

# 대기질 모니터링관련 전문기관 연구교류 세미나

## I 추진배경

- 충남은 2020년에 신설된 대기관리 권역법에 따라 대전, 세종, 충북, 전북과 함께 중부권으로 분류되었으며, 5년 단위의 수립되는 기본계획 달성을 위한 노력이 필요함
- 충남은 대형사업장을 비롯한 산업배출과 도심지역에서 발생하는 도시대기오염물질, 농축산관련 배출 등 복합적인 배출특성을 가지고 있어 배출원에 대한 정확한 이해과 현상파악이 중요함
- 지역적 인프라 부족으로 권역 내 전문인력간 공동연구와 업무협력이 요구되며, 특히 전북지역에 위치해 있는 전북대는 농축산관련 대기 이슈에 따른 개선 연구를 다수 수행한바 있음
- 이에 전북대 연구진과의 연구교류 세미나를 통해 그 동안 수행해온 연구결과를 공유하고 향후 공동연구방안 모색을 위한 자리를 마련하고자 함

## II 추진목적

- 타 지역 연구사례 조사를 통한 충남지역 대기질 개선 대책 수립
- 연구 네트워크 구축을 통한 공동연구방안 마련

## III 기대효과

- 농축산분야 선진연구결과 공유를 통한 지역내 대기질 개선에 적용
- 연구결과 기반 제2차 충청남도 대기환경관리 시행계획 세부 사업 제안

## IV 행사개요

- 대기질 모니터링 관련 전문기관 연구교류 세미나(CNI세미나 2024-10)
- 일 시 : 2024년 4월 5일 (금) 10:00~12:00
- 참 석 : 충남연구원, 충남녹색환경지원센터, 전북대
- 주 관 : 충남연구원, 충남녹색환경지원센터
- 장 소 : 전북대학교 자연대 4호관 114호
- 참석인원 : 김종범 책임연구원 외 22명

## V 세부일정

소 요 시 간		내 용	비 고
10:00~10:10	10분	세미나 취지 소개	김종범 책임연구원 (충남연구원)
10:10~10:30	20분	충남지역 대기질 이슈 및 충남연구원의 연구 사례	김종범 책임연구원 (충남연구원)
10:30~10:50	20분	충남 주요 환경문제와 녹색환경지원센터의 역할	강민주 팀장 (충남녹색환경지원센터)
10:50~11:10	20분	대기 에어로졸의 물리화학적 특성 분석	송미정 (전북대 지구환경과학과)
11:10~11:30	20분	대기오염 모니터링 및 제어연구실 소개와 최근 연구사례	김용현 (전북대 환경공학과)
11:30~11:55	25분	랩실 투어	송미정 (전북대 지구환경과학과)
11:55~12:00	5분	마무리	

【별첨 1】

## 참석자 명단 (23명)

	소 속	직 위	이 름	
1	충남연구원 (3)	책임연구원	김종범	
2		책임연구원	박세찬	
3		연구원	황규철	
4	충남녹색환경지원센터 (2)	팀장	강민주	
5		연구원	오세권	
6	전북대 지구환경과학과 (9)	교수	송미정	
7		연구교수	자안트 네르말카르	
8		박사과정	김다운	
9		석사과정	최준혁	
10		석사과정	고경희	
11		석사과정	이성진	
12		석사과정	김연후	
13		석사과정	나은상	
14		연구원	유지성	
15	전북대 환경공학과 (9)	교수	김용현	
16		박사과정	안영지	
17		박사과정	장세은	
18		석사과정	류하주	
19		석사과정	최민석	
20		석사과정	오승관	
21		석사과정	김진섭	
22		석사과정	최예빈	
23		석사과정	조민준	

# 충남지역 대기질 이슈 및 충남연구원의 연구 사례

2024. 4. 5

충남연구원 서해안기후환경연구소





## CONTENTS

1. 충남연구원 소개
2. 서해안기후환경연구소 연구 사례
3. 연구 과제 소개





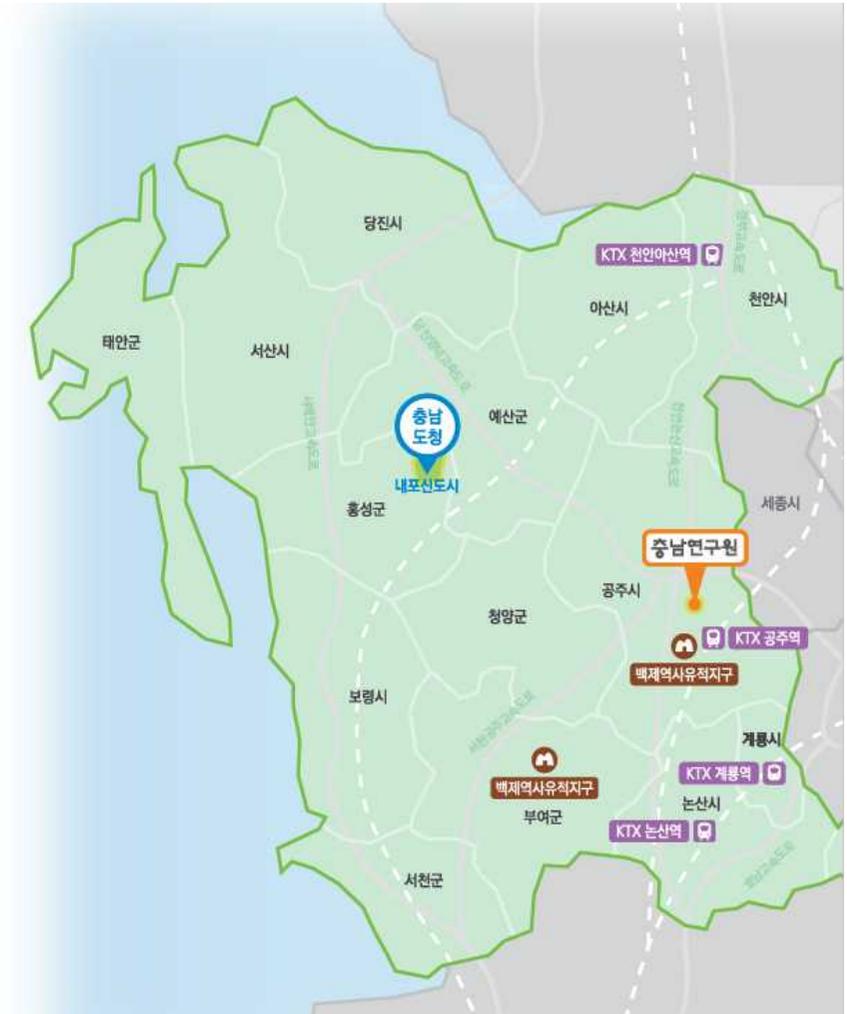
# 1. 충남연구원 소개



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



## 서해안기후환경연구소



### 설립목적 (2015. 3 개소)

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

### 주요연구분야

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



# 1. 충남연구원 소개



## 연구소 구성

- 총원 12명 : 연구위원 2명, 책임연구원 3명, 연구원 7명 / 박사급 6명, 석사급 5명, 학사급 1명
- 해양연구 3명, 기후분야 3명, 대기정책 2명, 마을대기측정망 운영 4명

성명	직급/직책	담당업무
윤종주 (박사)	연구위원 / 기후변화대응센터장	해양환경관리 및 정책수립, 연안 방재 연구
이상신 (박사)	연구위원	기후대기, 탄소중립 및 기후위기 적응정책
김종범 (박사)	책임연구원	대기 및 실내공기질, 대기환경정책
최영남 (박사)	책임연구원	기후위기적응, 마을대기측정망 운영
박세찬 (박사)	책임연구원	대기환경정책, 마을대기측정망 운영
이상기 (박사)	연구원	탄소중립 정책, 온실가스 공공목표관리제
이상우 (석사)	연구원	해양환경 연구
송혜영 (석사)	연구원	해양환경 연구
황규철 (석사)	연구원	대기환경 정책, 대기 데이터 분석
고성훈 (석사)	연구원	대기연구, 마을대기측정망 운영
이은희 (석사)	연구원	온실가스 공공목표관리제
정이령 (학사)	행정원	마을대기측정망 운영



## 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례

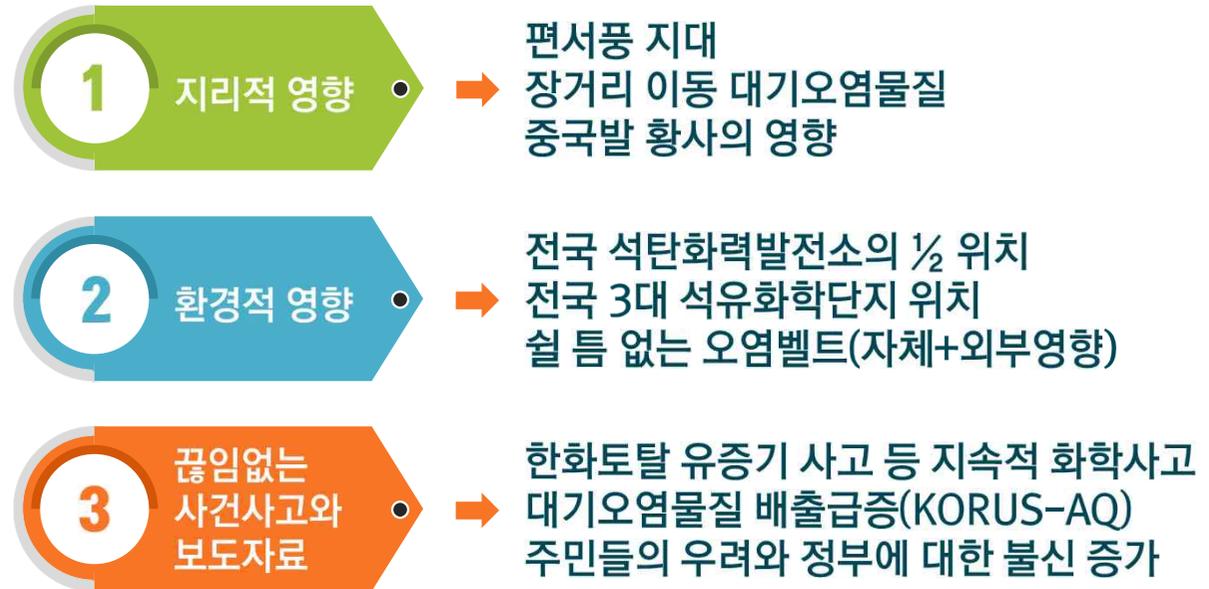
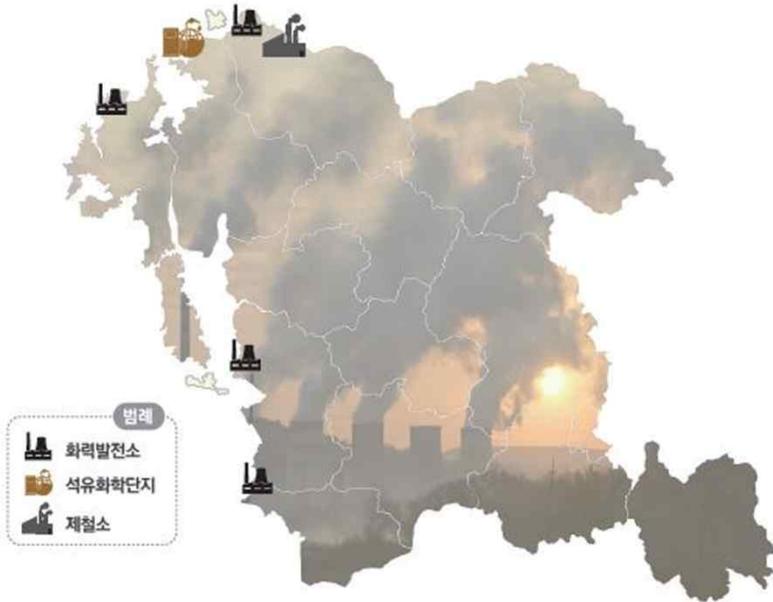


## 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례



### 충청남도의 환경 이슈 : 지역·환경적 여건 : 편서풍 지대에 위치한 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



복합적인 환경문제 발생

주민 건강 보호와 대기환경 개선을 위한 대기 관리 대책 마련이 시급

# 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례



## 화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구

- 연구 목적 : 화력발전소 주변지역 기후환경 및 대기질 영향 조사 / 2017~2023년 (5년간 약 50억원)
- 연구 내용 : 발전소 주변지역 기후, 대기현황 분석, 생태환경 조사, 피해비용 산정

☑ 연구최종목표: **화력발전소 주변지역 환경복지 구현을 위한 기후환경변화 과학적 실증자료 구축**

- 1st: 기후환경 영향조사 기반마련과 법제도 분석
- 2nd: 맞춤형 정보생산과 피해비용 분석
- 3rd: 정보서비스 기반확보와 취약지역 관리방안 마련
- 4th: 기후환경 정보확대와 내외부 기여도 평가

✓ 5차년도 목표: **기여도 분석을 통한 피해비용분석과 생태환경 영향분석**



- 미기후 모니터링
- 고정측정망 운영
- 생활권 대기질 정보 제공
- 대기오염물질 기원 추정
- 정보DB 시스템 구축
- 지역 거버넌스 체계 구축

- ⦿ (시간적 범위) 2017~2023년(5년차 중 5차년도, 차수별 과업조정 기간 포함)
- ⦿ (공간적 범위) 화력발전시설 및 그 주변지역을 중심으로 충청남도 전역고려

# 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례

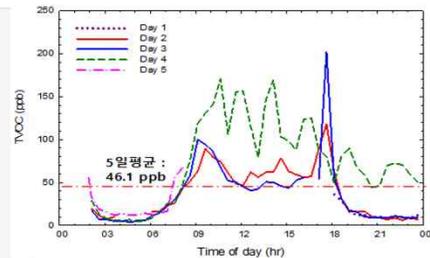


## 대산 공단지역 대기환경영향 조사

- 연구 목적 : 대산 석유화학단지에 대한 현황조사 및 관리 정책 제언 / 2017~2019년 (2년간 7.5억원)
- 연구 내용 : 석유화학단지 인근지역 대기질 모니터링, 위해성평가, 대기질 관리 정책 개발



실시간 측정장비를 활용한 VOCs 연속 모니터링

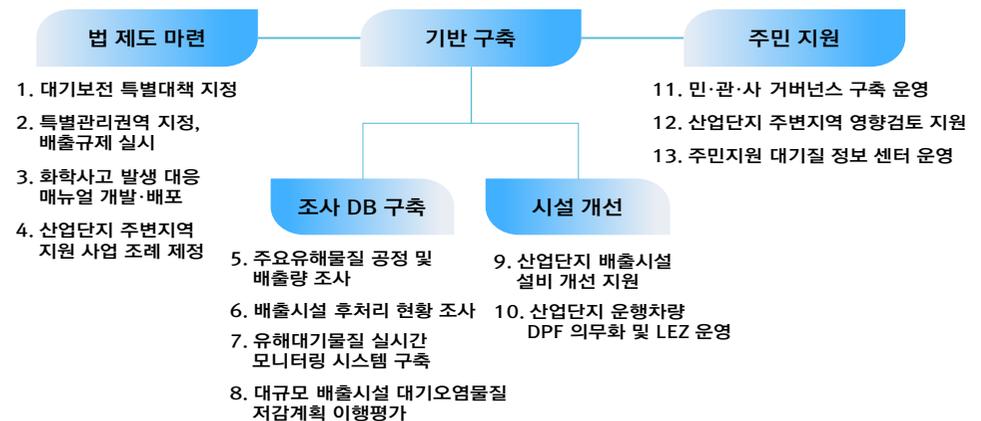


Region	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	TVOCs	Author
Lanchow (China)	4.8	4.0	5.0	128	Jin et al (2016)
Kaohsiung (Taiwan)	1.9	2.2	5.7	105.5	Lin et al (2004)
Kocaeli (Turkey)	6.6	14.5	2.8	47.17	Pakay et al (2018)
Ulsan (Korea)	1.28	6.28	1.07	-	IEIR (2010)
	5.68	5.28	1.09	-	IEIR (2006)
Yeosu (Korea)	1.32	4.98	0.27	-	Jeon et al (2008)
Gwangju (Korea)	1.64	0.94	0.40	-	IEIR (2006)
This study (Korea)	2.6	1.4	0.6	46.1	-

### 지자체 지원 정책: 주민 의견수렴

일시	행사명	목적	장소	대상 (참석자)
18.03.21-23	1차 설문조사	주민 의견수렴 및 인지도 조사	1대1 대면조사	이장단 (28)
18.09.03	1차 중간보고회	연구진행사항 보고	대산읍사무소	
18.12.13	주민간담회(1)	과제소개 및 향후 연구일정 공유	대산읍사무소	지역 및 환경협의회 (21)
19.01.17		간담회 결과 송부		지역 및 환경협의회 (21)
19.02-04	2차 설문조사	주민 의견수렴 및 인지도 조사	대산읍사무소 등	지역 및 환경협의회 (95/235)
19.04.25	2차 중간보고회(2)	연구진행사항 보고	중앙사회복지관	지역 주민 (82)
19.06.18	중간보고회 조치계획 설명회	중간보고회 조치사항 보고	대산읍사무소	대산지역 환경협의회 및 자문회 (8)
19.07.10		2차 보고회 조치결과 송부		대산지역 환경협의회 및 자문회 (39)
19.09.03	연구결과 보고회	연구결과 보고 및 개선방안 토의	대산석유화학단지	대산공단협의회 (10)
19.09.04	연구결과 보고회	연구결과 자문단 검토	대산읍사무소	대산지역환경협의회 및 자문회 (18)
19.09.19	주민공청회(3)	연구결과 보고 및 의견수렴	중앙사회복지관	대산(서산)지역 주민
19.10.01	주민설명회(4)	연구결과 보고 및 의견수렴	대죽1리마을회관	대산(서산)지역 주민

### 대산산업단지 대기질 개선 종합 대책

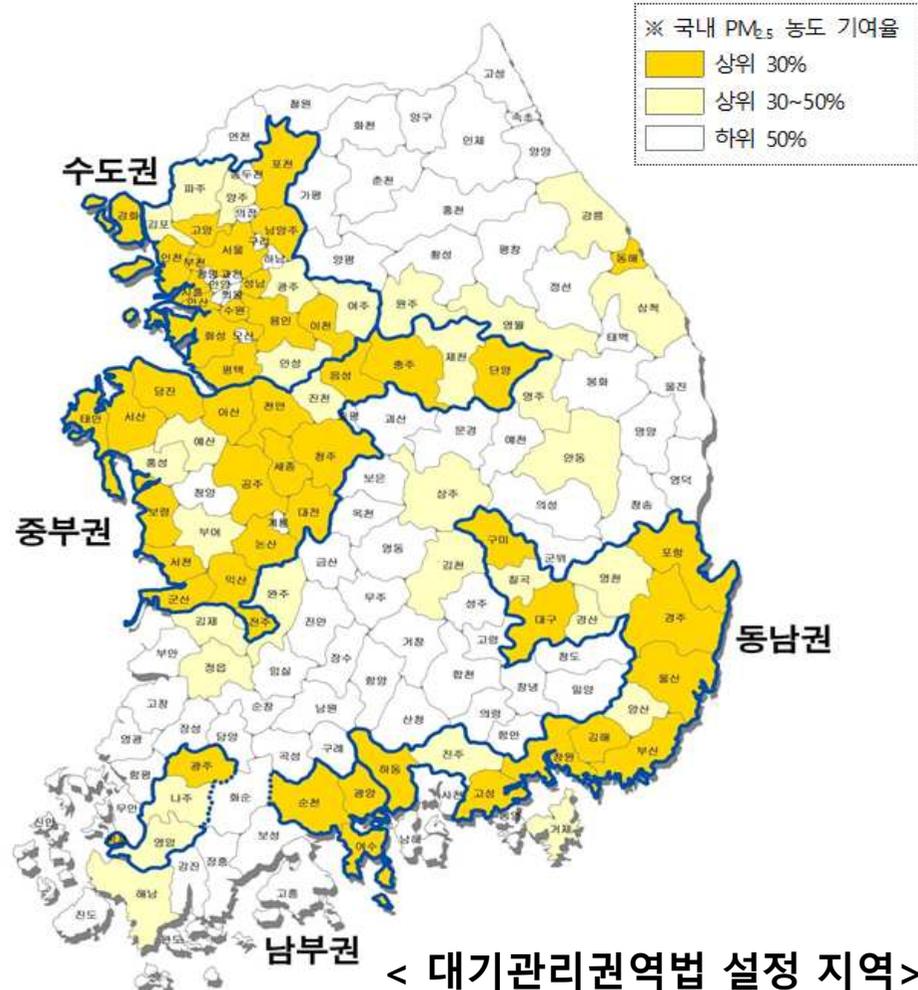


# 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례



## 충청남도 대기환경관리 시행계획 수립

- 연구 목적 : 대기관리권역법에 따라 지정된 중부권의 기본계획상 목표 달성을 위한 세부 시행계획 수립 / 2020년
- 연구 내용 : 충청남도의 대기질 현황 분석 및 미래예측, 목표달성을 위한 삭감량 산정 및 개선 세부시행계획 제시



### 충청남도 대기환경관리 시행계획

### 1. 계획의 범위 및 내용

가 계획의 범위

- 기준배출량 : 2018년 CAPSS 배출량
- 계획기간 : 2020년~2024년(5년)
- 중부권 대기관리권역 : 충청남도내 포함된 5개 시·도도 구상

대안권역	전 지역
서동특검 자치시	전 지역
충청남도	장주시, 중주시, 계천시, 천안군, 공주시, 예산군
충청남도	천안시, 공주시, 보령시, 아산시, 서산시, 논산시, 계룡시, 당진시, 부여군, 서천군, 홍성군, 홍성군, 예산군, 태안군
천안북도	천주시, 군산시, 익산시

[그림 1-2] 중부권 대기환경관리 대상지역

○ 충청남도의 시행계획 수립 대상 지역 : 양산군을 제외한 14개 시·군

○ 운영관리 권역

- 대기환경 개선을 위해 4개 운영권역에 대한 목표 농도를 설정하고 7개 권역 대상 운영관리 중 5개 권역에 대한 배출량 산정
- 목표농도 설정 물질 : PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>
- 간접배출 운영물질 : TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>
- 배출량 관리물질 : PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC<sub>2</sub>
- TSP는 총량관리 사업상에 대해서는 해당 목표를 설정하였고, O<sub>3</sub>는 산구출입인 NO<sub>x</sub>와 VOC<sub>2</sub>의 배출량 저감을 통해 농도관리를 설정

### 3. 충청남도 대기환경관리 시행계획

가 시행계획 수립에 따른 비전 및 목표 설정

충청남도 대기환경관리 시행계획

비전 : 깨끗한 공기, 푸른 하늘 더 행복한 충남!

목표 : PM<sub>2.5</sub> 16 μg/m<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub> 34 μg/m<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> 0.014 ppm, O<sub>3</sub> 0.06 ppm

5대 전략	14개 부문 60개 과제
1. 배출저감	1.11 노후 차량관리(중고차 조기 폐차, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착) 1.12 노후 차량관리(중고차 조기 폐차, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착) 1.13 노후 차량관리(중고차 조기 폐차, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착) 1.14 노후 차량관리(중고차 조기 폐차, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착) 1.15 노후 차량관리(중고차 조기 폐차, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착, 노후 차량 배출가스 저감장치 부착)
2. 도요사업	2.11 도요사업(도요사업) 2.12 도요사업(도요사업) 2.13 도요사업(도요사업) 2.14 도요사업(도요사업) 2.15 도요사업(도요사업)
3. 대기정화	3.11 대기정화(대기정화) 3.12 대기정화(대기정화) 3.13 대기정화(대기정화) 3.14 대기정화(대기정화) 3.15 대기정화(대기정화)

### 1.4. 연도별 전량배출량 및 삭감계획량

오염물질	구분	2020	2021	2022	2023	2024
PM <sub>2.5</sub>	전량배출량	41,333	41,965	42,502	43,039	43,576
	삭감계획량	36,758	36,883	37,164	37,387	37,498
PM <sub>10</sub>	전량배출량	4,596	4,597	4,598	4,599	4,600
	삭감계획량	4,047	4,048	4,049	4,050	4,051
NO <sub>x</sub>	전량배출량	170,628	171,960	173,292	174,624	175,956
	삭감계획량	129,048	130,408	131,768	133,128	134,488
SO <sub>2</sub>	전량배출량	41,724	41,724	41,724	41,724	41,724
	삭감계획량	38,144	38,144	38,144	38,144	38,144
VOC	전량배출량	75,112	75,440	75,768	76,096	76,424
	삭감계획량	68,401	68,729	69,057	69,385	69,713

### 1.5. 분야별 전량배출량 및 삭감계획량

오염물질	구분	합계	도로	비도로	배출시설	생활오염원
PM <sub>2.5</sub>	전량배출량	2,121,171	2,120	3,868	10,236	189,874
	삭감계획량	1,816,440	1,816	3,867	48,261	138,796
PM <sub>10</sub>	전량배출량	26,547	241	161	4,930	21,165
	삭감계획량	104,589	1,952	3,529	13,116	85,936
NO <sub>x</sub>	전량배출량	90,866	1,731	3,350	12,112	75,563
	삭감계획량	1,699	231	149	900	1,249
SO <sub>2</sub>	전량배출량	861,487	156,148	62,047	22,870	610,434
	삭감계획량	542,387	69,250	59,781	21,641	391,685
VOC	전량배출량	3,311,198	36,410	2,266	1,229	291,253
	삭감계획량	4,038,644	78	11,879	5,861	388,433

< 대기관리권역법 설정 지역 >

# 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례



## 서해안권 초광역 대기질 개선 프로젝트

- 연구 목적 : 중국 등으로부터 유입되는 오염물질과 광역적으로 나타나는 대기오염에 대한 광역적 개선대책 마련 / 2021년
- 연구 내용 : 광역 대기질 개선목표 수립, 고농도 미세먼지 발생시 정책협력 시스템 구축, 초광역 추진사업 개발



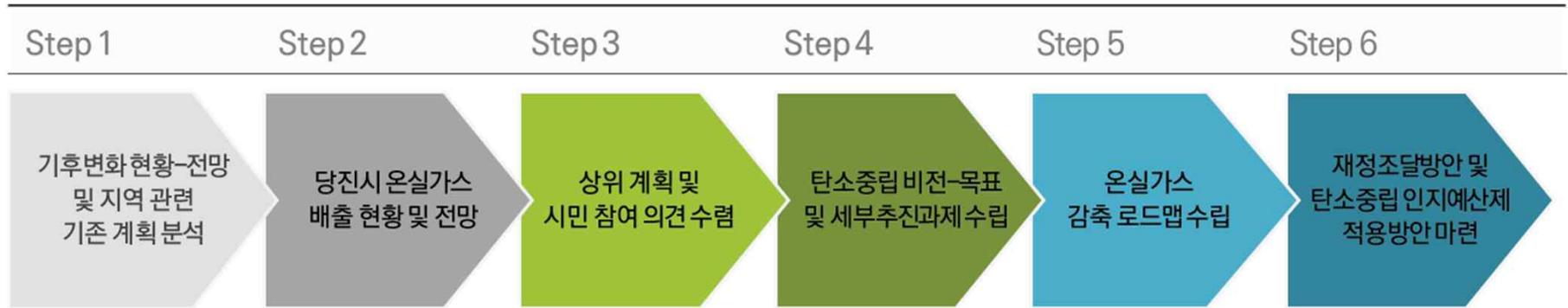
# 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례



## 탄소중립 기본계획 수립

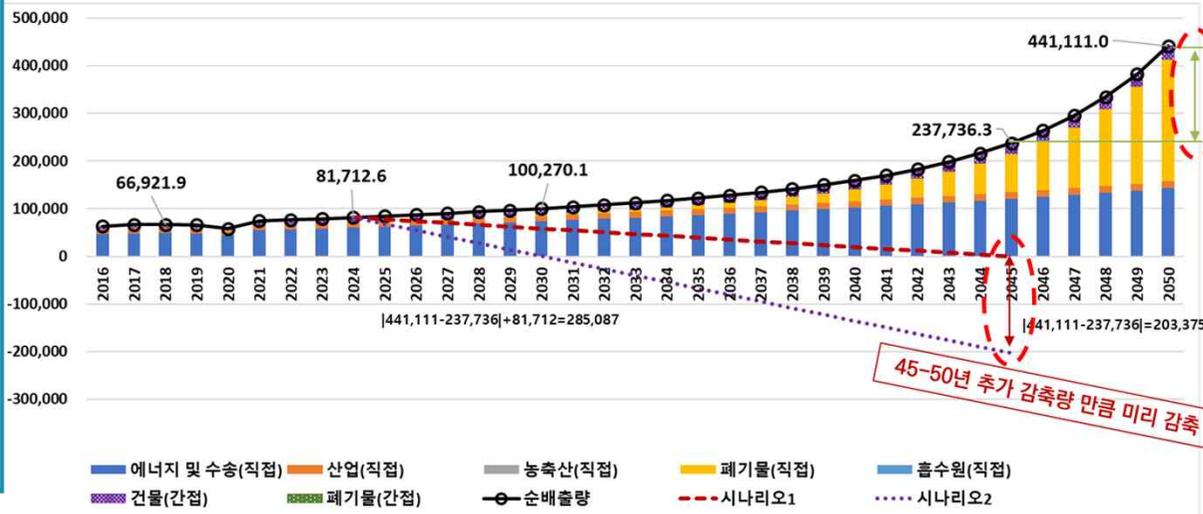
- 연구 목적 : 2050 국가탄소중립 실현, 탄소중립기본법 제11조, 제12조 의거 법정 의무사항
- 연구 내용 : 지역 온실가스 배출현황과 전망, 탄소중립 실현을 위한 온실가스 감축로드맵 수립 등

지역  
탄소중립  
녹색성장  
기본계획수립  
절차와 내용



법정계획  
절차에  
더하여  
연구진이  
새롭게  
시도한  
연구내용

2045 탄소중립 로드맵 수립시 탄소중립 속도에 따른 추가 필요 감축량 산정



이중맹검법 적용 : 정책효과 극대화 유인방향 설정



# 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례



## 기후위기 적응대책 수립

- 연구 목적 : 지역 기후탄력성 확보, 탄소중립기본법 제40조 의거 법정 의무사항
- 연구 내용 : 지역 기후변화 현황과 전망, 취약성 및 리스크 평가, 기후위기 적응대책 세부로드맵 수립 등

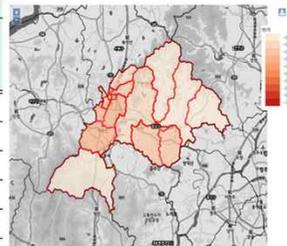
지역  
기후위기  
적응대책  
세부시행계획  
수립  
절차와 내용



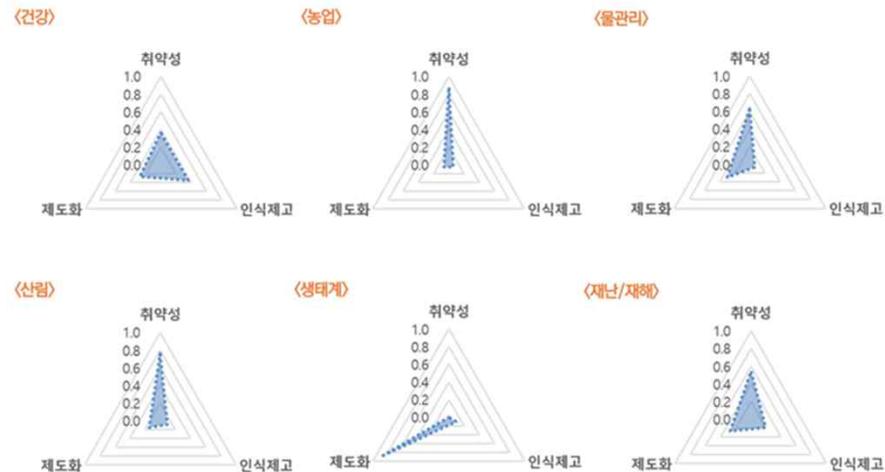
법정계획  
절차에  
더하여  
연구진이  
새롭게  
시도한  
연구내용

### 기후위기 적응사업 추진에 따른 취약성 개선 정도 평가

순위	기	전	이	지역	취약성 종합지수				적응능력				
					기	전	이	개선율	노	민	기	전	이
년	년	행	년	년	년	년	년	출	감	준	년	행	
도	도	도	도	도	도	도	도	도	도	도	도	도	
1	1	1	1	청룡동	0.36	0.36	0.36		0.34	0.01	0.00	0.00	0.00
1	1	1	1	신방동	0.36	0.36	0.36		0.26	0.09	0.00	0.00	0.00
4	3	3	3	원성2동	0.32	0.32	0.32		0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
6	4	4	4	봉명동	0.30	0.30	0.30		0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
7	5	5	5	중앙동	0.28	0.28	0.28		0.29	0.00	0.01	0.01	0.01
8	6	6	6	수신면	0.26	0.26	0.26		0.29	0.00	0.03	0.03	0.03
9	7	7	7	원성1동	0.25	0.25	0.25		0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
10	9	8	8	일봉동	0.24	0.24	0.24		0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
10	9	8	8	문성동	0.24	0.24	0.24		0.26	0.00	0.01	0.01	0.01
5	11	8	8	성남면	0.30	0.17	0.24	20%	0.31	0.01	0.02	0.15	0.08
3	8	11	11	풍서면	0.34	0.24	0.22	35%	0.32	0.03	0.01	0.11	0.13
12	12	12	12	목천읍	0.16	0.16	0.16		0.15	0.01	0.00	0.00	0.00
13	13	13	13	신안동	0.12	0.12	0.12		0.11	0.01	0.00	0.00	0.00
14	14	14	14	북면	0.09	0.08	0.08	11%	0.11	0.00	0.01	0.02	0.03
15	15	15	15	병천면	0.08	0.04	0.06	25%	0.10	0.00	0.01	0.05	0.03
17	16	16	16	동면	0.00	0.00	0.00		0.04	0.00	0.03	0.04	0.05
16	17	17	17	광덕면	0.04	-0.08	-0.08	300%	0.06	0.00	0.01	0.14	0.14



### 부문별 세부사업 유형분류에 따른 정책방향 설정지원



# 2. 서해안기후환경연구소 연구 사례



## 고농도 미세먼지 대응을 위한 지역간 공동 연구

- 연구 목적 : 국지적으로 발생하는 미세먼지 사회이슈 대응을 위한 지역 연구간 공동 연구 및 이슈 발굴 / 2021~현재
- 연구 내용 : 지역별 대기환경관련 추진 연구사례 조사, 소형사업장 대기오염물질 배출 특성 분석, 공동 세미나 및 학술대회 발표

Journal of Korean Society for Atmospheric Environment  
Vol. 38, No. 5, October 2022, pp. 687-701  
https://doi.org/10.5572/KOSAE.2022.38.5.687  
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346



논문

**천안도심지역 도장시설과 인접 도로변 VOCs의 시공간 분포 특징**  
Characteristics of Spatial and Temporal Distribution of VOCs around Painting Facilities and Roadside Located near Cheonan Downtown Area

이가혜, 김정호<sup>1</sup>, 박세찬, 송민영<sup>2</sup>, 김관철<sup>3</sup>, 이다솜<sup>4</sup>, 최우석<sup>5</sup>, 김종범<sup>6</sup>  
충남연구원 서해안기후환경연구소, <sup>1</sup>(주)한국환경과학연구소,  
<sup>2</sup>사술기술연구원 기후환경연구소,  
<sup>3</sup>차세대융합기술연구원 미세먼지 실기측 측정 연구실,  
<sup>4</sup>세종대학교 데이터사이언스학과

접수일 2022년 7월 29일  
수정일 2022년 8월 29일  
채택일 2022년 9월 22일  
Received 29 July 2022  
Revised 29 August 2022  
Accepted 22 September 2022  
\*Corresponding author  
Tel : +82-091-630-3924  
E-mail : kjb0810@cnri.re.kr

Gahye Lee, Jeongho Kim<sup>1</sup>, Sechan Park, Min young Song<sup>2</sup>, Kwanchul Kim<sup>3</sup>, Dasom Lee<sup>4</sup>, Woosuk Choi<sup>5</sup>, Jong Bum Kim<sup>6</sup>  
Seohaean Research Institute, ChungNam Institute, Hongsong, Republic of Korea  
<sup>1</sup>R&D Center, Korea Environment Science Institution, Wonju, Republic of Korea  
<sup>2</sup>Division of Climate & Environmental Research, Seoul Institute of Technology, Seoul, Republic of Korea  
<sup>3</sup>Advanced PM Monitoring Laboratory, Advanced Institute of Convergence Technology, Suwon, Republic of Korea  
<sup>4</sup>Department of Data Science, Sejong University, Seoul, Republic of Korea

**Abstract** The Republic of Korea has established an air quality monitoring station (AQMS) to manage air quality. Recently, interest in volatile organic compounds (VOCs) emitted from various industrial processes and automobiles has increased worldwide, and it can adversely affect human health. Accordingly, in this study, we measured VOCs at areas adjacent to painting facilities and roadides in an urban area using a mobile laboratory installed proton transfer reaction time of flight mass spectrometry (PTR-ToF-MS) for a total of 14 times (M1 to M14) for 3 days. The result showed that the concentration of VOCs was higher on weekdays than on weekends and that acetone and methanol were the main components of VOCs at both times. The concentration of benzene was 0.4 ppb, which is below the domestic environmental standard (annual average of 1.5 ppb). In addition, the concentration of VOCs was higher in the sections of nearby road than near the painting facilities, indicating that air quality in urban areas may be impacted more strongly by pollutants from vehicles than by pollutants emitted from workplaces such as painting facilities. Lastly, the study found a stagnant section showing significantly high concentrations of VOCs, for which urgent measures are required to improve air quality.

**Key words:** VOCs, Mobile laboratory, Painting facilities, PTR-ToF-MS, Roadside

1. 서론

우리나라는 1991년 환경정책기본법을 제정하여 환경관리를 위한 제도적 기반을 마련하였으며, 대기환경보전법을 통해 대기배출원 및 일반대기질의 목표 달성을 위한 기준을 수립하였다(MOE, 1991a). 또

한, 전국적인 대기오염 및 기후-생태계 변화유발물질의 실제 파악을 위해 대기오염측정망 (air quality monitoring station, AQMS)을 설치하여 상시 모니터링을 실시하고 있다(MOE, 1991b). 대기환경보전법에는 총 64개의 물질을 대기오염물질로 지정하고 있으며, 그 중 미세먼지 (particulate matter less than 10

Journal of Korean Society for Atmospheric Environment  
Vol. 38, No. 4, August 2022, pp. 599-609  
https://doi.org/10.5572/KOSAE.2022.38.4.599  
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346



논문

**파주출판단지의 VOCs 농도 공간분포에 관한 연구**  
A Study on Distribution of Volatile Organic Compounds Concentration over Paju National Publishing Complex

이다솜, 김대환, 이동희<sup>1</sup>, 송민영<sup>2</sup>, 김종범<sup>3</sup>, 최우석<sup>4</sup>, 홍천상<sup>5</sup>, 김관철<sup>6</sup>  
차세대융합기술연구원 미세먼지 실기측 측정 연구실, <sup>1</sup>연세대학교 대기과학과,  
<sup>2</sup>사술기술연구원 기후환경연구소, <sup>3</sup>충남연구원 서해안기후환경연구소,  
<sup>4</sup>세종대학교 데이터사이언스학과, <sup>5</sup>한국외국어대학교 연구산학협력단

접수일 2022년 6월 10일  
수정일 2022년 7월 12일  
채택일 2022년 7월 17일  
Received 10 June 2022  
Revised 12 July 2022  
Accepted 17 July 2022  
\*Corresponding author  
Tel : +82-031-888-9411  
E-mail : fehouse@nu.ac.kr

Dasom Lee, Daehwan Kim, Donghee Lee<sup>1</sup>, Min Young Song<sup>2</sup>, Jong Bum Kim<sup>3</sup>, Woosuk Choi<sup>4</sup>, Chun Sang Hong<sup>5</sup>, Kwanchul Kim<sup>6</sup>  
Advanced PM Monitoring Laboratory, Advanced Institute of Convergence Technology, Suwon, Republic of Korea  
<sup>1</sup>Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea  
<sup>2</sup>Division of Climate & Environmental Research, Seoul Institute of Technology, Seoul, Republic of Korea  
<sup>3</sup>Seohaean Research Institute, ChungNam Institute, Hongsong, Republic of Korea  
<sup>4</sup>Department of Data Science, Sejong University, Seoul, Republic of Korea  
<sup>5</sup>Research Affairs/R&DB Foundation, Hankyuk University of Foreign Studies, Yongin, Republic of Korea

**Abstract** Paju National Publishing Complex emitted many Volatile Organic Compounds (VOCs). As a precursor of ozone and secondary organic aerosol, VOCs effected on climate change, air quality degradation, and human health. In this study, we used a real-time monitoring device of proton transfer reaction-time of flight-mass spectrometer (PTR-ToF-MS) on board a mobile laboratory to measure the concentration on the Paju National Publishing Complex from September 9 to September 11, 2021. Mobile measurement found that dominant species of VOCs in the Paju National Publishing Complex are investigated with toluene (22.51±2.14%), methanol (19.04±0.96%), and acetone (16.39±0.61%). Temporal and spatial distributions of VOCs on Sep. 9 (M6), Sep. 10 (M8), and Sep. 11 (M15) cases showed mostly high concentrations. Moreover, heatmap analysis suggested a high pollution area near the printing industry. Based on the characteristics of VOCs distribution, it is conceivable that small-scale industry emission control could lead to regional air quality improvement.

