

중부권 미세먼지 관리를 위한 연구 교류 세미나

I

추진배경

- 나날이 증가하는 미세먼지에 대한 국민적 관심과 우려로 국가차원의 대기 환경개선정책이 추진되고 있으며, 미세먼지법과 대기관리권역법이 수립됨
- 관련 법에 따라 각 권역별로 미세먼지연구관리 센터가 지정되어 운영되고 있으며, 중부권에는 공주대 주관으로 지역 내 현안문제 해결을 위한 연구가 추진되고 있음
- 충청남도는 지역적 한계로 인적·물적 인프라가 부족하여 유관기관간 업무협력이 요구되며, 각 기관별 교류를 통한 인적 네트워크 향상과 공동 연구방안 논의를 통해 기관의 연구역량 강화를 기대할 수 있음

II

추진목적

- 유관기관간 인적 네트워크 구축
- 각 기관별 업무추진 현황 공유
- 공동연구방안 모색

III

기대효과

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

IV 행사개요

- 중부권 미세먼지 관리를 위한 연구교류 세미나
- 일 시 : 2023년 5월 11일(목) 10:00~12:00
- 참 석 : 충남연구원, 중부권 미세먼지 연구·관리 센터
- 장 소 : 충남연구원 서해안기후환경연구소
- 참석인원 : 김종범 책임연구원 외 9명

V 세부일정

시 간	내 용	
5월 10일 (수)		
10:00~10:05	환영사	이상신 연구위원 (충남연구원)
10:05~10:15	참석자 소개	김종범 책임연구원 (충남연구원)
10:15~10:35	대기환경연구소 자료를 활용한 지역별 PM _{2.5} 의 물리화학적 특징	김종범 책임연구원 (충남연구원)
10:35~10:55	마을대기측정망 운영 및 데이터 관리 현황	송한결 연구원 (충남연구원)
10:55~11:15	중부권 고농도 PM _{2.5} 의 기상/기후 영향 분석	상정 연구교수 (중부권 미세먼지연구관리센터)
11:15~11:35	WRF-Chem 모형을 이용한 동아시아 기상-대기질 예측체계 개발	이재형 연구원 (중부권 미세먼지연구관리센터)
11:35~11:55	종합토의	김종범 책임연구원 (충남연구원)
11:55~12:00	마무리	

【별첨 1】

참석자 명단 (10명)

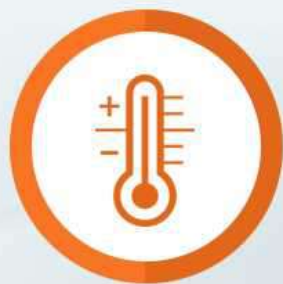
	소 속	직 위	이 름
1	충남연구원 (6)	연구위원	이상신
2		책임연구원	김종범
3		책임연구원	최영남
4		연구원	이상기
5		연구원	황규철
6		연구원	송한결
7	중부권 미세먼지연구·관리센터 (4)	연구교수	상정
8		연구원	이재형
9		연구원	현지민
10		사무원	박시원

대기환경연구소 자료를 활용한 지역별 PM_{2.5}의 물리화학적 특징

2023. 5. 11

김종범, 황규철, 송한결

충남연구원 서해안기후환경연구소





CONTENTS

1. 서해안기후환경연구소 소개
2. 대기환경 이슈
3. 지역별 초미세먼지 특성 분석
4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성
및 지역 발생원인 조사





1. 서해안기후환경연구소 소개



1. 서해안기후환경연구소 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

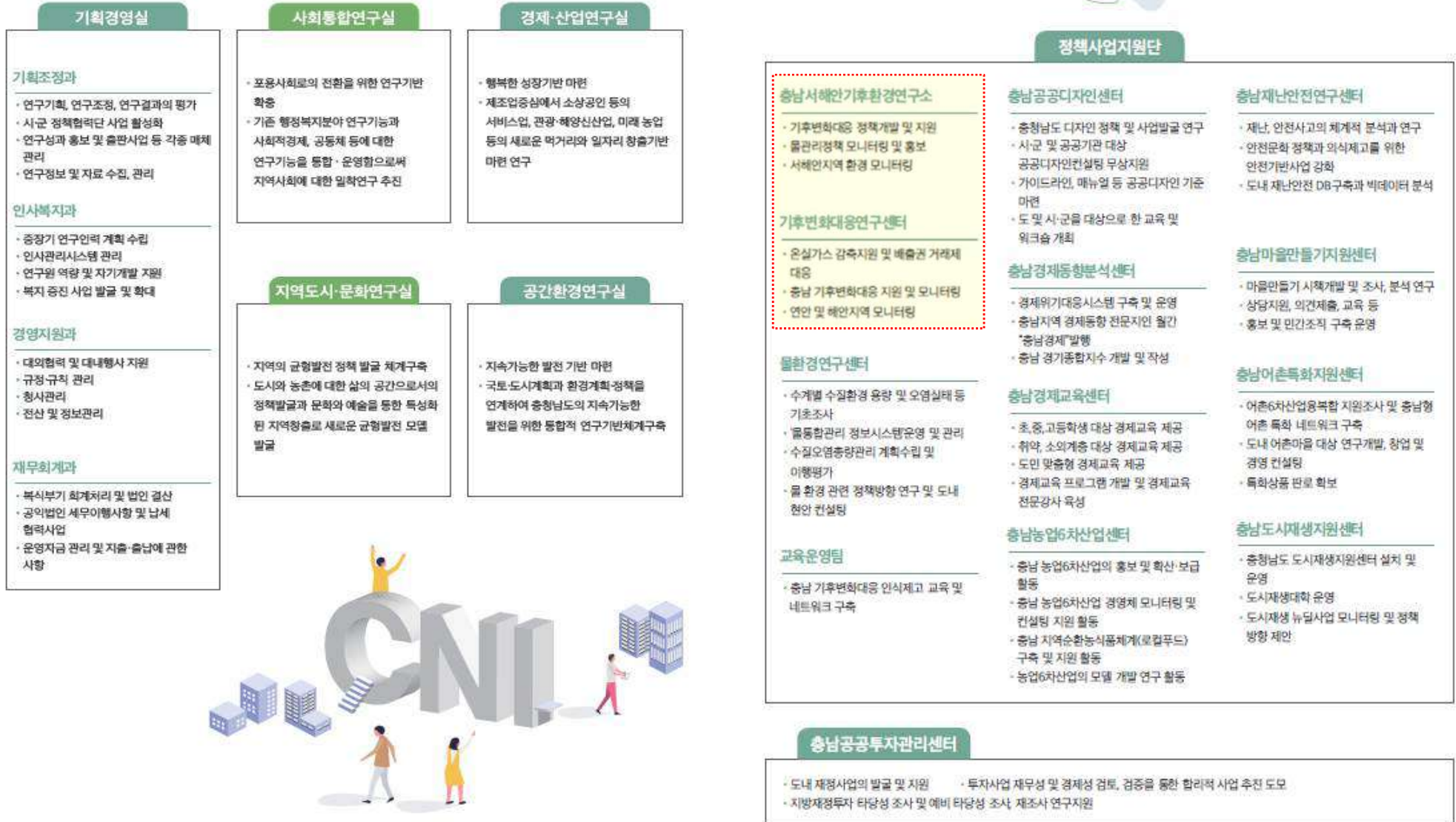
- ✓ 5실 1단으로 구성
- ✓ 약 160여명 근무
- ✓ 전국 3위 규모의 지역정책 연구기관(1위 서울, 2위 경기)



1. 서해안기후환경연구소 소개



충남연구원(ChungNam Institute)



1. 서해안기후환경연구소 소개



서해안기후환경연구소



설립목적 (2015. 3 개소)

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

주요연구분야

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



1. 서해안기후환경연구소 소개



서해안기후환경연구소



〈기후변화 영향 조사〉



〈대형배출시설 주변지역 대기질 모니터링〉



〈석유화학단지 주변지역 오염도 조사〉



〈선박 배출량 조사〉





2. 대기환경 이슈



2. 대기환경 이슈



■ 고농도 미세먼지 발생에 따른 국민적 관심과 우려 증대 → 국민 알 권리 증대(대기측정소 확대 설치운영)



2016년 이후 고농도 미세먼지 발생 사례 증가



삶의 질 향상과 고농도 미세먼지 발생사례 증가에 따른 국민적 관심과 우려 증대



단편적 대응이 아닌 국가차원의 중장기적인 개선대책 마련 요구



수도권을 중심으로 한 개선대책 추진에서 전국차원의 광역적인 개선대책 마련 필요성 증대



정책수립과 추진 결과 해석을 위해 대기오염측정망 설치 운영 (2021년 10월 기준 878개소 운영 중)

2. 대기환경 이슈



국가 미세먼지 관리 종합계획 수립

- 정부차원의 국가 미세먼지 관리 종합계획 발표 (2019. 11)
- 국가 정책을 기반으로 하는 지역 맞춤형 분야별·단계별 목표 및 계획 수립 필요

산업부문	·미세먼지다량배출지역을 대기관리권역으로 엄격관리 ·사업장오염물질배출기준강화및관리체계재정비 ·사업장배출관리실태감시및단속강화 ·사업장환경관리강화를위한지원확대
도로수송부문	·노후경유차퇴출가속화 ·경유차검사·관리강화 ·신규경유차수요억제/저공해차보급확대 ·대중교통편의증진및교통수요관리강화
비도로수송부문	·선박배출미세먼지저감 ·항만미세먼지감축 ·건설농기계관리강화 ·공항미세먼지 저감추진
발전 및 농업생활부문	·석탄화력미세먼지저감추진 ·친환경에너지전환및사각지대관리강화 ·농업·농촌분야미세먼지저감 ·도심미세먼지저감
국민건강보호	·고농도초미세먼지재난대응체계구축 ·미세먼지고농도시기계절관리제 ·민감·취약계층건강보호기반강화 ·민감·취약계층건강보호현장이행점검강화

