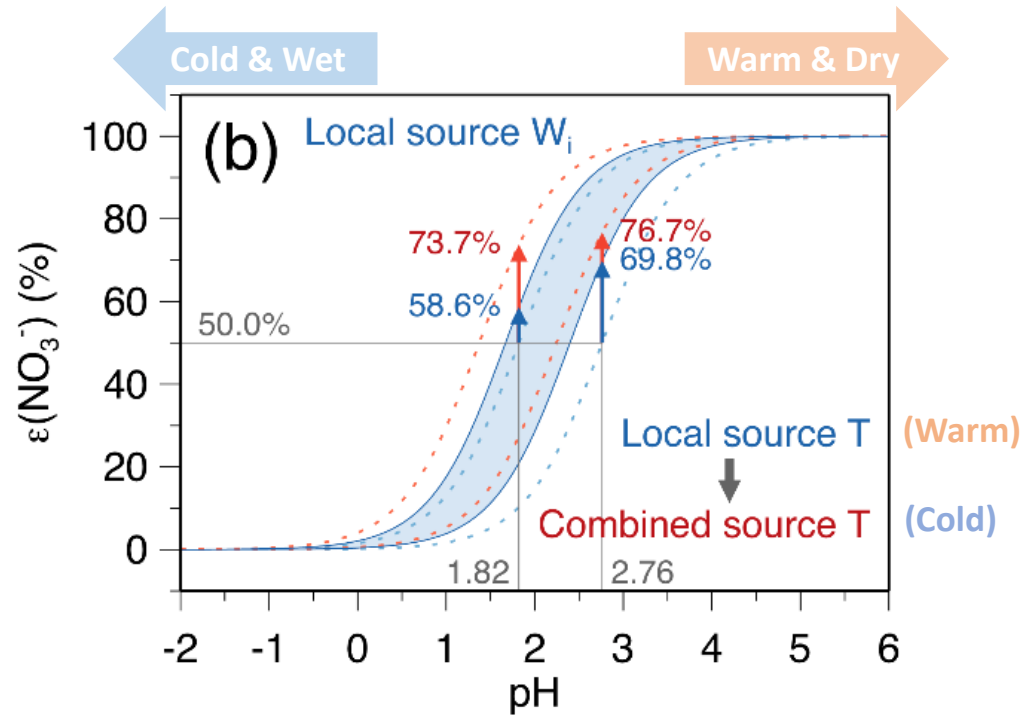
- Analytic sigmoid curve (S-curve) for the $\text{HNO}_3\text{--NO}_3^-$ partitioning ratio $\epsilon(\text{NO}_3^-)$



- Interquartile range (Q1 to Q3) of S-curves for the combined source group (red) and the local source group (blue)
- The higher $\epsilon(\text{NO}_3^-)$ for the combined source group compared to the local source group at the same pH

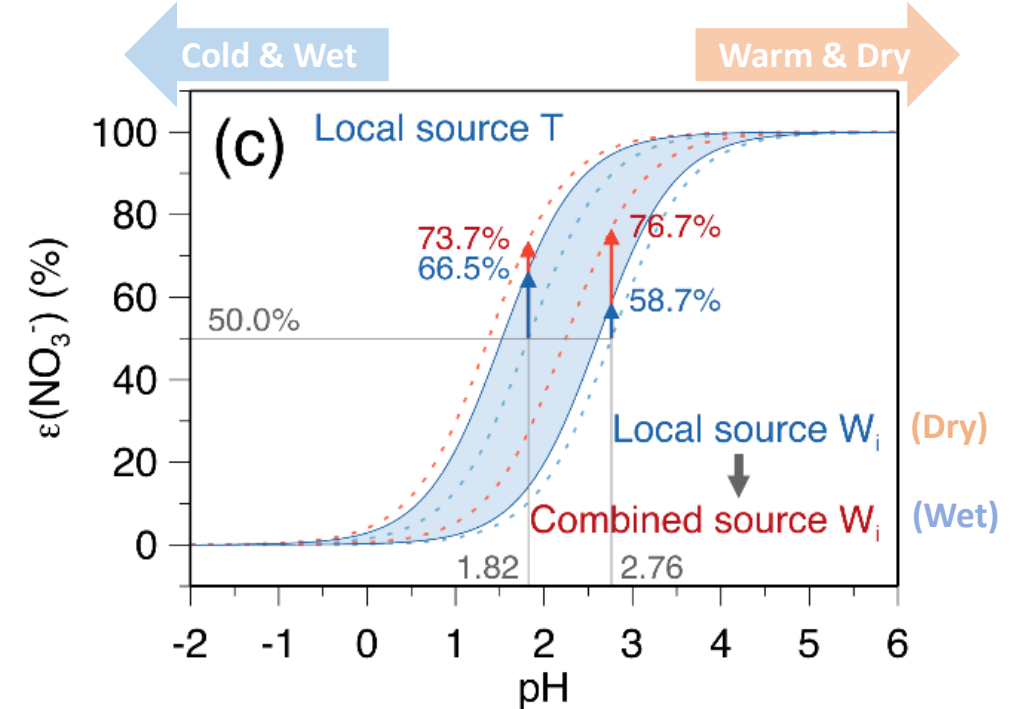
Temperature effect vs. Water effect

- Temperature-effect on $\varepsilon(\text{NO}_3^-)$



- T decrease with fixed W_i (for the local source group)
- The new curves get closer to the combined source group at the warmer and drier conditions.

- Water-effect on $\varepsilon(\text{NO}_3^-)$



- W_i increase with fixed T (for the local source group)
- The new curves get closer to the combined source group at the colder and wetter conditions.
- *ALW-sensitive in Winter (Heavy haze season)*

Summary

- Haze pollution in Seoul is affected by both local and remote sources.
- Particles related to the local formation (without long-range transport) are drier and more organic-rich.
- Particles related to the transport from China (remote source) are wetter and more inorganic-rich.
- Hygroscopic growth of particle is significant in the wet inorganic-rich particles.
- Aqueous-phase nitrate partitioning in the wet particle is larger than the gas-to-particle partitioning in the dry particle.
- Severe haze pollution in Seoul can be a result of the synergistic effect of long-range transport of inorganic-rich wet particles and local high- NO_x condition under the local stagnant condition.