**Key words:** Volatile organic compounds (VOCs), Printing industry, PTR-ToF-MS, Real-time monitoring, Mobile laboratory

1. 서론

국내 대기질은 국민적 관심과 우려의 증가에 따라 대기질 개선 정책을 시행하고 있음에도 불구하고 고농도 미세먼지 발생에 따른 경보제 발령횟수가 증가하는 경향을 보이고 있으며 (MOE, 2021), 2020년은 코로나의 영향으로 급감한 것으로 나타났다. 특히 2012년 이후 미세먼지 농도는 정계 또는 증가 경향을

보이고 있고, 이러한 원인으로서는 국외유입뿐만 아니라 대기 정체 상태에 국내 배출 농도가 가중되어 대기질 악화 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다 (Crawford et al., 2021; Lee et al., 2020; Kim et al., 2017b). 대기질 악화를 유발하는 대기오염의 원인 물질인 휘발성유기화합물 (Volatile Organic Compounds, VOCs)은 오존 및 2차 에어로졸 전구물질로 공기 중으로 쉽게 휘발이 되는 특성을 갖고 있는 탄화수소 화





### 3. 연구과제 소개 I

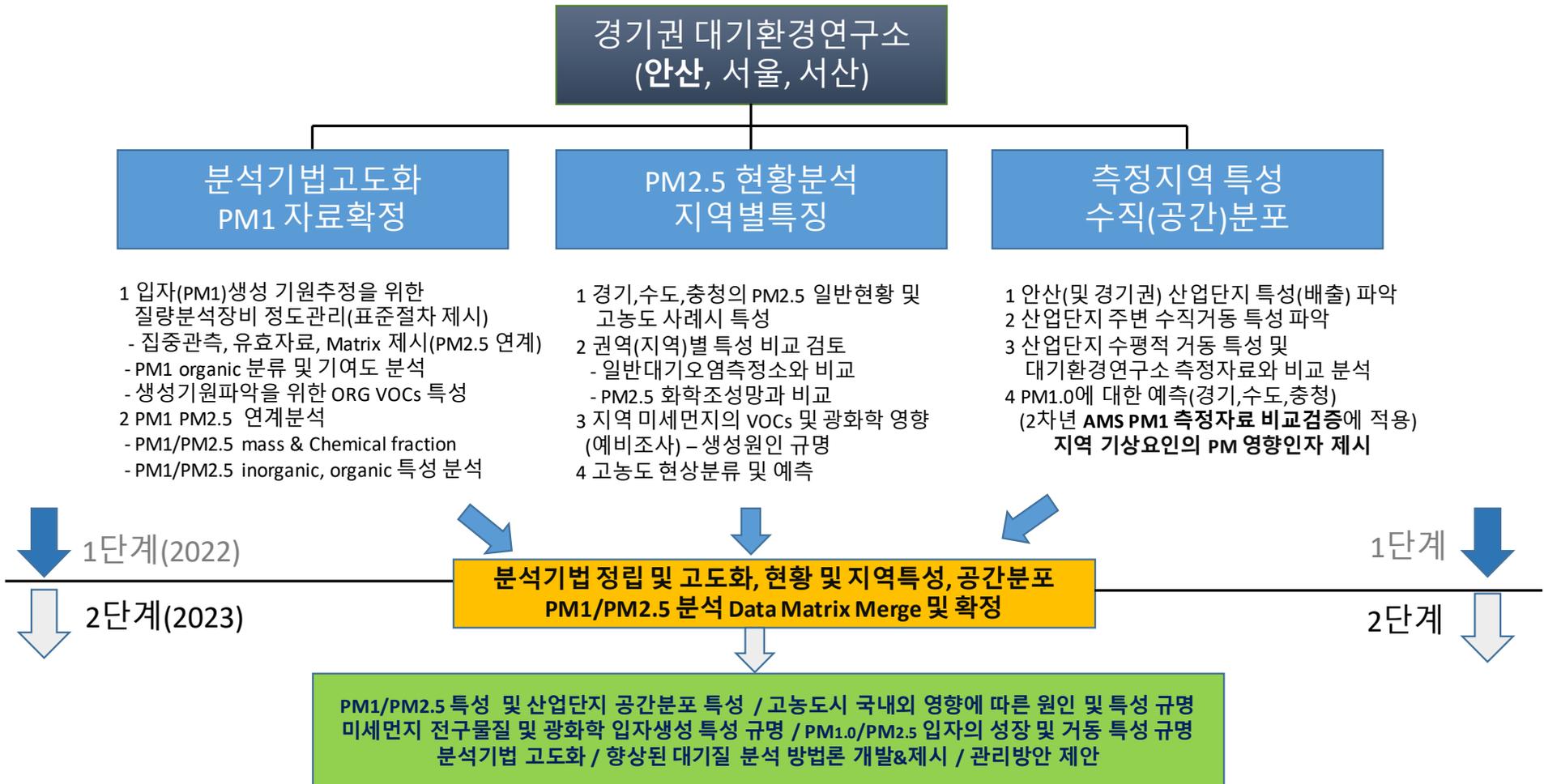
- 지역별  $PM_{1.0}$ ,  $PM_{2.5}$  상세분석 결과를 활용한 미세먼지 특성 및 생성원인 규명





## 지역별 PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>2.5</sub> 상세분석 결과를 활용한 미세먼지 특성 및 생성원인 규명

- 발주처 : 국립환경과학원(경기권 대기환경연구소) / 2022~2024년, 연 3억원
- 참여기관 : 충남연구원, 아주대, (주)미세먼지연구소
- 연구 목적 : 대기환경연구소 데이터를 활용한 지역별 PM<sub>1.0</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 생성원인 규명



# 3. 연구과제 소개 I



## I 연구배경 및 필요성

- 미세먼지 특별법 시행과 권역별 대기환경관리 기본계획에 따라 국가 및 권역별 대기환경개선 목표 수립(대기환경 개선시행계획)
- 지역별 PM<sub>2.5</sub> 개선대책 수립을 위한 원인분석과 추진경과 분석을 위한 지역별 정밀측정 자료 확보 필요

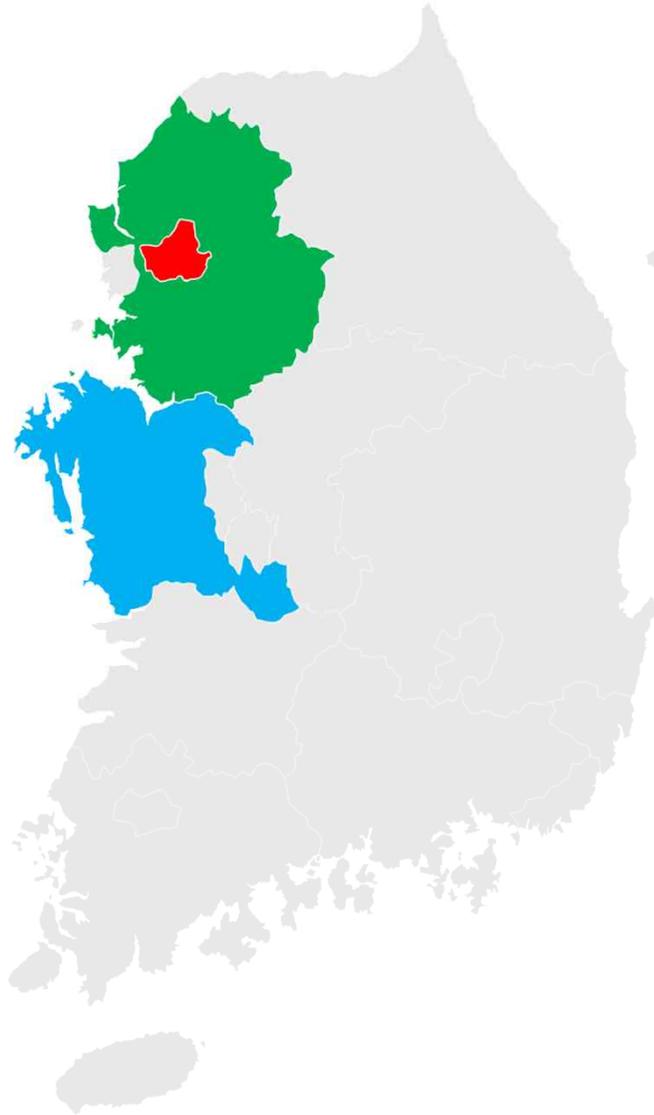


- 대기관리권역 설정
  - 2005년부터 지정된 수도권 외에 중부권, 동부권, 남부권을 권역으로 추가 총 77개 특광역시 및 시군을 권으로 관리
- 권역별 맞춤형 대기환경관리 추진
  - 지역 특성을 고려한 광역적이고 체계적 관리 실시
  - 환경부, 관계 중앙행정기관의 장 및 권역에 포함된 시도지사와의 협의를 거쳐 권역별 대기환경개선 목표, 시도별 배출허용총량, 배출원별 저감계획 등이 포함된 권역별 <대기환경관리 기본계획>을 5년 마다 수립
- 사업장 대기오염물질 총량관리제 확대 시행
  - 권역 내 위치한 690여개 오염물질 다량 배출사업장에 대한 총량규제 실시
  - 2024년까지 2018년 대비 약 40% 감축목표
- 자동차 및 건설기계의 배출가스 억제
- 생활주변 소규모 배출원 및 기타 배출원 관리



개선대책 수립의 근거자료 확보 및 정책 추진에 따른 결과 해석을 위해 지역별 정밀분석 필요

## 연구배경 및 필요성



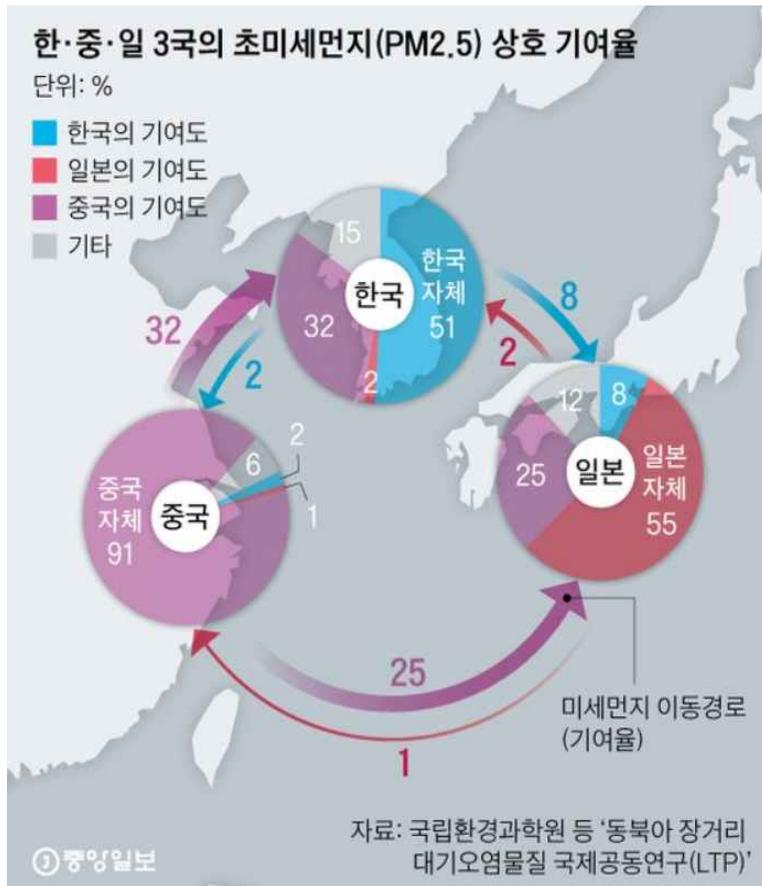
-  • 대한민국 인구의 47.8% 거주 (서울, 경기, 충남)
-  • 대기오염물질 배출량의 1/3 (2019년 기준) 배출  
• 경기 16.5%(1위), 충남 11.0%(3위), 서울 5.6%(8위)
-  • 충남 지역 석탄화력발전소 전국 59기 중 29기 위치  
• 전국 3대 제철소(당진), 전국 3대 석유화학단지(서산)
-  • 편서풍지대 위치: 북서풍 및 서풍계열이 주풍  
• 장거리이동오염물질에 직접 영향권(정서쪽 위치)
-  • 상이한 배출특성 지역(도심, 산업, 교외지역)  
• 상이한 지역적 특성분석을 통한 연구결과 확산 용이

# 3. 연구과제 소개 I

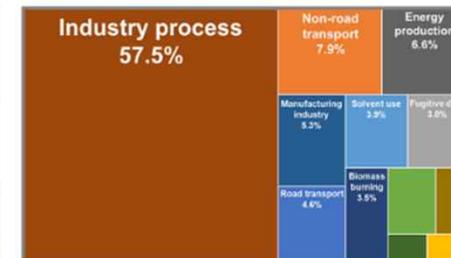
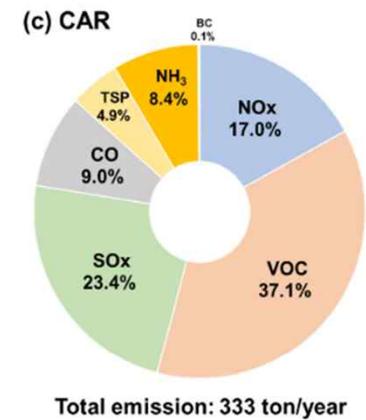
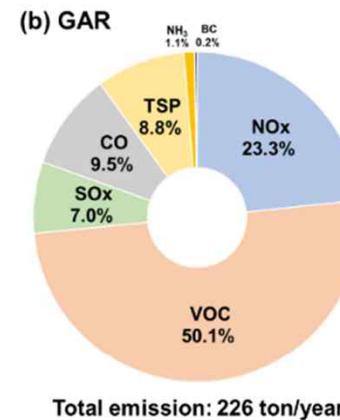
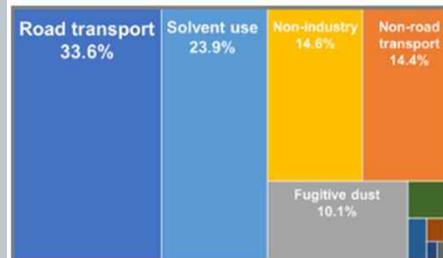
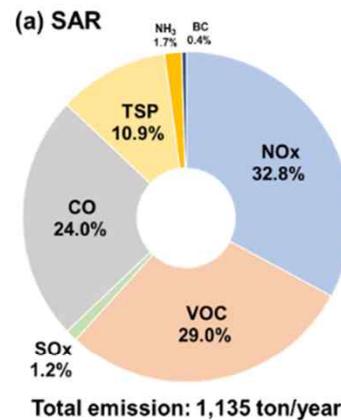


## I 고농도 사례시 지역별 PM<sub>2.5</sub> 물리화학적 특성

- 국내 고농도 PM<sub>2.5</sub> 발생시 해외유입과 국내 자체발생으로 구분되며, 지역 자체배출원에 대한 부분이 반영됨
- 수도권은 도로와 유기용제 사용, 경기권은 유기용제 사용, 도로, 산업배출, 제조업, 충청권은 산업배출의 기여도가 크게 나타남
- 국외/국외/지역특성을 고려한 자료 해석 및 대책 수립이 요구됨



자료 : 중앙일보(19.11.20)



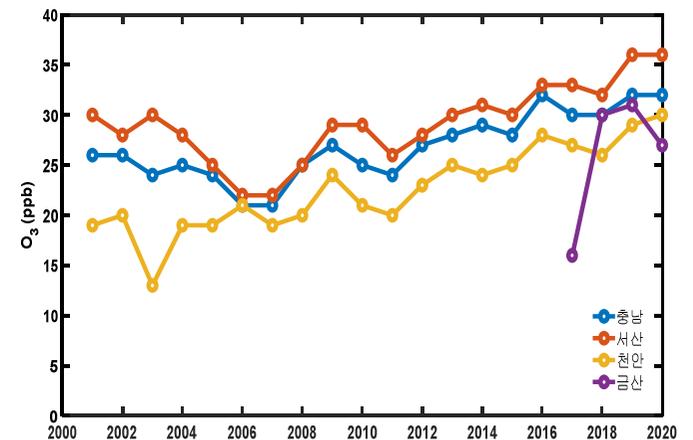
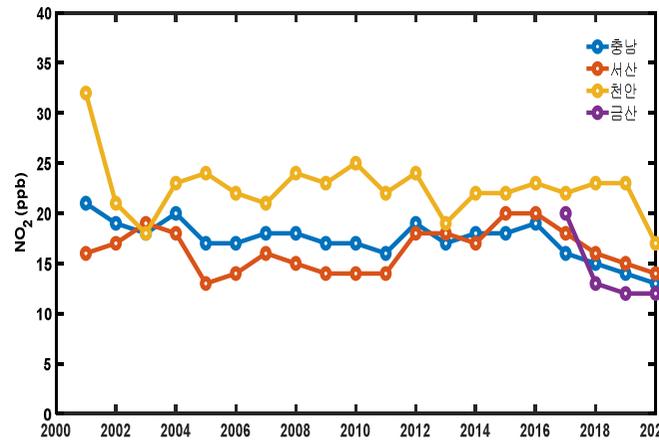
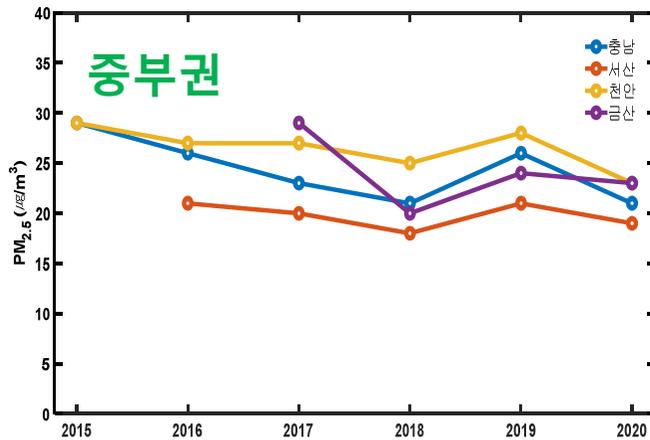
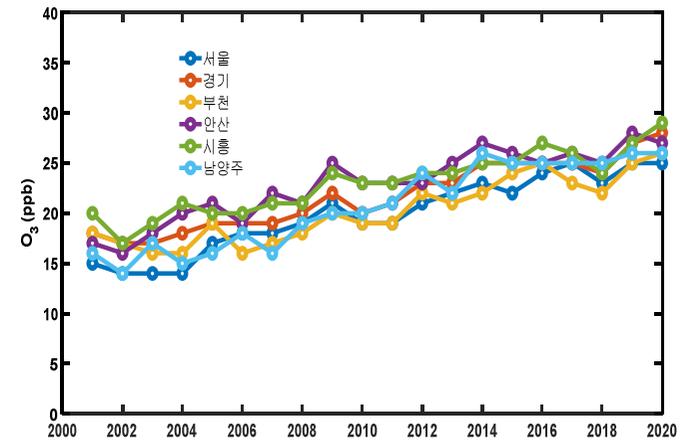
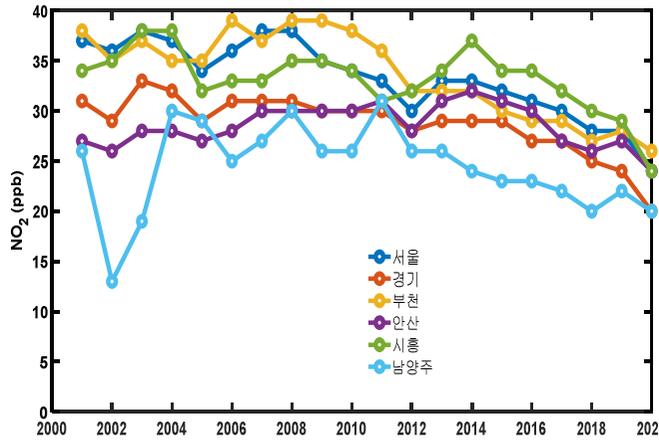
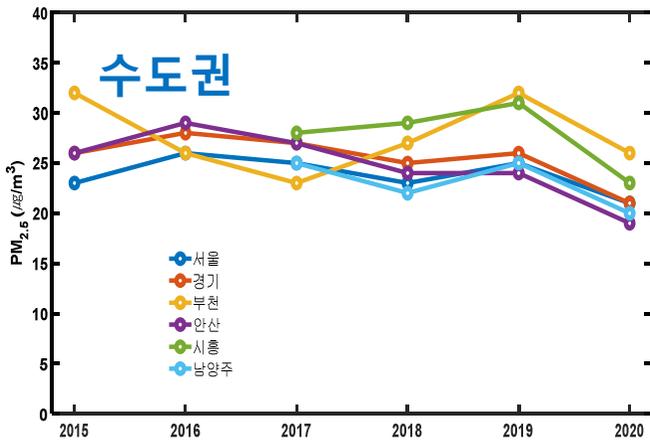
# 3. 연구과제 소개 I



## 지역별 대기질 현황 분석

(자료 : 국립환경과학원, 대기환경연보, 2021)

- 측정소가 위치한 서울, 경기, 충남지역 모두 PM<sub>2.5</sub>와 NO<sub>2</sub>는 감소 추세이며, O<sub>3</sub>은 증가 추세
- 수도권에서는 **부천시**가 NO<sub>2</sub>와 PM<sub>2.5</sub> 모두 가장 높게 나타났고, 중부권에서는 **천안**이 높게 나타남 → **도심지역**
- O<sub>3</sub>는 시흥과 서산에서 높게 나타남 → O<sub>3</sub> 전구물질 : NO<sub>x</sub>, VOCs (**시화·안산, 서산** VOCs 배출기여도 높음)

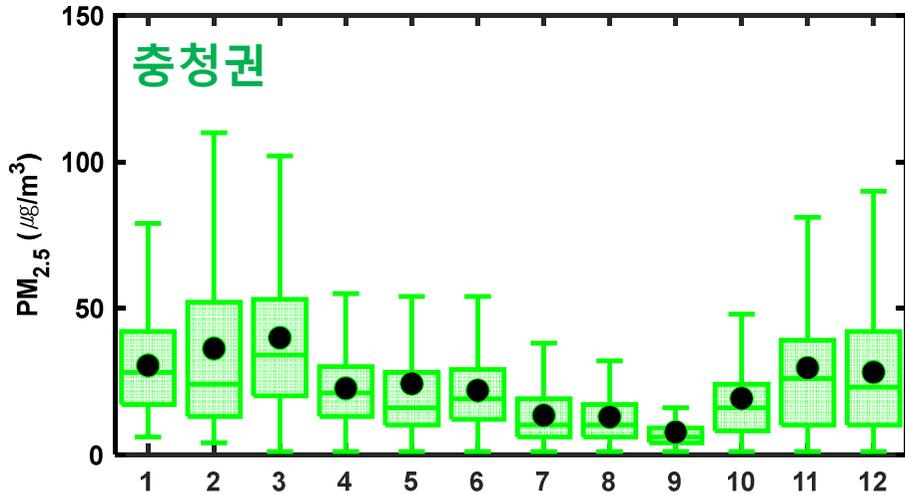
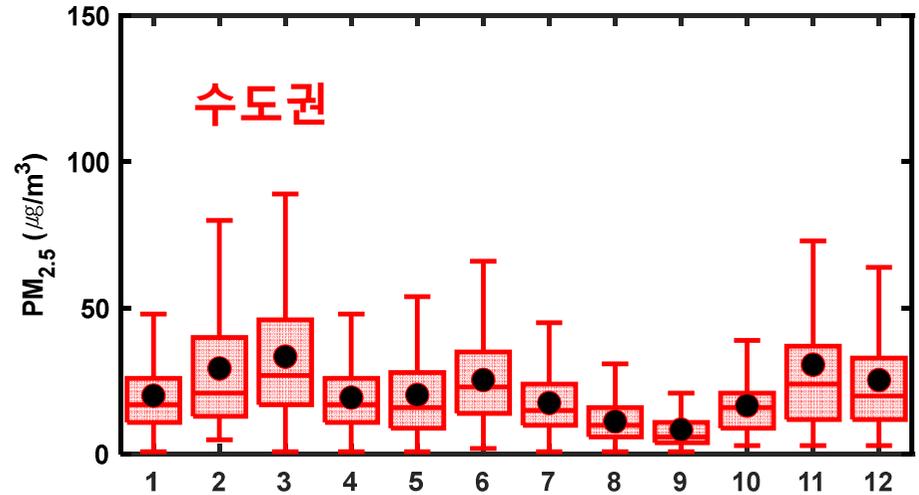
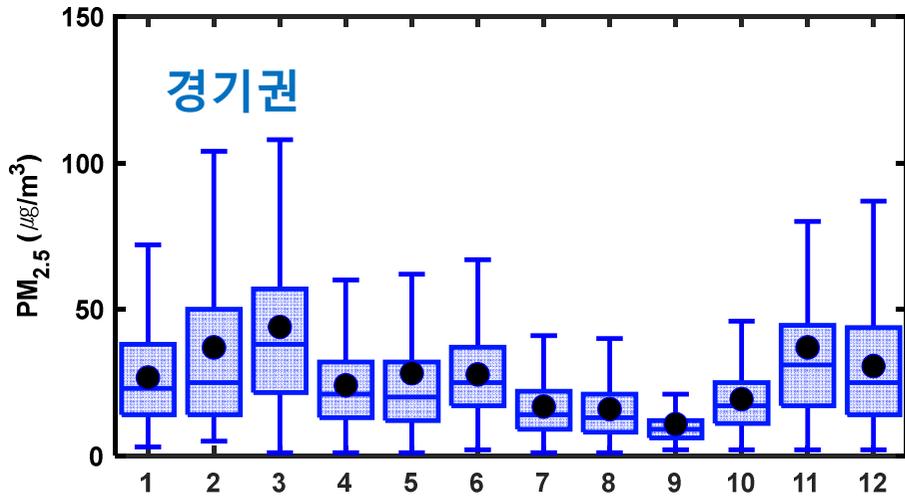


# 3. 연구과제 소개 I



## 지역별 PM<sub>2.5</sub> 특성: 월간, 계절별

- 미세먼지 계절관리제가 이루어지는 겨울철(1~2, 11~12월)에 농도가 높고, 편차가 가장 크게 나타남
- 계절별 최대/최소농도 차이: 경기권 4.1배, 수도권 4.0배, **충청권: 5.7배**



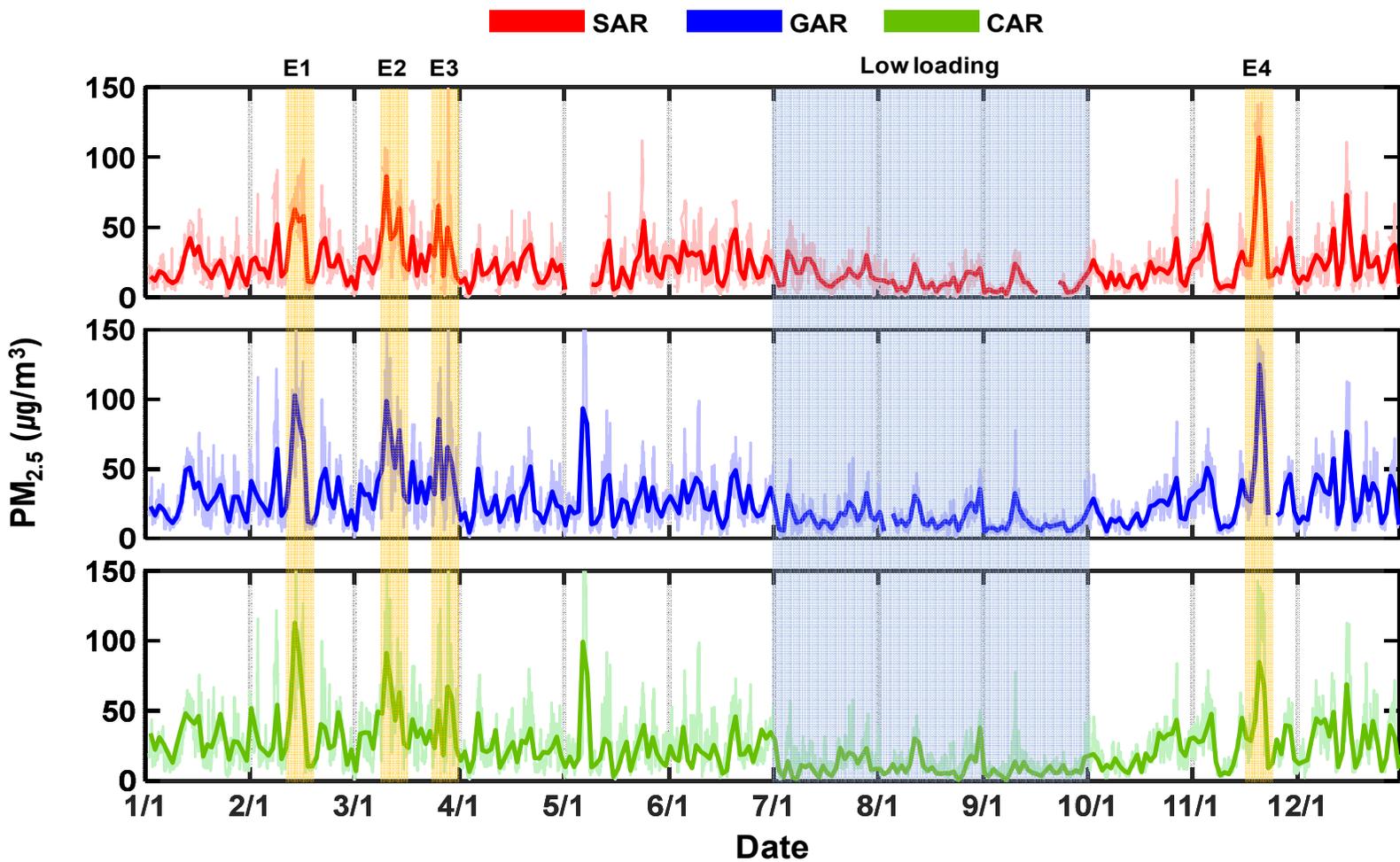
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
경기	26.7	37.0	44.0	24.0	28.1	27.7	16.8	15.9	10.8	19.3	37.0	30.6
서울	20.1	29.4	33.5	19.4	20.3	25.5	17.7	11.2	8.4	16.7	30.7	25.4
충청	30.4	36.2	39.8	22.5	23.6	21.7	12.1	11.2	7.0	19.0	29.5	28.0

# 3. 연구과제 소개 I

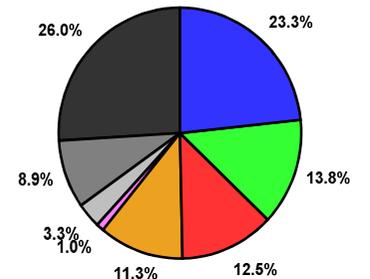


## 고농도 사례시 지역별 PM<sub>2.5</sub> 물리화학적 특성

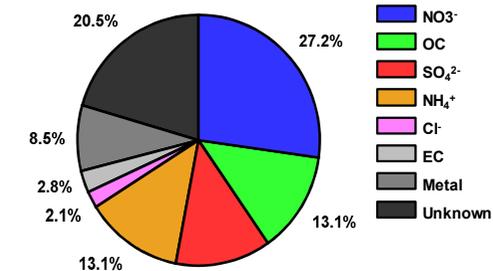
- 경기권 측정소 데이터가 26.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높음 (충청권 23.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 수도권 21.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- 성분별로 질산염( $\text{NO}_3^-$ )이 가장 높은 분율을 보였고, 그 다음 황산염( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 유기탄소(OC), 암모늄 이온( $\text{NH}_4^+$ ) 순으로 확인됨
- 고농도 사례 분석 : 일평균 농도로 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상인 구간 / 4개 이벤트 선정



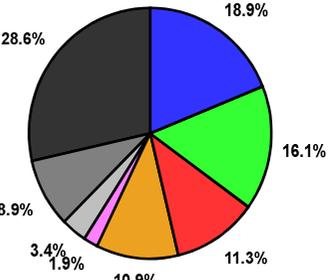
(a) SAR



(b) GAR



(c) CAR

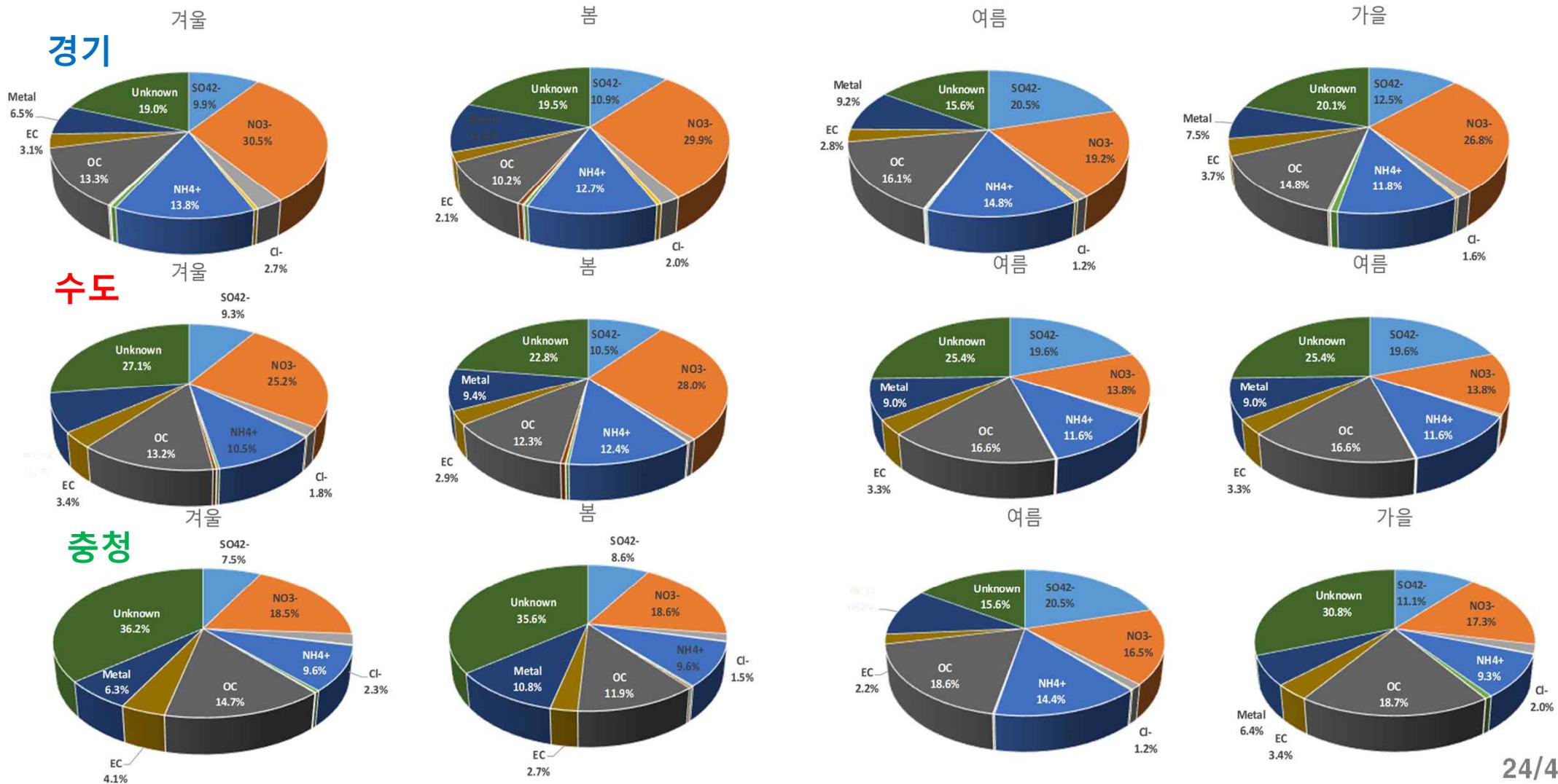


# 3. 연구과제 소개 I



## 지역별 PM<sub>2.5</sub> 특성: 계절별 화학 조성 분석

- 전국이 유사하게 황산염+질산염약 40%를 차지, 여름철 황산염 급격히 증가한 만큼 질산염이 급격히 감소
- OC비율 충청권 가장 높음 / 암모늄 이온 경기권 가장 높음 / EC는 전체적으로 2~3% 차지



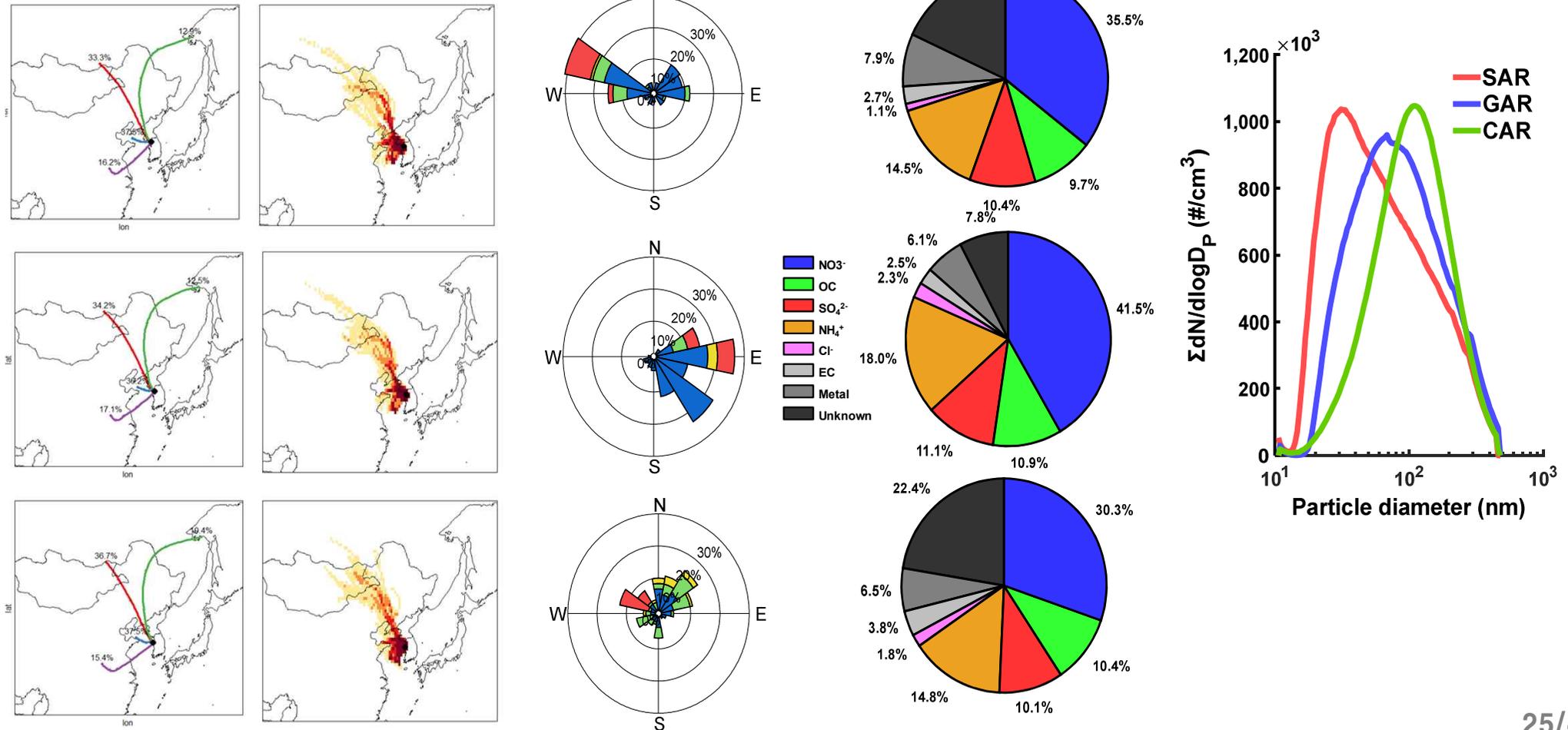
# 3. 연구과제 소개 I



## 고농도 사례 및 지역별 PM<sub>2.5</sub> 물리화학적 특성

- Episode 1 : 2/12~2/14 → 수도권과 충청권은 동풍 및 서풍이 혼재, 경기권은 동풍이 지배적으로 나타남
- 지역적 정체로 인한 국내영향으로 발생 / 질산염이 가장 높고, 암모늄, 황산늄, 유기탄소가 높음
- 수도권과 충청권의 비율이 유사하며, 경기권은 타 지역 대비 암모늄의 비율이 높고, 금속성분 비율이 낮게 나타남

### EPISDOE 1



# 3. 연구과제 소개 I



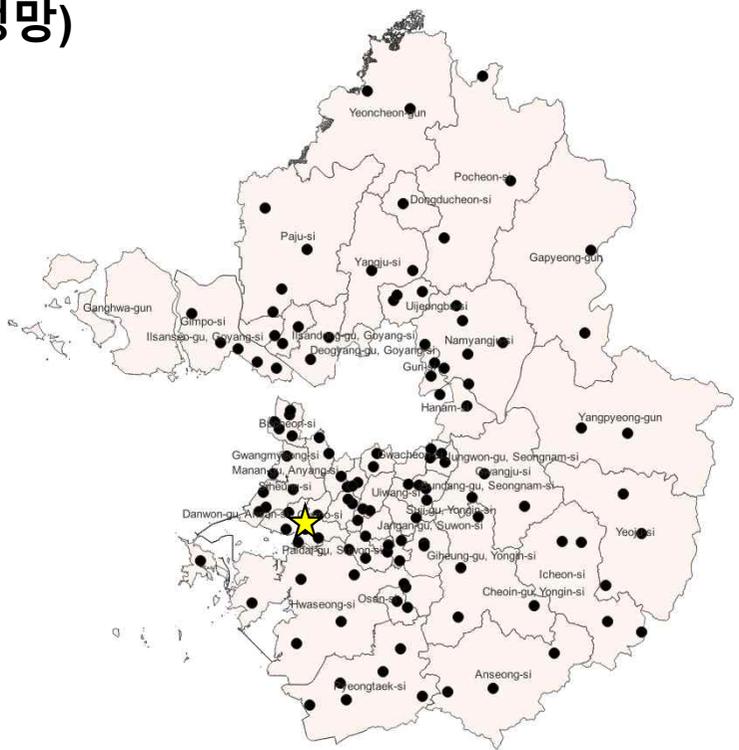
## 대기환경연구소와 권역 내 측정소간 상관성 분석

- 도시지역 대기질 모니터링과 정책추진 결과 분석을 위해 대기측정망이 설치·운영되고 있음 (PM<sub>2.5</sub> 포함 기준물질)
- 2021년 기준 수도권 40개소, 경기권 123개소, 충청권 46개소가 위치해 있음 (도시+도로변측정망)
- 대기환경연구소와의 정합성 여부 판단을 위해 PM<sub>2.5</sub>를 대상으로 상관성 분석 수행

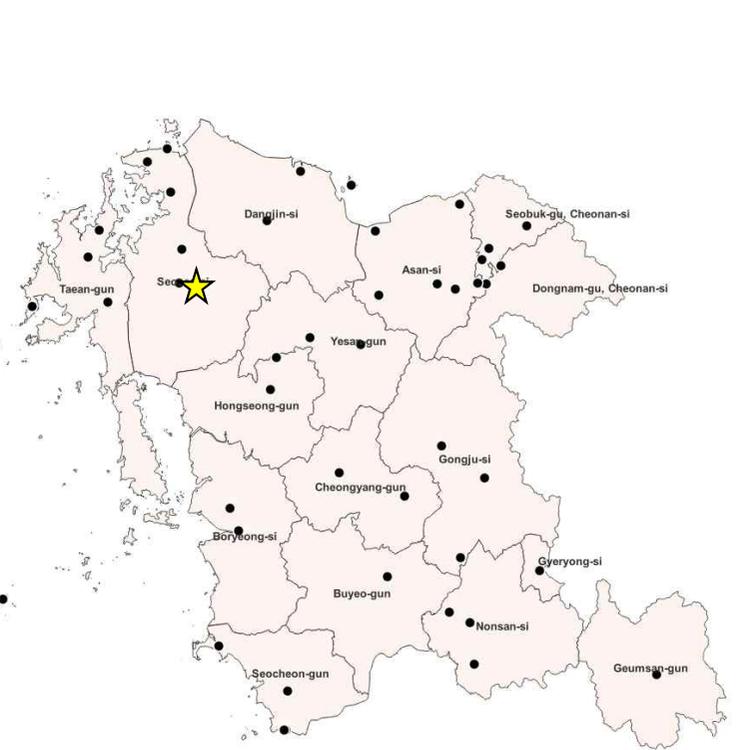
- ★ 집중측정소(대기환경연구소)
- 일반측정소(도시대기측정망)



수도권(서울)