제3차 미세먼지특별대책위원회

안전① 심의

미세먼지 관리 종합계획 [2020~2024]

2019. 11. 1



관계부처 합동

비전	맑고 깨끗한 공기, 미세먼지 걱정 없는 대한민국
목표	'16년 대비 초미세먼지 연평균 농도 35% 이상 저감 ※ 전국 초미세먼지(PM2.5) 연평균 농도 : '16년 26 μ g/m ³ → '24년 16 μ g/m ³

분 야	15대 중점 추진과제
국내 배출 감축	· 산업부문 ① 배출총량제 전국 확대 ② 사업장 점검 및 단속 강화
	· 수송부문 ③ 노후경유차 감축 강화 및 저공해차 보급 확대 ④ 선박 및 항공 관리기준 강화 ⑤ 노후건설기계 관리 강화
	· 발전부문 ⑥ 석탄발전 미세먼지 저감 ⑦ 친환경에너지 전환(중장기)
	· 농업·생활부문 ⑧ 축산 환경 관리 강화 ⑨ 저녹스 보일러 보급 확대
국민 건강	· 국민건강 보호 ⑩ 미세먼지 고농도 계절관리제 도입 ⑪ 실내공기질 관리 강화
국제 협력	· 동아시아 대기협력 ⑫ 동아시아 미세먼지 저감 협약 추진(중장기) ⑬ 실체적 협력사업 확대
기반·소통	· 과학적 접근·실천 · 국민참여·소통 ⑭ 미세먼지 해결 다부처 기술개발 사업 ⑮ 참여와 숙의를 통한 사회적 합의 도출

2. 대기환경 이슈



국가정책에 따른 지역 맞춤형 관리대책 추진 → 정밀진단을 통한 원인파악과 결과분석 필요

- 미세먼지 특별법 시행과 권역별 대기환경관리 기본계획에 따라 국가 및 권역별 대기환경개선 목표 수립(대기환경 개선시행계획)
- 지역별 PM_{2.5} 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



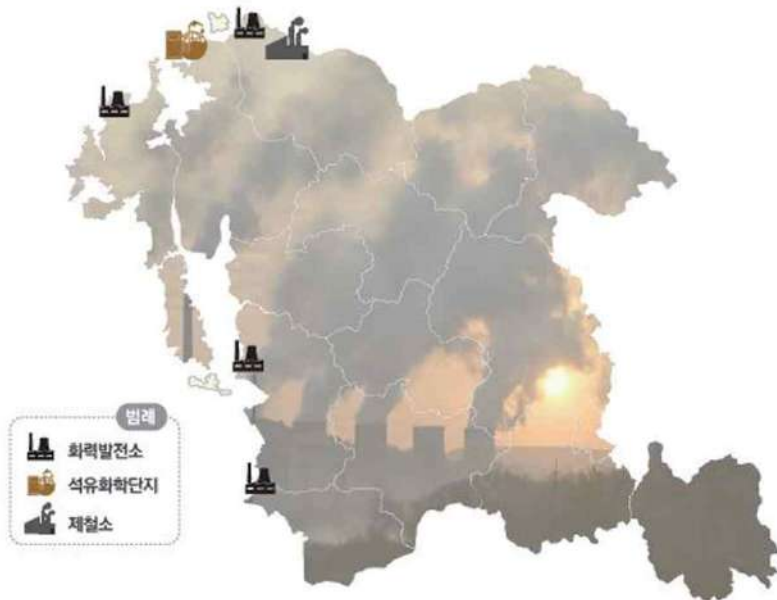
개선대책 수립의 근거자료 확보 및 정책 추진에 따른 결과 해석을 위해 지역별 정밀분석 필요

2. 대기환경 이슈



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

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



1 지리적 영향

편서풍 지대
→ 장거리 이동 대기오염물질
중국발 황사의 영향

2 환경적 영향

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

3 끊임없는 사건사고와 보도자료

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

복합적인 환경문제 발생

주민 건강 보호와 대기환경 개선을 위한 대기 관리 대책 마련이 시급



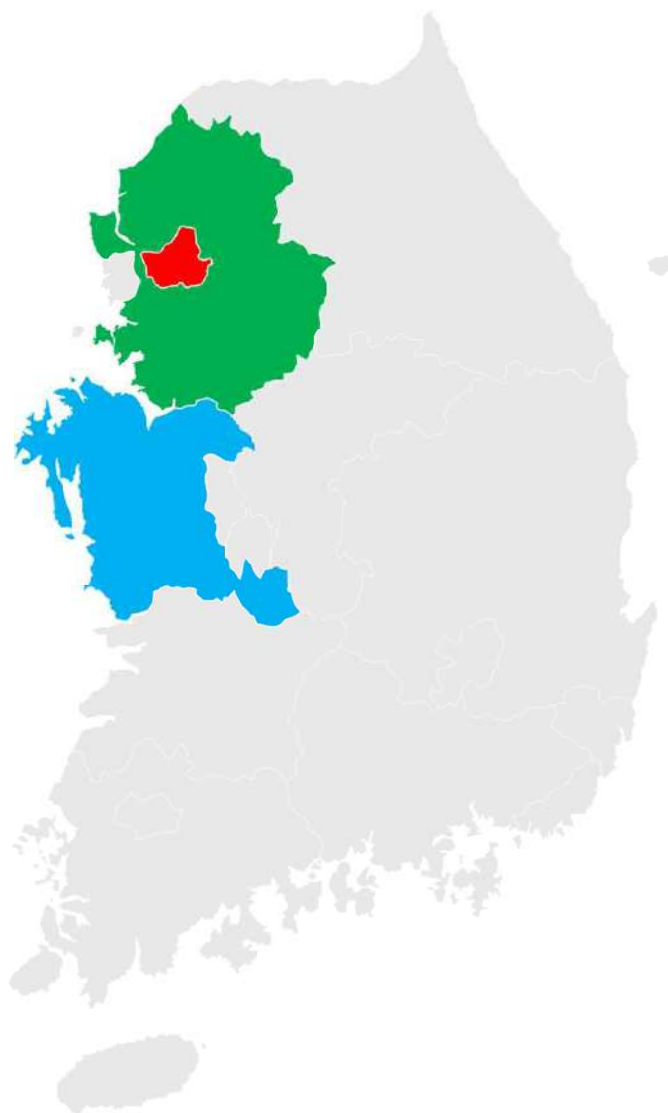
3. 지역별 초미세먼지 특성 분석



3. 지역별 초미세먼지 특성 분석



수도권과 충청권 데이터 확보 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. 지역별 초미세먼지 특성 분석



I 연국개발 목표 및 내용

목표 1 : 중장기적인 지역의 PM_{2.5} 조성 분석

- 지역별 미세먼지 관련 선행 연구사례 조사
- 지역별 측정소 데이터 기초통계 분석
- 지역별 기상기후 자료 분석
- 중기적 지역(수도권, 경기권, 충청권)의 연간 PM_{2.5}의 물리화학적 특성 비교 분석 (2021년 대상, 필요시 2022년도 자료 포함)

목표 2 : 고농도 미세먼지 사례 분석

- 지역별 고농도 미세먼지(황사, 국내발생 등) 현황 조사
- 고농도 미세먼지 발생시 지역적 PM_{2.5}의 물리화학적 조성 변화 특성 분석
- 고농도 미세먼지 발생구간에 대한 역궤적 분석 (국내외 영향 분석)
- 국내외 발생 기원에 따른 조성 변화 분석

목표 3 : 고농도 미세먼지 발생에 따른 지역별 PM_{2.5} 특성 분석

- 2차 생성 PM_{2.5}에 대한 연구동향조사
- PMF를 이용한 지역별 기여도 분석
- 기여도분석결과와 지역 배출량과의 상관성 분석

목표 4 : 충청권(교외지역) 지역오염 특성 조사

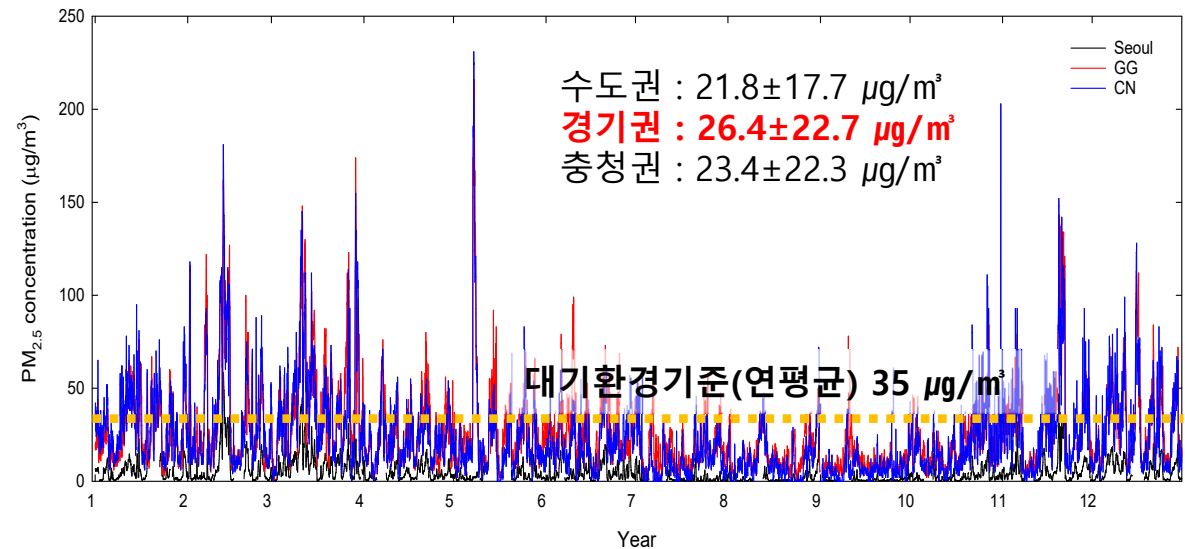
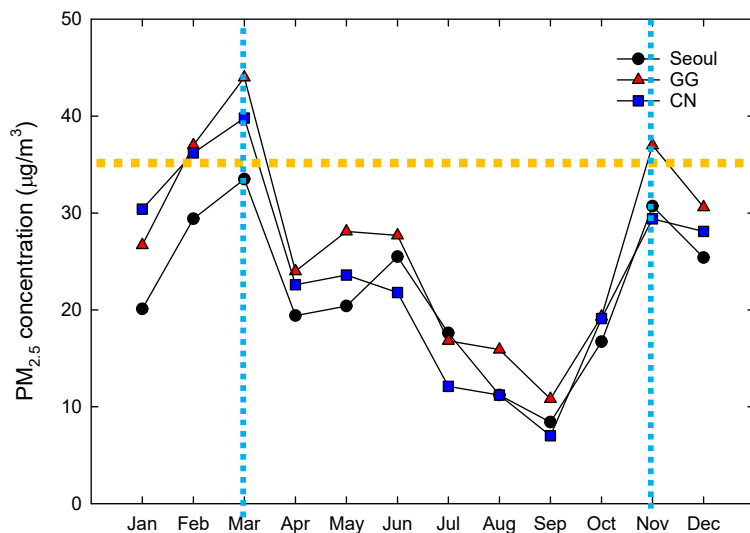
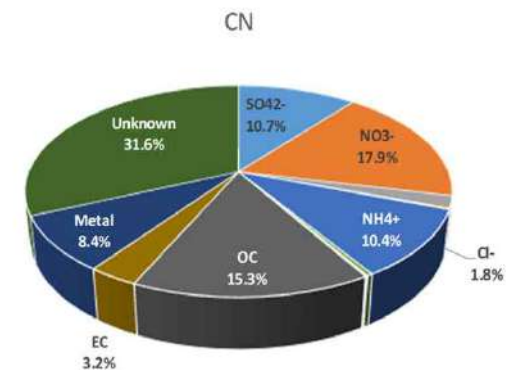
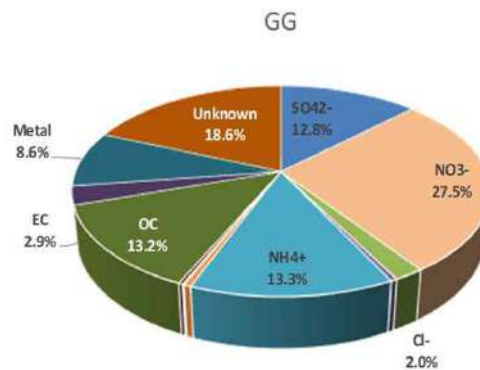
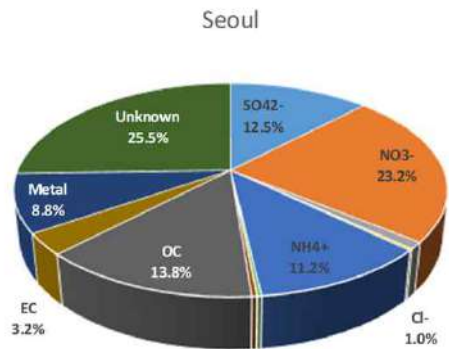
- 교외지역(충남 홍성)의 겨울철 PM_{2.5} 화학적 특성 조사(2022년 12월~2023년 2월, 3개월)
- 충청권대기환경연구소(서산, 농업지역)와 충남연구원(홍성, 농축산 복합지역)의 교외지역의 특성비교 분석

3. 지역별 초미세먼지 특성 분석



지역별 PM_{2.5} 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- 월별로는 3월과 11월에 가장 높았으며, 가장 낮은 달은 9월/ 전국이 동일
- 성분별로 질산염(NO_3^-)이 가장 높은 분율을 보였고, 그 다음 황산염(SO_4^{2-}), 유기탄소(OC), 암모늄 이온(NH_4^+) 순으로 확인됨

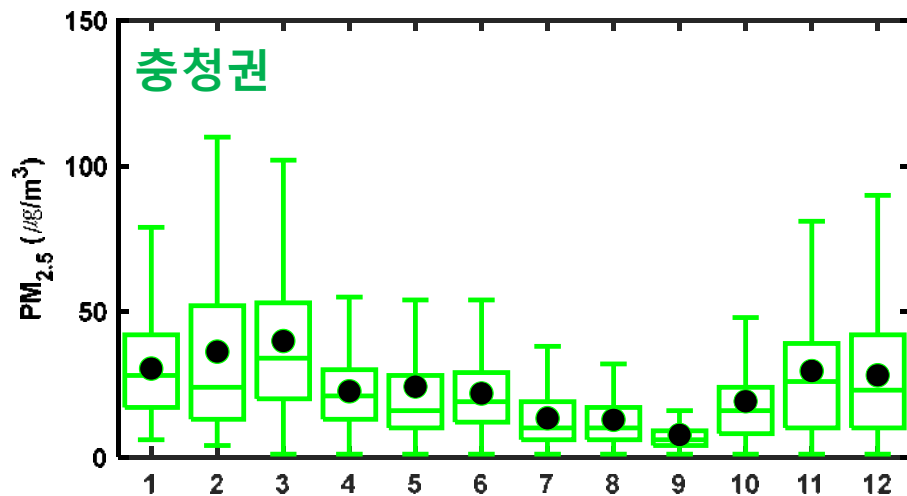
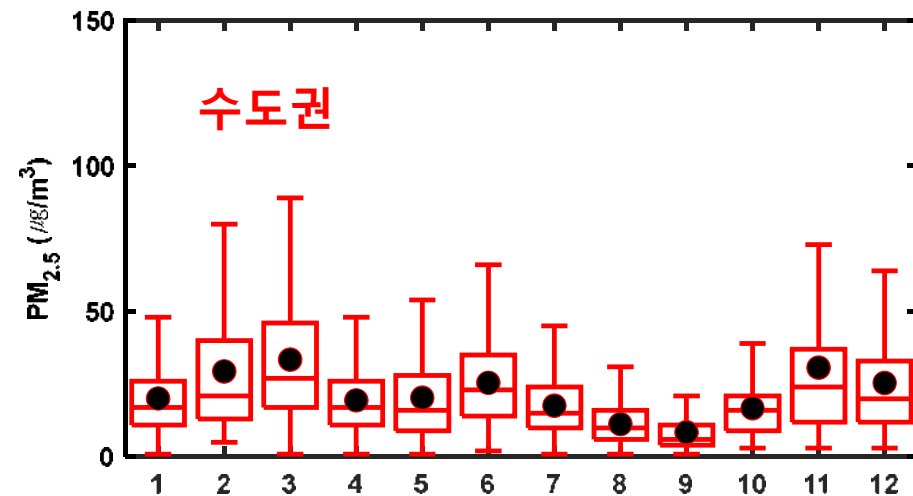
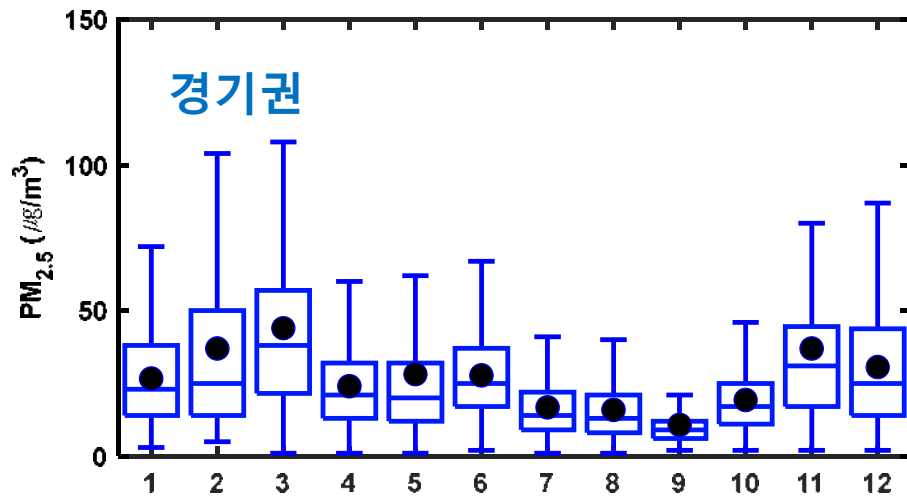