경기권

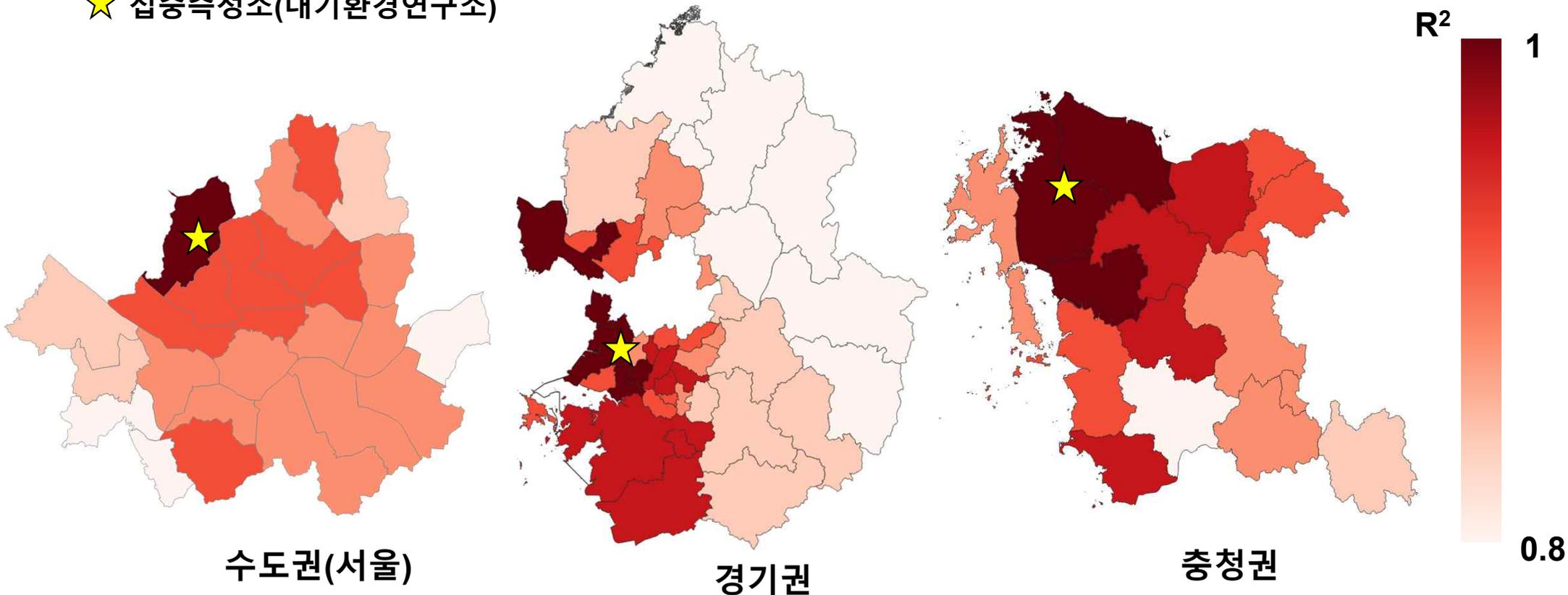


충청권

## 대기환경연구소와 권역 내 측정소간 상관성 분석

- 대기환경연구소와 일반측정소 간의  $PM_{2.5}$  상관성 분석 수행 : 모든 측정소에서  $R^2$  0.8 이상으로 높은 상관성이 나타남
- 서울의 경우 측정소가 위치한 은평구 측정소와 높은 상관성을 보이며 공간적으로 멀어질수록 낮은 상관성은 나타냄
- 경기권은 안산을 기준으로 서쪽 해안에 위치한 지역에 높은(인천, 시흥 등)에서 높은 상관성을 보임, 동쪽으로 갈수록 낮아짐
- 충청권은 측정소가 위치한 서산과 당진, 홍성에서 높은 상관성을 보이며, 동쪽으로 이동할수록 상관성이 낮아짐
- 우리나라 주풍이 북서풍으로 서쪽에서 동남쪽으로 갈수록 상관성이 낮아지는 것을 확인할 수 있었음

### ★ 집중측정소(대기환경연구소)



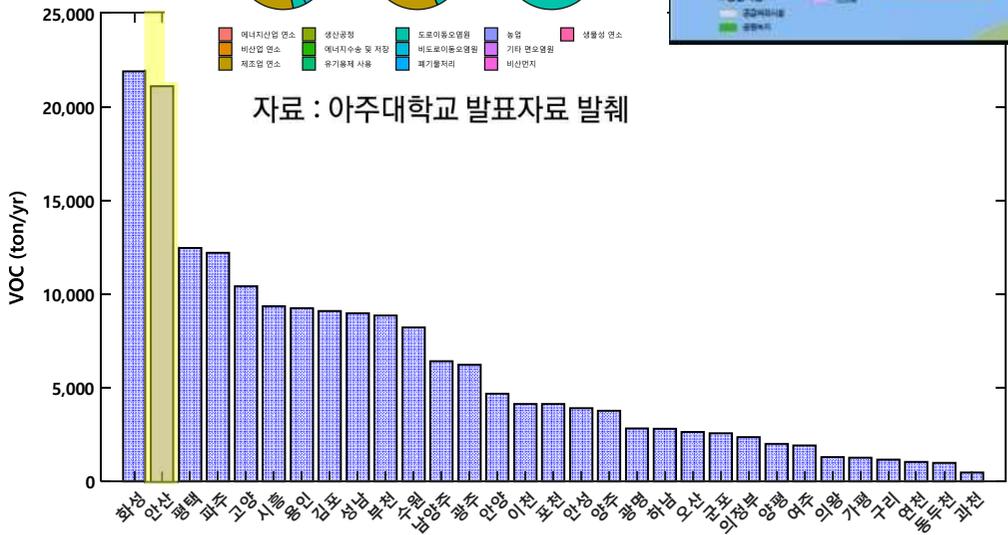
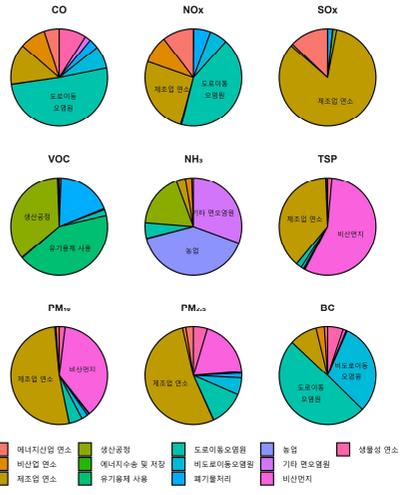
# 3. 연구과제 소개 I



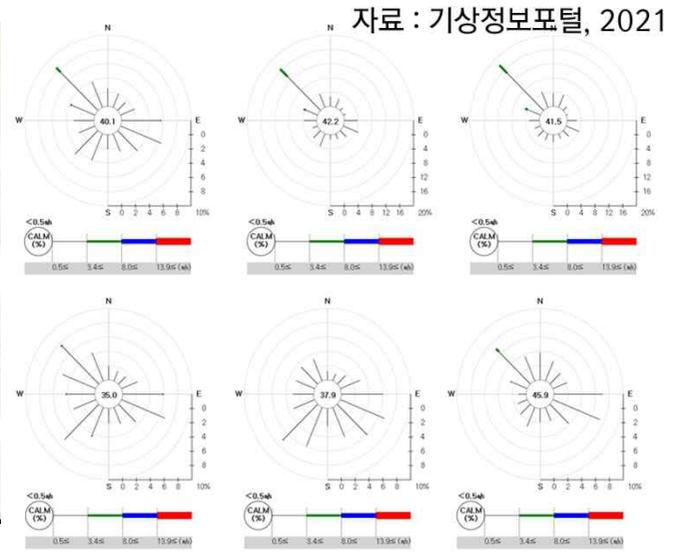
## 광화학스모그에 따른 SOA 생성 특성 분석

- CAPSS : 경기도 배출량 전국 1위, 안산시 VOCs 배출량 지역 내 2위(1위와 유사) / 반월 및 시화 국가산업단지 위치
- 풍량이 적고, 북서풍 주풍, 정온상태 35.0~45.9% → 산업단지 영향 크고, 배출된 오염물질의 희석, 확산력 약함

안산시 배출원 분류(2019)



(자료 : 연합뉴스(15.07.13))



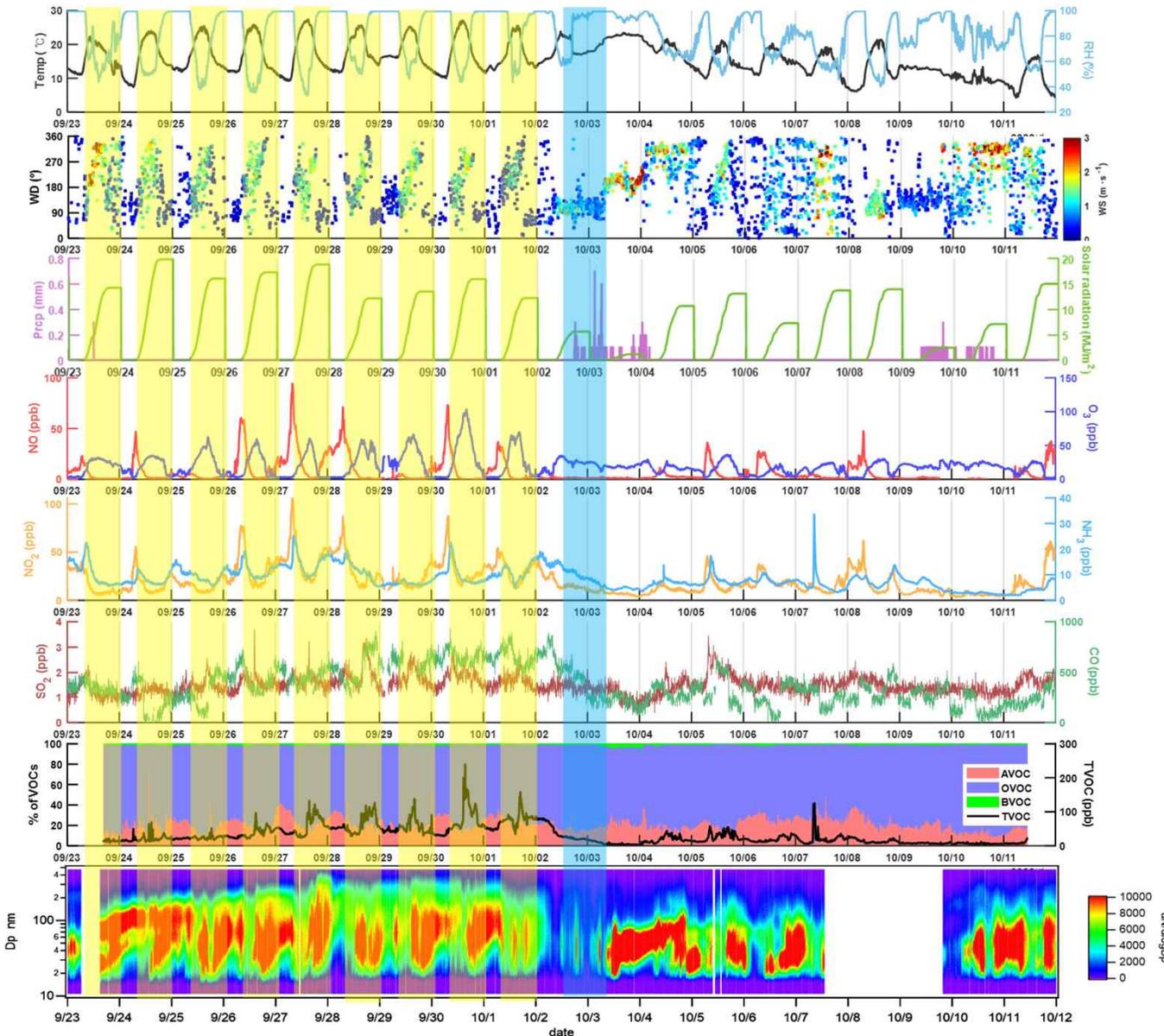
구분	계(면적)	산업시설 구역	지원시설 구역	공공시설 구역	녹지구역	비고	
계(안산)	31,495	18,380	1,761	5,613	5,741	도로 1,987천㎡ 그 외 주차장, 운동장, 종말처리장 등 공공시설	
반월국가산단	15,374	7,929	427	2,086	4,932		
시화국가산단	안산	4,304	4,130	48	1	125	안산시 26.7%
	시흥	11,817	6,321	1,286	3,526	684	시흥시 73.3%
	소계	16,121	10,451	1,334	3,527	809	

자료 : CAPSS, 2019

# 3. 연구과제 소개 I



## 광화학스모그에 따른 SOA 생성 특성 분석

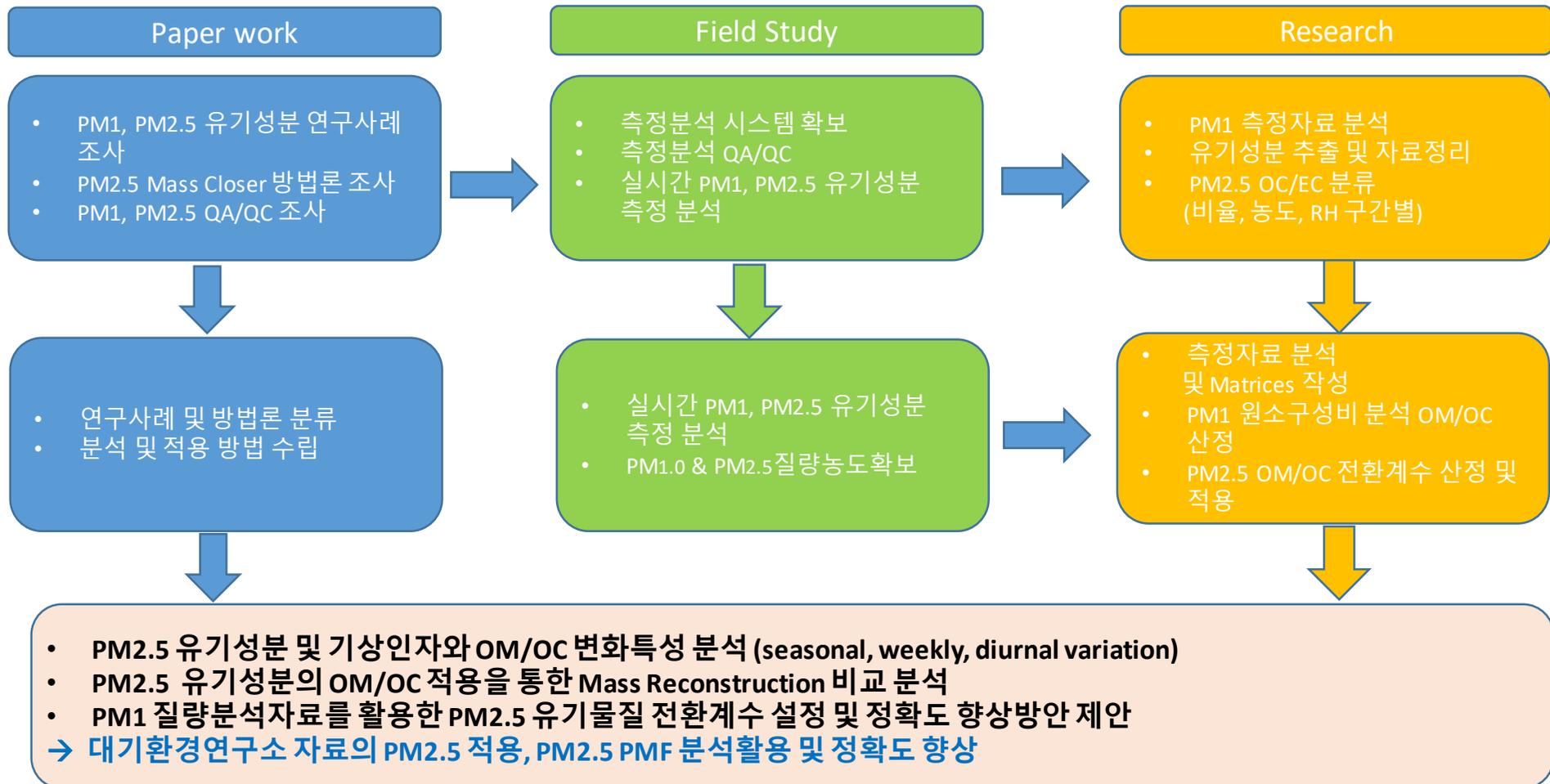


- 측정기간 대상 수집된 정보 시계열 분석
- 강우이후는 반응성이 낮게 나타나 분석제외
- 노란라인은 SR을 기준 설정
- 파란라인은 강우지역
- 풍향은 강우전에는 일을 주기로 U자형 패턴을 보이거나 강우이 후 패턴이 사라짐
- O<sub>3</sub>을 제외한 가스상 오염물질은 시계열 분석에서 유사한 농도변화 패턴을 보임 → 주변에 일관성 있는 배출원 존재
- SR과 온도, O<sub>3</sub> 피크가 유사하게 변화
- 노란라인 시작과 NO 최대피크 후 감소 일치
- VOCs는 노란라인 안에서 증가가 확인되나 상관성은 낮게 나타남



## AMS 데이터를 활용한 OM/OC 산정

- 지역별 OM특성 파악 → 현재는 수도권 대기환경연구소(불광동) 자료를 기반으로 한 OM이 제시되어 활용되고 있음
- 경기권 대기환경연구소 AMS 데이터를 기반으로 OM 산정 연구 → (주)미세먼지연구소 김정호 소장
- AMS, SMPS, APS, QCM을 활용하여 PM<sub>1.0</sub>에 대한 밀도추정 연구 → 충남연구원

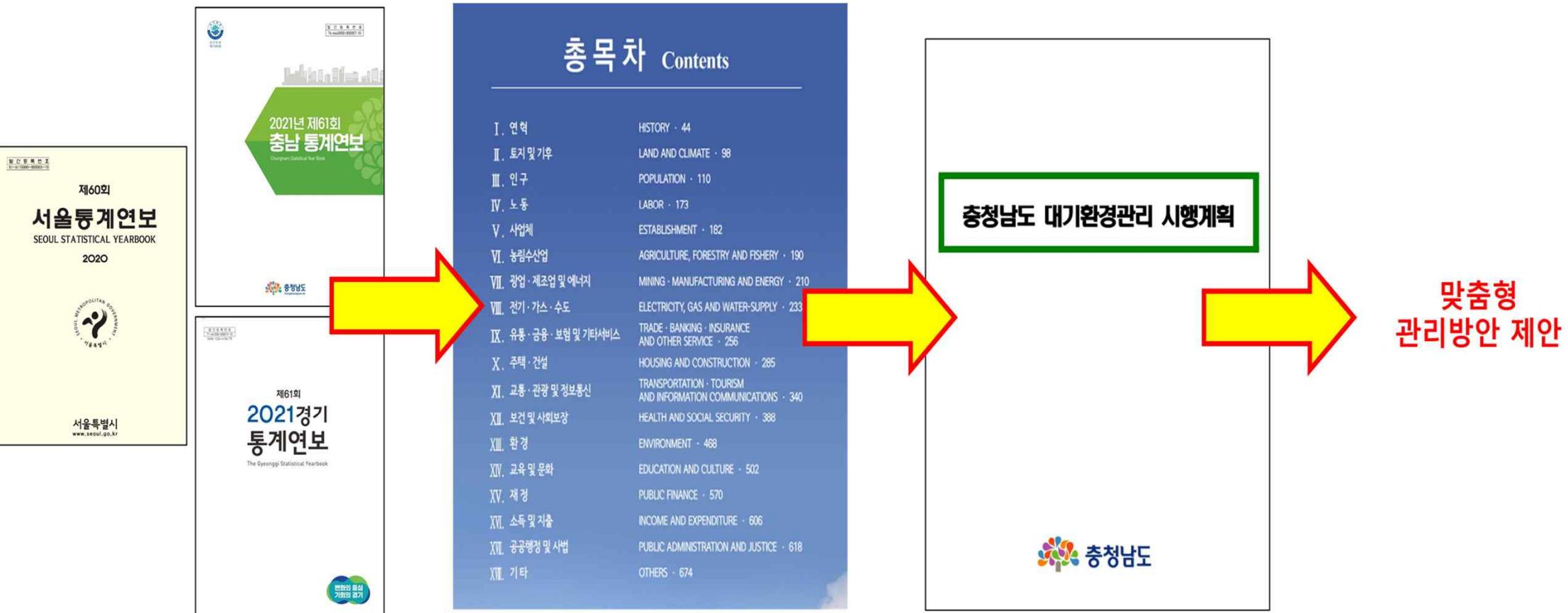


# 3. 연구과제 소개 I



## I 고농도 미세먼지 발생시 PM<sub>1.0</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 국내외 영향에 따른 원인 상세 분석

- 지역별 활용 가능한 통계자료 및 정책자료 확보 → 기초인자 분석 → 대기질 개선 관련 정책자료 수집 → 정책효과 분석
- 활용자료 : 인구, 자동차 등록대수, 기후환경, 토지이용, 에너지 및 산업시설, 배출시설 분포, 대기배출량, 대기측정망 농도 등
- 지역 맞춤형 정책 제안





### 3. 연구과제 소개 II

- 시범지역 초미세먼지( $PM_{2.5}$ ) 발생원인 규명

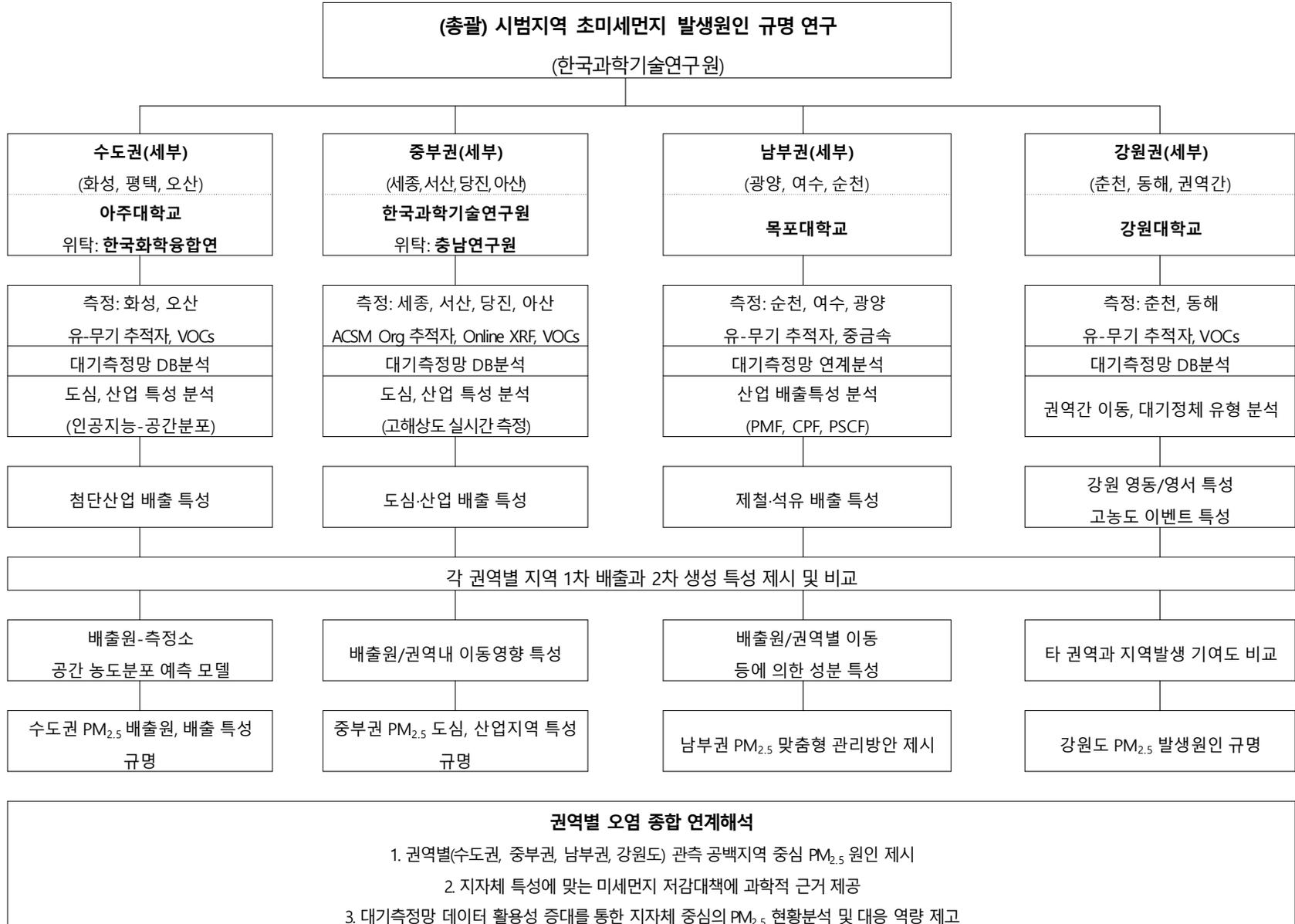


## 시범지역 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 발생원인 규명

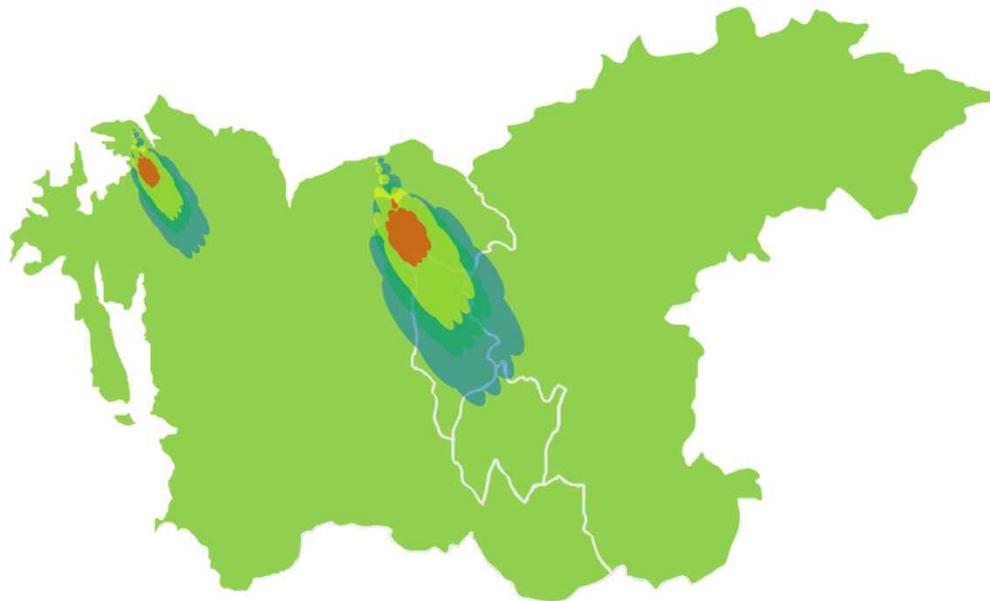




## I 연구단 구성



## 실시간 측정기반 고정 및 이동측정을 통한 중부권 시범지역 지역적 특성 규명



성분특성 측정기반 배출원-수용지 관점

주관

KIST

고해상도 질량분석 기반 측정 시스템의 이동측정 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<sub>2.5</sub> 성분 특성과 중부권 시범지역 기초자료 분석 및 현장 지원 등을 통한 지역 맞춤형 개선 정책 제언

마을대기측정망, PM<sub>2.5</sub> 필터샘플

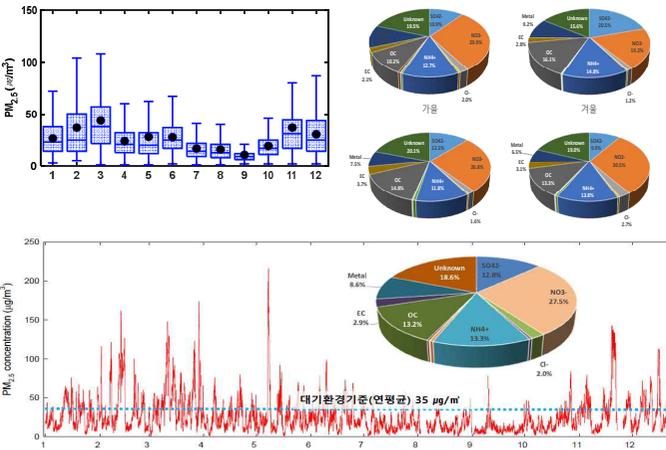
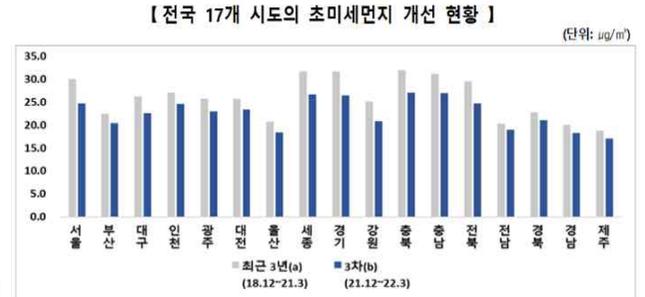
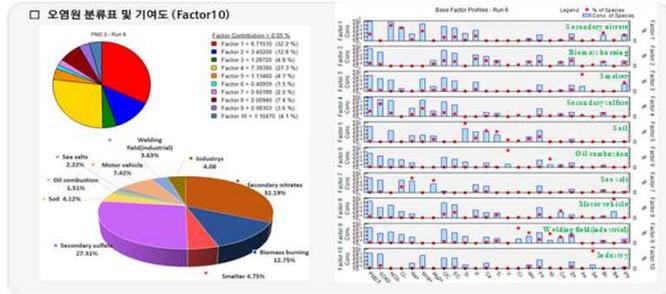


최종: 중부권 시범지역의 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 규명

# 3. 연구과제 소개 II



## 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원 조사



대기관리권역 전국 확대로 지역 맞춤형 대기질 관리 시행일 : 2020년 4월 3일

**Before**

20년 4월부터 대기오염이 심하거나 오염물질 발생이 많은 지역을 대기관리권역으로 지정하여 사업장, 자동차, 생활주변 배출원 등 권역별 특성을 반영한 맞춤형 미세먼지 관리를 추진합니다.

- (대기관리권역 확대) 수도권 외 중부권 남부권 영남권 권역을 7개 특·광역시 및 시·군 설정 및 권역별 기본계획 수립을 통한 지역 맞춤형 관리
- (사업장 총량관리제) 오염물질 다량배출 사업장에 5년마다 지역총량 범위 내 배출허용총량을 할당하고, 방지시설 설치 또는 배출원 가동률 조정 등 총량 관리
- (기타 배출원 관리) △노후 경유차(5등급) 및 건설기계에 대한 저공해 조치, △화물·선박 및 공항의 대기개선 대책, △신환경 가정을 보일러의 보급 의무화 등 생활 주변 배출원에 대한 저감조치 시행

**After**

수도권, 중부권, 영남권, 남부권 대기관리권역 확대

환경영향 평가, 환경영향 보충조치, 생활 주변 배출원에 대한 저감조치

사업장 총량관리제, 노후 경유차(5등급) 및 건설기계 저공해 조치, 화물·선박 및 공항의 대기개선 대책

### 충청권 대기환경연구소 기반 PM<sub>2.5</sub> 성분특성 분석

- 연평균, 월, 계절별, 일평균 농도 분석
- 고농도 미세먼지 물리화학 특성 분석
- PMF모형을 활용한 기여도 분석
- 오염물질간 상관성 분석

### 중부권 시범지역 기초자료 분석 및 현장지원

- 시범지역에 대한 현황자료 분석
- 대기관련 조사(배출량, 농도, 배출원 등)
- 지역적 대기오염특성 분석
- 세부 집중측정 현장 지원

### 대기환경 개선효과 분석 및 맞춤형 정책 제언

- 중권 기본계획에 따른 개선효과 분석
- 지역적 배출특성과 정책적합성 조사
- 지역 맞춤형 개선정책 제언



## I 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원 조사

- ▶▶ **충남연구원**: 위탁과제 기관으로 측정자료 확보/분석, 집중측정 공동 수행 및 지역 정책발굴/제안
- ▶▶ **충청권대기환경연구소**: 실시간 데이터 자료 공유 협조
- ▶▶ **충남보건환경연구원**: 집중측정, 필터샘플링 등을 위한 장소 협조
- ▶▶ **중부권 미세먼지연구관리센터**: 데이터 활용을 통한 지역 정책 개발, 공동연구 및 업무협력 협조
- ▶▶ **당진, 아산시 및 충청남도**: 측정 위치선정 및 현장 지원 / 제안된 정책에 대한 현장적용



# 3. 연구과제 소개 II



## I 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원 조사

- 충남지역 연구 네트워크 운영  
: 충남도 및 시군 - 충남보건연 - 미세먼지 연구센터 - 충청권대기환경연구소
- 데이터 기반 충남지역 대기질 특성 분석 (AQMS, 마을대기측정망, 대기환경연구소)
- 필터기반 집중측정 (당진, 아산시) / 현장 이동관측 지원
- 집중측정 및 측정소 데이터 연계 PM<sub>2.5</sub>의 물리화학적 특성 분석 / 정책제언

연차	지역	중부권 주관 - KIST	위탁 - 충남연구원			
1차년도 (2023)	도심 (세종)	이동측정 플랫폼 (Mobile Lab; ML)	고정측정 플랫폼 (Bongo EV; ACSM)			
		ML 정비 및 테스트 측정	ACSMS, XRF, PTR-MS 구축 및 테스트 측정			
		상세 이동측정계획 수립, 고정측정 지점 선정 및 예비 측정(6월)				
		이동(ML) 및 고정(ACSM) 본 측정 수행 (9, 10, 11월)				
		차량영향 예비결과	실시간 성분 예비결과			
2차년도 (2024)	산업 (당진)	당진 제철소 중심 이동*/고정**측정 겨울(1~2월), 봄(4~5월), 여름(7~8월), 가을(10월) * 이동측정은 고정측정 주변 우심지역 중심으로 2~3일 측정 ** 고정측정은 제철소 풍하지역 중심으로 2~3주 측정	당진-아산 필터 샘플			
			유기 성분 선정	장소 확정	상세 성분자료	시공간 분포특성
			성분 분석	시료 채취	대기환경 연구소	도시·마을 대기
		PM <sub>2.5</sub> , 전구물질 산업 배출 주변지역 영향 특성 예비결과	필터성분 예비결과	지역적 특성 예비결과		
3차년도 (2025)	통합	예비결과 확정 심화분석, 오염지도 제시, ACSM PMF 배출원 기여도 제시, 전구물질 특성 제시 등				
		중부권 도심(세종)과 산업(당진) 지역의 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 제시				

# 3. 연구과제 소개 II



## 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원 조사

- » 충남 대기오염물질 배출량 전국 (3위) → **충남 서북부 4개 시**(당진, 서산, 천안, 아산)의 기여도 높음 (64.5%, CAPSS, 2019)
- » 당진시 충남 내 배출량 1위(31.4%), 아산시 5위 (6.5%) / 당진→아산으로 영향(충남내 인구밀도 2위)
- » 아산시 탕정면 중금속, 포름알데하이드 고농도 관측 (신도시 및 산업단지 조성에 따른 환경영향평가 결과)





### 3. 연구 사례 소개 III

- 충청남도 마을대기측정망 통합운영



# 3. 연구사례 소개 I



## 석탄화력발전소에 의한 대기질 악화 → 관리 필요성 인식

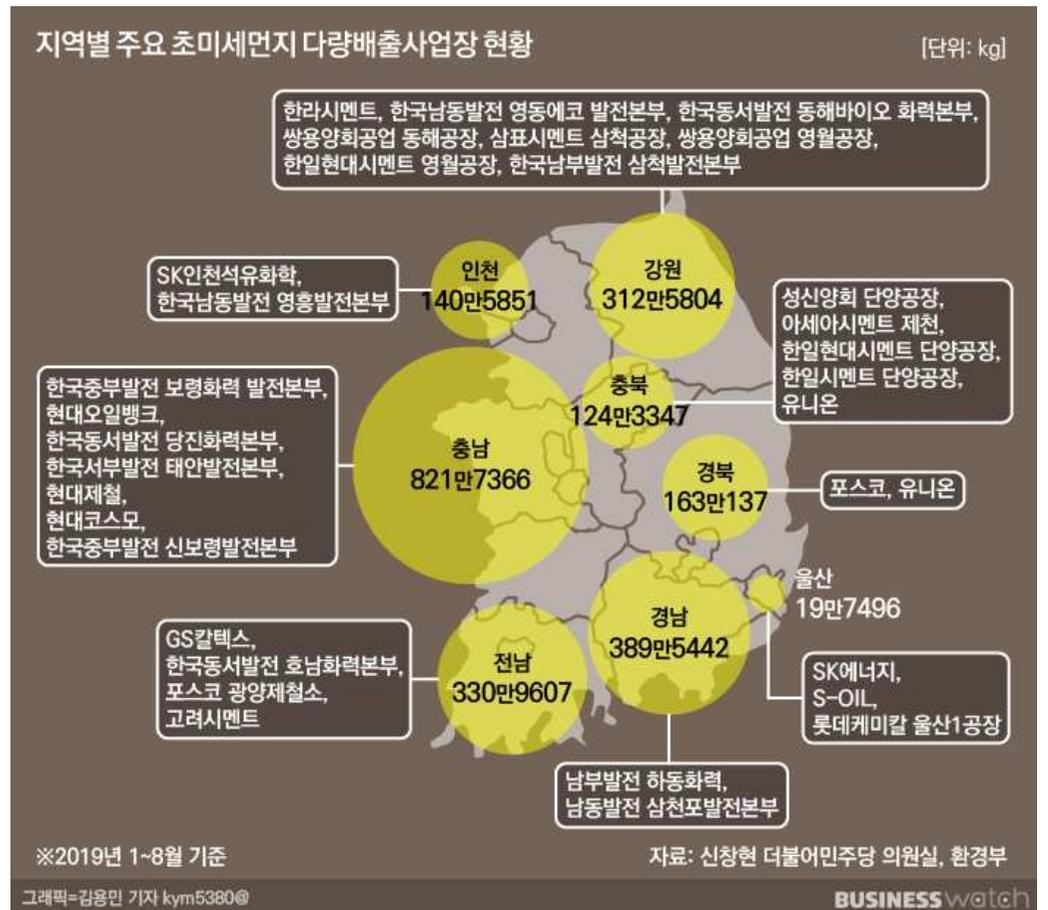
- ▶ 전국 주요 초미세먼지 다배출사업장 기준 총배출량의 35.7% 충청남도 배출(2019. 1~8월 기준)
- ▶ 석탄화력발전소에 의한 대기질, 기후변화 가속화 우려로 과학적 기반 기초자료 구축 필요

### 2018년 전국 대형사업장 미세먼지 배출량

지역	사업장(개)	미세먼지(톤)	배출량 비중(%)
충남	59	16,233	29.0
전남	57	9,462	17.0
경남	54	8,036	14.0
강원	26	5,859	11.0
울산	51	3,415	6.1
⋮	⋮	⋮	⋮



한국환경공단 2018년 통계자료  
2019.10. 대전MBC



비즈니스와치(2019.11.01.)