3. 지역별 초미세먼지 특성 분석



지역별 PM_{2.5} 특성

- 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**



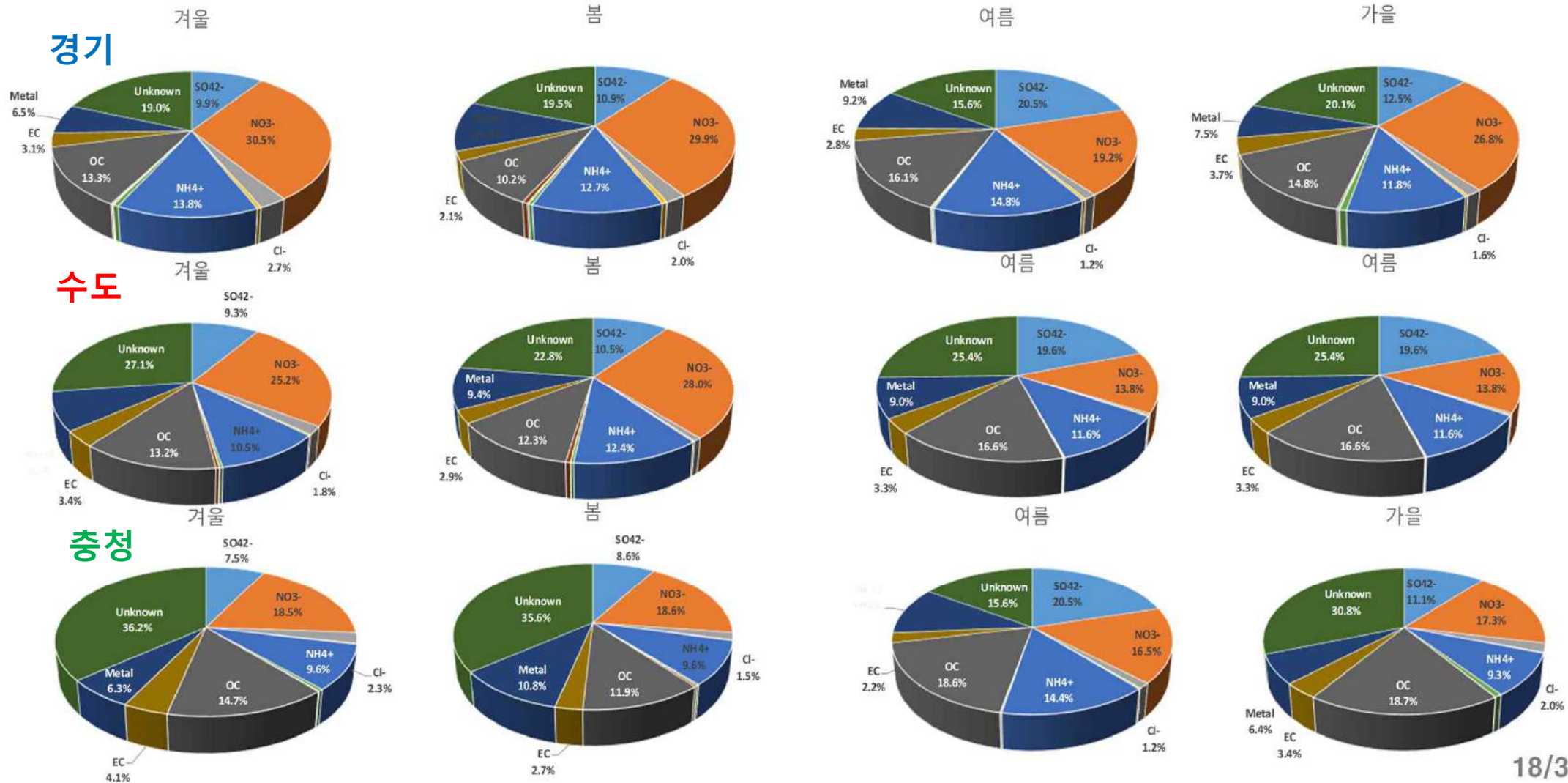
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
경기	26.7	37.0	44.0	24.0	28.1	27.7	16.8	15.9	10.8	19.3	37.0	30.6
서울	20.1	29.4	33.5	19.4	20.3	25.5	17.7	11.2	8.4	16.7	30.7	25.4
충청	30.4	36.2	39.8	22.5	23.6	21.7	12.1	11.2	7.0	19.0	29.5	28.0

3. 지역별 초미세먼지 특성 분석



지역별 PM_{2.5} 특성

- 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

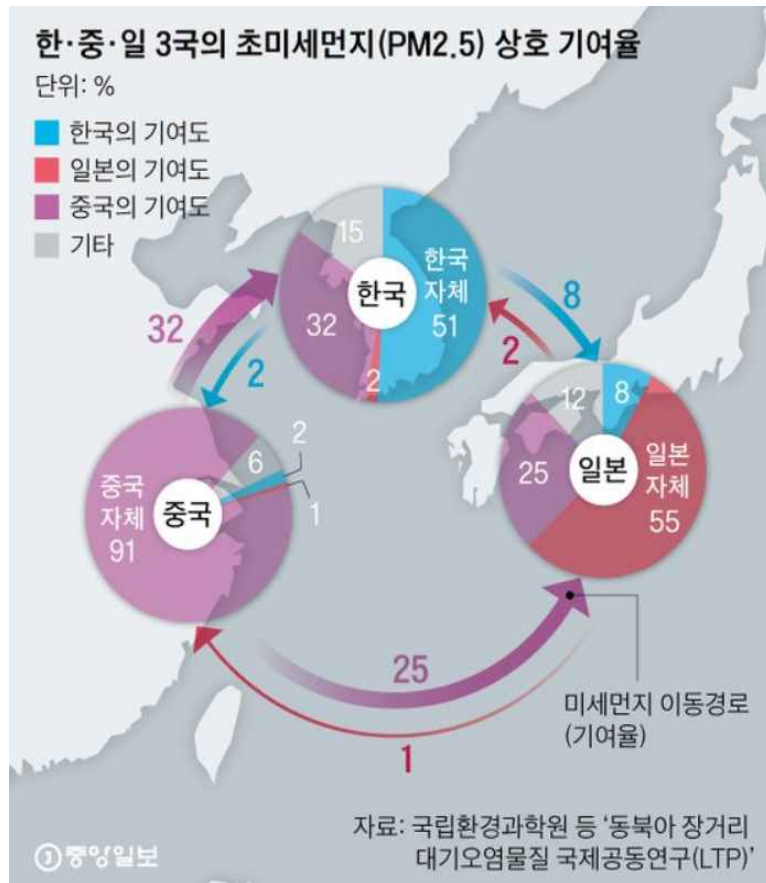


3. 지역별 초미세먼지 특성 분석

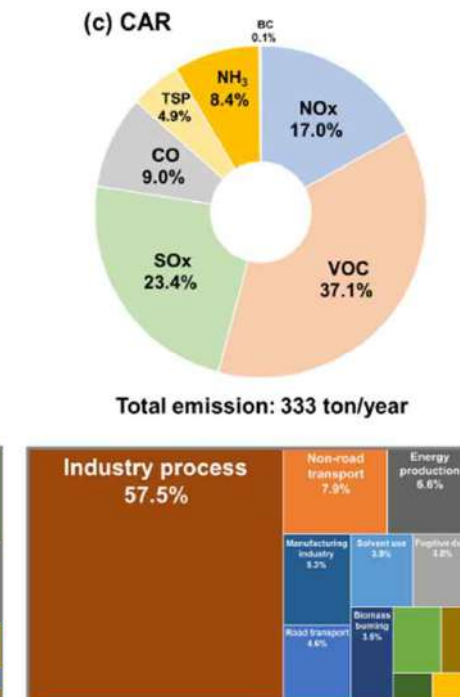
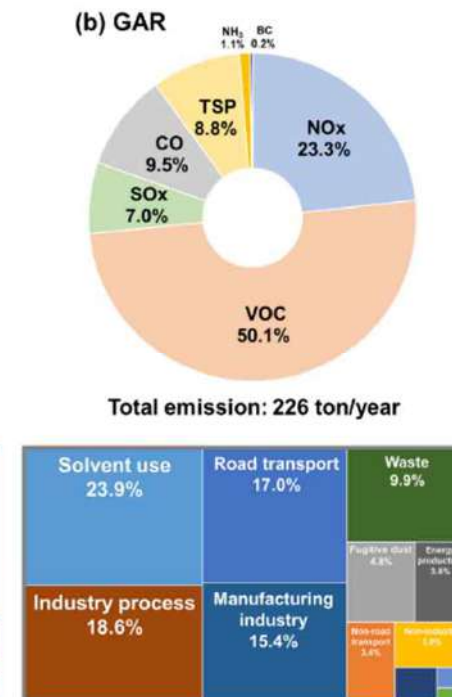
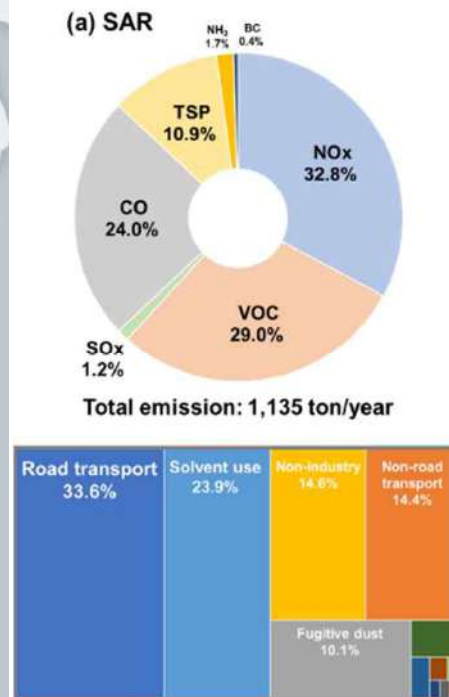