## 충청남도 대기오염 측정망

2021.06. 기준

- 충청남도 국가대기 측정망 현황 : 도시대기측정소(AQMS) 37개소, 도로변측정소(RAQMS) 2개소
- 지역별 측정소 개수 : 아산(6) > 천안(5) > 서산(4) > 태안, 서천(3) > 당진, 보령(2) / 충남 도민 57,216명당 1개 AQMS



☑ 한계점 1  
도시대기 측정을 목적으로 하기 때문에 주거지역 위주의 배치 되어 있어 발전소 주변 지역 대기질을 판단하기에 무리가 있음

☑ 한계점 2  
측정소 위치를 화력발전소 기준으로 계산하면 태안화력을 제외한 모든 측정소가 10 km 이상 떨어져 있음

☑ 한계점 3  
충남지역에 화력발전소가 위치하는 시군별 대기측정소는 태안군 및 서천군 3개소 당진시 및 보령시 2개소가 전부인 실정임

국가대기 측정망(충청남도 보건환경연구원 관리)

# 3. 연구사례 소개 I



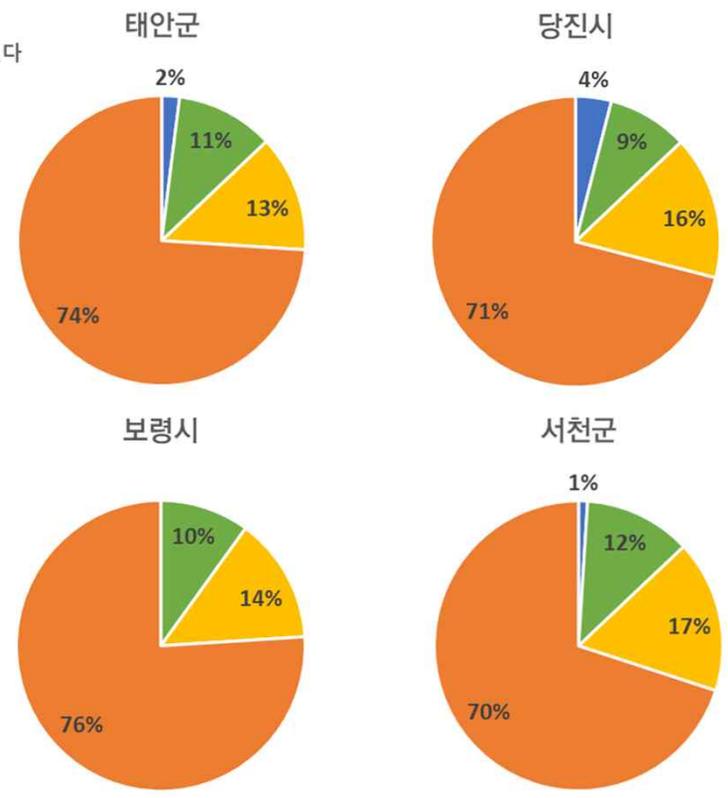
## 충청남도 대기오염 측정망

- 충청남도 민간대기 측정망 현황 : 보령 12개소, 당진 11개소, 태안 10개소, 서천 5개소
- 발전사별로 정보를 별도로 제공하며 뚜렷한 지침이 없어 도민들의 정보 취득에 불편함이 있음



민간대기 측정망(발전3사 관리)

- 매우 잘 알고 있다
- 대략적으로 알고 있다
- 내용은 잘 모른다
- 처음 들어본다



발전사 사후영향평가 및 자체모니터링 인지도

## » 마을대기측정망 통합정보센터 구축 <<



- (`17.11.) 발전 3사 지속 가능 상생발전 실무추진단 회의  
마을대기측정망 道 통합운영 등 협의
- (`18.05.) 발전 3사 ↔ 충청남도 상생발전 업무협약 체결(포괄적 협약)
- (`18.12.) 충청남도 마을대기측정망 통합시스템 구축·운영 협정(`19~`23)  
발전 3사 : 시스템 구축 및 운영 등 사업비 납부(법정기부금)  
충청남도 : 사업 총괄, 충남연구원에 사업비 지원(출연)  
충남연구원(서해안기후환경연구소) : 시스템 구축 및 운영
- (`20.09.) 마을대기측정망 통합시스템 개발 완료
- (`20.10.) 마을대기측정망 통합시스템 설치
- (`20.11.) 마을대기측정망 통합정보센터 개소
- (`21.05.) 마을대기측정망 유지보수 위탁관리 용역 계약

# 3. 연구사례 소개 I



## 마을대기측정망 통합정보센터 역할

### 💡 설립목적

충청남도 내 마을대기측정망의 통합운영 관리로 도내 대기질측정체계의 신뢰를 향상하고, 도민 대기질 정보서비스 질 향상과 대기질 정책의 과학적근거 제공

### 💡 추진전략

1. 빈틈없는 측정망 관리, 꼼꼼한 데이터 축적
2. 가치 있는 정보분석, 실효성 있는 정책 제안
3. 함께하는 미세먼지 대응

### 산후 마을대기측정소



〈 마을대기측정망 측정소 예시 〉

구분	시·군	측정소명	주소
보령시 (11곳)		교성 / 교성1리 마을회관	충남 보령시 오천면 김신길31
		남포 / 삼현1리 노인회관	충남 보령시 남포면 봉덕삼현길 590(삼현1리)
		송학 / 송학초등학교	충남 보령시 주교면 토정로 796-52
		신축 / 오천면사무소 어항출생소	충남 보령시 대천항중앙길 46
		오천 / 오천초등학교	충남 보령시 오천면 충청수영로 822
		오포 / 발전소 남부회처리장	충남 보령시 오천면 오천해안로 89-37
		원산 / 원산 마을회관	충남 보령시 오천면 원산도1길14
		주포 / 주포 면사무소	충남 보령시 주포면 보령읍성길 38-1
		죽정 / 한전사옥	충남 보령시 봉황로69 한전사택내 201동
		천북 / 천북 초등학교	충남 보령시 천북면 하궁길 45
		교성 / 바닷빛집인근	충남 보령시 천북면 화성염전길 94-26
당진시 (11곳)		교로 / 당진 화력본부	충남 당진시 면천면 면천로 623(성상리 945)
		금천 / 신평 면사무소	충남 당진시 신평면 신평로 834(금천리 458)
		사관 / 신당진 변전소	충남 당진시 정미면 정미로316(사관리 231-2)
		삼봉 / 석문 중학교	충남 당진시 석문면 대호로 1533-6(삼봉리 892)
		성상 / 면천면사무소	충남 당진시 면천면 면천로 623(성상리 945)
		용두 / 고대면사무소	충남 당진시 고대면 구장터길 9(용두리 664-1)
		운산 / 합덕읍사무소	충남 당진시 합덕읍 예덕로 403(운산리 172)
		원당 / 당진예코파워	충남 당진시 석문면 대호만로 2222-17(교로리 2893)
		적서 / 적서리 마을회관	충남 당진시 대호지면 대호로 662(적서리 156-9)
		중흥 / 송악 초등학교	충남 당진시 송악읍 송악로663-1(중흥리 257)
		통정 / 석문 면사무소	충남 당진시 석문면 통정3길2-1(통정리 393-1)
서천군 (5곳)		내도둔 / 내도둔 마을회관	충남 서천군 서면 서인로317번길 21(마량리 74-1)
		마량 / 마량초소	충남 서천군 서면 마량리 151-2
		오포 / 오포 마을회관	충남 서천군 서면 서인로415번길 36(도둔리 716)
		춘장대 / 춘장대 사택	충남 서천군 서면 춘장대로 130(도둔리 1-4)
		홍원 / 홍원 마을회관 이전부지	충남 서천군 서면 도둔리 957-7
태안군 (11곳)		고남 / 고남 면사무소	충남 태안군 고남면 안면대로 4254-12
		관리 / 이원초등학교 관동분교	충남 태안군 이원면 관리 572-1
		내리 / 이원초등학교 내리분교	충남 태안군 이원면 원리로 2431
		대기 / 대기초등학교	충남 태안군 원북면 대기길 12-21
		반계 / 원북 초등학교	충남 태안군 원북면 원리로 849-3
		방갈 / 방갈2리 마을회관	충남 태안군 원북면 화암포길 29
		산후 / 산후1리 다목적회관	충남 태안군 태안읍 뱀나무길 390
		안기 / 안기2리 마을회관	충남 태안군 근흥면 명장길 6-4
		의항 / 의항리 보건지료소	충남 태안군 소원면 개목길 25-9
		이곡 / 이곡1리 다목적회관	충남 태안군 원북면 이곡1길 14
		평천 / 평천3리 다목적회관	충남 태안군 태안읍 평천길 77
고정대기 측정망	당진시	석문(대난지도)	충남 당진시 석문면 교로리 난지도리 177-62, 당진시청소년수련원
	보령시	청라(청라면)	충남 보령시 청라면 나원리 749

## 세부사업

### · 마을대기측정망 주변 지역 대기오염 정보제공과 DB 구축

- ✓ 측정망유지관리
- ✓ 측정기기별 정도관리(등가성 평가)
- ✓ 정보시스템 운영
- ✓ 측정망주변 환경 개선 사업

### · 대기질 정보 활용성 제고와 정책지원

- ✓ 연간보고서 작성
- ✓ 정책지원 연구과제 수행
- ✓ 전문가그룹 네트워크 구축

### · 지역주민 미세먼지 대응 역량 강화

- ✓ 맞춤형 마을 미세먼지 정보 제공
- ✓ 함께하는 미세먼지 측정 교육
- ✓ 찾아가는 마을대기 관련 민원상담
- ✓ 홍보물 제작·배포



〈 마을대기측정망 상황실 〉



# 3. 연구사례 소개 I



## 관제시스템 및 대민홈페이지 운영

- 관제시스템을 통해 데이터 수집 및 실시간 모니터링 함으로써 정도관리를 수행함
- 관제시스템으로 수신되는 데이터는 마을대기측정망 뿐만 아니라 국가대기측정망 측정값도 포함됨
- 현재 대민홈페이지(클린에어충남)를 시범 운영 중에 있으며 추후 모바일 서비스를 오픈할 예정임

### 관제시스템을 통한 실시간 모니터링

측정시간	지역	측정수명	환경지수	등급	지수항목
2021-06-23 14:00	공주시	공주	-	-	-
2021-06-23 14:00	공주시	사곡면	-	-	-
2021-06-23 14:00	공주시	반향면	-	-	-
2021-06-23 14:00	금산군	금산읍	-	-	-
2021-06-23 14:00	논산시	논산	-	-	-
2021-06-23 14:00	논산시	연무읍	-	-	-
2021-06-23 14:00	당진시	교포	50	좋음	미세먼지
2021-06-23 13:00	당진시	금현	32	중음	미세먼지
2021-06-23 14:00	당진시	당진시청사	-	-	-
2021-06-23 13:00	당진시	대남지도	47	중음	미세먼지
2021-06-23 15:00	당진시	사란	35	중음	미세먼지
2021-06-23 13:00	당진시	상봉	0	중음	미세먼지
2021-06-23 13:00	당진시	영삼	574	극정경이상	미세먼지
2021-06-23 14:00	당진시	홍남면	-	-	-
2021-06-23 13:00	당진시	용두	42	중음	미세먼지
2021-06-23 13:00	당진시	운산	45	중음	미세먼지

### 대민홈페이지(클린에어충남) 운영

통합대기환경지수(AQI) 20.4°C 습도 90% 바람 남 1.1 m/s

우리마을 대기정보 사관 2021년 06월 23일 13시

시군선택 충청소

초미세먼지 (PM <sub>2.5</sub> )	0 (1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
미세먼지 (PM <sub>10</sub> )	null(24h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
오존 (O <sub>3</sub> )	24(1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
이산화질소 (NO <sub>2</sub> )	0.029 ppm
일산화탄소 (CO)	0.009 ppm
이황산화물 (SO <sub>2</sub> )	ppm
아황산가스 (SO <sub>3</sub> )	ppm

공지사항 / 경보 06/13 모바일 서비스 오픈 더보기

감사합니다.



Chungnam Institute

# 충청남도 주요 환경 문제와 녹색환경지원센터의 역할

2024. 4. 5.



# 목차

- 1 설립 목적 및 기능
- 2 조직 구성
- 3 비전 및 단기/장기 목표
- 4 주요 환경 현안 및 '23년도 추진 실적
- 5 '24년도 사업 추진 계획

# 1. 설립 목적 및 기능

- **설립근거** : 환경기술 및 환경산업 지원법 제10조 및 시행령 제20조
- 지역의 환경현안 문제 해결과 녹색성장의 기반조성·활성화를 위한 **연구, 교육, 기업지원사업** 수행
- **전국 18개 센터 운영**  
(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주, 시흥, 안산)

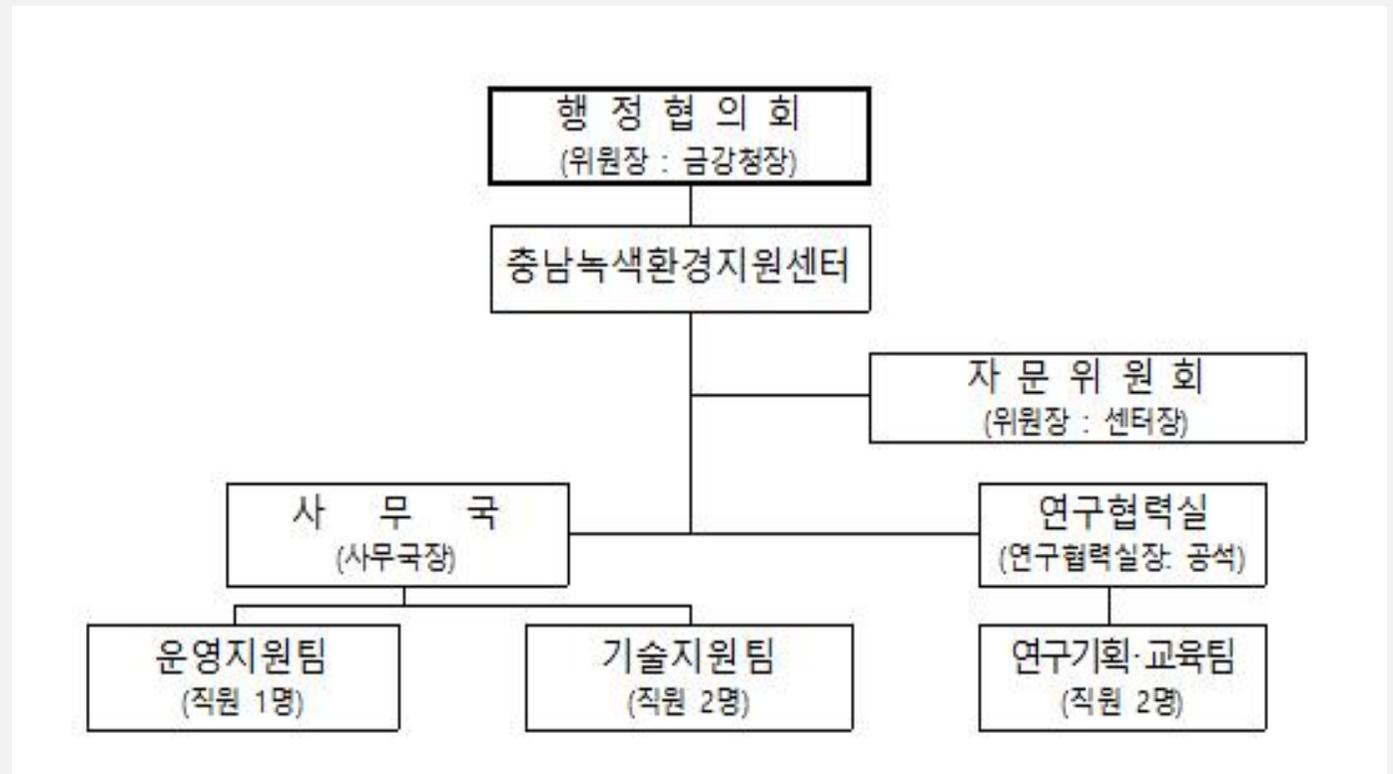


센터 **최초** 환경교육센터 지정(2023.1.1.) 및 운영(3년간)

## 2. 조직 구성

### 조직 구성

- 1 사무국 : 6명
- 2 행정협의회 : 9명
- 3 자문위원회 : 16명



# 3. 비전 및 단기 목표

## VISION

미래를 향한 기술개발      현재를 보는 정책지원      함께하는 환경복지 구현



## 단기 목표



지역 환경 개선을 위한 연구·정책  
개발 지원체계 구축

지역 주요 현안 해결을 위한  
맞춤형 연구분야의 **발굴과 정책화** 노력



함께하는 이타적 시민 양성  
시스템 설계

제도권 교육과의 협력  
코로나 펜데믹 장기화 이후  
교육질 향상을 위한 **대면교육 활성화**  
**전문가 양성 집중**



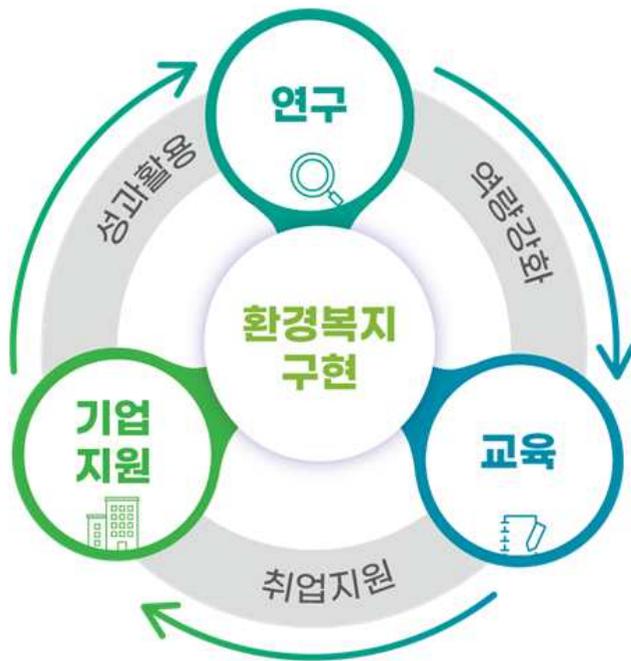
시·군 협력을 통한 미래지향적  
지역환경 네트워크 기반 정립

영세기업 애로사항 해소 및 환경복지 실현  
**소규모 사업장 대기환경오염**  
**배출 업체 관리의 컨트롤타워 역할수행**

# 3. 장기 목표

## 사업목표

과학기술과 도민 합의를 통한 지역 환경 수용능력 조절 허브 기능 수행



[충남녹색환경지원센터 환류 모델]

### 연구개발

- 지역 환경현안과 여건에 대한 조사 및 해소방안 등 정책연구사업 추진
- 수요자 중심의 기술개발 및 산·학·연 연구추진

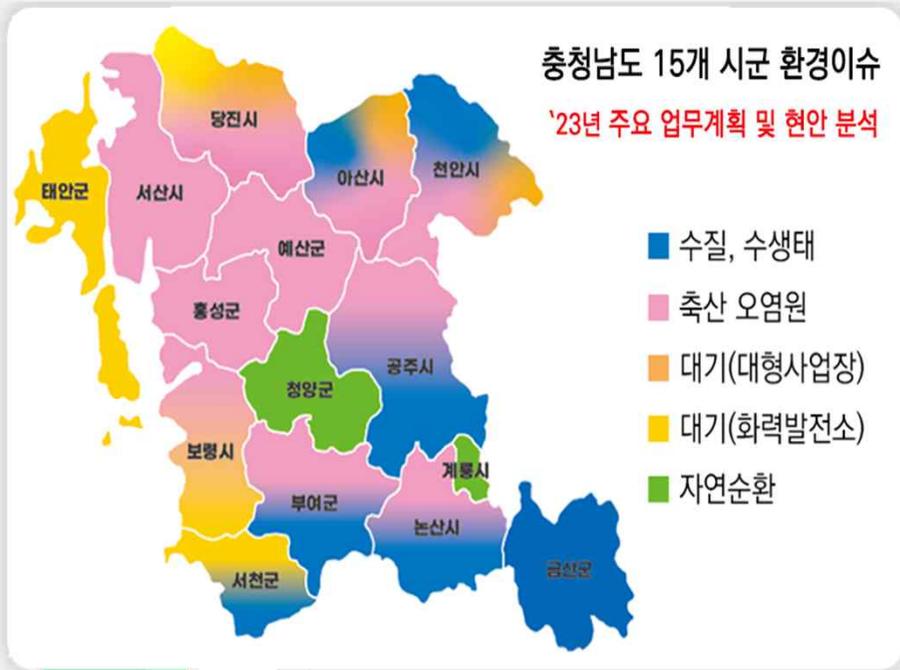
### 환경교육

- 환경 대응 역량을 갖춘 전문 환경기술인 양성
- 환경의식수준 함양과 지역 인재양성을 통한 고용 연계
- 지역민의 인식제고와 자발적 참여 유도(지역 수용성 제고)

### 기업지원

- 소규모 사업장 환경관리 전문성 강화
- 소규모 사업장 노후 환경설비 개선 및 관리 지원
- 환경규제 강화로 인한 행정처분 사업장 집중관리 (찾아가는 기술지원)
- 지자체 민원 사업장 환경관리 컨설팅

# 4. 충남 주요 환경 현안



### 대기오염물질 배출량 현황

- 2021년 기준 전국 대기오염물질 배출량 4위 (338,082 ton/yr, CAPSS, 2021)
- 대규모 화력발전소가 서해안에 집중 위치, 다량의 미세먼지 발생
  - 전국 석탄화력발전소 59기 중 29기(50%) 위치
  - 국가산업단지, 일반산업단지, 농공단지, 도시첨단산업단지 등 총 154개 조성 운영중

---

### 온실가스 배출량 현황

- 충청남도의 온실가스 배출량은 156.8백만tCO<sub>2</sub>eq로 국가 배출량의 22.6%를 차지
  - 전체배출량 중 에너지산업에서 63%, 산업공정에서 21.7%로 전체배출량의 83.9% 차지

충청남도 최우선 환경현안 → 대기환경 개선, 탄소중립 기후변화 대응

\* 참고 : 전국오염원조사자료 2022, 국가미세먼지정보센터 CAPSS 2019, 물환경정보시스템 2022, 에어코리아 2022 등

# 4. '23년도 추진 실적

## 연구 사업

- 사업비/사업건수 : 1.74억 / 총 4건[고유사업(2), 수탁(2)]
- 기초조사 1건, 정책 3건

목표대비 200% 달성



## 환경 교육

- 사업비/사업건수 : 0.62억 / 총 52회 [특별교육(1), 전문교육(23), 시민교육(11)]
- 홍보사업 13건, 업무협약 3건, 교육수료자 : 4,311명

충청남도 교육감 표창('23. 6. 9. 환경교육팀장) 목표대비 304% 달성



## 기업 지원

- 사업비/사업건수 : 2.37억 / 총 385개 업체 기술지원
- 소규모사업장 컨설팅(방지시설 설치지원 및 사후관리, 민원사업장 환경 컨설팅 등)

환경부장관 표창('23. 12. 7. 기업지원팀장) 목표대비 158% 달성



환경교육 및 기업지원 정량실적 중부권 센터

1위 달성

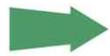
# 4. '23년도 우수사업 추진내용

## ■ 환경일자리 창출 및 교육기반 마련

### ① 환경 민간감시원 일자리 창출

- 충남녹색환경지원센터 ↔ 보령여성인력개발센터 MOU

>> **환경 안전 점검분야 인력양성 교과과정(직업훈련 커리큘럼, 160시간) 개발**



'24년 6월 교육 진행 예정

>> **수료자 전원 취업지원 혜택 및 가산점 부여(한국중부발전)**



표 2 교육목표포달률(교과목 기별당)

교육명(교과명)	교육내용	교육기간 및 방법				
		강의	현장 견학	탐색 실습	토의 토론	기타
대기환경정 화방법 및 소 방화방법 등 한 의회	국내외 대기환경정책 동향 최초 실용형강사의 확보 및 현장 대기환경 점검업종 전문교육센터 기립 대응 방법	8	-	-	-	-
평가방법	출석	30	-	-	-	30
교육장비	필요서류					
교육장소	NCS 학습동화(www.nca.go.kr) - 환경안전·기후환경 전문인력 양성과정 전문교육					

### ② 교육 기반 마련

1) 폐쇄적인 농촌마을 대상, 마을 대표 교육을 통해 주민 → **주민 전파·확산함으로써 교육 수용성 ↑**

- 영농폐기물 마을 그린 리더 양성 과정(이장단 강사\* 3명 → 마을 주민 551명)

\*마을 이장(1명) 및 주민자치회(2명)

2) 방과후 학부모 환경 강사 양성 과정(30명 수료, 강사활동 6명) >> **방과 후 학생교육 프로그램 운영(320명 수료)**

# 4. '23년도 우수사업 추진내용

## 2045 탄소중립 및 대기오염물질 저감을 위한 환경시설 개선·관리 및 환경교육 확대

### ① 기업환경 교육

- 배출사업장 대상 환경·안전 전문성 강화교육 실시

>> 지자체와 협업, **탄소중립을 위한 에너지 절약 및 대기배출오염물질 저감** 등 기업 맞춤형 환경교육 수행

>> 교육 수료자 1,802명(대면교육 950명, '22년 대비 460% ↑) / **교육수요 매년 100% 이상** 증가

### ② 4.5종 사업장 방지시설 설치 및 사후 관리

1) 충청남도 385개 사업장 방지시설 설치 지원 사업 >> 연간 먼지 20ton, THC 40ton 저감

2) **대기방지시설 가이드북 제작(진행 중)** >> 기업 환경관리자 및 지자체 환경 담당자 운영·관리 가능 하도록 배포 예정 ('24년 말 국회도서관을 통해 누구나 열람할 수 있도록 국가기록원 등록 예정)



# 4. '23년도 우수사업 추진내용

## ▪ 2045 탄소중립 및 대기오염물질 저감을 위한 환경시설 개선·관리 및 환경교육 확대

### ③ 민간감시원 교육

- 지자체 대기배출오염물질 민간감시원 교육

>> 지자체와 업무협약을 통해, 교육한 민간감시원 활동으로 지자체 불법소각 예방 / 비산먼지발생 억제 등 총 3,212건의 계도 실적 달성('22년 아산시 → '23년 충청남도 확대)



# 5. '24년도 사업 추진 계획

## ▪ '24년도 연구 사업(4건)

연번	연구 과제 명	연구책임자 [소속기관]
①	장항국가생태산업단지의 고농도 미세먼지 및 악취 관리 개선방안에 따른 건강 위해 관리 방안	<b>최길용 교수</b> [안양대학교 산학협력단]
②	가축분 퇴비화 시 바이오차 처리를 통한 암모니아 배출 저감 및 질소함량이 높은 탄소저장형 퇴비 제조	<b>이재한 교수</b> [충남대학교 산학협력단]
③	충남형 환경교육 표준 개발	<b>김문옥 센터장</b> [(사)광덕산 환경교육센터]
④	환경기초조사사업 기본계획 수립 및 성과홍보 방안 연구	<b>김영일 선임연구위원</b> [충남연구원 물환경연구센터] <b>김영준 팀장</b> [충남녹색환경지원센터]

# 5. '24년도 사업 추진 계획

## ▪ 기업지원 사업

1

### 오염물질 배출사업장 보조금 지원사업

- 노후 대기오염방지시설 교체 지원사업 시설개선 및 사후관리 기술지원
- 노후 악취저감시설 개선 및 민원사업장 대상 악취방지시설 신규설치 사업 기술지원

2

### 지자체 협력사업

- 민관 합동 기술지원(충청남도 협업) 등

# 5. '24년도 사업 추진 계획

## ■ 환경교육 사업

1

**발자취 시민과학 프로젝트** 자원봉사자  
교육(약취 분야)

2

**산업단지 중심** 기업체 재직자  
교육

3

**다문화** 가정 및 재직자 대상 환경교육  
프로그램 개발

4

지역 밀착형 **민간감시원**  
직업교육훈련과정

감사합니다



# 대기환경연구실 연구분야 소개

전북대학교

대기환경연구실

송미정

2024. 04. 05. 금

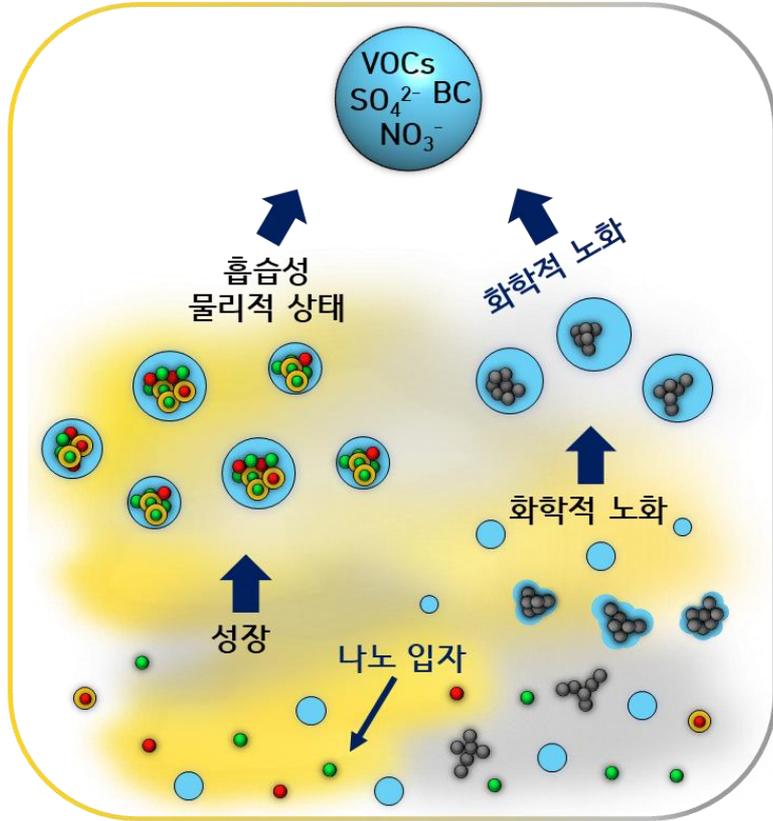
# 대기환경연구실 연구팀 소개



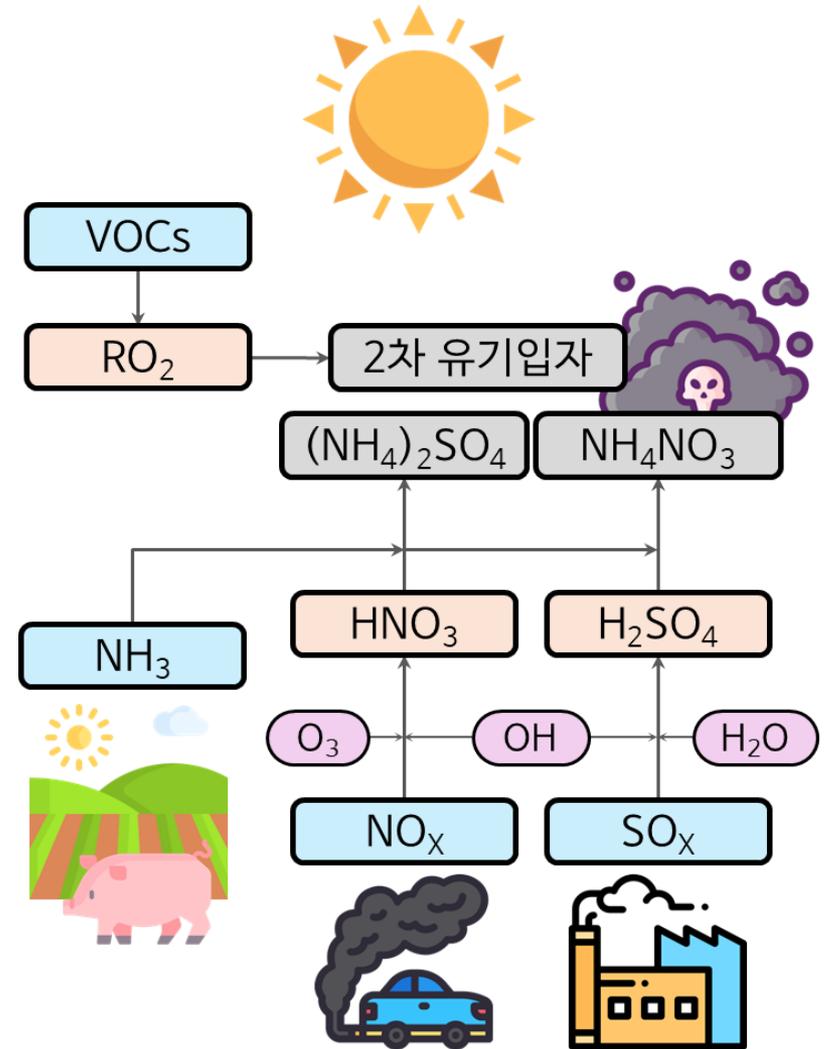
유지성 팀장, 신민창 학사과정, 엄승민 학사과정, 장유나 박사과정, 김나은 석사과정

# 주요 연구

## Lab study

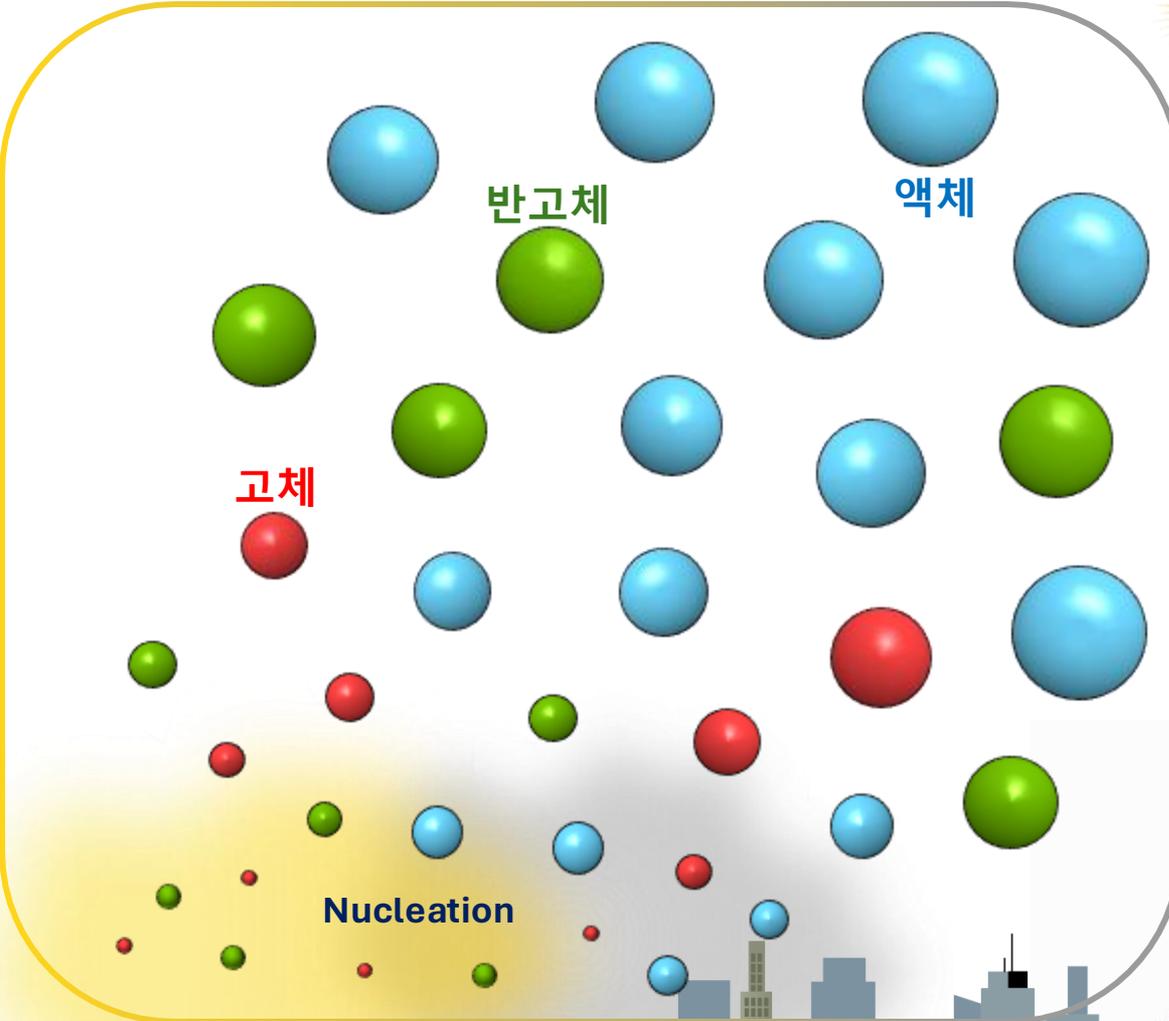


## Field study

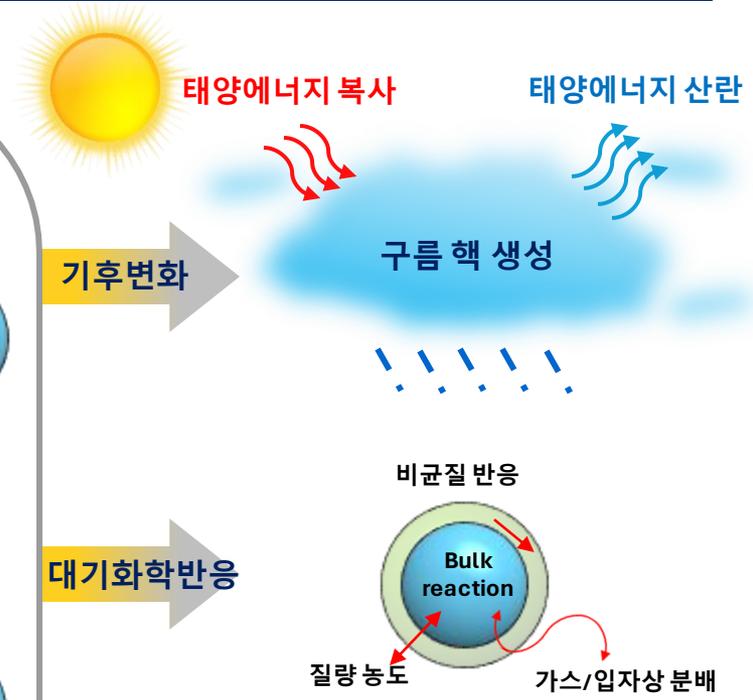


# 에어로졸 물리적 상태 연구의 중요성

Accumulation mode



Primary / Secondary aerosols



기후변화

대기화학반응

인체 영향

Biogenic VOCs

Anthropogenic VOCs and SO<sub>2</sub>

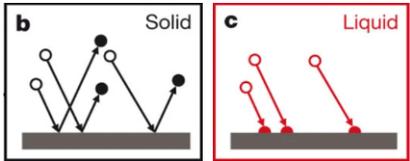
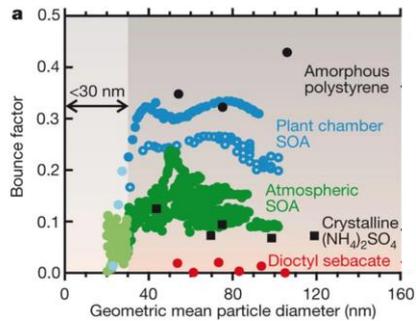
# 에어로졸 물리적 상태 연구의 중요성

에어로졸은 액체 상태로 존재한다고 가정되어왔음 (Marcolli et al., 2004)

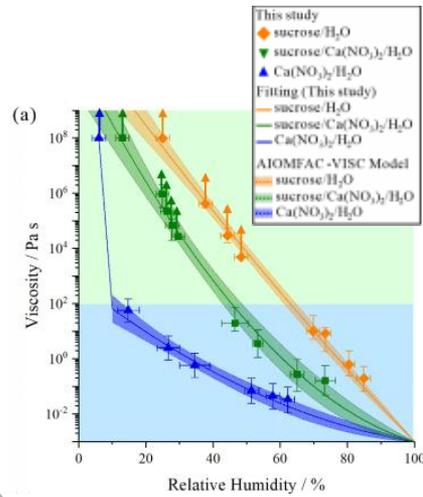


## 실험실 기반 에어로졸 연구

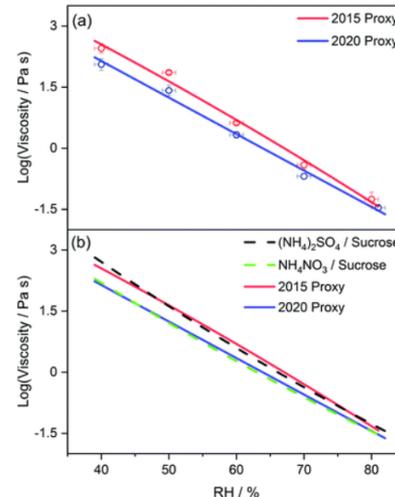
Virtanen et al., 2010, Nature



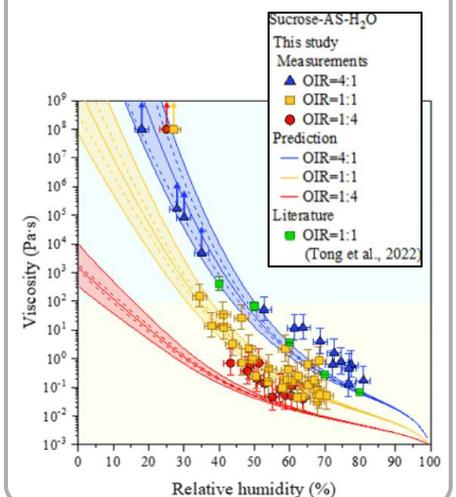
Song et al., 2019



Tong et al., 2022



Jeong et al., 2022



에어로졸이 반고체 혹은 고체 상태로 존재함이 관찰됨

# 에어로졸 물리적 상태 연구의 중요성

## 대기 중 에어로졸을 단순히 액체 상태로 가정한다면...

### ➤ 이질계 반응 속도의 과대 평가

- 이차 유기에어로졸(SOA)의  $O_3$  흡수 계수가 약 10배 과대평가 (Steimer et al., 2015)
- 유기 에어로졸의  $O_3$ ,  $NO_2$ , OH 흡수 계수가 약 2 ~ 34배 과대평가 (Li et al., 2020)
- OH 흡수 계수가 약 10배 과대평가 (Rassol et al., 2023)

### ➤ SOA의 노화 및 생성 과정의 과대 평가

- SOA 질량 수율이 50% 이상 과대 평가 (He et al., 2020)

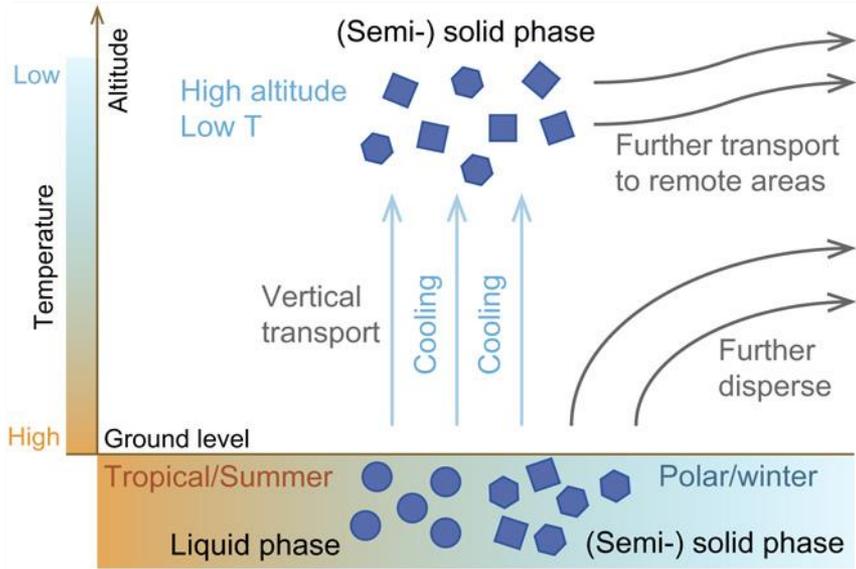
### ➤ 기존 장거리 이동 모델링의 한계

- 실제 대류권 상층 입자는 주로 반고체 혹은 고체 상태로 존재 (Schum et al., 2018; Cheng et al., 2022)

# 국외 연구 동향-유럽, 캐나다

## Max plank institute for chemistry

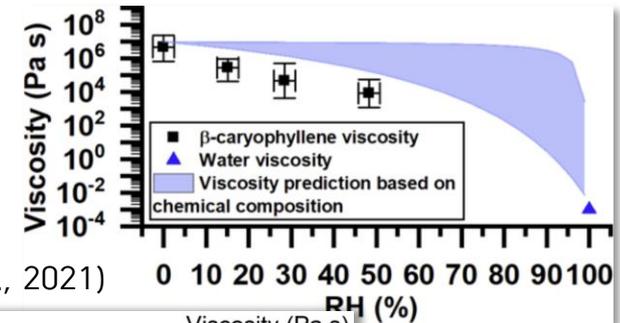
- 에어로졸의 화학 반응성에 온도 및 상대 습도의 영향이 중요함
- 유기 에어로졸은 액체에서 반고체, 여름에서 겨울, 열대에서 극지방, 고도가 높아질수록 확산 및 화학 반응 속도가 감소함



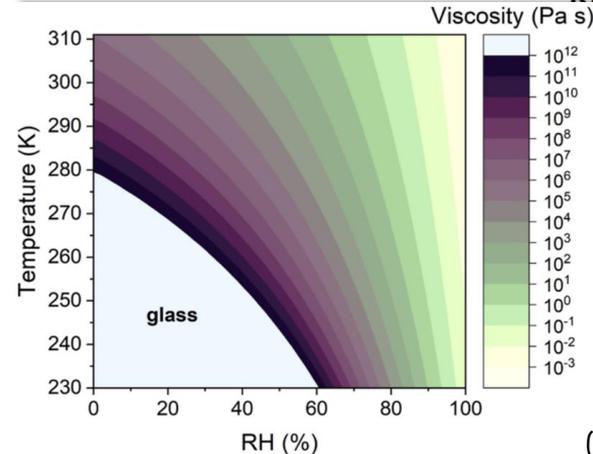
(Mu et al., 2018)

## Betram group, UBC

- 실험실 생성 이차 유기에어로졸을 이용하여 점성도를 추정하고, 모델링 결과와 비교
- 점성도가 온도변화에도 민감하게 반응하여 이차 유기에어로졸이 (반)고체 상태로도 존재할 수 있음



(Maclean et al., 2021)

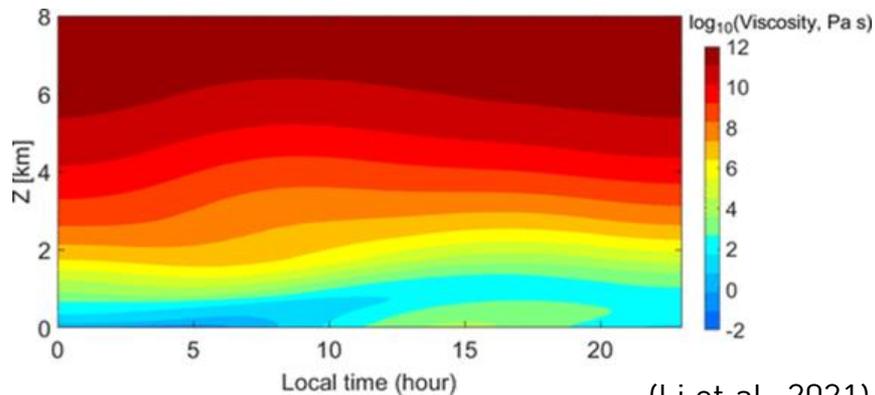
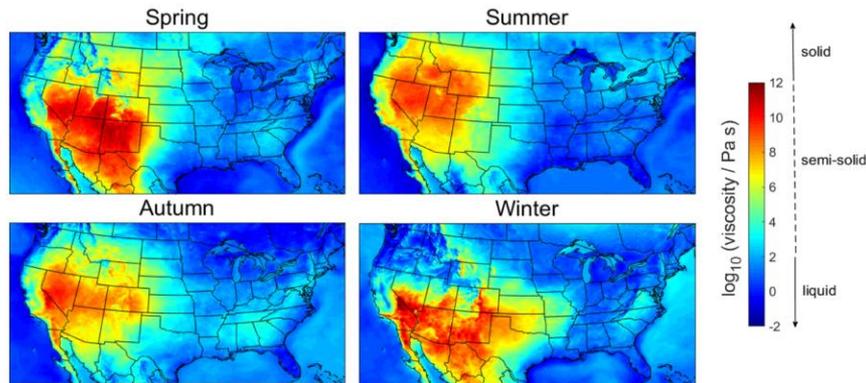


(Kiland et al., 2023)

# 국외 연구 동향-미국

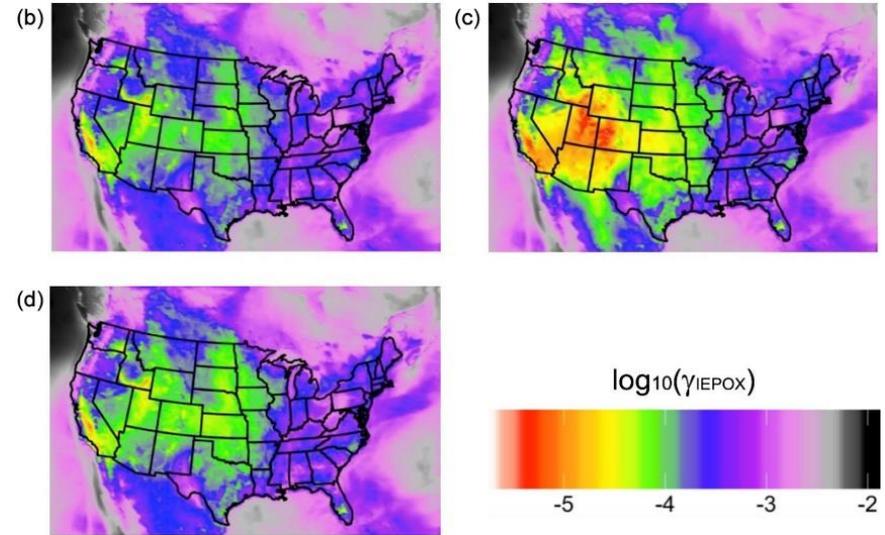
## Shiraiwa group, California Univ

- 모델링(CMAQ)을 통한 미국 대기 에어로졸의 점성도 추정 시뮬레이션 연구
- 지역, 고도 및 시간에 따른 이차 유기 에어로졸의 점성도 추정



## Vizuite group, North Carolina Univ

- 대기 중 에어로졸의 상 분리 현상이 기존 IEPOX reactive uptake를 18% 감소 시킴
- 에어로졸의 상 분리 현상이 기후 모델링에도 주요 인자임을 확인

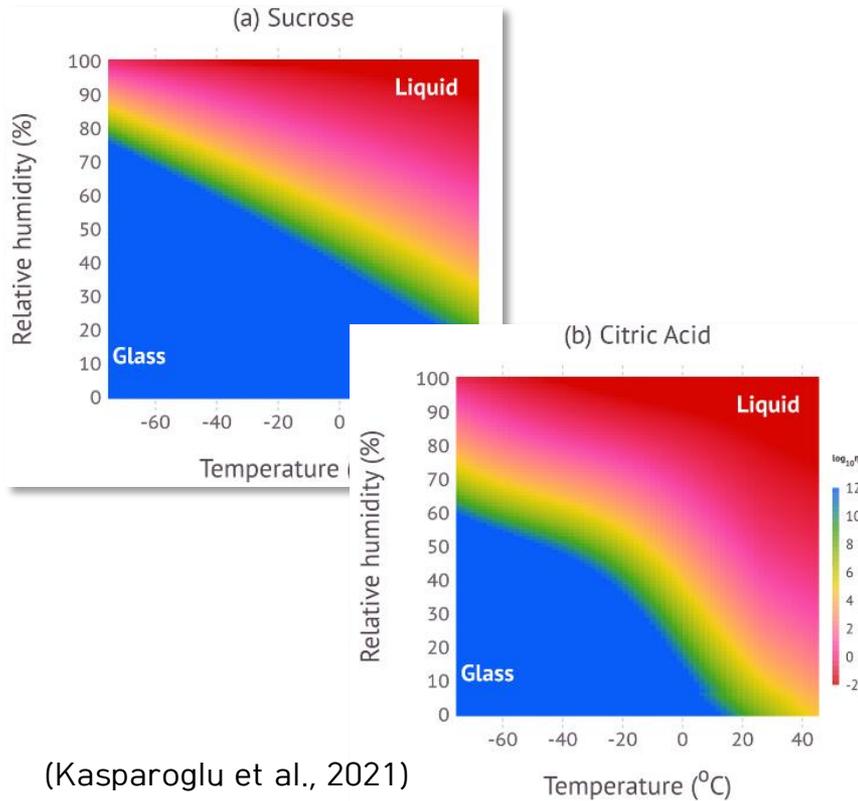


(Schmedding et al., 2020)

# 국외 연구 동향-미국

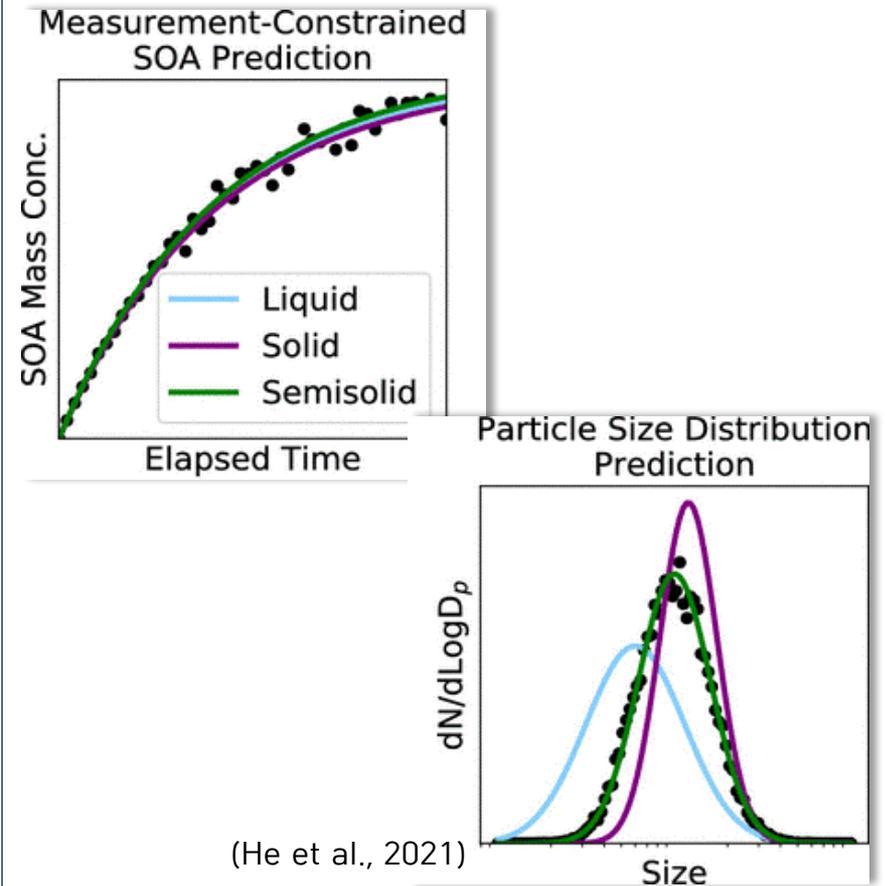
## Petter group, North Carolina Univ

- 이차 유기에어로졸의 점도를 측정하고, 모델링 결과와 비교
- 점성도는 온도 변화에도 민감하게 반응하여 (반)고체 상태로 존재할 수 있음



## Jathar group, Colorado state Univ

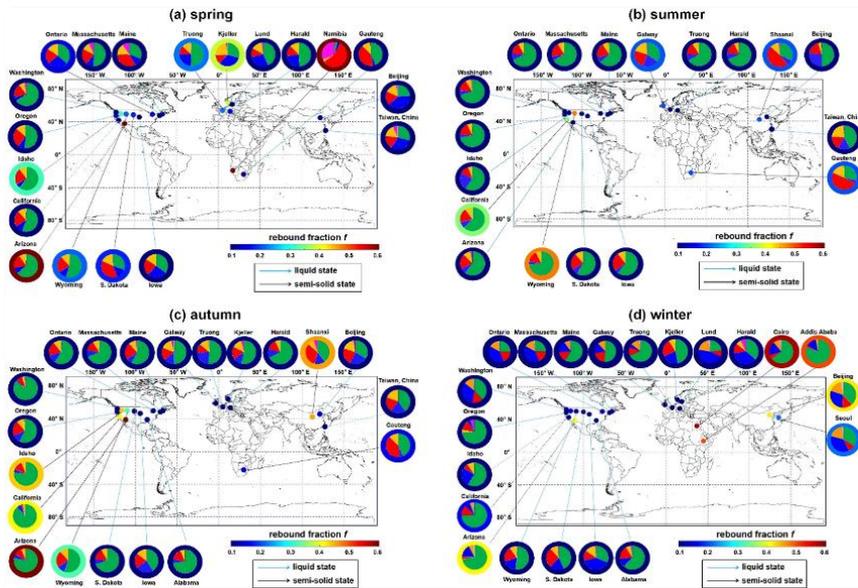
- 모델링을 통해 대기 중 이차 유기에어로졸의 상의 상태는 입자의 질량농도 및 크기 분포 변화에 영향을 줄 수 있음을 확인



# 국외 연구 동향-중국

## Wu group, Peking Univ

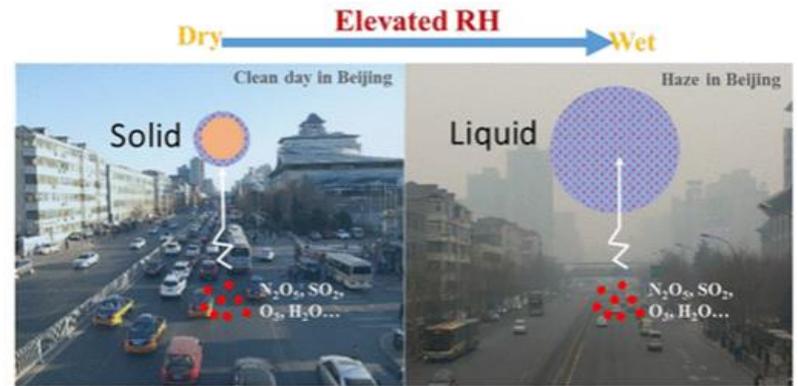
- 화학 조성 자료를 기반으로 대기 중 상의 상태를 예측하는 머신러닝 모델 개발
- 동아시아지역은 계절에 따라 액체상, 반고체상이 나타나고, 미국과 유럽은 주로 액체상으로 존재함을 확인



(Qui et al., 2023)

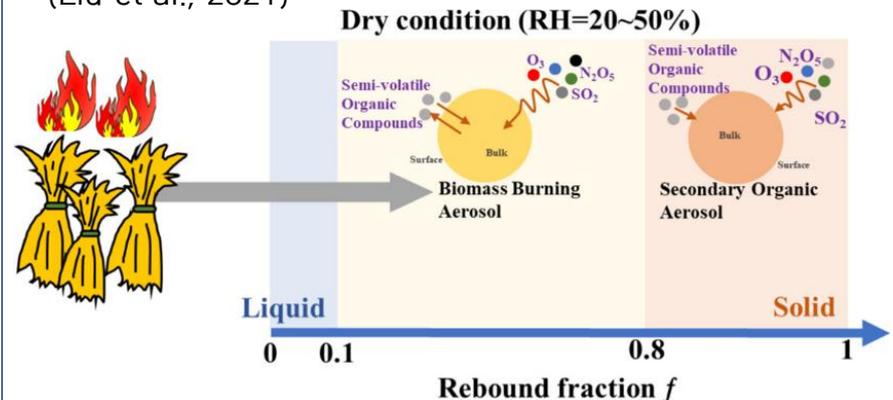
## Wu group, Peking Univ

- 실제 중국의 대기 중 에어로졸은 고농도 시, 주로 액체 상태로 존재함을 확인
- Biomass burning 발생 시, 주로 액체 상태



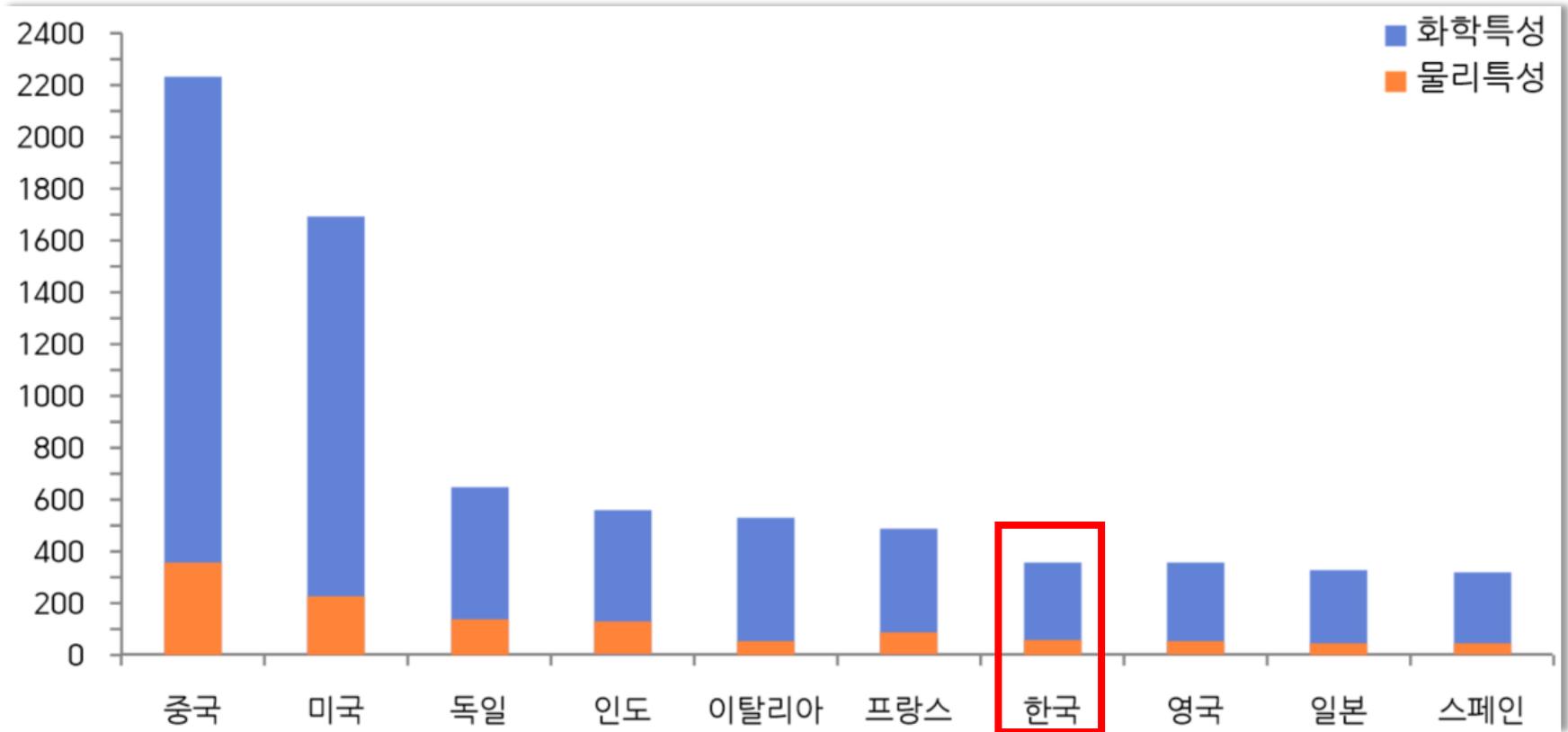
(Liu et al., 2017)

(Liu et al., 2021)



# 국내 연구 동향

<최근 10년간('12년~'22년 10월) 주요 국가별 미세먼지 특성에 관한 논문 현황>



- 국내의 경우, 에어로졸의 화학적 특성 중심 연구
- 에어로졸의 물리적 특성에 대한 연구 및 이해는 매우 낮은 수준

## 최종목표

**초미세먼지의 물리적 특성과 고농도 발생 특성 규명**

실제 대기 중 에어로졸의 점성도, 모양 등 물리적 특성 이해

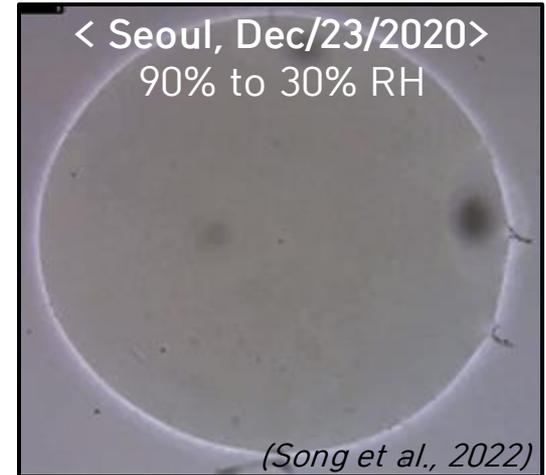
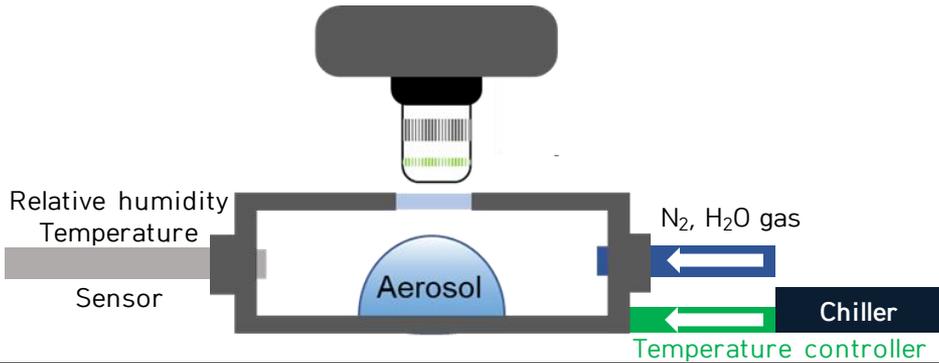
에어로졸 크기 변화에 대한 물리적 상태 역할 규명

기후변화에 따른 에어로졸 물리적 상태 변화 예측

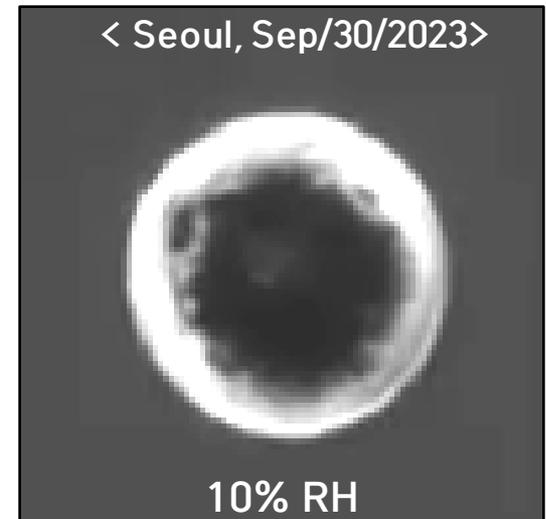
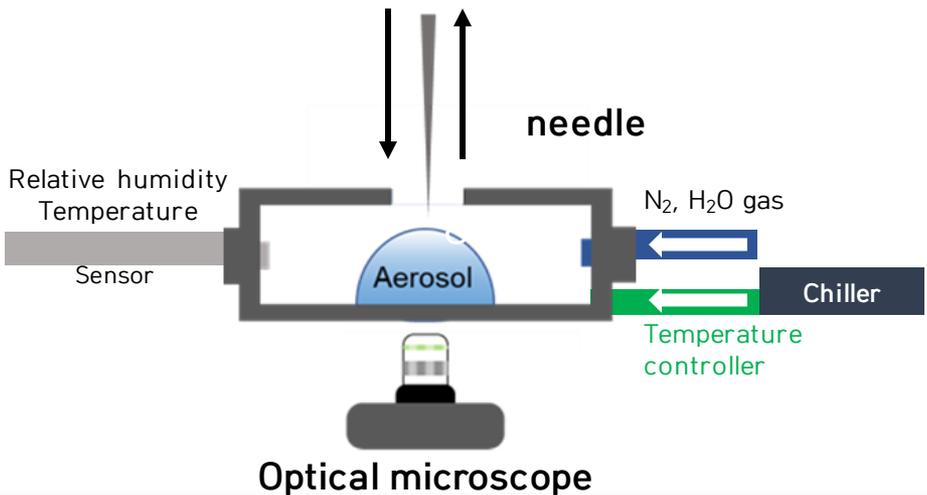
# 에어로졸 물리적 상태 분석 방법

## 광학적 관찰 기법

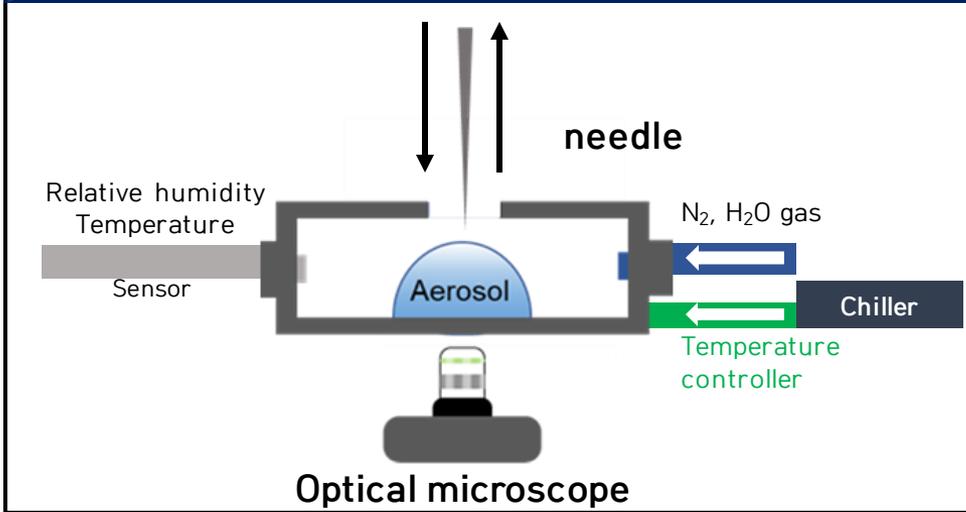
Optical microscope



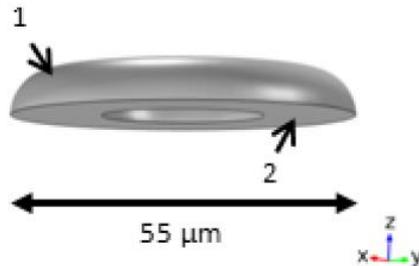
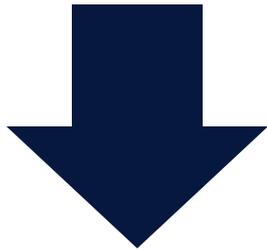
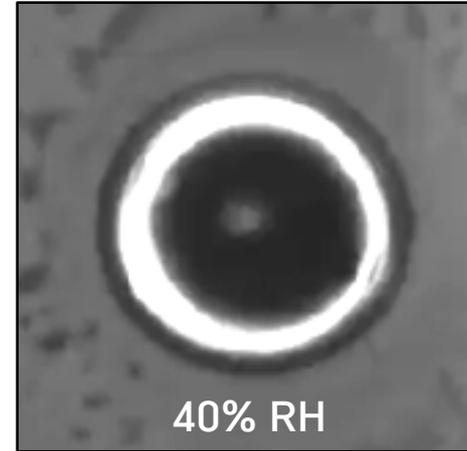
## Poke-and-flow 기법



## Poke-and-flow 기법



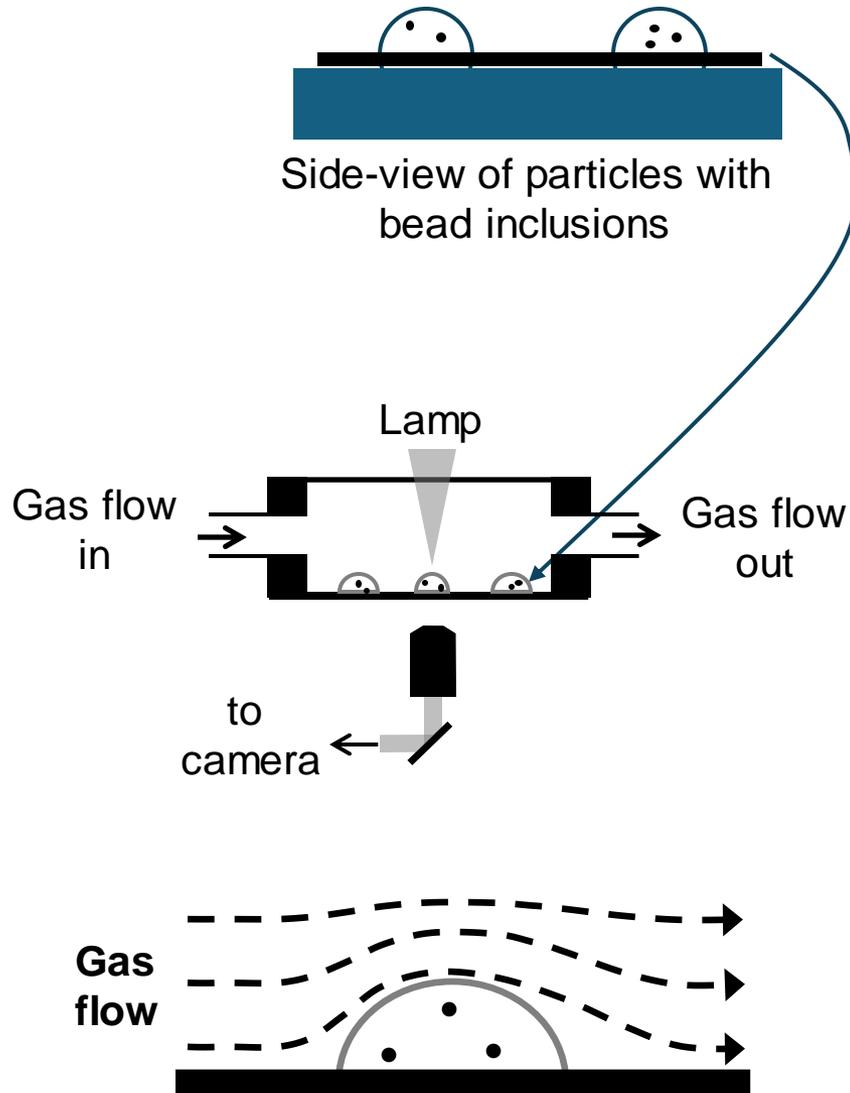
< Seoul, Sep/30/2023 >



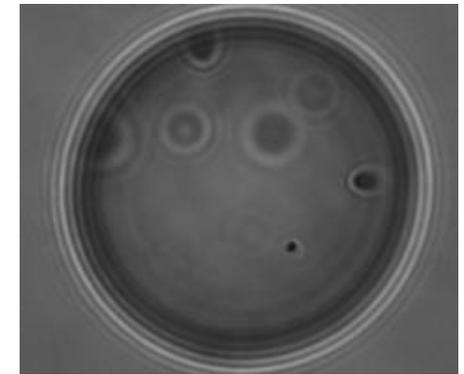
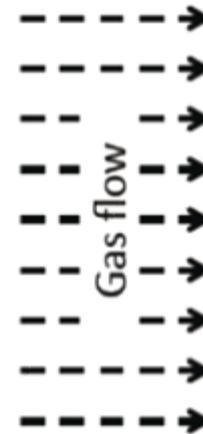
- 입자의 점성도를 추정 가능한 시물레이션
- Poke-and-flow 방법을 통해 입자의 움직임 시간을 측정 후, 모델링 인자로 이용

# 에어로졸 물리적 상태 분석 방법

## Bead-mobility Technique



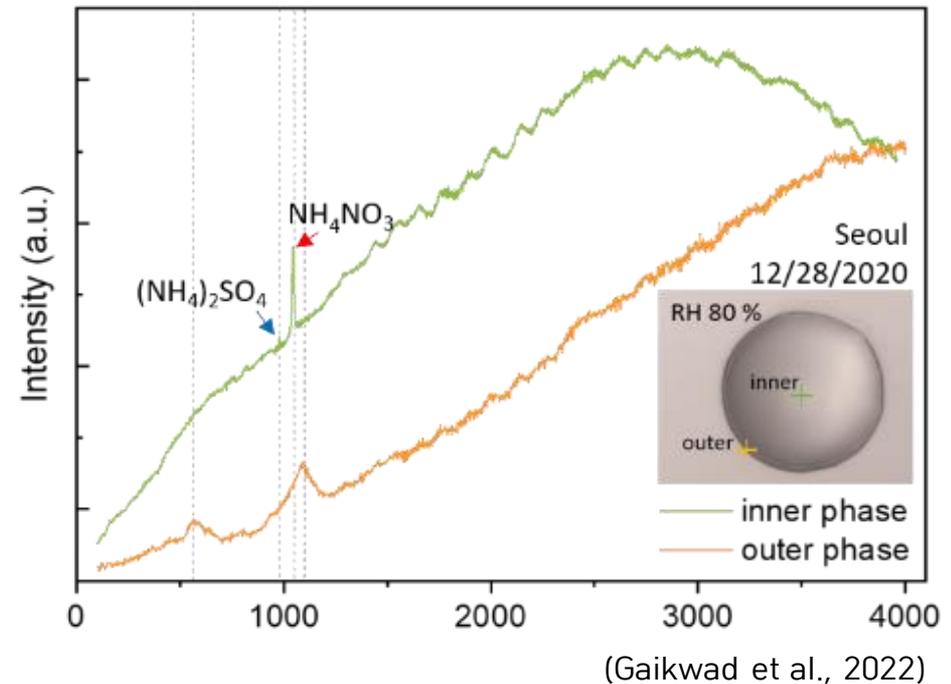
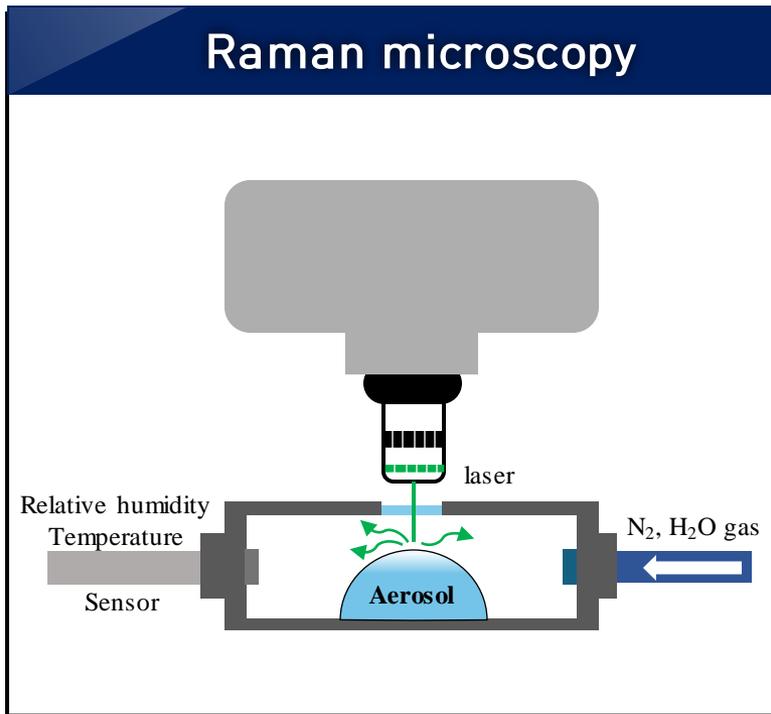
- 입자 내 bead의 속도를 측정
- Bead 속도를 이용하여 점성도 추정 가능



(Renbaum-Wolff et al., 2013a)

# 에어로졸의 화학성분 분석장비

- ▶ 미세먼지 입자 부분별 화학 조성 파악 가능



# 연구 성과 - 실험실 생성 에어로졸



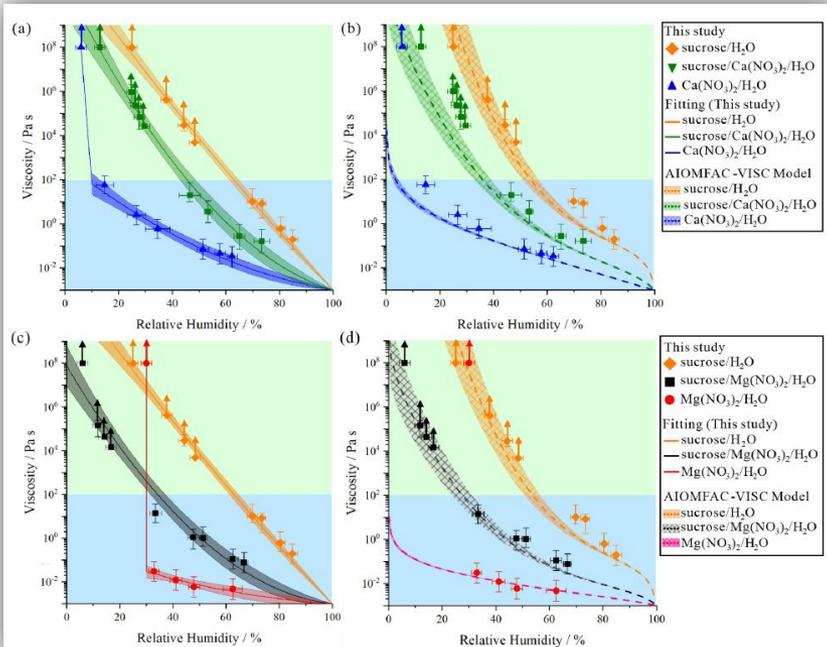
McGill  
UNIVERSITY

랩실험 결과  
(Bead mobility, Poke-and-flow)

모델링 결과  
(AIOMFAC-VISC)

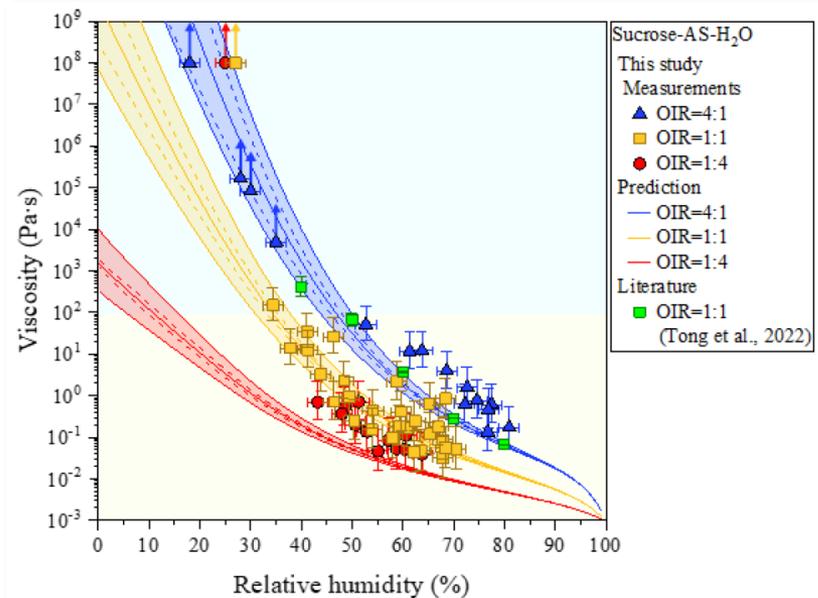
## ACP\_Song et al., 2021

- 유-무기 혼합 에어로졸의 점성도 추정



## ACP\_Jeong et al., 2021

- 유-무기 혼합 에어로졸의 점성도 추정



# 연구성과-한국과 중국 PM<sub>2.5</sub> 물리적 상태

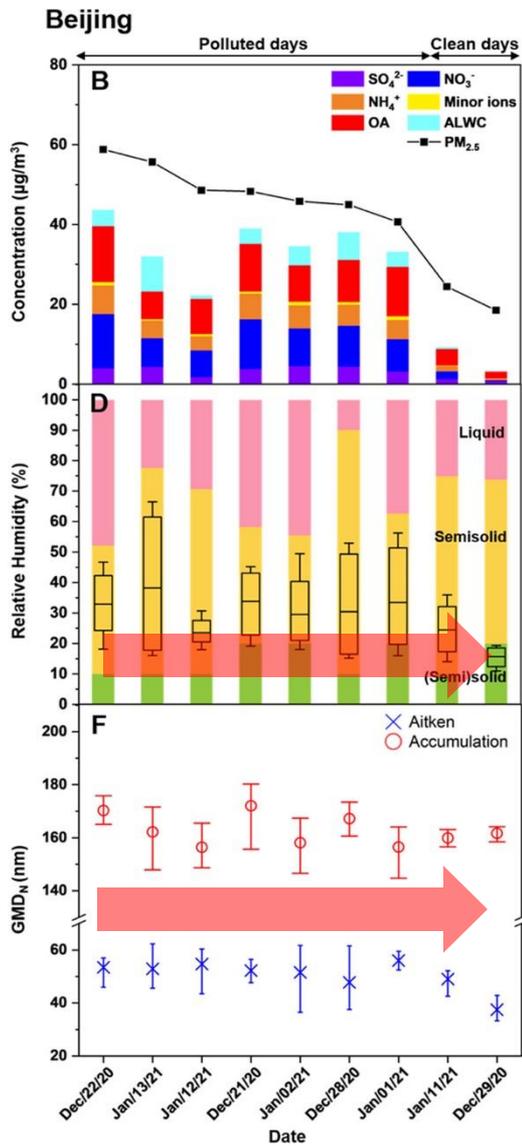
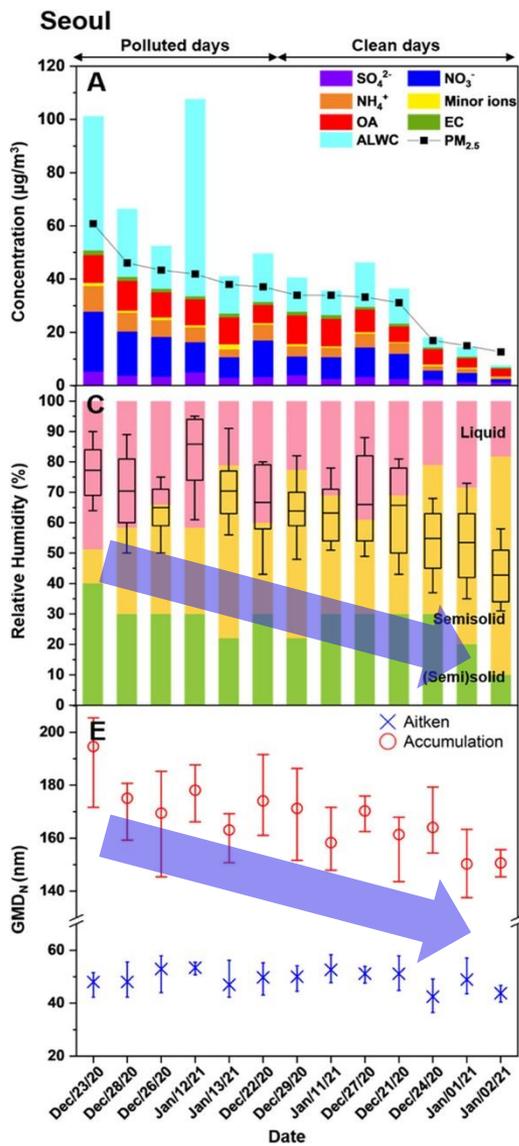
ES&T\_Song et al., 2022

## 한-중 물리적 상태 비교 결과 뚜렷한 차이가 나타남

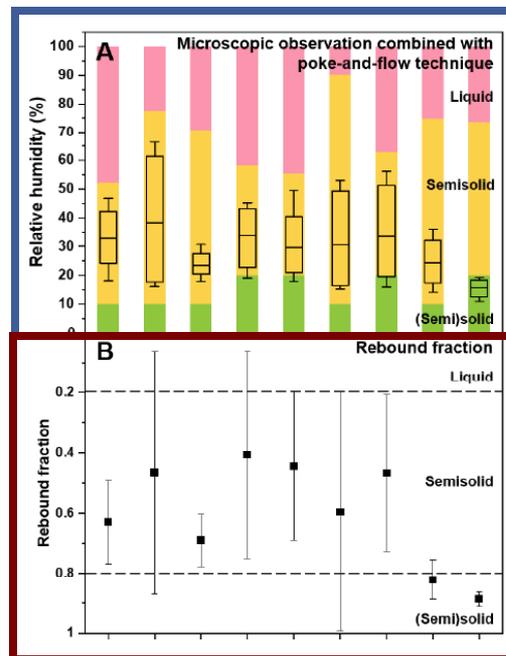
고농도에서 저농도로 갈수록

**서울:** 액체상 → 반고체상

**중국:** 반고체상 → 고체상

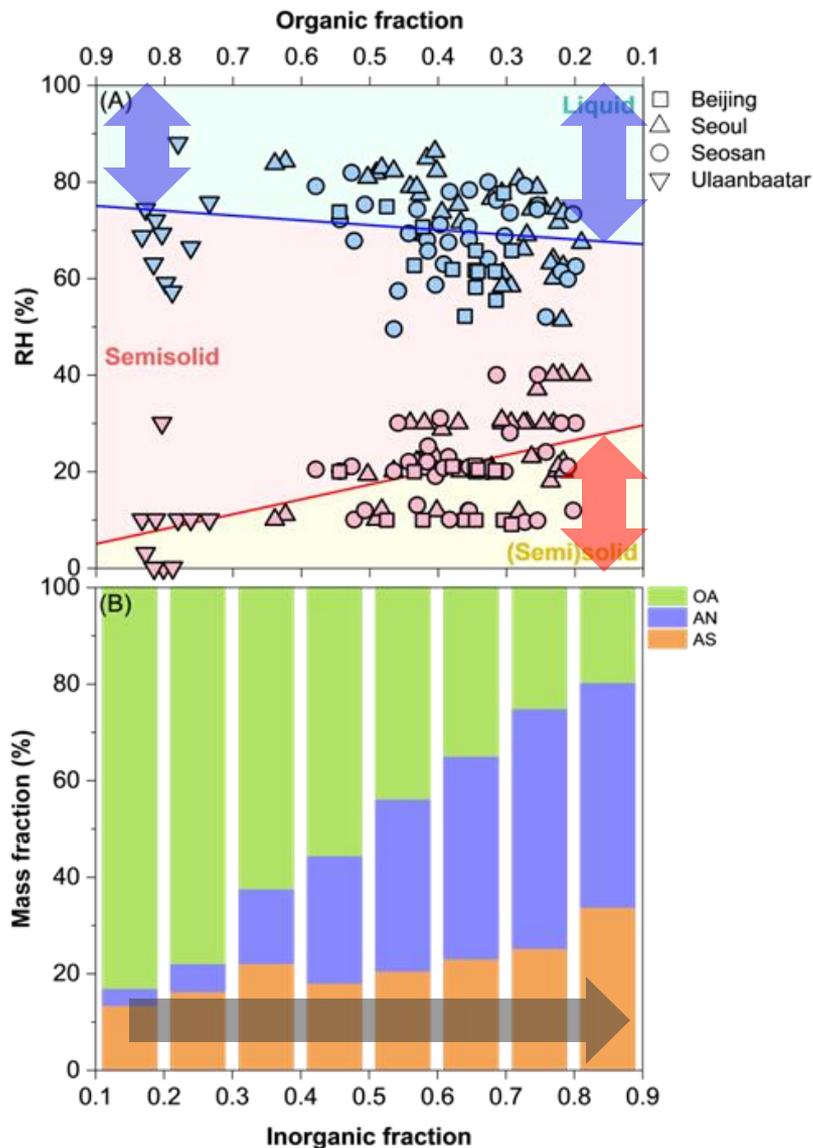


## <전북대 vs 북경대 물리적 상태 측정>



# 연구성과-동북아시아PM<sub>2.5</sub> 물리적 상태와 화학 조성

ACS\_Seong et al., 2024

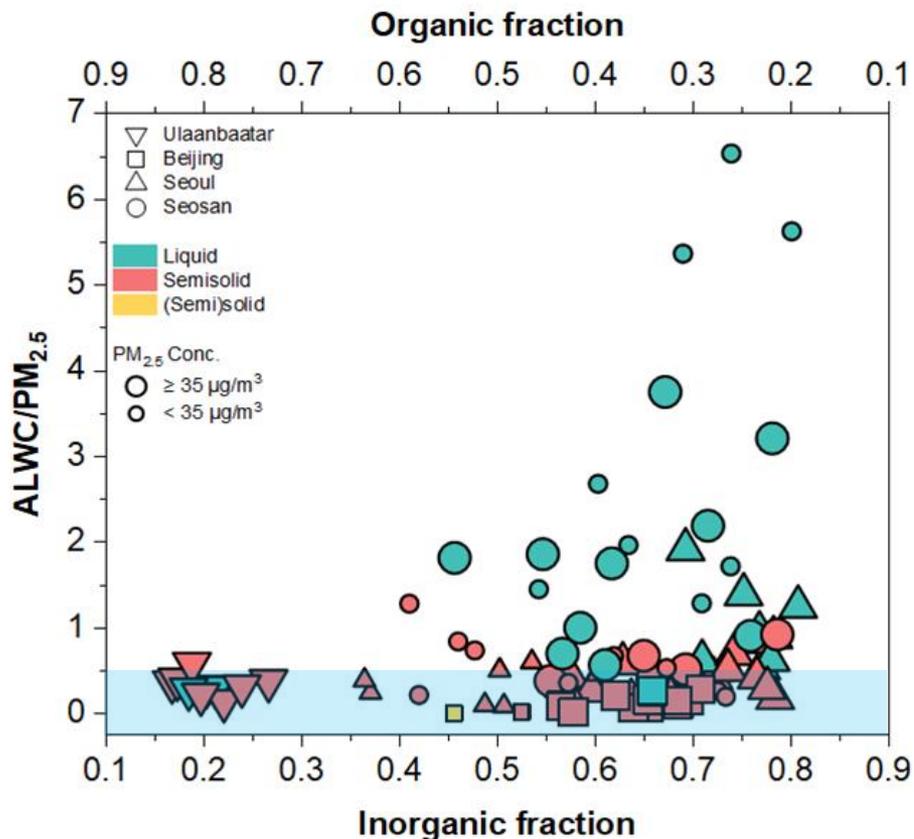


## 동북아시아(한/중/일/몽골) PM<sub>2.5</sub> 물리적 상태와 화학 조성과의 연관성 뚜렷함

- 무기 성분 비율이 증가할 수록,  
PM<sub>2.5</sub>의 액체 상태 범위 증가  
PM<sub>2.5</sub>의 고체 상태 범위 증가
- 무기염의 영향  
NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>에 의한 액화 현상  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 의한 백화 현상
- 유기물의 영향  
낮은 흡습성, 점성도