고농도 사례 및 지역별 PM_{2.5} 물리화학적 특성 분석

- 국내 고농도 PM_{2.5} 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)

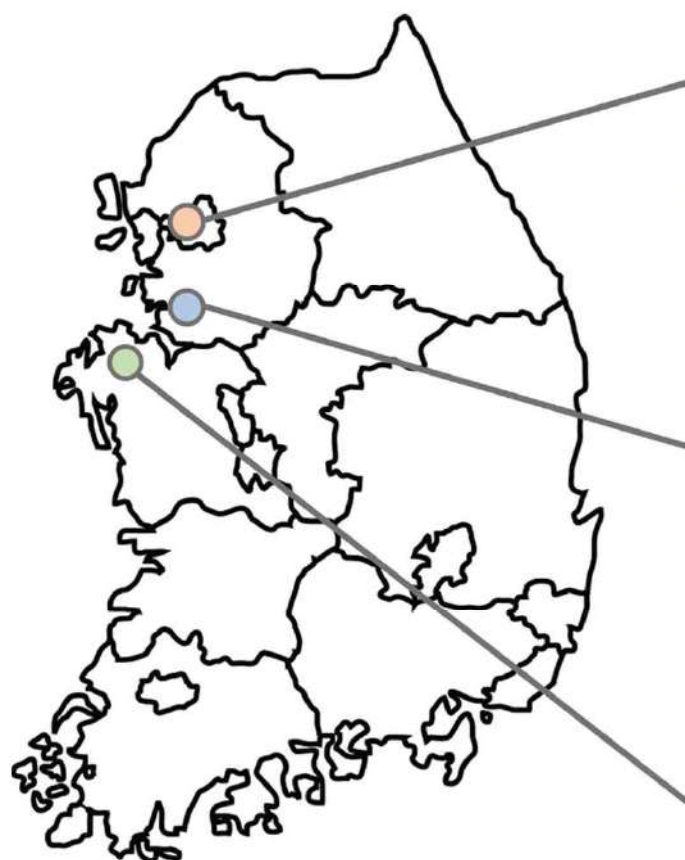


3. 지역별 초미세먼지 특성 분석



고농도 사례 및 지역별 PM_{2.5} 물리화학적 특성 분석

- 수도권(도심지역, 605km²), 경기권(산업단지지역, 10,196 km²), 충청권(교외지역, 8,246 km²) 으로 분류
- 주요 배출원 : 수도권, 도로이동오염원 / 경기권 : 산업단지 / 충청권 : 주변 농업지역



Seoul Atmospheric environment Research center (SAR)

- Location: Eunpyeong-gu, Seoul (37°36'37" N, 126°56'1" E)
- Urban area (population: 9,509,458)
- Major emission source: Transportation, Commercial, Residential

Gyeonggi Atmospheric environment Research center (GAR)

- Location: Ansan-si, Gyeonggi-do (37°19'12" N, 126°49'42" E)
- Industrial area (population: 652,726)
- Major emission source: Industry, Power plant

Chungcheong Atmospheric environment Research center (CAR)

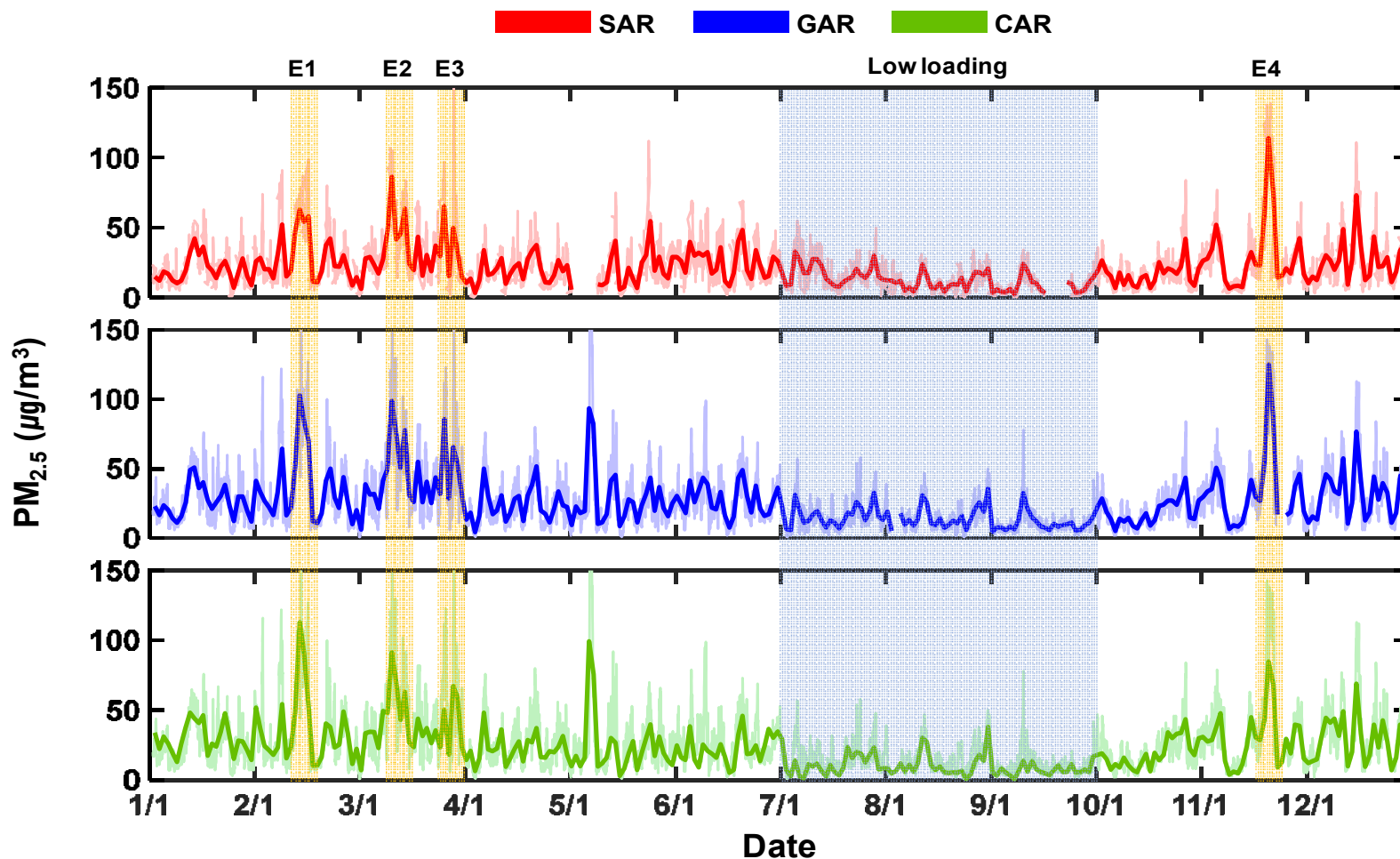
- Location: Seosan-si, Chungcheongnam-do (36°46'36" N, 126°29'38" E)
- Suburban area (population: 176,645)
- Major emission source: Agriculture, Livestock

3. 지역별 초미세먼지 특성 분석

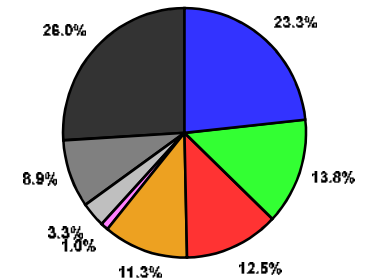


고농도 사례 및 지역별 PM_{2.5} 물리화학적 특성 분석

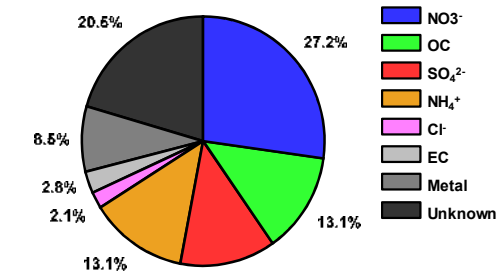
- 경기권 측정소 데이터가 26.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높음 (충청권 23.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 수도권 21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- 성분별로 질산염(NO_3^-)이 가장 높은 분율을 보였고, 그 다음 황산염(SO_4^{2-}), 유기탄소(OC), 암모늄 이온(NH_4^+) 순으로 확인됨
- 고농도 사례 분석 : 일평균 농도로 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 구간 / 4개 이벤트 선정



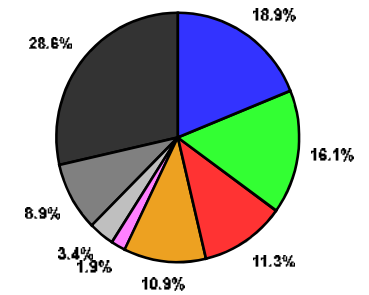
(a) SAR



(b) GAR



(c) CAR



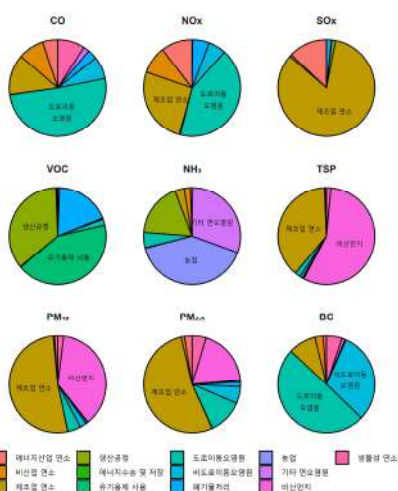
3. 지역별 초미세먼지 특성 분석



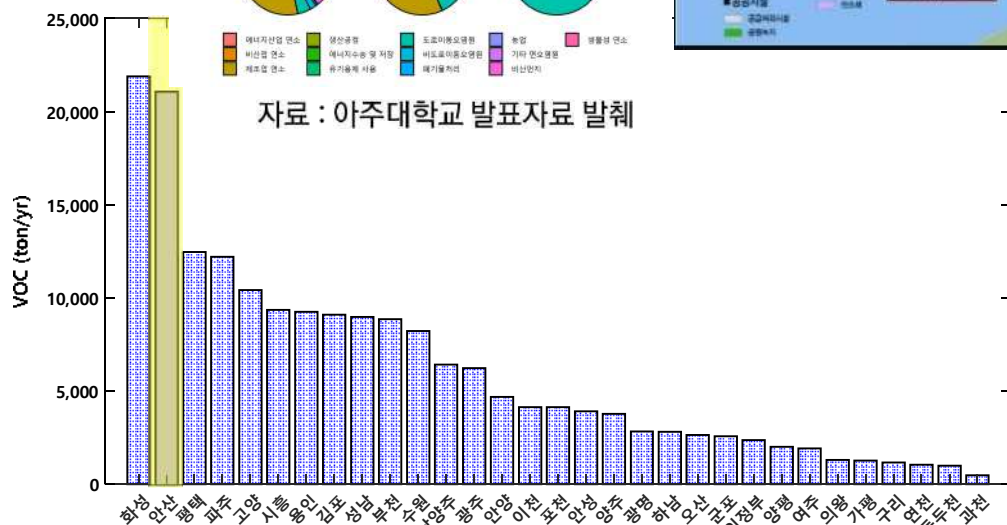
광화학스모그에 따른 SOA 생성 특성 분석

- 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)



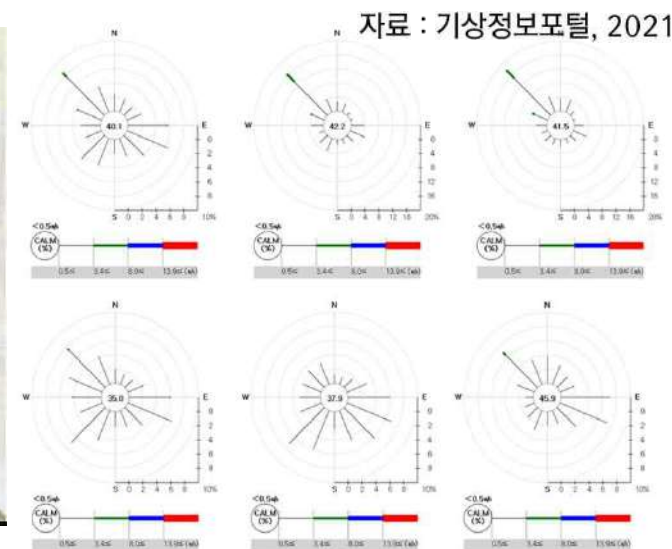
자료 : 아주대학교 발표자료 발취



자료 : CAPSS, 2019



(자료 : 연합뉴스(15.07.13))



자료 : 기상정보포털, 2021

구 분		계(면적)	산업시설 구역	지원시설 구역	공공시설 구역	녹지구역	비 고
계(안산)		31,495	18,380	1,761	5,613	5,741	도로 1,987천㎡ 그 외 주차장, 운동장, 종말처리장 등 공공시설
반월국가 산단		15,374	7,929	427	2,086	4,932	
시화 국가 산단	안산	4,304	4,130	48	1	125	안산시 26.7%
	시흥	11,817	6,321	1,286	3526	684	시흥시 73.3%
	소계	16,121	10,451	1,334	3,527	809	

자료 : 블로그(안산 둘러보기) 22/36

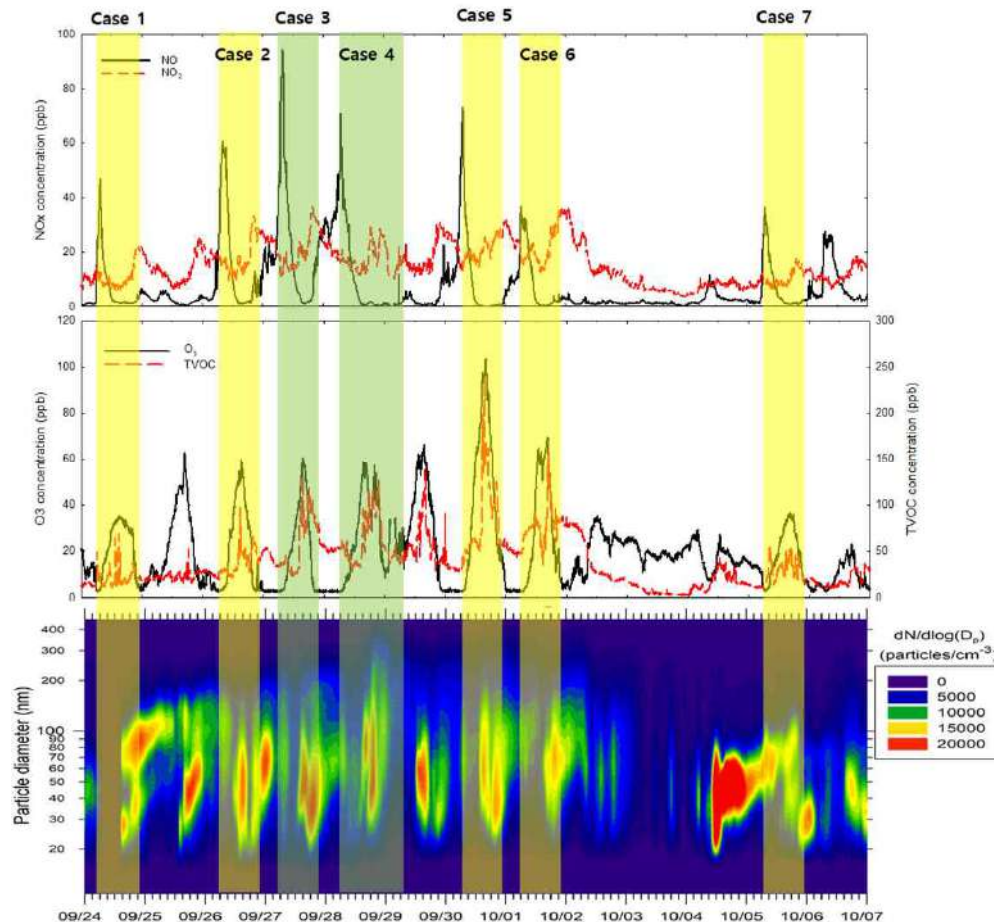
3. 지역별 초미세먼지 특성 분석



광화학 스모그에 따른 SOA 생성 특성 분석

- 관측 일시 : 2022년 9월 23일 ~ 10월 11일 / 측정장비 : PTR-ToF-MS, O₃, NO-NO_x, SMPS
- 측정결과 : NO_x의 감소와 함께 O₃ 및 나노입자 증가 추이 파악 (세부분석을 통한 논문화 작업 중)
- O₃ 상관성 분석 결과 : 기온, 습도, 아세톤, 자일렌 과의 상관성이 높게 나타남 / NO_x 계열 물질과 음의 상관관계 확인

〈 O₃과 물질간 상관성 분석 결과 〉



물질명	R	물질명	R	물질명	R
기온	0.746	AAC	-0.058	XYL	0.700
습도	-0.647	DMS	0.428	CB	-0.039
NO	-0.403	ISP	0.538	TMB	-0.425
NO ₂	-0.187	MVK	0.456	PN	0.16
Nox	-0.418	MEK	0.016	AVOC	0.502
MOH	0.391	PA	0.509	OVOC	-0.45
AN	0.302	BZ	0.257	TVOC	0.435
AA	0.464	TOL	-0.149		
ACT	0.591	STR	-0.009		