# 연구성과-동북아시아 PM<sub>2.5</sub> 물리적 상태와 화학 조성

ACS\_Seong et al., 2024



## PM<sub>2.5</sub> 내 수분함량과 물리적 상태와의 연관성

➤ 액체상: PM<sub>2.5</sub> 수분함량 ≥ ~50%

고체상: PM<sub>2.5</sub> 수분함량 < ~50%

➤ PM<sub>2.5</sub>의 입자 성장과정이 다를 수 있음을 제시함

액체 PM<sub>2.5</sub>: 흡수반응

고체 PM<sub>2.5</sub>: 흡착반응

- Amgalan Natsagdorj:  
National University of Mongolia



- Atsushi Matsuki, Ning Tang:  
Kanazawa University



- Rongshuang Xu, Man Nin Chan:  
The Chinese University of Hong Kong



- Yanting Qiu, Xiangxinyue Meng, Zhijun Wu:  
Peking University



- Ariana G. Be, Franz M. Geiger, Regan J. Thomson:  
**Northwestern University**



Northwestern  
University

- Andreas Zuend:  
**McGill University**



McGill  
UNIVERSITY

- Allan K. Bertram:  
**University of British Columbia**



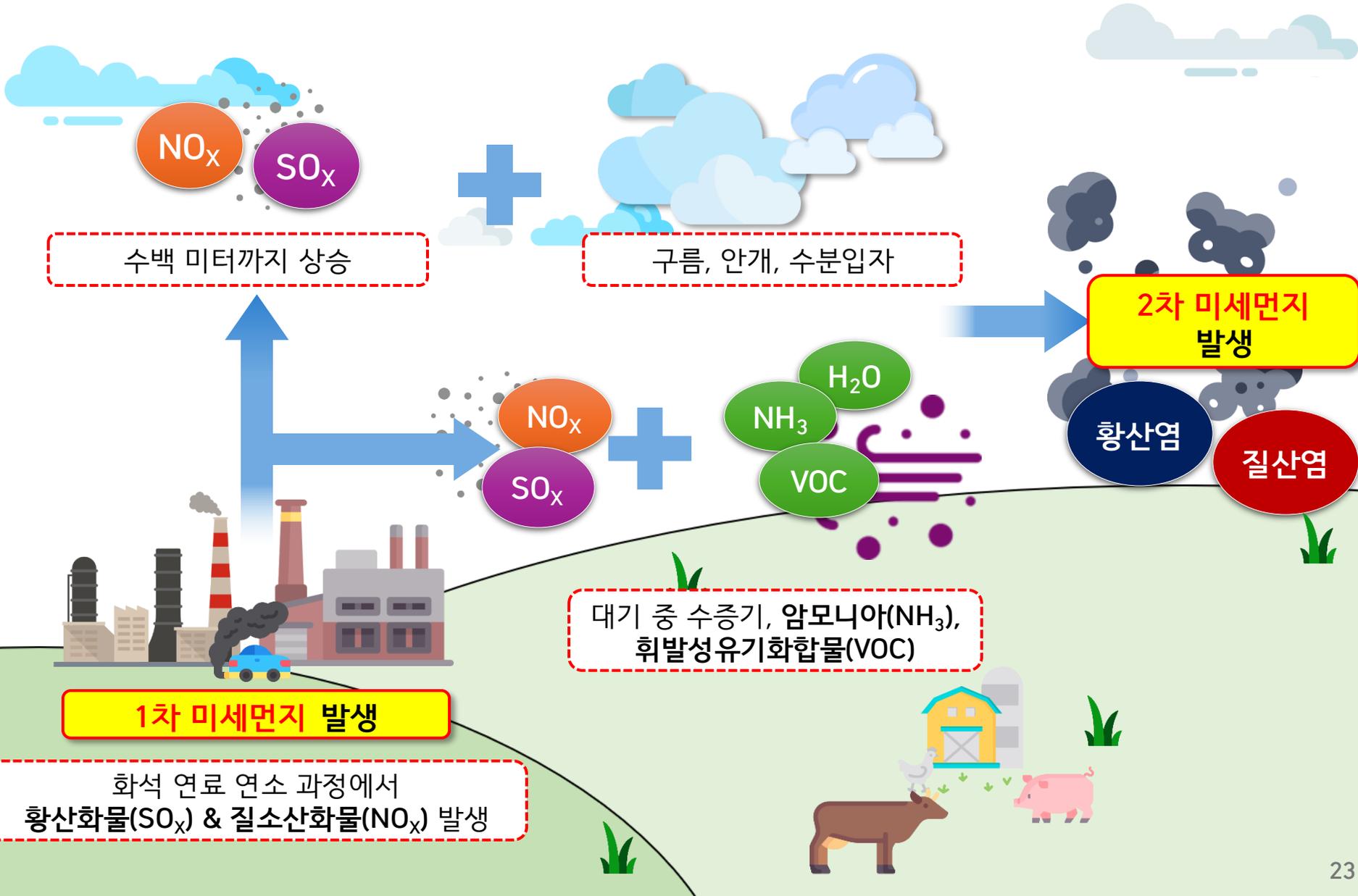
THE UNIVERSITY  
OF BRITISH COLUMBIA

- Scot T. Martin:  
**Havard University**

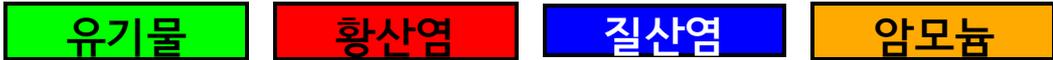
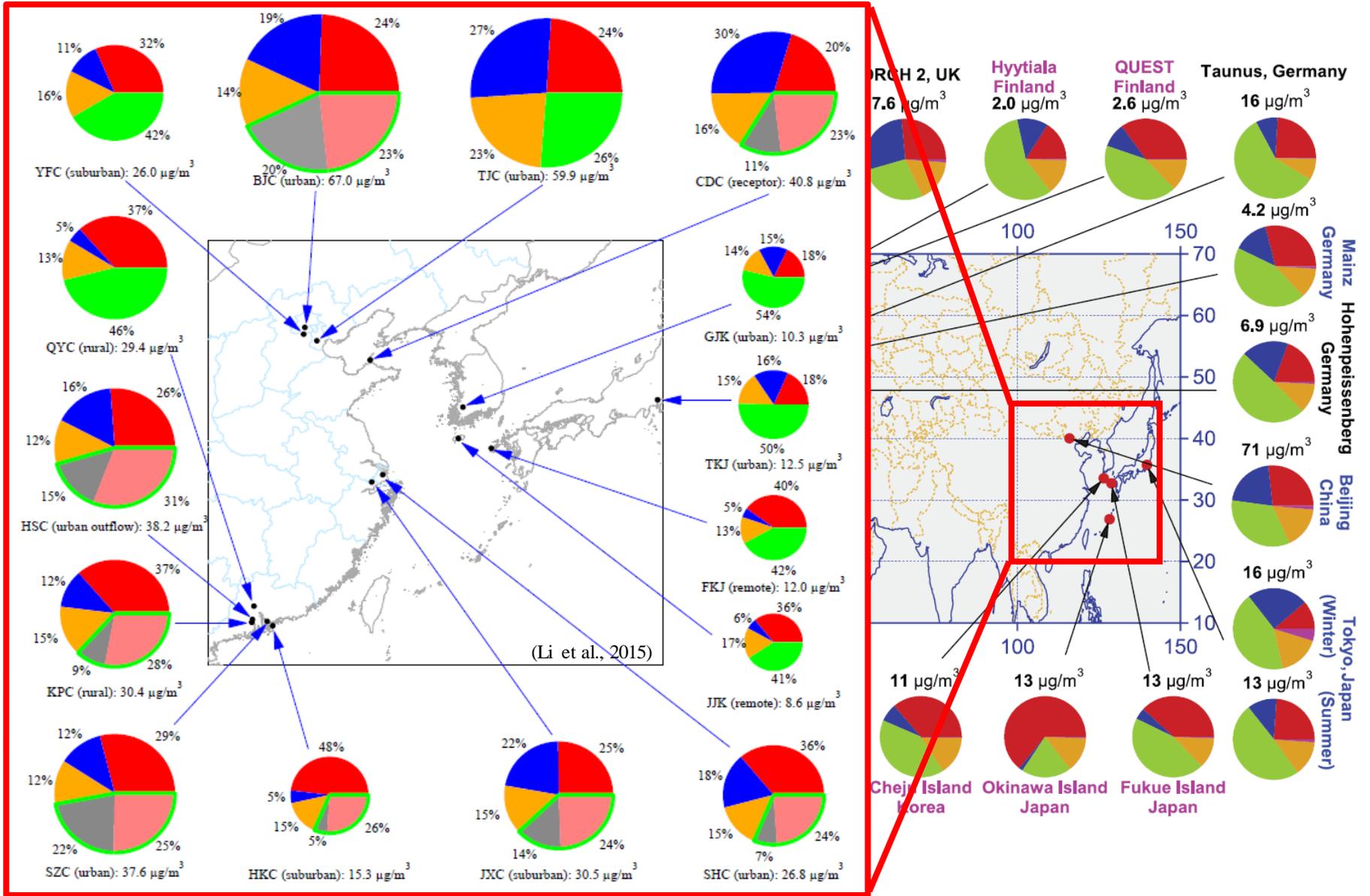


HARVARD  
UNIVERSITY

# 미세먼지의 발생

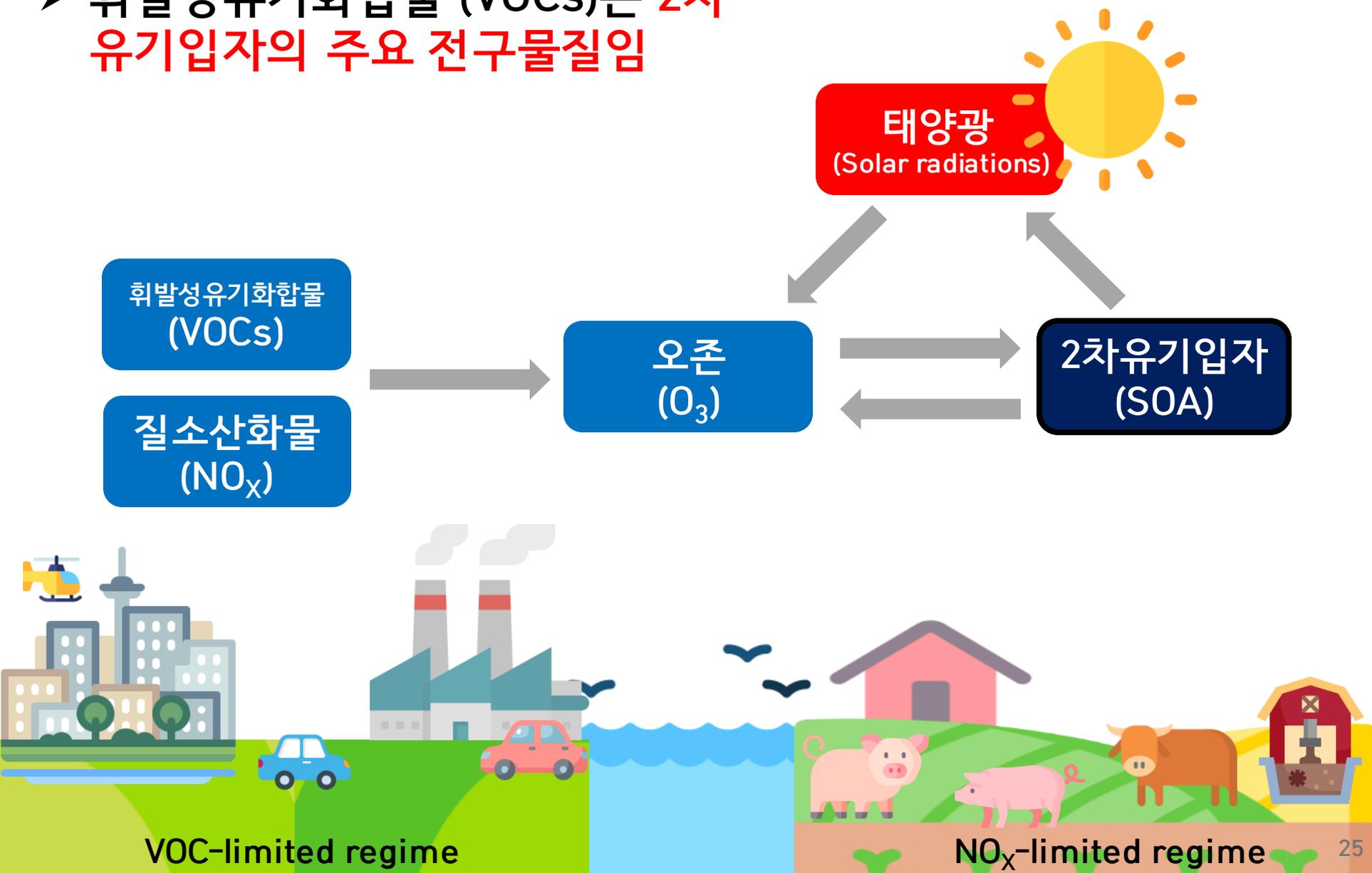


# 미세먼지의 화학조성

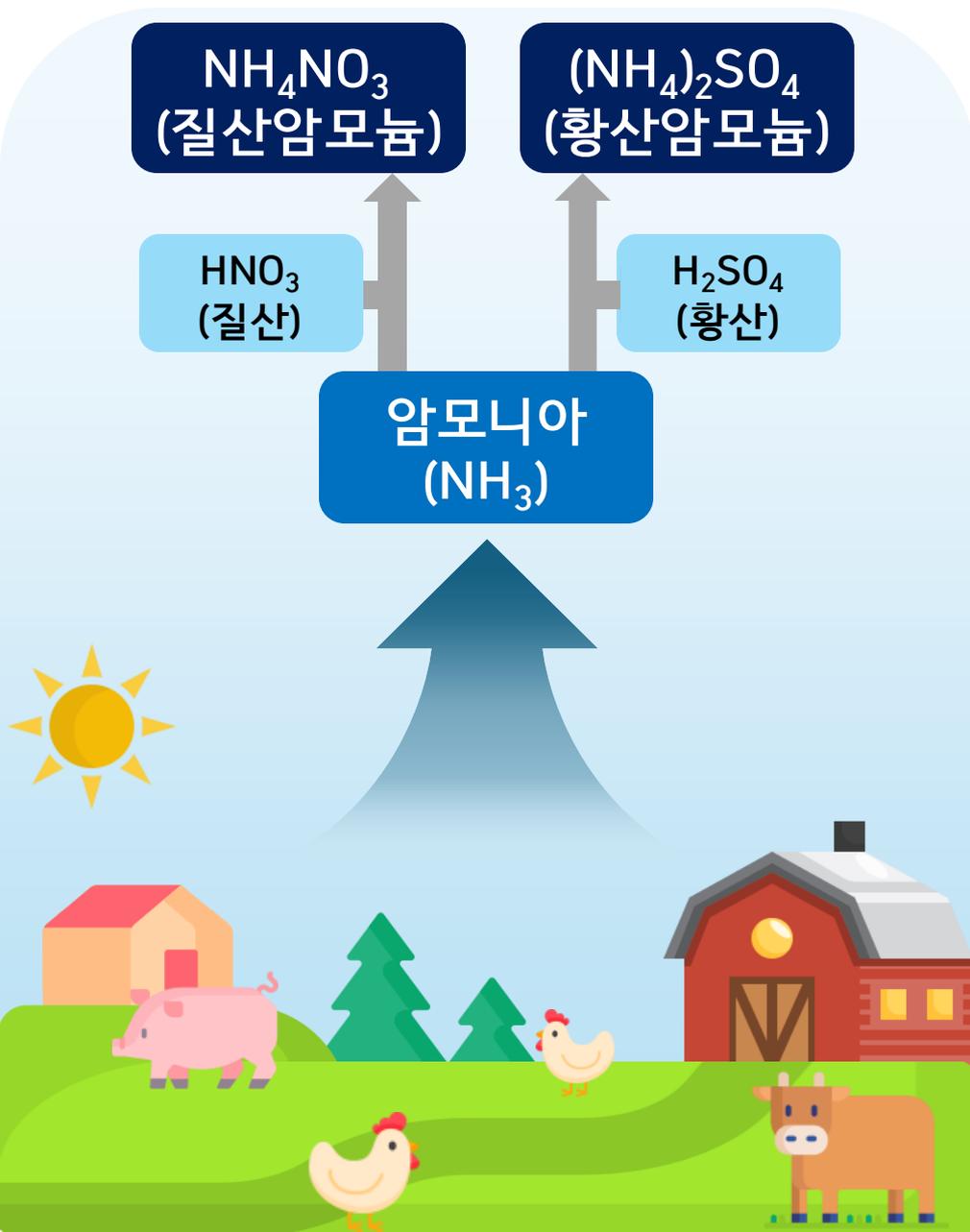


# 미세먼지의 전구물질: VOCs

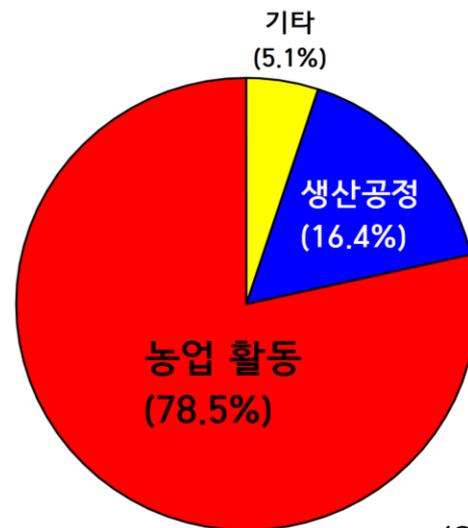
- 휘발성유기화합물 (VOCs)은 2차 유기입자의 주요 전구물질임



# 미세먼지의 전구물질: $\text{NH}_3$



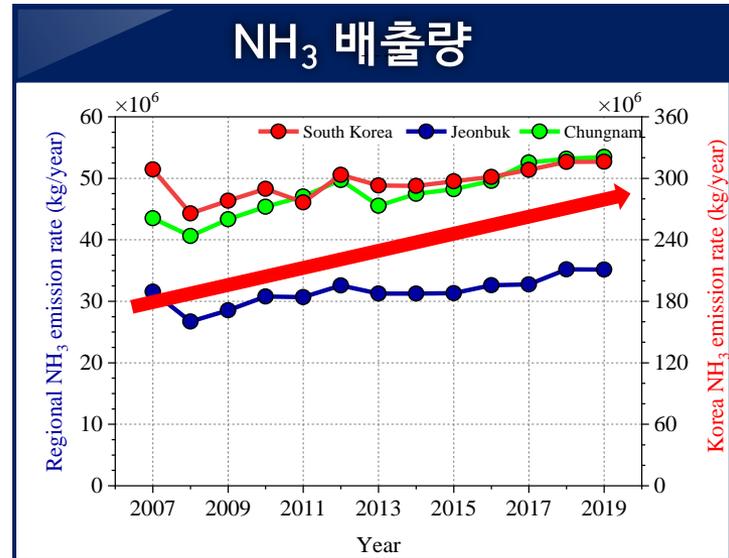
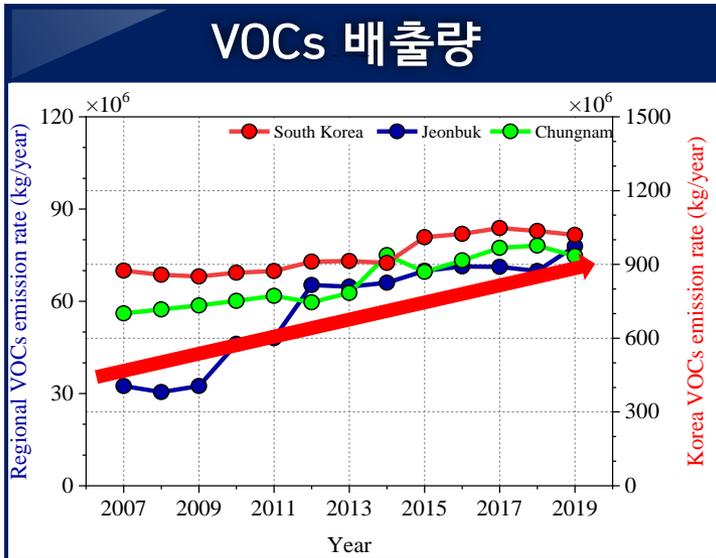
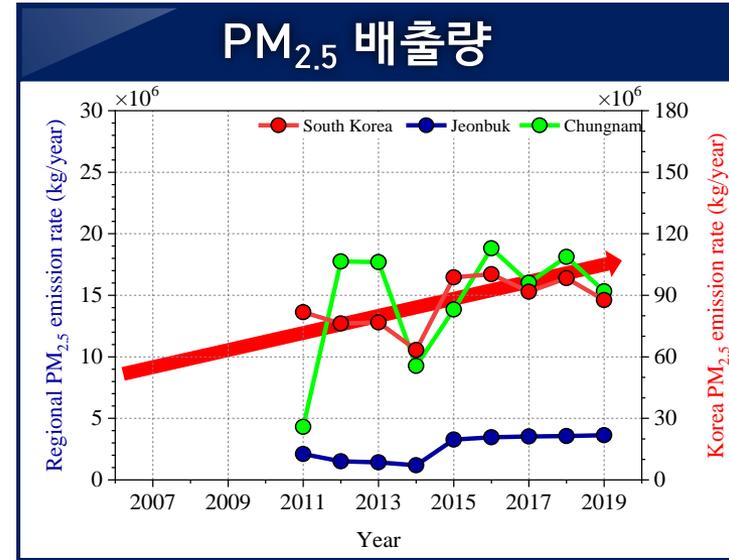
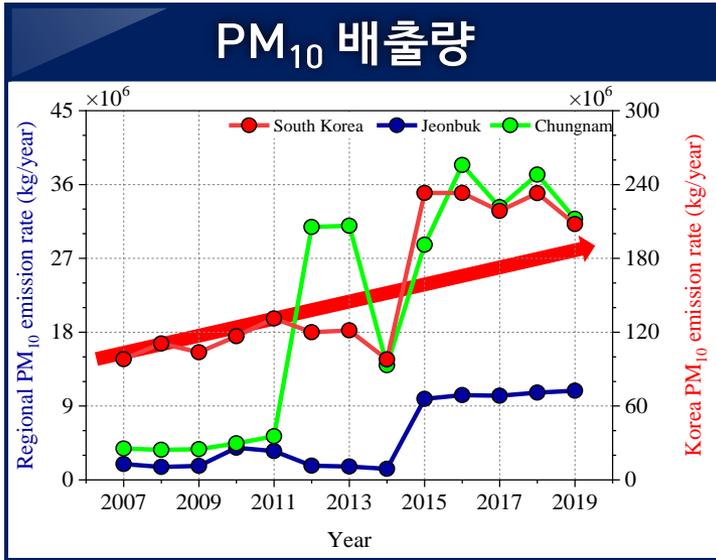
## 국내 암모니아 배출량



(CAPSS, 2021)

- 암모니아 ( $\text{NH}_3$ )는  $\text{HNO}_3$ 와  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 를 중화하여 2차 무기입자를 형성함!
- 국내 암모니아 배출의 80%는 농업에서 기인

# 미세먼지의 전구물질: 배출량



➤ 국내 PM, VOCs, NH<sub>3</sub>의 배출량은 꾸준히 증가 추세를 보임, 관리 필요

# 대기환경연구실 장비 소개

## 실시간 미세먼지 측정기

### BAM-1020



- 측정 항목
  - PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>
- 측정 주기
  - 1시간 간격

### MARGA



- 측정 항목
  - PM<sub>2.5</sub> ions, HNO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HONO
- 측정 주기
  - 1시간 간격

## 수동 미세먼지 측정기

### 하이볼륨에어샘플러



### 로우볼륨에어샘플러



- 측정 항목
  - PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>
- 측정 주기
  - 1일 간격

# 대기환경연구실 장비 소개

## 실시간 전구가스 측정기

### Serinus 40



- 측정 항목
  - NO, NO<sub>2</sub> (NO<sub>x</sub>)
- 측정 주기
  - 1분 간격

### iQ Series 49



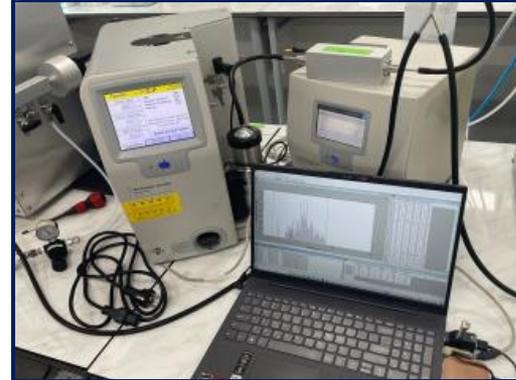
- 측정 항목
  - O<sub>3</sub>
- 측정 주기
  - 1분 간격

### GC 955 MS



- 측정 항목
  - VOCs 전체 32종
- 측정 주기
  - 30분 간격

### Nano SMPS



- 측정 항목
  - 미세먼지 입자 수농도 (Diameter)

# 대기환경연구실 장비 소개

## 실시간 암모니아 측정기



- 측정 항목
  - $\text{NH}_3$
- 측정 주기
  - 1초 간격

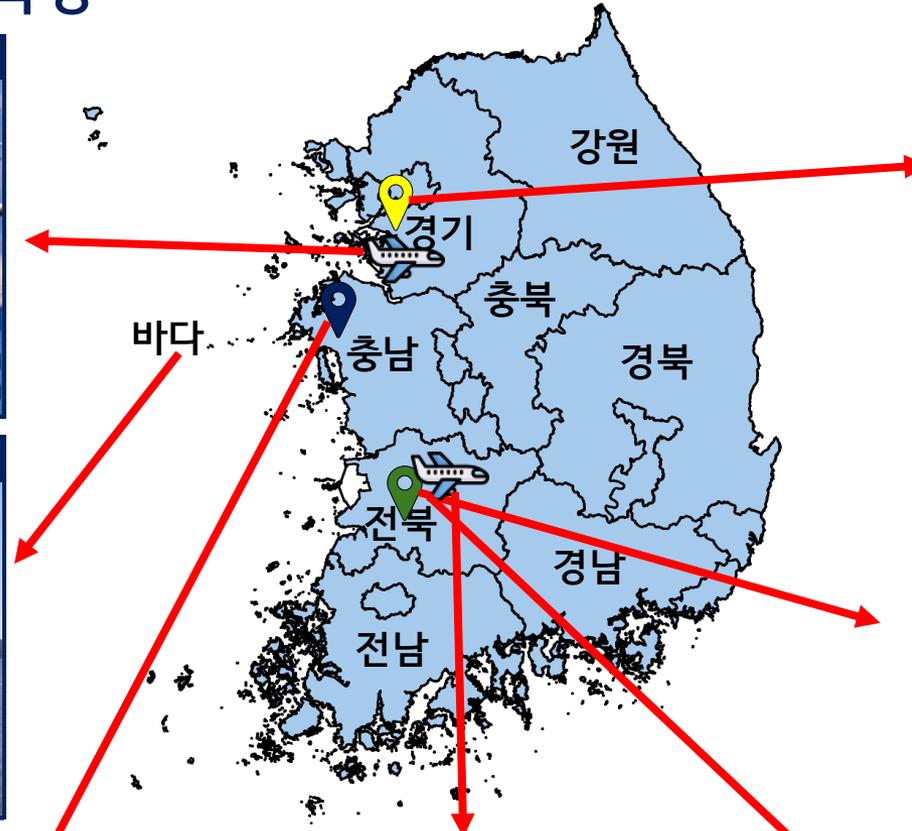
## 수동 암모니아 측정기



- 측정 항목
  - $\text{NH}_3$
- 측정 주기
  - 1일 간격

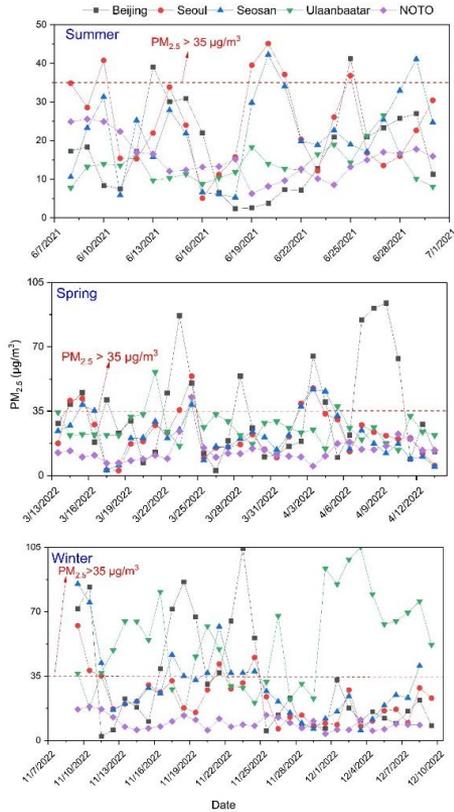
# 현장 측정 진행

## 전국 사이트 현장 측정

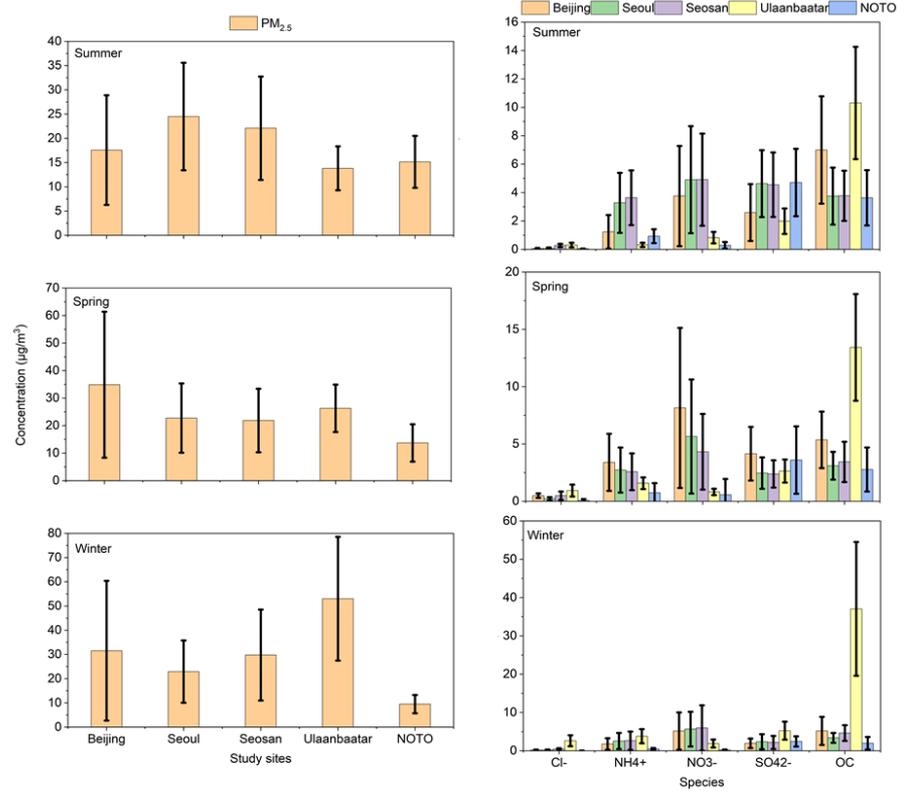


# 연구성과-동북아시아미세먼지 성분 분포

## 동북아 PM<sub>2.5</sub> 농도 분포



## 동북아 PM<sub>2.5</sub> 구성 성분

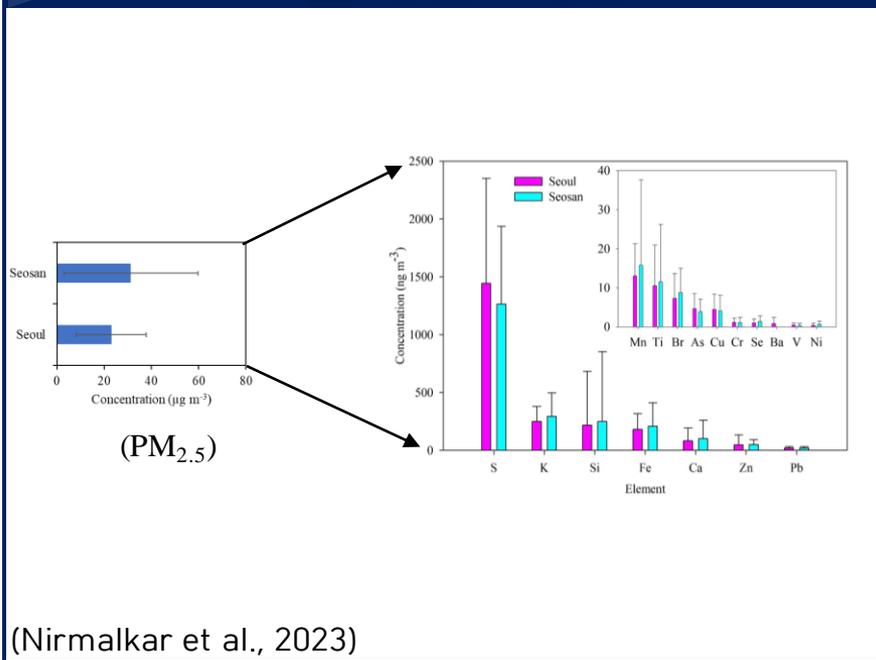


➤ 동북아시아 PM<sub>2.5</sub>: 베이징 > 울란바토르 > 서산 > 서울 > 노토

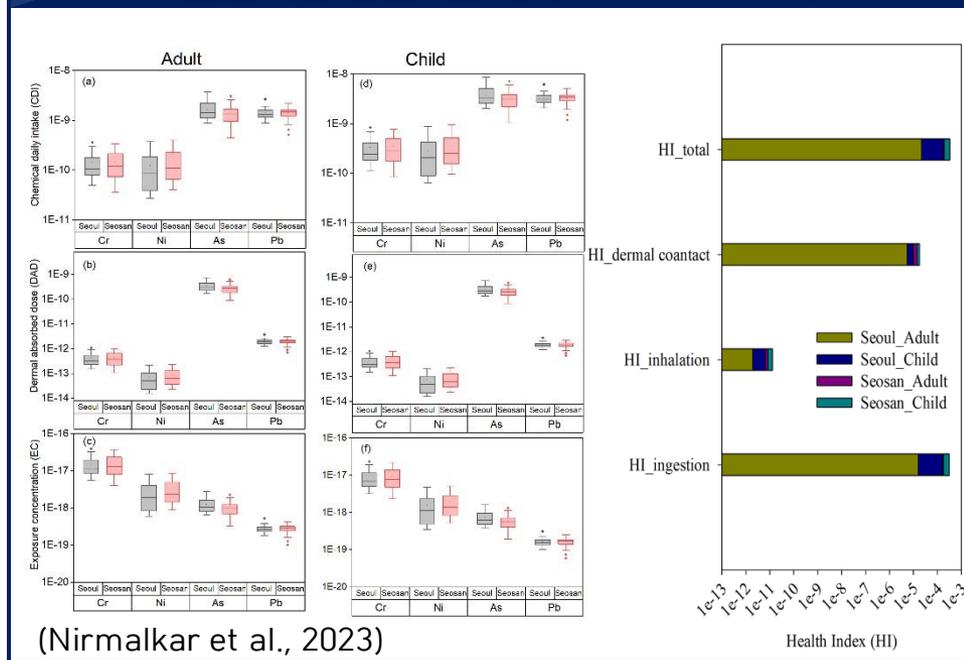
➤ 유기 에어로졸, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 PM<sub>2.5</sub> 주요 성분으로 나타남

# 연구성과-PM<sub>2.5</sub> 인체 건강위해성 평가

## PM<sub>2.5</sub> 내 원소 성분



## 건강 위해성 평가 (Health risk)

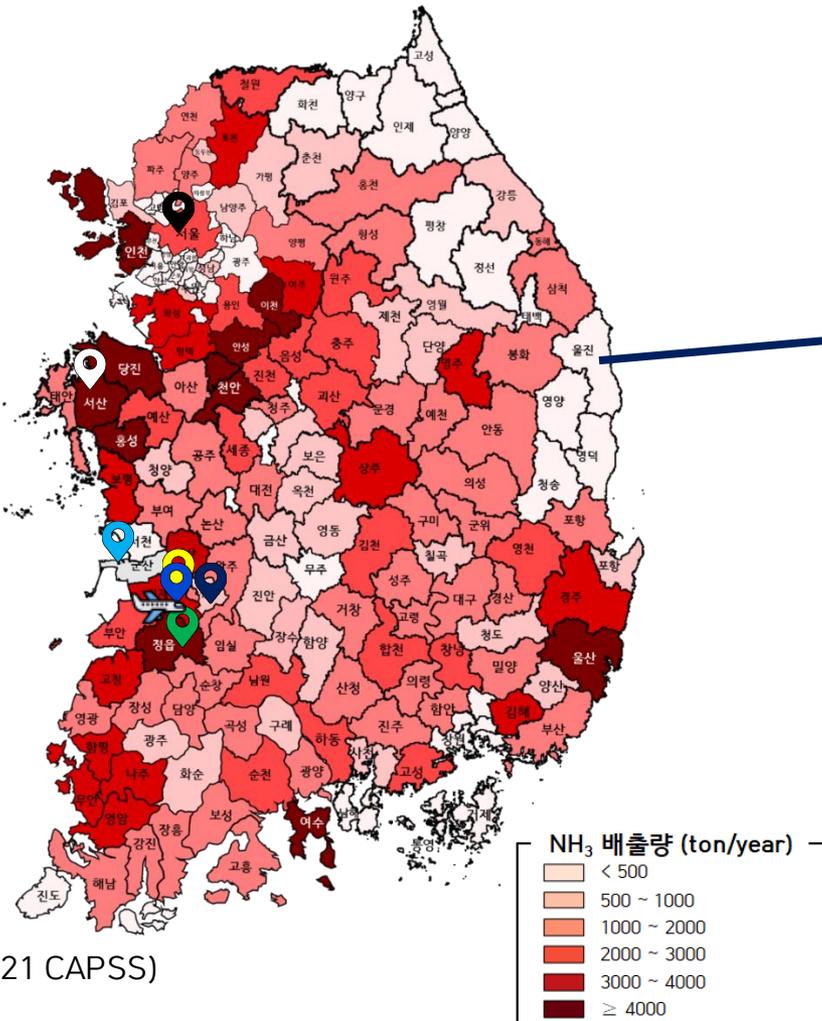


➤ 서울, 서산 중금속: S > K > Si > Fe > Ca > Zn > Pb

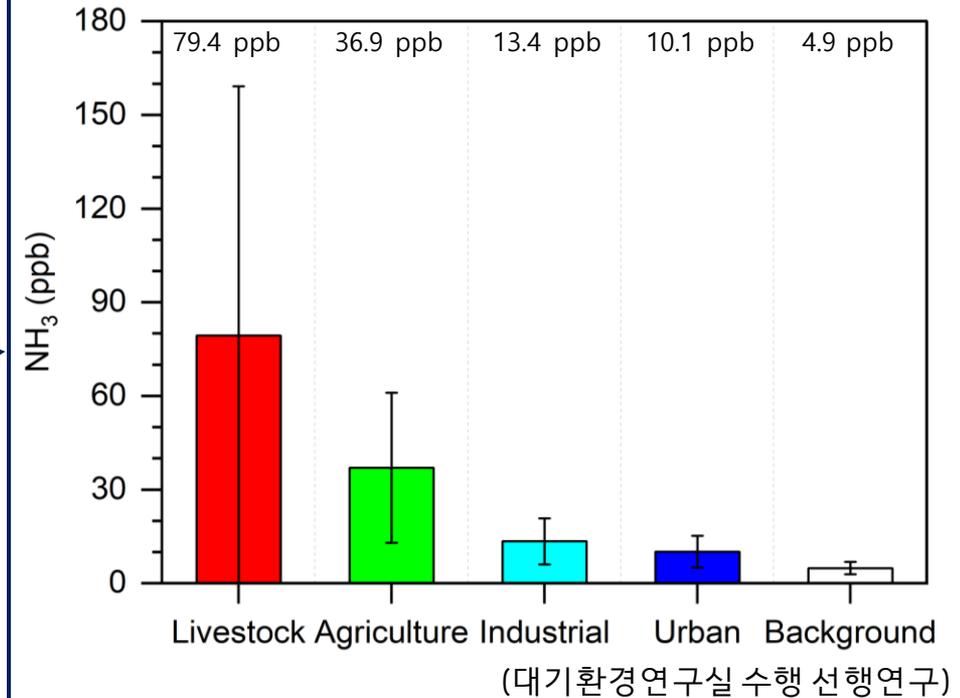
➤ 동북아 지역 중금속 성분의 암 유발 가능성은 낮음

# 연구성과-배출원별 암모니아 농도 분포

## 전국 암모니아 배출량 분포



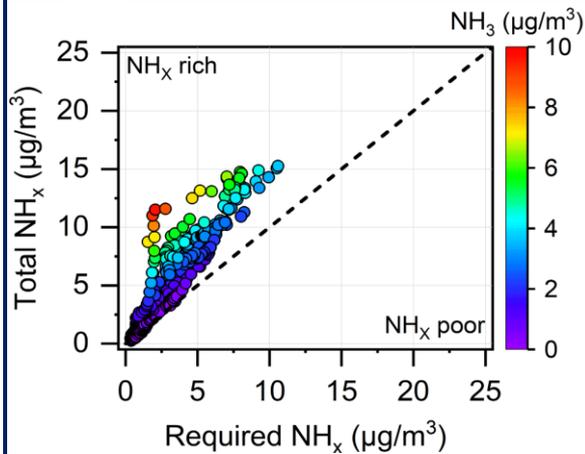
## 배출원별 암모니아 농도 분포



- 다양한 배출원에서 암모니아 모니터링 진행
- 농축산지역에서 고농도 암모니아 관측

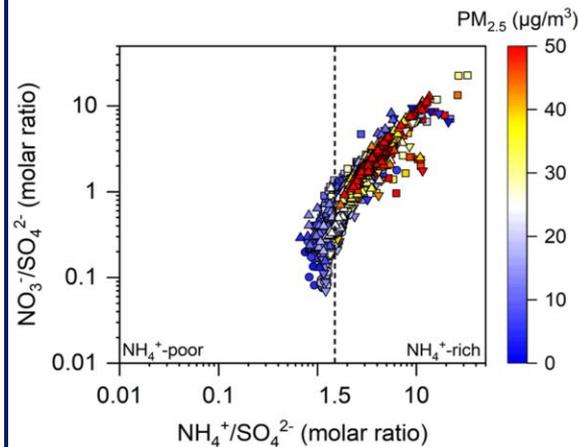
# 연구성과-암모니아의 PM<sub>2.5</sub> 기여

## 서울 도심 NH<sub>3</sub> 과잉 분석



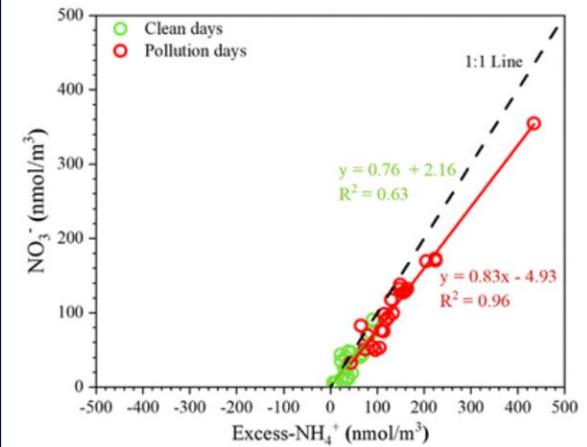
(Ha et al. (2023) 자료 재정리)

## 서산 농경지 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 과잉 분석



(Choi et al., in preparation)

## 김제 축산지역 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 생성 분석

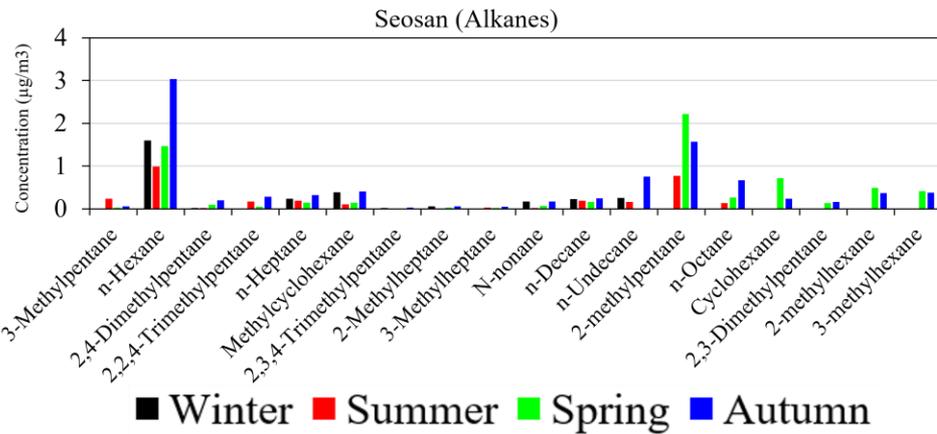
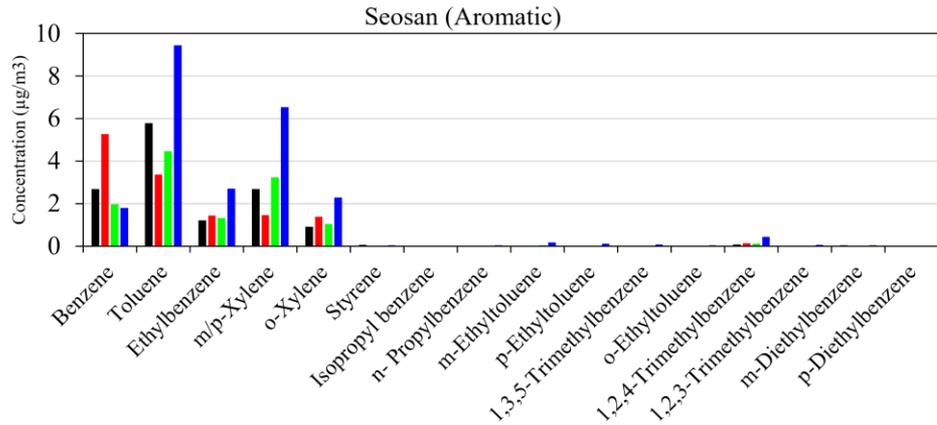


(Kim et al., 2023)

- 도심, 농경지, 축산지역: NH<sub>3</sub> 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 농도 과잉상태
- 과잉상태의 NH<sub>3</sub>는 PM<sub>2.5</sub> 농도 상승에 기여!

# 연구성과-농경지 지역 VOCs 현장 측정

## 서산시 계절별 VOCs 농도 분포



■ Winter ■ Summer ■ Spring ■ Autumn

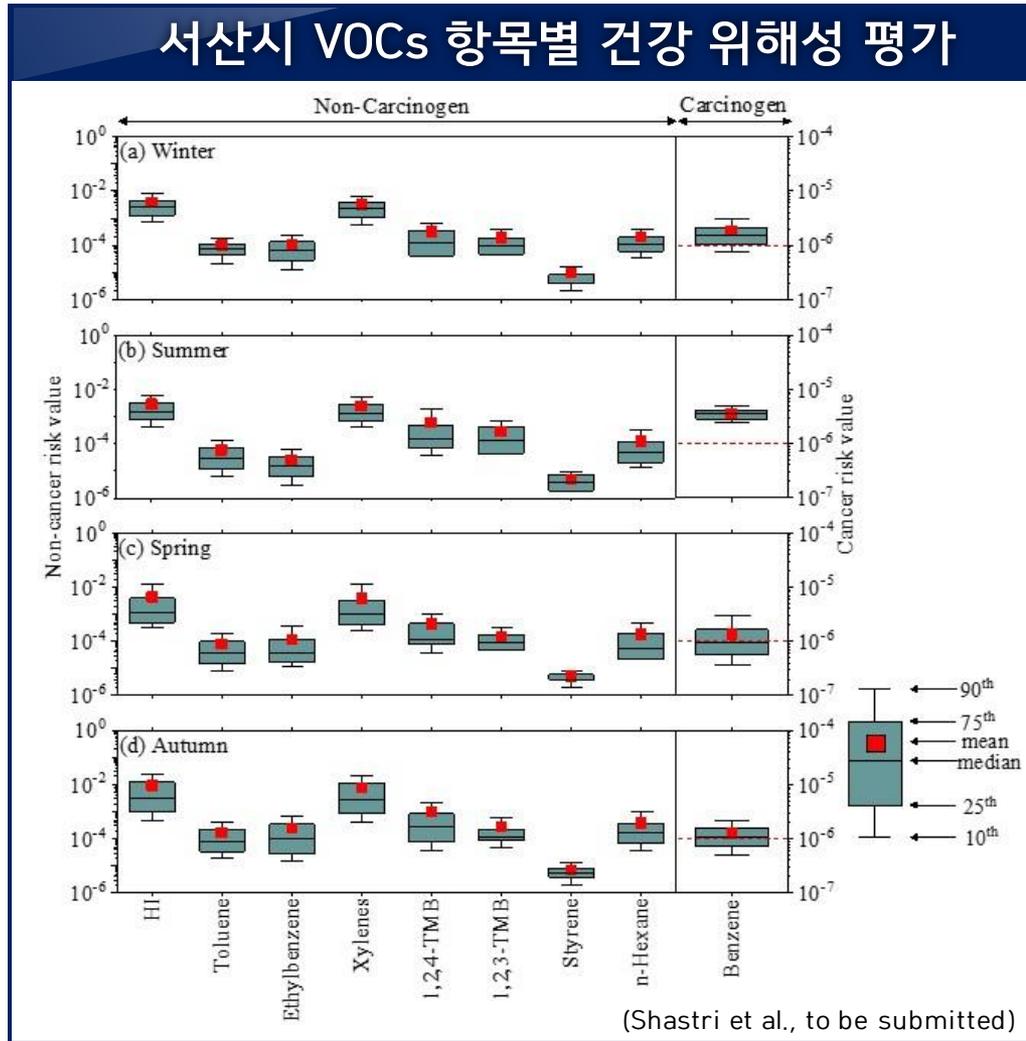
(Shastri et al., to be submitted)

➤ 서산시 계절별 VOCs: 가을 ( $32.92 \pm 40.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) > 봄 ( $18.91 \pm 24.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) > 겨울 ( $16.59 \pm 15.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) > 여름 ( $16.30 \pm 14.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

➤ 방향족 (aromatic) > 알케인 (alkanes)

➤ 농업활동에 의한 가을철 고농도 VOCs 발생

# 연구성과-VOCs 인체 건강위해성 평가



➤ 서산시 VOCs: 암 위험 권고치 ( $1 \times 10^{-6}$ )을 초과, 높은 위험성!

➤ 여름 > 겨울 > 봄 > 가을 순의 위험도를 나타냄

**감사합니다**

# ‘대기오염모니터링 및 제어 연구실’ 소개와 최근 연구 사례

## <Air Pollutant Monitoring & Control Lab (APM&C)>



### 목차

1. APM&C Lab
2. Recent research

**Yong-Hyun Kim**

[ykim84@jbnu.ac.kr](mailto:ykim84@jbnu.ac.kr)

Dept. of Environmental Engineering at Jeonbuk National University

April 5, 2024

# 1. APM&C Lab

Professor



## Prof. Yong-Hyun Kim

---

### Affiliation & Contact Information

Department of Environmental Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

전북 전주시 백제대로 567 전북대학교 공대 6 호관 324 호

E-mail: ykim84@jbnu.ac.kr Tel. +82-63-270-2446

### Education

Ph.D., Environmental Engineering, Hanyang University (2015.08.)

M.S., Environmental Science, Sejong University (2013.02)

B.S., Environmental Science, Sejong University (2011.08)

### Professional Experiences

Assistant Professor, Dept. of Environmental Engineering, Jeonbuk National University (2022.03 – )

Assistant Professor, Dept. of Environmental Engineering, Sangji University (2021.03 – 2022.02)

Assistant Professor, Dept. of Human and Environmental Toxicology, UST (2017.09 – 2021.02)

Senior Researcher, Korea Institute of Toxicology (KIT) (2016.12 - 2021.02)

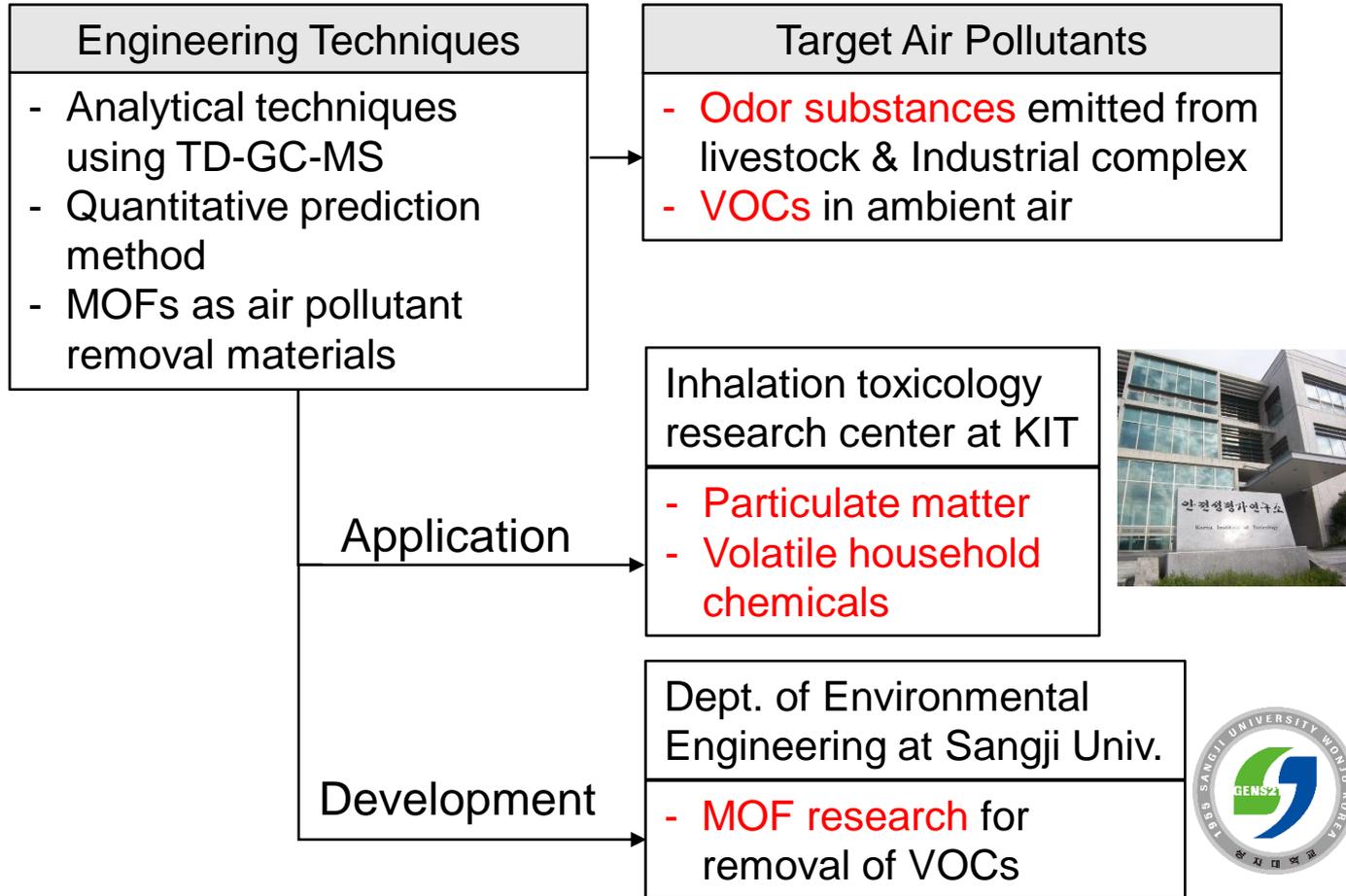
# 1. APM&C Lab

Professor



한양대학교  
공과대학  
COLLEGE OF ENGINEERING

Dept. of Civil and Environmental Engineering  
Major: **Air Quality Management and Control**



# 1. APM&C Lab

Lab members: Doctoral students



## **Young-ji An** Doctoral student (2023.03 - )

---

- M.S., Toxicology Evaluation, Konyang University (2020.02)
- B.S., Bio-nanochemistry, Wonkwang University (2017.02)
  
- Master Thesis: Study on the quantitative characteristics of hazardous compounds by solvent types in gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) system
- Research aera: Research to verify the harmfulness of tobacco products (conventional cigarettes, electronic cigarettes, and heated tobacco products)
  
- E-mail: anozi1649@jbnu.ac.kr



## **Se-Eun Jang** Doctoral student (2024.03 - )

---

- M.S., Environment & Energy, Jeonbuk National University (2024.02)
- B.S., Environmental Engineering, Jeonbuk National University (2022.02)
  
- Master Thesis: Quantitative Assessment on Carbon Sequestration effect of Biochar based on Carbon Balance
  
- E-mail: jjjangseun1234@naver.com

# 1. APM&C Lab

Lab members: Master students



## **Hajoo Ryu** Master student (2022.09 - )

---

- B.S., Chemical Engineering, Hanyang University (ERICA) (2018.02)
- Research area: Quantitative Analysis of Volatile Organic Compounds in the Atmosphere Using Passive Samplers
- E-mail: ryuha220@jbnu.ac.kr



## **Min-Seok Choi** Master student (2023.03 - )

---

- B.S., Environmental Engineering, Jeonbuk National University (2023.02)
- Research area: Study on the Mechanism of PM<sub>2.5</sub> Formation Centered on Inorganic Salts
- E-mail: cms@jbnu.ac.kr

# 1. APM&C Lab

Lab members: Master students



## **Seung-Gwan Oh** Master student (2023.03 - )

---

- B.S., Earth and Environmental Sciences, Jeonbuk National University (2023.02)

- Research area: Characterization of Emission Properties of Liquid Aerosols from Electronic Cigarettes

- E-mail: dhtmdrhks7@jbnu.ac.kr



## **Jin-Seop Kim** Master student (2023.03 - )

---

- B.S., Environmental Engineering, Jeonbuk National University (2023.02)

- Research area: Development and verification of artificial particulate matter (APM)

- E-mail: noreason341@jbnu.ac.kr

# 1. APM&C Lab

Lab members: Master students



**Ye-Bin Choi** Master student (2023.08 - )

---

- B.S., Animal Science, Gyeongsang National University (2021.08)
- Research area: Assessment of Types and Concentrations of Hazardous Air Pollutants (HAPs) from Livestock Manure Biochar
- E-mail: clzls01111@gmail.com

Lab members: Undergraduates



**Min-Jun Jo** Undergraduate (2024.01 - )

---

- B.S., Engineering Department of Environmental Engineering, Jeonbuk National University (2020.03 - )
- Research area: Dream Tree
- E-mail: downon135@gmail.com

# 1. APM&C Lab

Lab members: Alumni



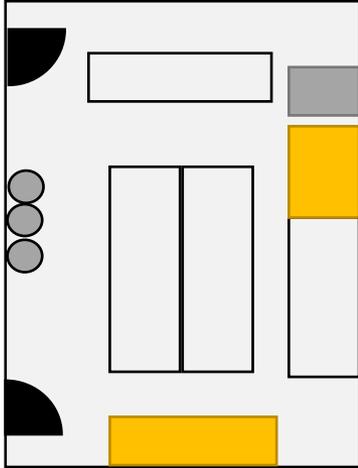
## **Sang-Hyub Lee** Alumni (2018.03 - 2020.08)

---

- M.S., Pre-Clinical Laboratory Science, Konyang University (2020.08)
- B.S., Center for Animal Resources Development, Wonkwang University (2007.02)
- Master Thesis: Study on the quantitative analysis of volatile organic compounds between cigarette smoke condensate (CSC) and extract (CSE) samples
- Current position: Assistant Manager, Chemical Safety Department, Korea Environment Corporation
- Phone: +82-32-590-4967

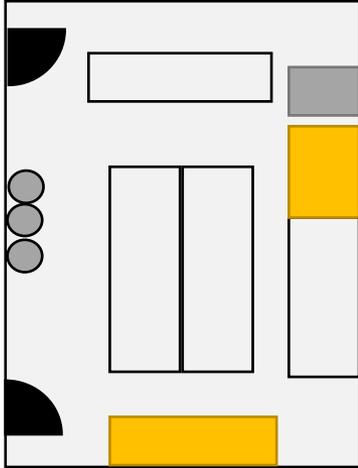
# 1. APM&C Lab

Lab



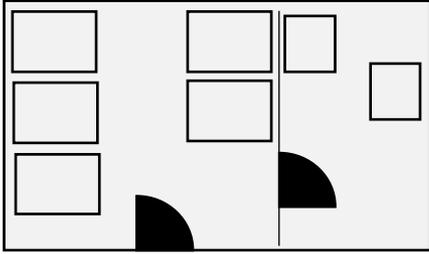
# 1. APM&C Lab

Lab



# 1. APM&C Lab

Lab



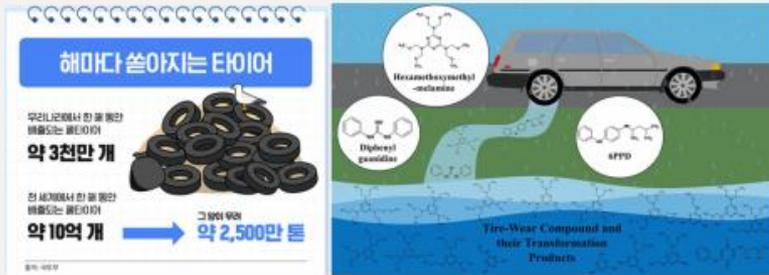
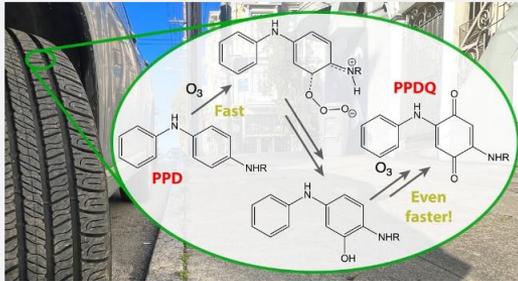
# 2. Recent research

## Overview



# 2. Recent research

## Overview: 6-PPD



Detection of selected tire wear compounds in urban receiving waters (3)

**KIT** 안전성평가연구소

타이어 유래 6PPD와 6PPDQ의  
in vivo 독성 평가 및 분자기전 연구

- 호흡기질환 관련 질환모델 개발 및 독성평가 연구역량 보유
- 포유동물세포주의 세포소기관 관련 독성평가 및 연구역량 보유

**UF** **ECU** **UF, ECU**

타이어 유래 6PPD와 6PPDQ의  
대사 및 신경, 미토콘드리아 기반  
예쁜꼬마선충 및 분자기전 연구

- 예쁜꼬마선충, stem cell 및 포유동물세포주를 활용한 연구역량 보유
- 예쁜꼬마선충을 활용한 신경 재생 및 미토콘드리아 항상성 연구역량 보유



**전북대학교**

타이어 유래 6PPD와 6PPDQ의  
환경 및 인체 노출 평가

- 휘발성 유해화학물질 발생 및 채취와 분석기술 개발 연구 다수
- 휘발성 유해화학물질 흡착기술 개발 및 연구 다수

## Overview: Biochar Produced from Livestock Manure

### 본 연구과제 최종 목표

축분 바이오차 유래 유기화합물의  
환경 노출 평가

- Temperature
- Raw material

**Biochar**

축분 바이오차 유래 유기화합물의  
유해성 평가

- Exp animal
- Single & Repetitive
- Concentration

**Toxicological impact**

Condensate

### 본 연구과제의 필요성

바이오차 중요성 확대!  
(기후변화 대응 탄소저감)

2050 탄소중립 사회를  
만들어갈  
**10대 핵심기술**

국내 축분 폐기물 처리 곤란  
해결: 축분 바이오차 생산!

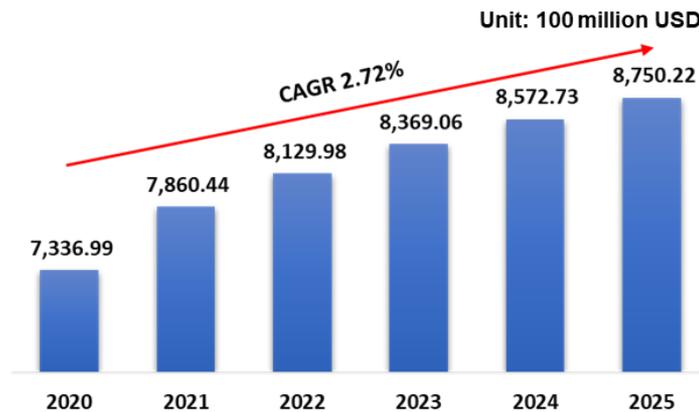
축분 바이오차 유래  
유기화합물?

## 2. Recent research: Cigarette

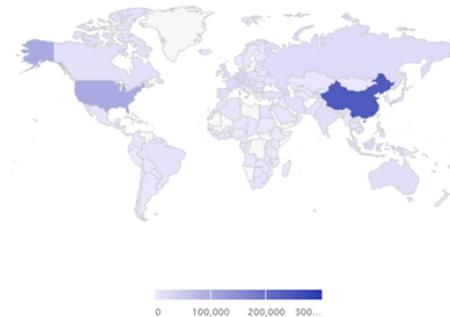
(1) Development and assessment of a novel standardized method for preparation of whole cigarette smoke condensate (WCSC) for toxicity testing of cigarette smoke

### ▪ Global Tobacco Market Size Trends

- The global tobacco product market is projected to grow at an average annual rate of 2.72%, increasing from **\$733.69 billion** in 2020 to **\$875.02 billion** by 2025.
- In 2021, the market share by country for tobacco products is forecasted as follows: China (\$238 billion), the United States (\$102.1 billion), Germany (\$32.8 billion), India (\$24.9 billion), and the United Kingdom (\$24.2 billion).



<Current Status and Projections for the Global Tobacco Product Market>



Top 5 (2021) in million USD (US\$)

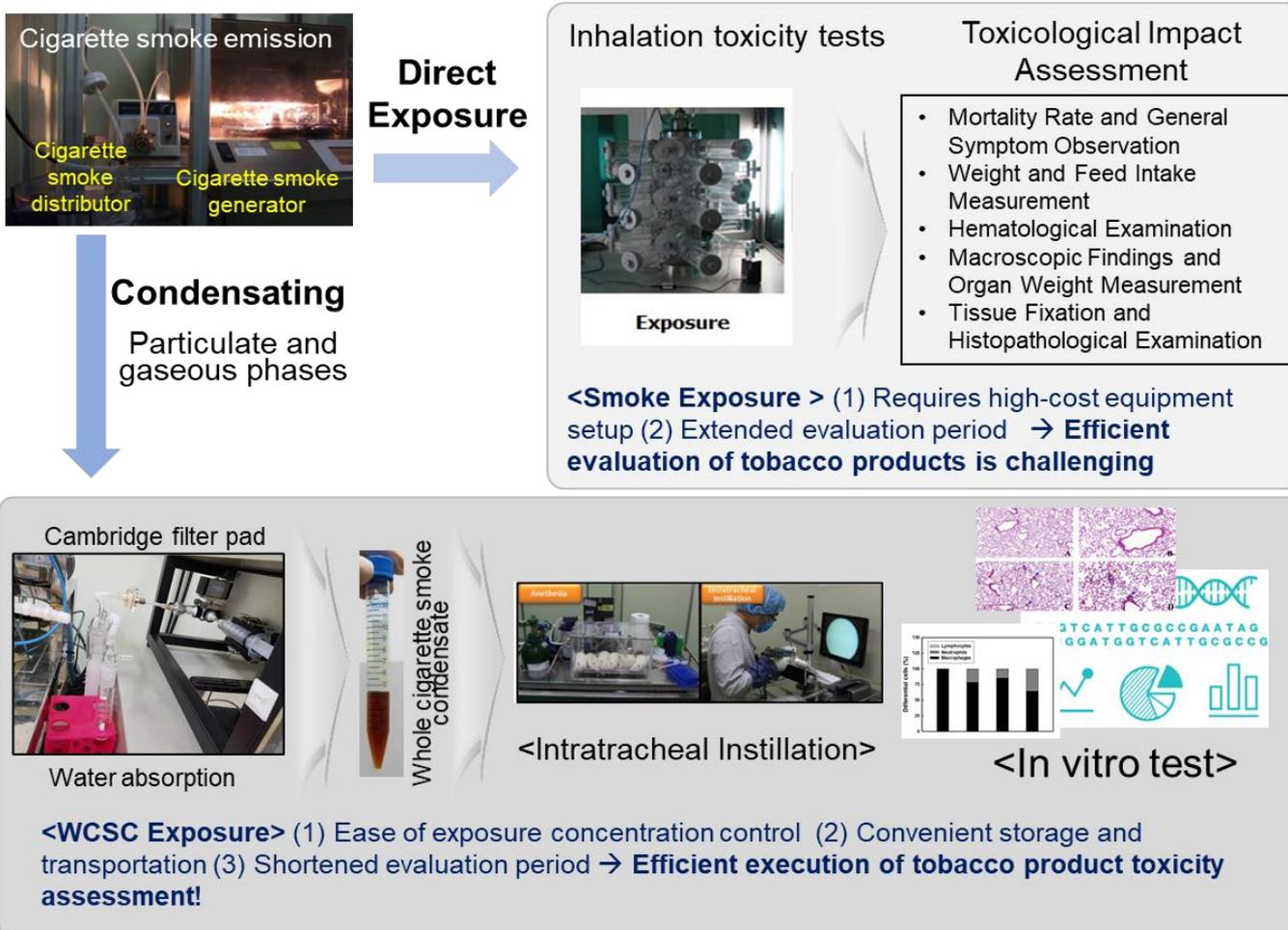
1. China	238,021
2. United States	102,154
3. Germany	32,844
4. Indonesia	24,931
5. United Kingdom	24,294

<Regional Market Share of Tobacco Products>

# 2. Recent research: Cigarette

(1) Development and assessment of a novel standardized method for preparation of whole cigarette smoke condensate (WCSC) for toxicity testing of cigarette smoke

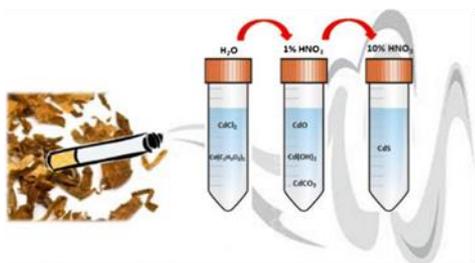
## ▪ Safety (Toxicity) Assessment Using Tobacco Smoke



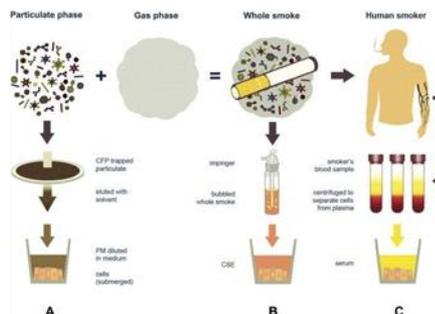
## 2. Recent research: Cigarette

(1) Development and assessment of a novel standardized method for preparation of whole cigarette smoke condensate (WCSC) for toxicity testing of cigarette smoke

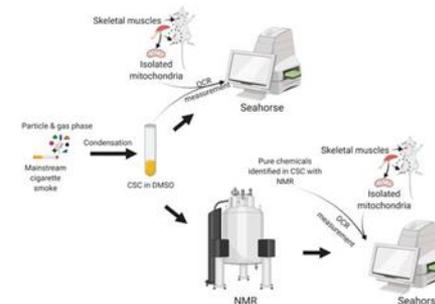
### ■ Various Methods of WCSC preparation



Cuello-Nuñez et al. (2018)



Weidmann (2015)



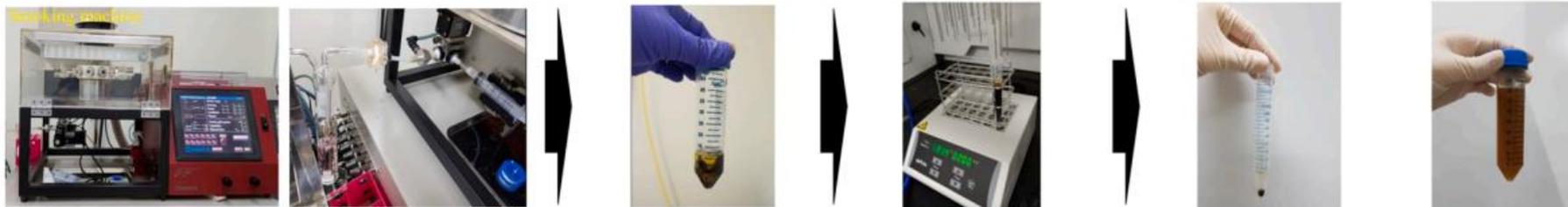
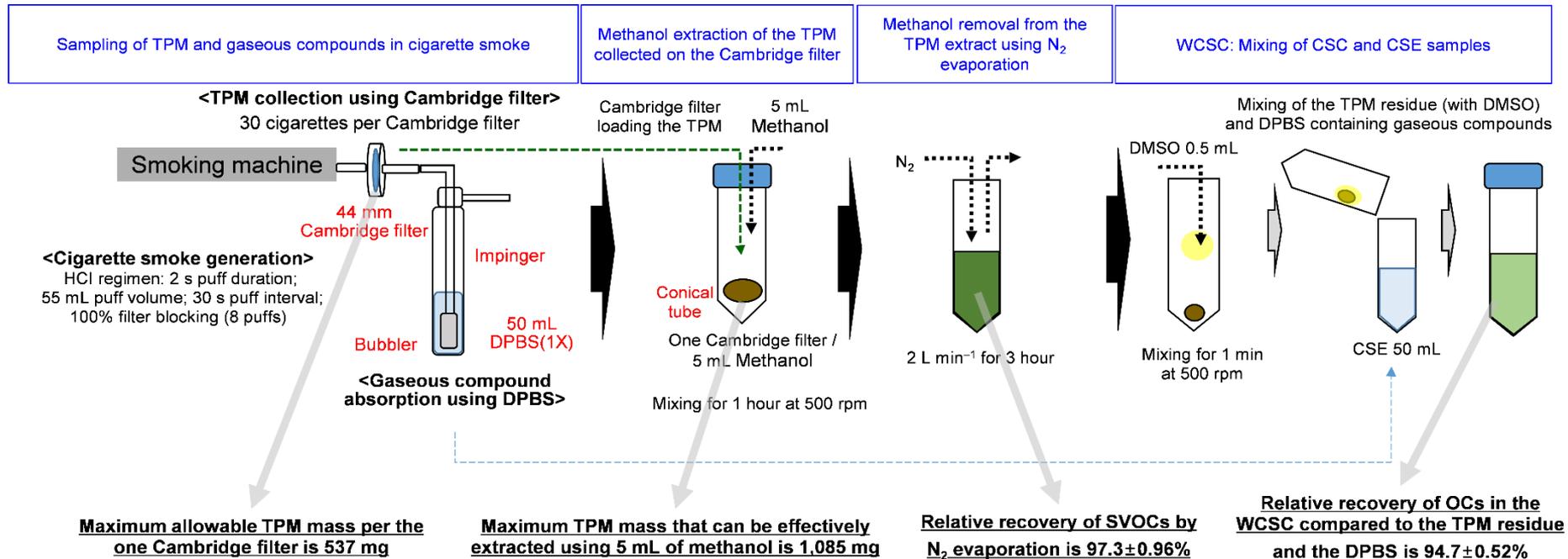
Khattri et al. (2022)

Possibility of Divergent Toxicity Evaluation Results for the Same Tobacco Product!

In this study, a **standardized WCSC preparation method** was **developed** and **verified** for the evaluation of cigarette toxicity.

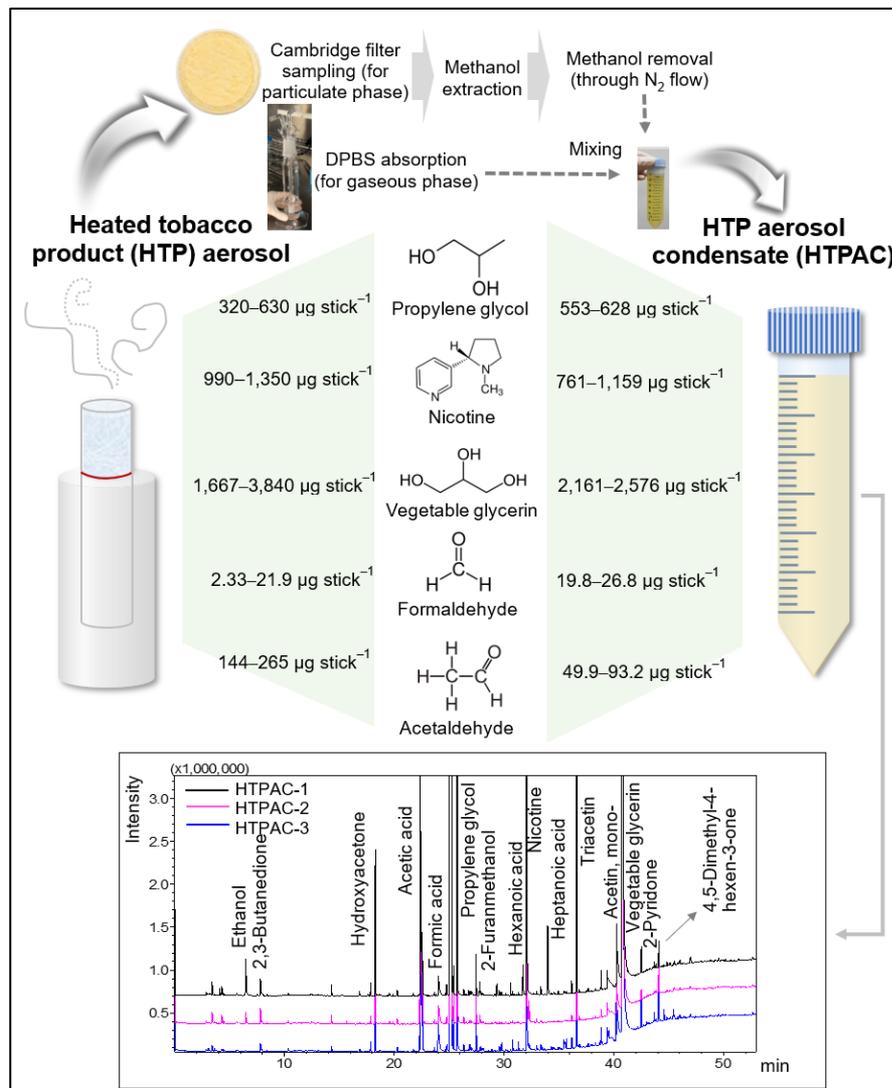
# 2. Recent research: Cigarette

(1) Development and assessment of a novel standardized method for preparation of whole cigarette smoke condensate (WCSC) for toxicity testing of cigarette smoke



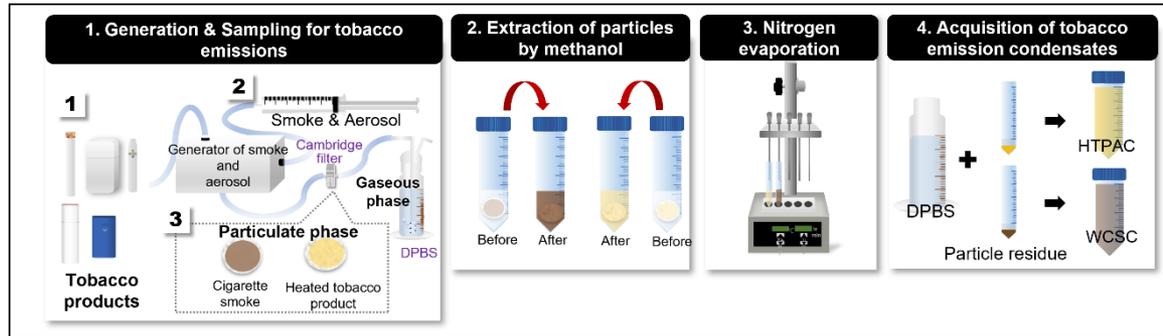
# 2. Recent research: Cigarette

(2) Development and validation of a method for preparing heated tobacco product aerosol condensate (HTPAC) for large-scale toxicity data acquisition

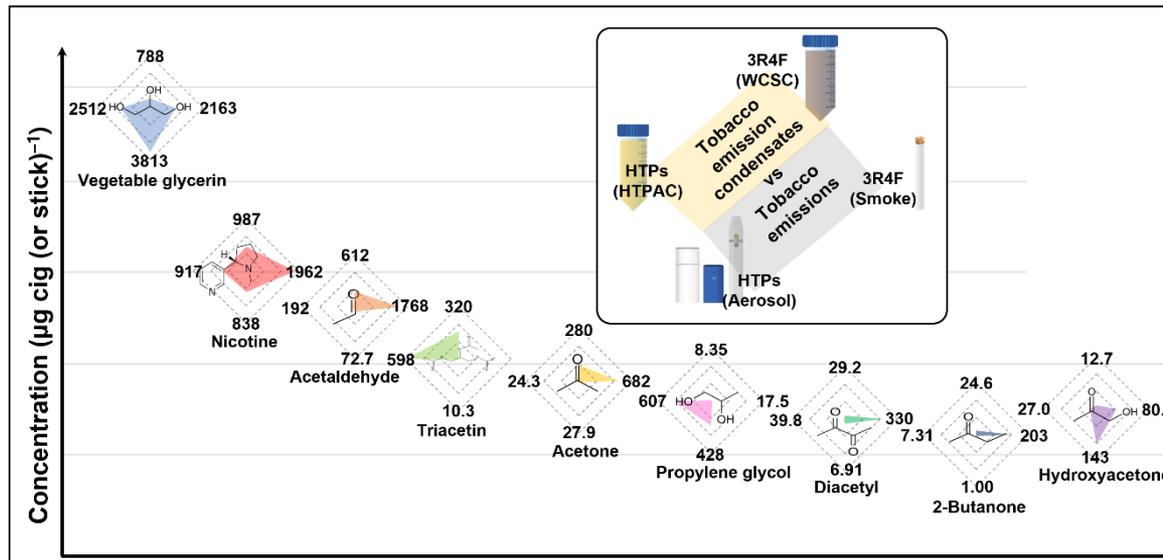


# 2. Recent research: Cigarette

(3) Assessment of toxicological validity using tobacco emission condensates: A comparative analysis of emissions and condensates from 3R4F reference cigarettes and heated tobacco products

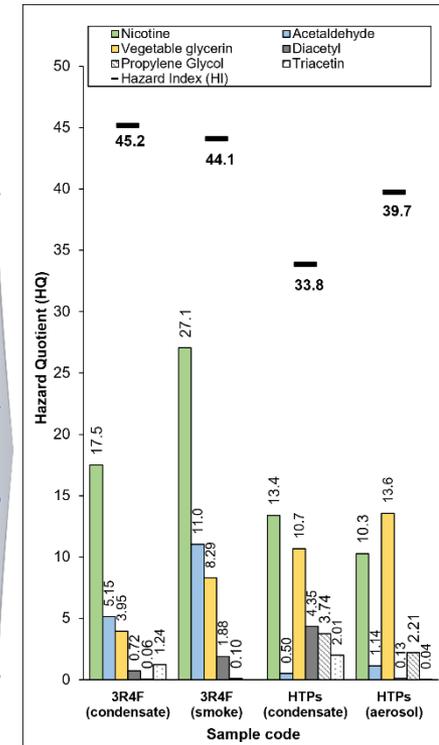


Quantitative Analysis of Organic Compounds in Tobacco Samples



Toxicity Assessment of Organic Compounds in Tobacco Samples

**<List of Key Abbreviations>**  
 HTP: Heated tobacco product  
 HTPAC: Heated tobacco product aerosol condensate  
 WCSC: Whole cigarette smoke condensate  
 3R4F: Kentucky reference cigarette



# 2. Recent research: Cigarette

(1)

Microchemical Journal 191 (2023) 108914

Contents lists available at ScienceDirect

Microchemical Journal

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/microc](http://www.elsevier.com/locate/microc)



## Development and assessment of a novel standardized method for preparation of whole cigarette smoke condensate (WCSC) for toxicity testing of cigarette smoke

Yong-Hyun Kim<sup>a,b,c,\*</sup>, Min-Seok Kim<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin, Jeonju, Jeollabukdo 54896, Republic of Korea

<sup>b</sup> School of Civil, Environmental, Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin, Jeonju, Jeollabukdo, 54896, Republic of Korea

<sup>c</sup> Soil Environment Research Center, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin, Jeonju, Jeollabukdo 54896, Republic of Korea

<sup>d</sup> Inhalation Toxicology Research Group, Korea Institute of Toxicology (KIT), Jeongseup, Jeonbuk 56212, Republic of Korea

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Cigarette smoke  
Whole cigarette smoke condensate (WCSC)  
Total particulate matter (TPM)  
Nicotine

### ABSTRACT

Cigarette smoke condensates provide toxic effects data for cigarette products, but the lack of a standardized preparation method yields inconsistent results. This study developed a standardized whole cigarette smoke condensate (WCSC) preparation method, encompassing both particulate and gaseous phases. The goal of this study was to obtain a WCSC of consistent quality by maximizing cigarette smoke concentration. The effectiveness of the method was verified by evaluating the concentrations of total particulate matter (TPM) and organic compounds (OCs: nicotine, triacetin, glycerin, acetaldehyde, and acetone) in the samples at each step of preparing the WCSC from cigarette smoke: (1) generating cigarette smoke using the HCI method, (2) collecting particulate and gaseous phases in cigarette smoke using the Cambridge filter (using modified ISO method) and Dulbecco's phosphate buffered saline (DPBS; the maximum allowable TPM mass per the one Cambridge filter is 537 mg), (3) extracting TPM collected on the Cambridge filter using methanol (the maximum TPM mass that can be effectively extracted using 5 mL of methanol is 1085 mg), (4) removing methanol from the TPM extract using the N<sub>2</sub> evaporation method (the relative recovery of OCs by N<sub>2</sub> evaporation is 97.3 ± 0.96 %), and (5) mixing the TPM residue and DPBS-absorbing gaseous phase of cigarette smoke (relative recovery of OCs in the WCSC compared to the TPM residue and the DPBS is 94.7 ± 0.52 % with fairly good reproducibility and RSD values below 5 %).