4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사



4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

대기질 개선 및 초미세먼지 개선을 위한 국가차원의 대형 사업단

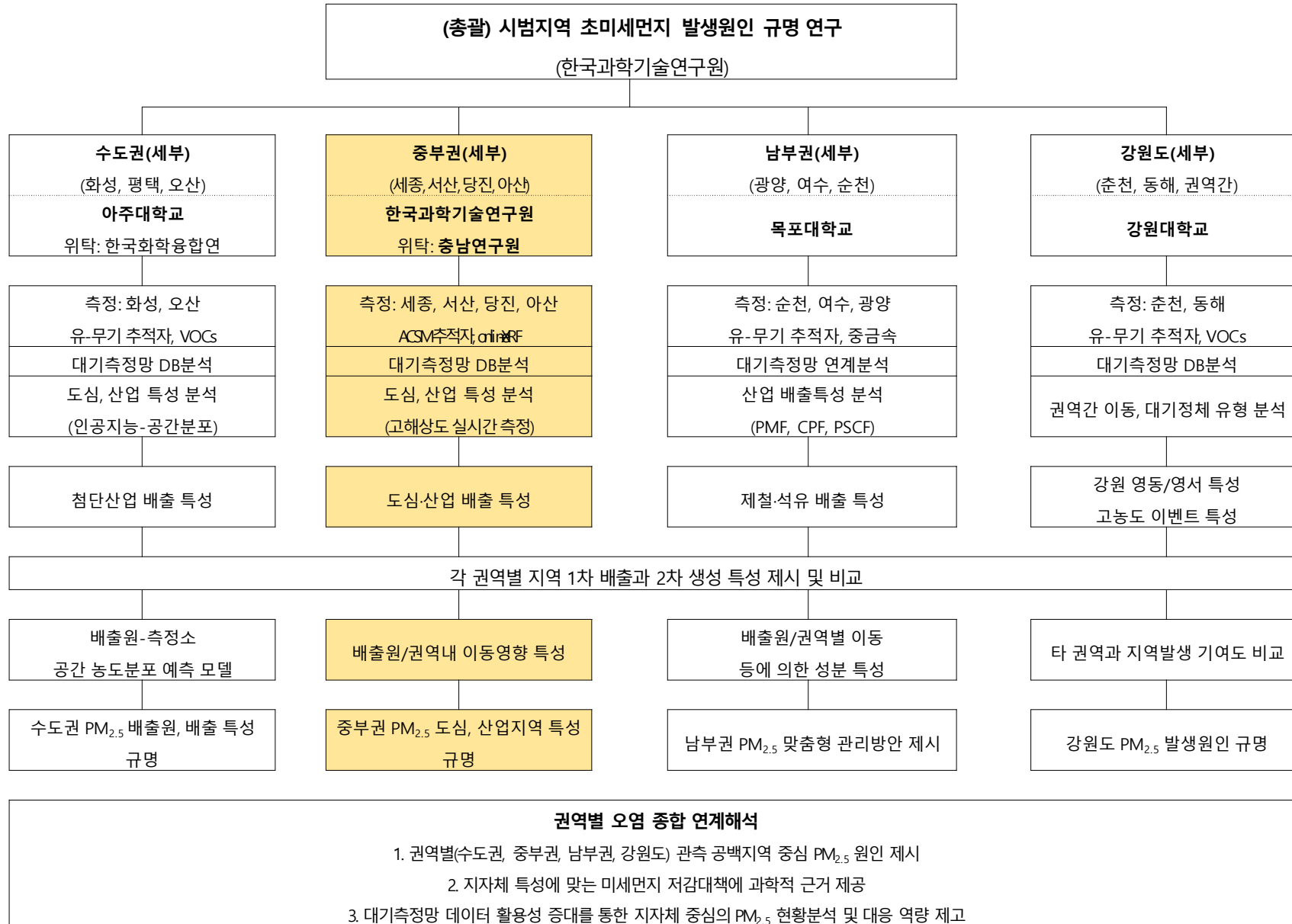
□ 사업기간 : 20년 6월 ~ 25년 3월 / 사업비 470.4억원

□ 목표 : 국가차원의 전략적인 초미세먼지 등을 위한 현상규명 및 중장기 전망 기반을 구축하여 **지역 맞춤형 시범실증**



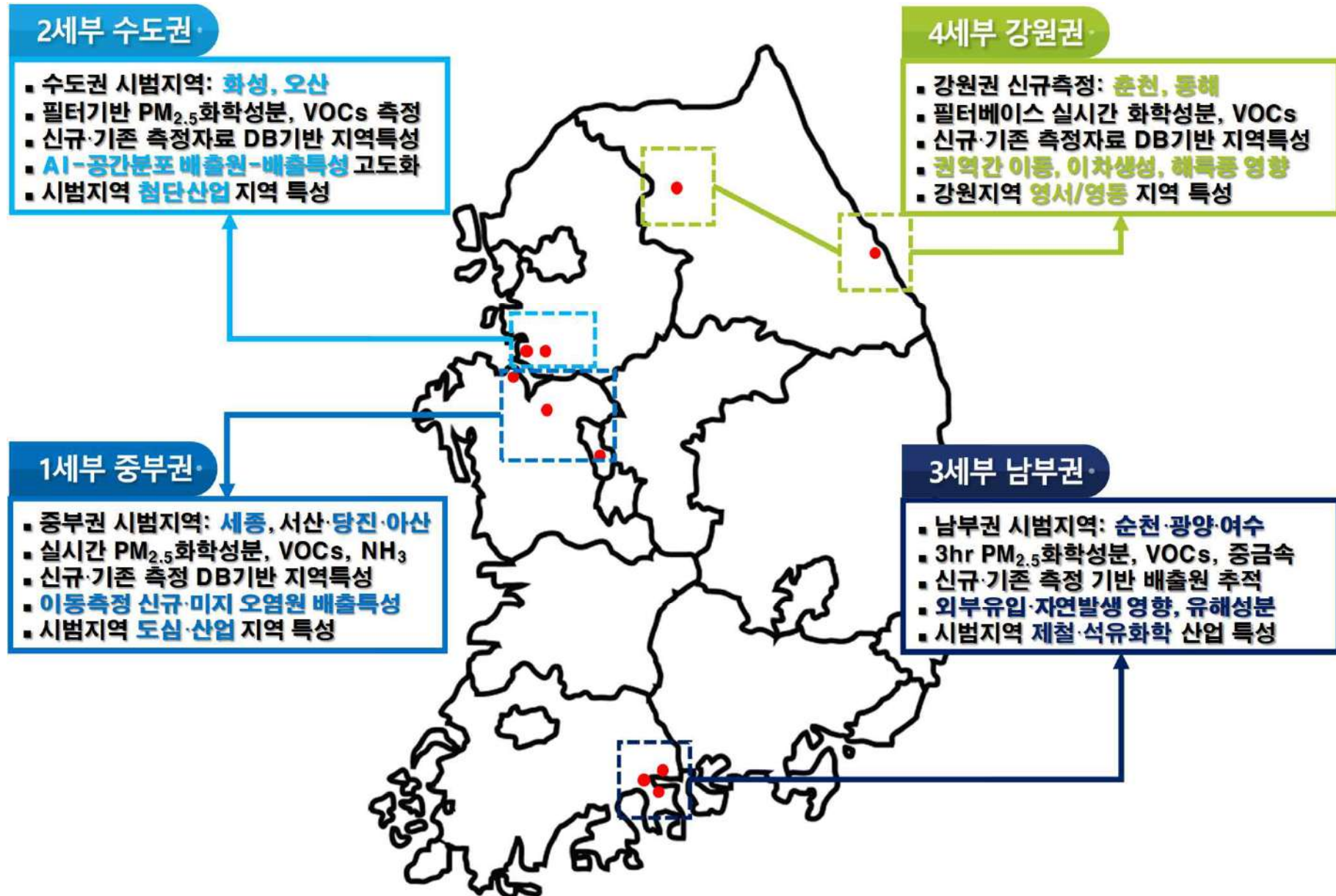
4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

1-5 사업의 구성도



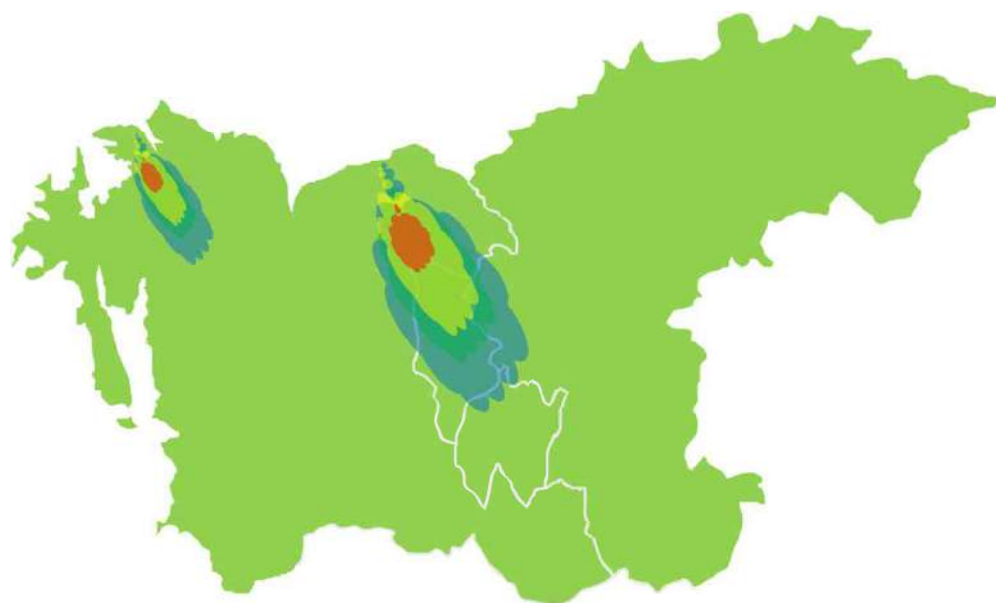
4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

■ 권역별 주요 연구내용



4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

■ 실시간 측정 기반의 중부권 해안과 내륙지역의 초미세먼지 및 전구물질의 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_{2.5} 성분 특성과
중부권 시범지역 기초자료 분석 및 현장
지원 등을 통한 지역 맞춤형 개선 정책
제언