### 1. Introduction

The negative effects of cigarette smoke on human health have been widely documented in numerous studies [1–6]. However, the production and sale of cigarettes continue. Recently, various types of cigarette products, such as electronic and flavored cigarettes, have been introduced to cater to different smoking preferences [7–11]. However, toxicity data for these new products are limited. As the production and sale of these products continue to grow, it has become increasingly challenging to obtain safety data for regulatory and management purposes. To address this issue, it is crucial to collaborate with professional research institutes and conduct toxicity tests on these products to obtain the required safety data quickly and efficiently.

Cigarette toxicity testing is performed to assess the toxic effects of cigarette smoke on human health. Testing can be performed in various ways, including *in vivo* (animal) biology assays and *in vitro* (cell culture) assays [12–15]. The specific methods used depend on the research purpose and the endpoint of interest (e.g., cardiovascular disease and lung cancer) [16–18]. *In vivo* studies may involve exposing experimental animals to cigarette smoke, either through direct inhalation or through the administration of whole cigarette smoke condensates (WCSCs), to assess the toxic effects of cigarette smoke on organs such as the lung, heart, and blood vessels [19–22]. In the case of *in vitro* studies, WCSCs, which are the concentrated and homogenized liquid form of cigarette smoke, is mainly used. The effects of WCSCs on oxidative stress, inflammation, cell viability, and other biological parameters are

\* Corresponding authors at: Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin, Jeonju, Jeollabukdo 54896, Republic of Korea.

E-mail address: [ykim84@jnu.ac.kr](mailto:ykim84@jnu.ac.kr) (Y.-H. Kim).

<https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.108914>

Received 5 April 2023; Received in revised form 10 May 2023; Accepted 25 May 2023

Available online 31 May 2023

0026-265X/© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.

(2)

Ecotoxicology and Environmental Safety 267 (2023) 115621

Contents lists available at ScienceDirect

Ecotoxicology and Environmental Safety

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecoenv](http://www.elsevier.com/locate/ecoenv)



## Development and validation of a method for preparing heated tobacco product aerosol condensate (HTPAC) for large-scale toxicity data acquisition

Yong-Hyun Kim<sup>a,b,c,\*</sup>, Sung-Hwan Kim<sup>d,1</sup>

<sup>a</sup> Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

<sup>b</sup> School of Civil, Environmental, Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

<sup>c</sup> Soil Environment Research Center, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

<sup>d</sup> Jeonbuk Branch Institute, Korea Institute of Toxicology, Jeongseup-si, Jeollabuk-do 56212, Republic of Korea

### ARTICLE INFO

Edited by Dr G Liu

#### Keywords:

Heated tobacco product (HTP)  
Heated tobacco product aerosol condensate (HTPAC)  
Volatile organic compound (VOC)  
Semi-volatile organic compound (SVOC)  
Carbonyl compound

### ABSTRACT

A method of preparing heated tobacco product aerosol condensate (HTPAC) was developed to expedite HTP toxicity evaluation, and the effectiveness was assessed. To prepare HTPAC, HTP aerosol was generated and collected using a Cambridge filter (particulate phase) and Dulbecco's phosphate buffered saline (DPBS; gaseous phase). The aerosol collected on the Cambridge filter was extracted using methanol, which was thereafter removed by nitrogen purging. The HTP aerosol residue was mixed with DPBS loaded with the collected HTP vapor, ultimately yielding HTPAC. Nicotine and formaldehyde, key harmful compounds in HTP aerosol, were detected in HTPAC (901 ± 224 and 22.2 ± 3.90 µg stick<sup>-1</sup>, respectively, comparable to those in HTP aerosol (990–1350 (nicotine) and 2.33–21.9 µg stick<sup>-1</sup> (formaldehyde)). Propylene glycol and vegetable glycerin, which influence the amount of HTP aerosol, were detected at similar levels in HTPAC and HTP aerosol (propylene glycol = 616 ± 57.1 (HTPAC) and 320–630 µg stick<sup>-1</sup> (aerosol) and vegetable glycerin = 2418 ± 224 (HTPAC) and 1667–4000 µg stick<sup>-1</sup> (aerosol)). Known components of HTP aerosol (hydroxyacetone, acetic acid, triacetin, and 2-furanmethanol) were also detected in HTPAC. Consequently, HTPAC offers an effective method for concentrating harmful compounds found in HTP aerosols. This, in turn, facilitates comprehensive toxicity assessments, paving the way for guidelines ensuring the safe utilization of HTP.

### 1. Introduction

Heated tobacco products (HTPs), emerging as alternatives to conventional cigarettes, have seen continuous development. Diverse HTPs (devices and sticks) have been released due to the high demand and the technological advancements achieved by manufacturers (Akiyama and Sherwood, 2021; Bialous and Glantz, 2018; Jankowski et al., 2019). The launch of these latest HTPs is promoting the influx of new users. The global market value of HTP in 2021 was an impressive \$416 billion, and is projected to grow to approximately \$800 billion by 2027 (Research And Markets, 2022). The majority of the HTP market share is dominated by Philip Morris International (USA) with IQOS, KT&G (Republic of Korea) with Lil, and British American Tobacco (UK) with Glo (Miller

et al., 2022; Seo et al., 2023). IQOS, Lil, and Glo consistently improve user convenience and refine designs by developing HTP devices, thereby increasing the accessibility for smokers. Additionally, they have continued to develop new HTP stick products with a variety of scents to cater to the diverse preferences of smokers. Recently, Ploom Tech from Japan Tobacco Industry (JT) and PAX Era products by PAX Labs in the US have also gained popularity (Kostygina et al., 2022; Tattan-Birch et al., 2022). As consumers are exposed to an array of HTP devices and sticks from different manufacturers, it is crucial to closely manage and assess the health and safety implications of HTP usage to ensure user safety.

HTP manufacturers assert that HTPs are substantially less harmful than traditional cigarettes. Some studies have found that HTP aerosols

\* Corresponding author at: Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea.

E-mail address: [ykim84@jnu.ac.kr](mailto:ykim84@jnu.ac.kr) (Y.-H. Kim).

<sup>1</sup> These authors contributed equally to this work.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115621>

Received 26 June 2023; Received in revised form 17 October 2023; Accepted 19 October 2023

0147-6513/© 2023 The Author(s). Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

# 2. Recent research: Cigarette

(3)

Environment International 185 (2024) 108502

Contents lists available at ScienceDirect

Environment International

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/envint](http://www.elsevier.com/locate/envint)

Full length article

## Assessment of toxicological validity using tobacco emission condensates: A comparative analysis of emissions and condensates from 3R4F reference cigarettes and heated tobacco products

Young-Ji An <sup>a</sup>, Yong-Hyun Kim <sup>a,b,c,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea  
<sup>b</sup> School of Civil, Environmental, Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea  
<sup>c</sup> Soil Environment Research Center, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

---

**ARTICLE INFO**

Handling Editor: Xavier Querol

**Keywords:**  
Tobacco emission condensate  
Hazard index (HI)  
Whole cigarette smoke condensate (WCSC)  
Heated tobacco product aerosol condensate (HTPAC)  
Organic compound (OC)

**ABSTRACT**

The tobacco emission condensate, henceforth referred to as "tobacco condensate," plays a critical role in assessing the toxicity of tobacco products. This condensate, derived from tobacco emissions, provides an optimized liquid concentrate for storage and concentration control. Thus, the validation of its constituents is vital for toxicity assessments. This study used tobacco condensates from 3R4F cigarettes and three heated tobacco product (HTP) variants to quantify and contrast organic compounds (OCs) therein. The hazard index (HI) for tobacco emissions and condensates was determined to ascertain the assessment validity. The total particulate matter (TPM) for 3R4F registered at  $17,667 \mu\text{g cig}^{-1}$ , with its total OC (TOC) at  $3777 \mu\text{g cig}^{-1}$ . HTPs' TPM and TOC were  $9342 \pm 1918 \mu\text{g cig}^{-1}$  and  $5258 \pm 593 \mu\text{g stick}^{-1}$ , respectively. 3R4F's heightened TPM likely arises from tar, while HTPs' OC concentrations are influenced by vegetable glycerin ( $2236\text{--}2688 \mu\text{g stick}^{-1}$ ) and propylene glycol ( $589\text{--}610 \mu\text{g stick}^{-1}$ ). During the condensation process, a substantial proportion of OCs in 3R4F smoke underwent significant concentration decreases, in contrast to HTPs, where fewer than half of the examined OCs exhibited notable concentration declines. The HI for tobacco emissions exhibited a marginally higher value compared to tobacco condensate, with variations ranging from 7.92% (HTPs) to 18.6% (3R4F), denoting a minimal differential. These observations emphasize the importance of accurate OC recovery techniques to maintain the validity and reliability of toxicity assessments based on tobacco condensates. This study not only deepens the comprehension of chemical behaviors in tobacco products but also establishes a novel benchmark for their toxicity evaluation, with profound implications for public health strategies and consumer protection.

---

### 1. Introduction

Cigarette smoke comprises over 7000 organic compounds, of which more than 250, including benzene, are recognized as harmful (Chai et al., 2020; Dusautoir et al., 2021; Lim et al., 2023). This complex composition has been linked to the onset of multiple diseases, thereby adversely affecting human health (Jia et al., 2021; Lugg et al., 2022; Tatsuta et al., 2019). To counteract these negative implications, the advent and dissemination of safer tobacco alternatives, such as various electronic nicotine delivery systems (ENDS) encompassing electrically heated tobacco products, e-vapor devices, and hybrid variants, have been propelled (Benowitz et al., 2021; Caruso et al., 2021; Herbst et al., 2022; O'Connor et al., 2022). This burgeoning sector, valued at \$15 billion in 2020, has witnessed a proliferation in product diversity, with the global tally of brand models surging from 184 in 2020 to 269 in 2022—a growth of over 45% over two years (Ali et al., 2023; Berg et al., 2022; Bigwanto et al., 2022; Xiao et al., 2022). Given this relentless expansion and innovation, it is imperative to develop prompt and precise assessment methodologies to assess the potential harm caused by these emerging products.

A thorough hazard evaluation is mandated before the commercial introduction of a new tobacco product (Cao et al., 2021; Lempert and Glantz, 2021). This often entails exposing animals or cell cultures to cigarette smoke and subsequently observing the toxicological responses

---

\* Corresponding author at: Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea.  
E-mail address: [ykim84@jnu.ac.kr](mailto:ykim84@jnu.ac.kr) (Y.-H. Kim).

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108502>  
Received 7 December 2023; Received in revised form 19 January 2024; Accepted 12 February 2024  
Available online 14 February 2024  
0160-4120/© 2024 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

# 2. Recent research: Cigarette

## Others

Microchemical Journal 192 (2023) 108943

Contents lists available at ScienceDirect

Microchemical Journal

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/microc](http://www.elsevier.com/locate/microc)



Development of inhalation exposure system for assessing respiratory safety of nicotine-free inhalator as nonignition smoking cessation aid

Jin-Seop Kim<sup>a,b,c</sup>, Yong-Hyun Kim<sup>a,b,d,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

<sup>b</sup> School of Civil, Environmental, Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

<sup>c</sup> Inhalation Toxicology Center for Airborne Risk Factor, Korea Institute of Toxicology, 30 Baekhak1-gil, Jeongeup-si, Jeollabuk-do 56212, Republic of Korea

<sup>d</sup> Soil Environment Research Center, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Nicotine-free inhalator  
L-menthol  
Inhalation exposure system  
Nonignition smoking cessation aid

### ABSTRACT

In this study, we aimed to develop and evaluate an inhalation exposure system involving vapor generation for a nonignition smoking cessation aid, a nicotine-free inhalator, with the objective of assessing its respiratory safety by obtaining inhalation safety data. The vapor was generated by blowing air into the raw material of the inhalator, and the vapor concentration was controlled by adjusting the inhalation exposure conditions: the amount of raw material (5, 50, and 100 g), flow rate (0.1, 1, and 2 L min<sup>-1</sup>), and temperature (25, 40, and 80 °C). We evaluated the effectiveness of the inhalation exposure system by examining the generated concentrations of the main component in the vapor of the nicotine-free inhalator, L-menthol, the concentration of which varied based on inhalation exposure conditions. This concentration of L-menthol proportionally increased with increasing amounts of raw material (slope = 0.4625 mg m<sup>-3</sup> g<sup>-1</sup> and R<sup>2</sup> = 0.9763). The concentration of L-menthol in the vapor increased as the generation flow rate decreased and remained at a relatively consistent level for the 6 h necessary for inhalation toxicity assessment (-79.38 mg m<sup>-3</sup> L<sup>-1</sup> min and R<sup>2</sup> = 0.9262). The L-menthol concentration in the vapor increased by approximately five times when the generation temperature was increased from 25 °C to 80 °C. However, the change in the L-menthol concentration in the vapor after 6 h was substantial, ranging from 20% to 50%. In other words, the generated concentration of vapor is temperature-sensitive, so producing a constant concentration level would be challenging. By adjusting the amount of raw material and generation flow rate of this nicotine-free inhalator, we obtained a vapor sample for the respiratory safety assessment of nonignition smoking cessation aids.

### 1. Introduction

Conventional cigarette smoke is detrimental to human health. Despite this, the global cigarette industry remains lucrative, with a market volume of USD 800 billion in 2021 [1]. Conventional cigarette smoke contains up to 7000 chemicals, including over 60 known carcinogens, at varying concentrations [2–4]. This has motivated many smokers to quit, but quitting can be difficult, leading some to turn to new, supposedly less harmful alternatives, such as electronic cigarettes (e-cigarettes) and heated tobacco products (HTPs) [2–4]. Unlike conventional cigarettes, e-cigarettes and HTPs produce smoke (aerosol) by heating the refill solution or stick, generating fewer harmful compounds, such as tar, than traditional cigarette smoke [5–8]. However, some

harmful compounds, such as formaldehyde and acetaldehyde, are present at higher concentrations in e-cigarette and HTP aerosols than in conventional cigarette smoke [8–10]. Furthermore, according to the results of *in vitro* toxicity, e-cigarettes and HTPs can have toxic effects [11–14]. Given these findings, using e-cigarettes or HTPs as substitutes for conventional cigarettes to benefit smokers' health is not recommended; instead, smokers should aim to quit using nonignition smoking cessation aids.

The aim of smoking cessation aids is to reduce the urge to smoke and alleviate the symptoms of withdrawal. These aids can be classified into two categories: those that contain nicotine (drugs) and those that do not (herbal medications). The latter, also known as inhibitors of smoking desire, are considered safer and more effective for smoking cessation

\* Corresponding author.  
E-mail address: [ykim84@jnu.ac.kr](mailto:ykim84@jnu.ac.kr) (Y.-H. Kim).

<https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.108943>

Received 1 March 2023; Received in revised form 12 May 2023; Accepted 31 May 2023

Available online 5 June 2023

0026-265X/© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.

Hindawi  
Indoor Air  
Volume 2023, Article ID 8814709, 10 pages  
<https://doi.org/10.1155/2023/8814709>

WILEY | Hindawi

### Research Article

## Assessment of Nicotine Degradation in Cigarette Smoke under Different Storage Conditions (Light and Duration)

Yong-Ji An<sup>1</sup> and Yong-Hyun Kim<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

<sup>2</sup>School of Civil, Environmental, Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

<sup>3</sup>Soil Environment Research Center, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

Correspondence should be addressed to Yong-Hyun Kim; [ykim84@jnu.ac.kr](mailto:ykim84@jnu.ac.kr)

Received 12 June 2023; Revised 26 July 2023; Accepted 4 August 2023; Published 17 August 2023

Academic Editor: Xiaohu Yang

Copyright © 2023 Yong-Ji An and Yong-Hyun Kim. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Nicotine, the primary component of cigarette smoke, is not only addictive but also indirectly contributes to lung diseases by increasing heart rate and blood pressure upon inhalation. Therefore, managing nicotine content in cigarette smoke necessitates accurate quantitative analysis. Nicotine from cigarette smoke is collected using a Cambridge filter, subjected to solvent extraction, and analyzed using instrumental techniques. However, since nicotine is susceptible to light-induced oxidation, losses may occur during pretreatment, reducing result reliability. This study assesses nicotine loss under various lighting conditions and storage durations. Nicotine collected in Cambridge filters is exposed to dark, visible radiation, and UV radiation (254 nm) for different time intervals (0–48 h), and the nicotine content is analyzed and compared. In dark conditions, a 1.6% decline in nicotine concentration occurs after 48 h. With visible radiation, a 9% reduction is observed, while under UV exposure, the concentration decreases by 16.9%. The UV radiation-associated decrease in nicotine concentration is  $-0.335\% \text{ h}^{-1}$ , exhibiting strong linearity ( $R^2 = 0.9465$ ). Consequently, significant nicotine loss in Cambridge filter-collected samples is influenced by storage duration and lighting conditions. This study's findings can enhance the accuracy of nicotine quantification in cigarette smoke, thereby improving the understanding of nicotine's harmful effects in cigarette smoke.

### 1. Introduction

Cigarette smoke contains more than 5000 chemicals, including dozens of harmful substances that can adversely affect human health [1, 2]. The World Health Organization estimates that more than 100,000 people die annually from cardiovascular disease, chronic obstructive pulmonary disease, and lung cancer due to smoking [3]. To minimize the damage caused by smoking, cigarette sales must be highly regulated and managed; this requires data on the chemicals in cigarette smoke and their toxicity.

Nicotine, the major component of cigarette smoke, is toxic and addictive; hence, it is used as an indicator for the

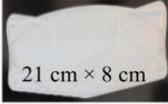
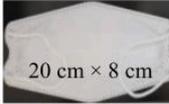
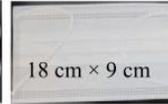
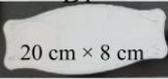
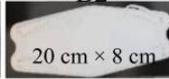
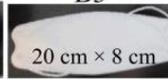
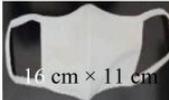
harmfulness of cigarette smoke. When the human body is exposed to nicotine, it excites or paralyzes the central and peripheral nervous systems. In addition, nicotine constricts intestinal blood vessels, thus leading to an increase in blood pressure [4–6]. Nicotine, which is important for evaluating the toxicity of cigarette smoke, can be easily oxidized when exposed to light or air [7–12]. Typically, nicotine photolysis yields a variety of compounds such as alkaloids, ketones, acetic acid, nicotinic acid, and cotinine, primarily through carbon-to-carbon bond cleavage. In addition, the extent of photodegradation and the type and concentration of byproducts generated can vary with the degree of oxygen exposure and radiation dosage [7–12]. Therefore, in the pretreatment

## 2. Recent research: Household products (mask)

Measuring the quantity of harmful volatile organic compounds inhaled through masks

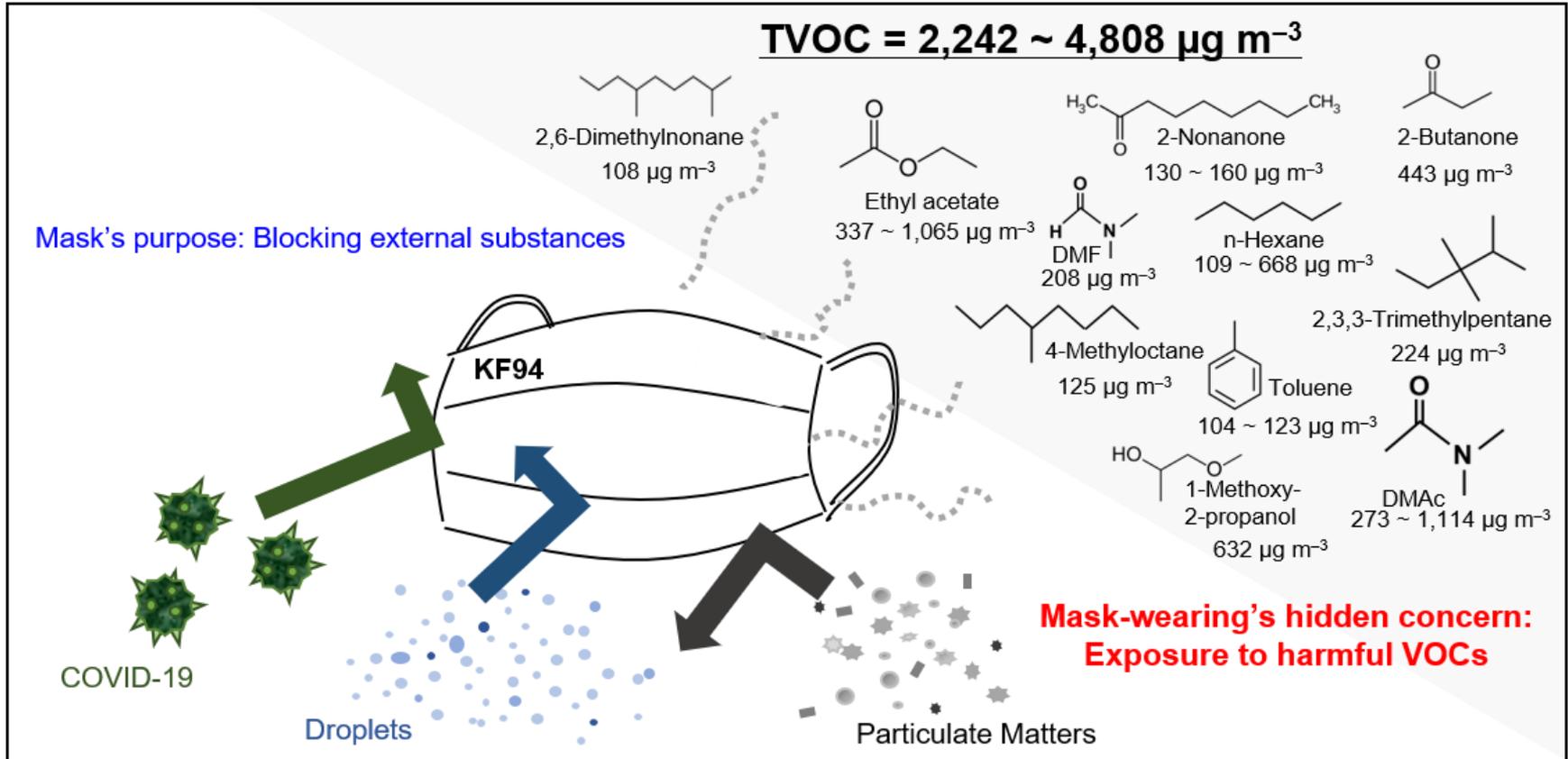
**Table 1**

Basic information associated with the tested masks.

Order	Sample code	Mask type	Main material	Photos			
1	A1	Droplet blocking mask (KFAD)	Polypropylene, Polyurethane nylon	A1	A2	A3	
2	A2			 21 cm × 8 cm	 20 cm × 8 cm	 18 cm × 9 cm	
3	A3						
4	B1	Surgical mask (KF94)	Polypropylene, Polyurethane nylon	B1	B2	B3	
5	B2			 20 cm × 8 cm	 20 cm × 8 cm	 20 cm × 8 cm	
6	B3						
7	C1	Cotton mask (100% cotton)	Cotton	C1	C2		
8	C2			 16 cm × 11 cm	 19 cm × 11 cm		
9	D1	Cotton mask (Cotton + others)	Cotton and Ramie	D1	D2		
10	D2		95% cotton, 5% polyurethane	 20 cm × 12 cm	 16 cm × 11 cm		
11	E1	Functional mask (Functional fabric + UV protection)	Polyester, Graphene, and Somatid	E1	E2	E3	E4
12	E2		Aerosilver fabric	 12 cm × 13 cm	 16 cm × 13 cm	 15 cm × 14 cm	 18 cm × 13 cm
13	E3		Cooling fabric				
14	E4		Copper cotton fabric				

## 2. Recent research: Household products (mask)

Measuring the quantity of harmful volatile organic compounds inhaled through masks



# 2. Recent research: Household products (mask)

## Measuring the quantity of harmful volatile organic compounds inhaled through masks

Ecotoxicology and Environmental Safety 256 (2023) 114915

Contents lists available at ScienceDirect

ELSEVIER

Ecotoxicology and Environmental Safety

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecoenv](http://www.elsevier.com/locate/ecoenv)

Check for updates

### Measuring the quantity of harmful volatile organic compounds inhaled through masks

Hajoo Ryu<sup>a</sup>, Yong-Hyun Kim<sup>a,b,c,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Environment and Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin, Jeonju, Jeollabukdo 54896, Republic of Korea  
<sup>b</sup> School of Civil, Environmental, Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin, Jeonju, Jeollabukdo 54896, Republic of Korea  
<sup>c</sup> Soil Environment Research Center, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin, Jeonju, Jeollabukdo 54896, Republic of Korea

---

**ARTICLE INFO**

Edited by Professor Bing Yan

**Keywords:**  
Mask  
KF94  
Total volatile organic compound

**ABSTRACT**

An increase in the concentration of environmental particulate matter and the spread of the COVID-19 virus have dramatically increased our time spent wearing masks. If harmful chemicals are released from these masks, there may be harmful effects on human health. In this study, the concentration of volatile organic compounds (VOCs) emitted from some commonly used masks was assessed qualitatively and quantitatively under diverse conditions (including different mask material types, time between opening the product and wearing, and mask temperature). In KF94 masks, 1-methoxy-2-propanol ( $221 \pm 356 \mu\text{g m}^{-3}$ ), *N,N*-dimethylacetamide ( $601 \pm 450 \mu\text{g m}^{-3}$ ), n-hexane ( $268 \pm 349 \mu\text{g m}^{-3}$ ), and 2-butanone ( $160 \pm 244 \mu\text{g m}^{-3}$ ) were detected at concentrations 22.9–147 times higher than those found in masks made from other materials, such as cotton and other functional fabrics. In addition, in KF94 masks, the total VOC (TVOC) released amounted to  $3730 \pm 1331 \mu\text{g m}^{-3}$ , about 14 times more than that released by the cotton masks ( $267.5 \pm 51.6 \mu\text{g m}^{-3}$ ). In some KF94 masks, TVOC concentration reached over  $4000 \mu\text{g m}^{-3}$ , posing a risk to human health (based on indoor air quality guidelines established by the German Environment Agency). Notably, 30 min after KF94 masks were removed from their packaging, TVOC concentrations decreased by about 80% from their initial levels to  $724 \pm 5.86 \mu\text{g m}^{-3}$ ; furthermore, 6 h after removal, TVOC concentrations were found to be less than  $200 \mu\text{g m}^{-3}$ . When the temperature of the KF94 masks was raised to 40 °C, TVOC concentrations increased by 119–299%. Since the types and concentrations of VOCs that will be inhaled by mask wearers vary depending on the mask use conditions, it is necessary to comply with safe mask wearing conditions.

---

### 1. Introduction

Masks are classified as health, surgical, droplet-blocking, dust-proofing, and cold-proofing depending on their purpose (Karuppasamy and Obuchowski, 2021; Palmieri et al., 2021; Rengasamy et al., 2017). Most masks are used to prevent humans from inhaling air pollutants, though some special purpose masks such as warm masks exist for other reasons (McDonald et al., 2020; Pacitto et al., 2019; Zorko et al., 2020). Masks for blocking pollutants can be further classified into disposable and multi-use (Karuppasamy and Obuchowski, 2021; O’Kelly et al., 2021; Rengasamy et al., 2009). Disposable masks are primarily composed of polypropylene, polyethylene, and melt-blown filters, and differ based on blocking efficiency and targeted particle size (i.e., KF94, KF80, and KFAD) (Jung et al., 2014; Ryu et al., 2022). The formation of the charge that affects the blocking of particles and viruses varies depending on the mask material (Ghatak et al., 2021; Zhang et al., 2022). Multi-use masks are made of diverse materials (i.e., synthetic resin, polyurethane foam, etc.) depending on their purpose, and recently the use of multi-functional face masks with additional functions such as UV protection is increasing (Bleuens et al., 2021; Hu et al., 2021; Pollard et al., 2021).

As the quality of life improves, the demand for masks has increased to protect humans from air pollutants such as fine dust (Lee et al., 2020; Zhang and Mu, 2018). Researchers have reported that the inhalation of fine dust causes various harms including respiratory diseases. As a response to ultrafine dust that can cause cerebrovascular diseases

---

\* Corresponding author at: Department of Environment and Energy, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin, Jeonju, Jeollabukdo 54896, Republic of Korea.  
E-mail address: [ykim84@jnu.ac.kr](mailto:ykim84@jnu.ac.kr) (Y.-H. Kim).

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114915>  
Received 10 February 2023; Received in revised form 24 March 2023; Accepted 12 April 2023  
0147-6513/© 2023 The Authors. Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Korean mask study reignites debate

Medical Forum · September 7, 2023

MEDICAL FORUM WEEKLY 5 MINS READ



The need to wear a mask emerged as one of the most controversial and politicised aspects of the pandemic and new research from South Korea has rekindled debate, as the new COVID variant spreads, about the safety of wearing the universally recommended N95.

# 2. Recent research: Air pollutants

(1) 여수국가산업단지에서 배출되는 대기오염물질이 여수시 대기질에 미치는 영향 연구

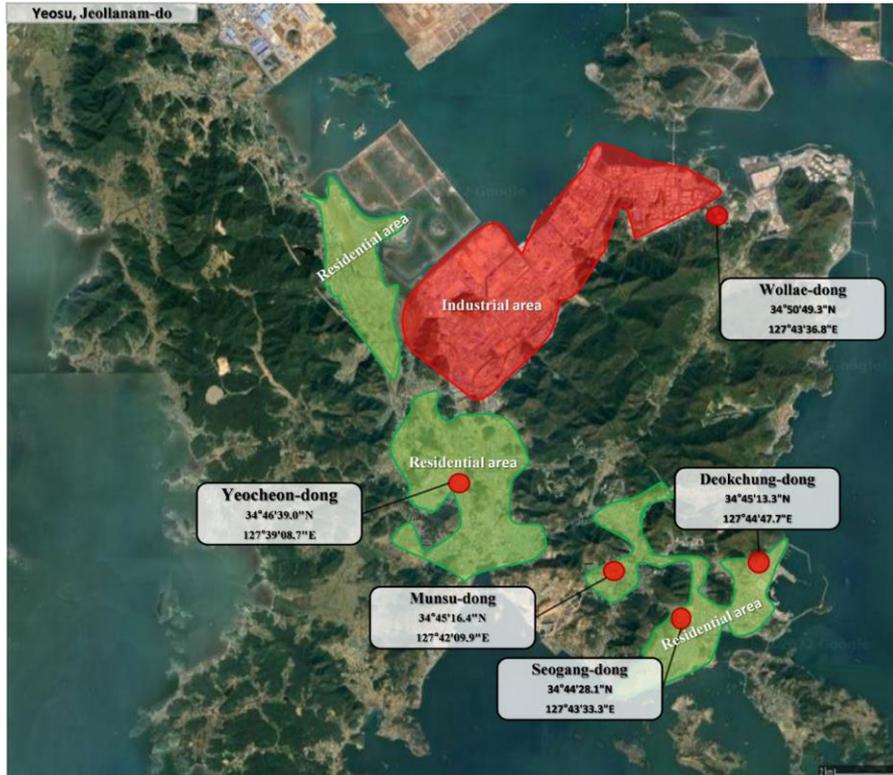


Fig. 1. Geographical location of the air quality monitoring stations in Yeosu, Jeollanam-do, Republic of Korea.

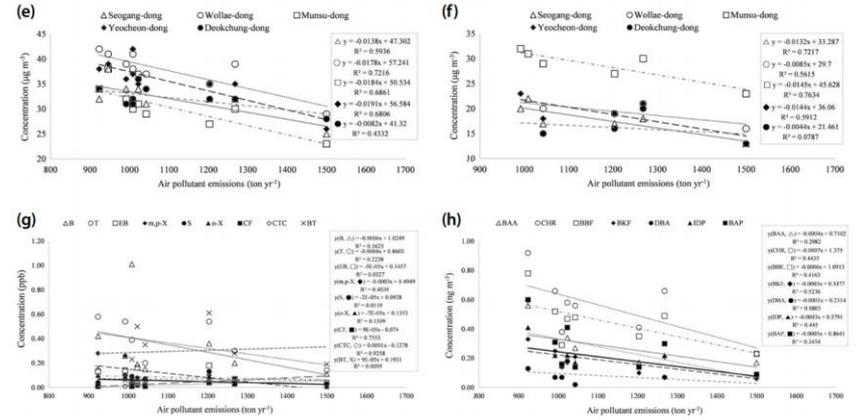
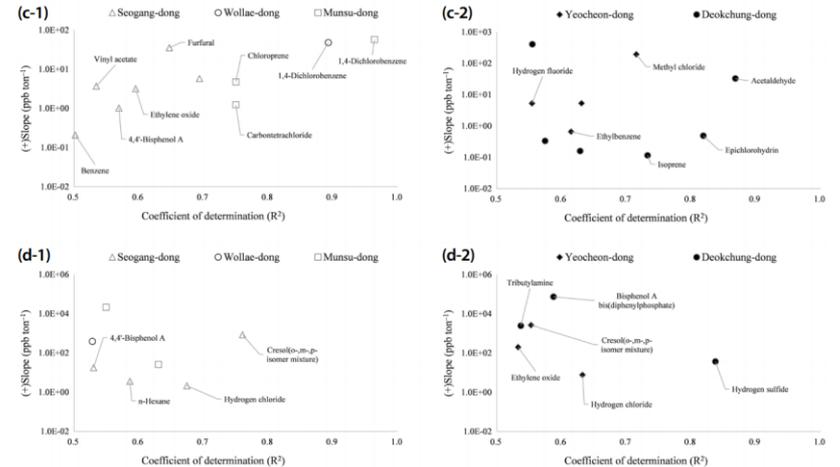


Fig. 5. Regression analysis between air pollution emissions from YNIC and air pollutant concentrations around Yeosu. (a) SO<sub>2</sub>, (b) NO<sub>2</sub>, (c) O<sub>3</sub>, (d) CO, (e) PM<sub>10</sub>, (f) PM<sub>2.5</sub>, (g) 9 VOCs, and (h) 7 PAHs.



# 2. Recent research: Air pollutants

## (1) 여수국가산업단지에서 배출되는 대기오염물질이 여수시 대기질에 미치는 영향 연구

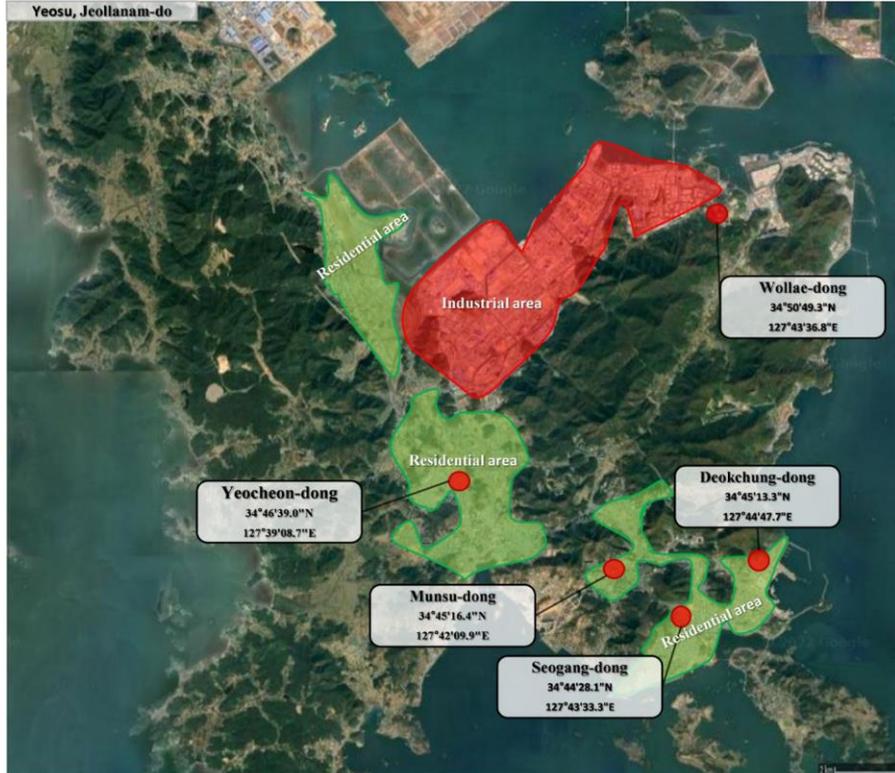


Fig. 1. Geographical location of the air quality monitoring stations in Yeosu, Jeollanam-do, Republic of Korea.

Journal of Korean Society for Atmospheric Environment  
Vol. 39, No. 1, February 2023, pp. 77-93  
<https://doi.org/10.5572/KOSAE.2023.39.1.77>  
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346



### 논문

## 여수국가산업단지에서 배출되는 대기오염물질이 여수시 대기질에 미치는 영향 연구

### A Study on Air Pollutants Emitted from Yeosu National Industrial Complex Affecting Air Quality in Yeosu, Republic of Korea

최민석<sup>1),2)</sup>, 김용현<sup>1),2),\*</sup>

<sup>1)</sup>전북대학교 환경공학과, <sup>2)</sup>전북대학교 환경에너지융합학과

Min-Seok Choi<sup>1),2)</sup>, Yong-Hyun Kim<sup>1),2),\*</sup>

<sup>1)</sup>School of Civil, Environmental, Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, Jeonju, Republic of Korea

<sup>2)</sup>Department of Environment and Energy, Jeonbuk National University, Jeonju, Republic of Korea

접수일 2023년 1월 4일  
수정일 2023년 1월 26일  
채택일 2023년 1월 26일

Received 4 January 2023  
Revised 26 January 2023  
Accepted 26 January 2023

\*Corresponding author  
Tel : +82-(0)63-270-2446  
E-mail : ykim84@jnu.ac.kr

**Abstract** In this study, the effects of air pollutants (emissions) emitted from the Yeosu National Industrial Complex (YNIC) on Yeosu's air quality (concentration) were evaluated through a statistical analysis (linear regression analysis). The air pollutant emission (from YNIC) and concentration (in Yeosu) data for the last 10 years (2011~2020) were used. In case of the air pollutant emissions, a total of 127 species of air pollutants have been emitted from 137 business sites in the YNIC. For the air quality data in Yeosu, common (6 species) and hazardous (9 volatile organic compounds (VOCs) and 7 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)) air pollutant concentrations measured at five monitoring stations (Seogang-dong, Wollae-dong, Munsu-dong, Yeocheon-dong, and Deokchung-dong) were used. The concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and PM<sub>2.5</sub> in the air in Yeosu recorded significant positive correlations with benzene, xylene, formaldehyde, and hydrogen bromide, which were the air pollutants emitted from the YNIC ( $R^2 = 0.702 \pm 0.129$  and  $p\text{-value} = 0.009 \pm 0.009$ ). The concentrations of the VOCs in the air of Yeosu showed relatively high positive correlations and good statistical significances with the five air pollutant emissions from the YNIC (air pollutants emitted from the YNIC (affected VOCs) = tributylamine (benzene), hydrogen sulfide (benzene), ethylbenzene (1,3-butadiene), vinyl chloride (carbontetrachloride), and sulfur (styrene)) ( $R^2 = 0.783 \pm 0.052$  and  $p\text{-value} = 0.004 \pm 0.003$ ). In the case of PAHs, the YNIC emissions of formaldehyde, copper, and hydrogen fluoride had high effects on the concentrations of the all target 7 PAHs ( $R^2 = 0.763 \pm 0.140$  and  $p\text{-value} = 0.014 \pm 0.012$ ). As such, it was confirmed through a statistical analysis that the increase in emissions of specific air pollutants emitted from the YNIC increased the concentrations of the air pollutants in the air around Yeosu. These results of this study can be expected to be used as the basic data to efficiently manage the types and emissions of air pollutants from the YNIC. Furthermore, it can be used as basic policy data for improving air quality in the cities where National Industrial Complexes are located.

**Key words:** Yeosu National Industrial Complex (YNIC), Common air pollutants, Volatile organic compounds (VOCs), Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

### 1. 서론

대기질은 국민들의 삶의 질을 결정하는 중요한 요소 중 하나이다. 이와 같은 이유로 우리나라는 환경부를 포함한 각종 정부부처에서 대기질을 개선하기 위

한 노력을 기울이고 있다. 우리나라는 산업화 이후 심각한 대기오염문제를 해결하기 위해 1970년대 대기오염물질의 관리 기준을 강화하였으며, 이와 같은 노력으로 산업시설 및 발전소와 다양한 운송수단에서 주로 발생하는 기존 대기오염물질들(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>,

## 2. Recent research: Air pollutants

(2) 권역 및 배출원별 암모니아 농도 평가

# Thank You for Your Attention

## Contact Information

- Yong-Hyun Kim
- Dept. of Environmental Engineering at Jeonbuk National University
- Email: [ykim84@jbnu.ac.kr](mailto:ykim84@jbnu.ac.kr)