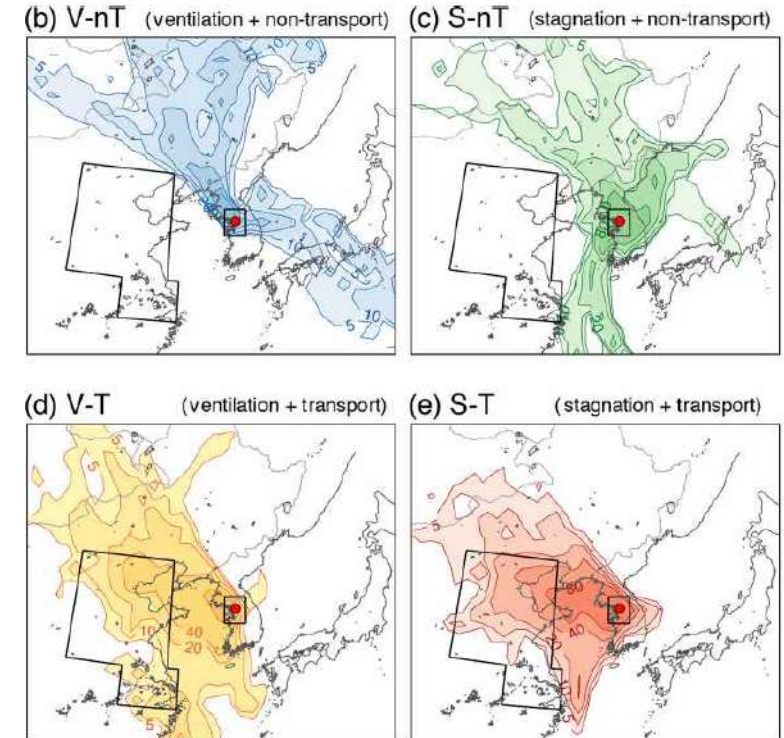
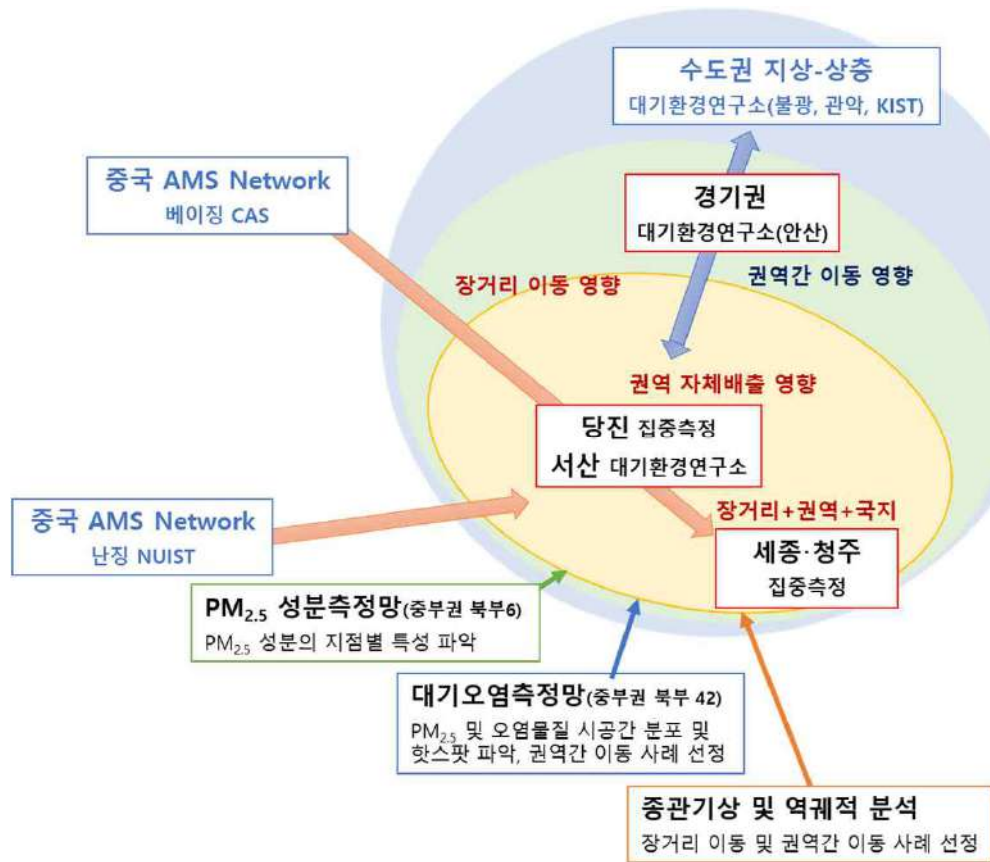
마을대기측정망, PM_{2.5} 필터샘플



최종: 중부권 시범지역의 초미세먼지 및 전구물질의 지역적 특성 규명

4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

국내외 유입사례 분석



< 국내·외 영향 구분의 예(Seo et al., 2020) >

- 종관기상, 역궤적 분석
 - 자체영향 및 권역간 이동 사례 선정
- 충청권 대기오염측정망
 - PM_{2.5}와 오염물질 시공간 분포
 - 핫스팟 구분 및 이동사례 선정

- PM_{2.5} 성분측정망
 - PM_{2.5} 성분 지점별 특성 파악
- 대기환경연구소 및 집중측정
 - 배출특성 : 서산, 당진
 - 주변지역 이동 : 서산·당진 → 천안·청주·세종

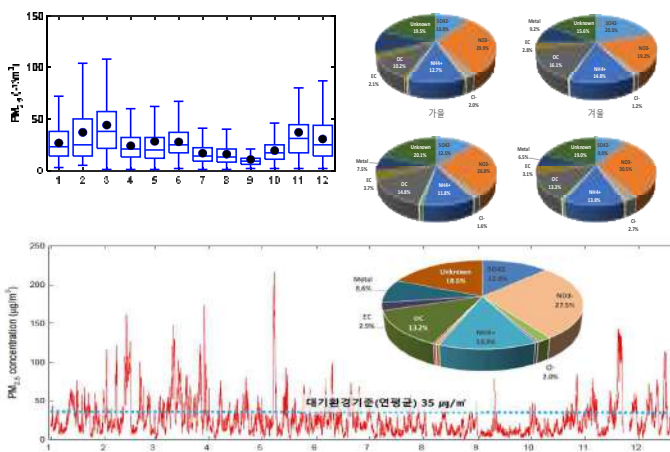
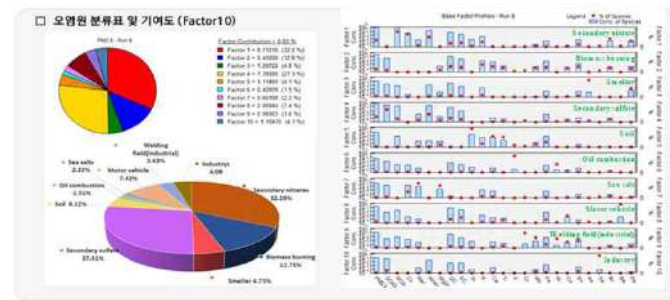
4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

연차별 추진 일정

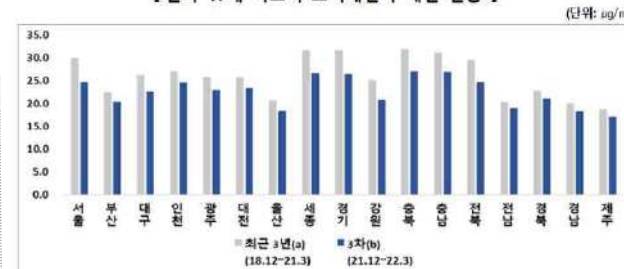
1차년도													
추진내용	추진 일정												책임자 (소속기관)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
중부권 대기측정망과 화력발전소 마을대기 측정망 데이터 연계 오염특징 분석(2021~2022)													김종범(충남연)
대기측정망-서산 대기환경연구소 측정데이터 통합 분석(2021~2022)													김경환/서지훈 (KIST)
측정지점 선정 추가 조사/협의													김경환/김준태(KIST) 김종범(충남연)
실시간 질량분석 측정 기반 집중관측 플랫폼 구축													김경환(KIST)
세종지역 도로오염지도 작성을 위한 최적루트 설계													김경환(KIST)
Mobile lab 이동측정과 ACSM 고정측정 연계 활용으로 세종지역 도심특성 측정													김경환(KIST) 김종범(충남연)
기존 ACSM, PTR-MS 측정 결과 기반 PMF 해석방법 연구													김경환(KIST)
당진, 아산 필터측정													김종범(충남연)
2차년도													
겨울(1~2월), 봄(4~6월), 여름(7~8월), 가을(10~11월) 필터 샘플링 수행													김종범(충남연)
ACSM, PTR-MS 등 측정 결과 데이터 분석													김경환(KIST)
초미세먼지 전구물질(VOCs와 암모니아)의 지역적 특성 측정													김경환(KIST)
이동/고정 실시간 측정 기반 산업단지 주변지역 오염영향 특성 측정													김경환(KIST) 김종범(충남연)
일차배출 파악 및 이차생성 파악													김경환/서지훈 (KIST)
데이터 상세분석 및 PMF 수행													김경환/김준태 (KIST)
3차년도													
실시간 자료 연계 종합해석방안													김경환/서지훈 (KIST)
데이터 상세분석 및 PMF 수행													김경환/김준태 (KIST)
중부권 도심과 산업지역의 초미세먼지(PM _{2.5}) 및 전구물질의 지역적 특성 통합분석													김경환/김준태/서지훈 (KIST)
중부권 도심, 산업지역 결과 기반 정책적 시사점 도출													김종범(충남연)

4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

충남연구원의 역할



【 전국 17개 시도의 초미세먼지 개선 현황 】



대기관리권역 전국 확대로 지역 맞춤형 대기질 관리

시행일 : 2020년 4월 3일



중부권 시범지역 기초자료 분석 및 현장지원

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

충청권 대기환경연구소 기반 PM_{2.5} 성분특성 분석

- 연평균, 월, 계절별, 일평균 농도 분석
- 고농도 미세먼지시 물리화학 특성 분석
- PMF모델을 활용한 기여도 분석
- 오염물질간 상관성 분석

대기환경 개선효과 분석 및 맞춤형 정책 제언

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

4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

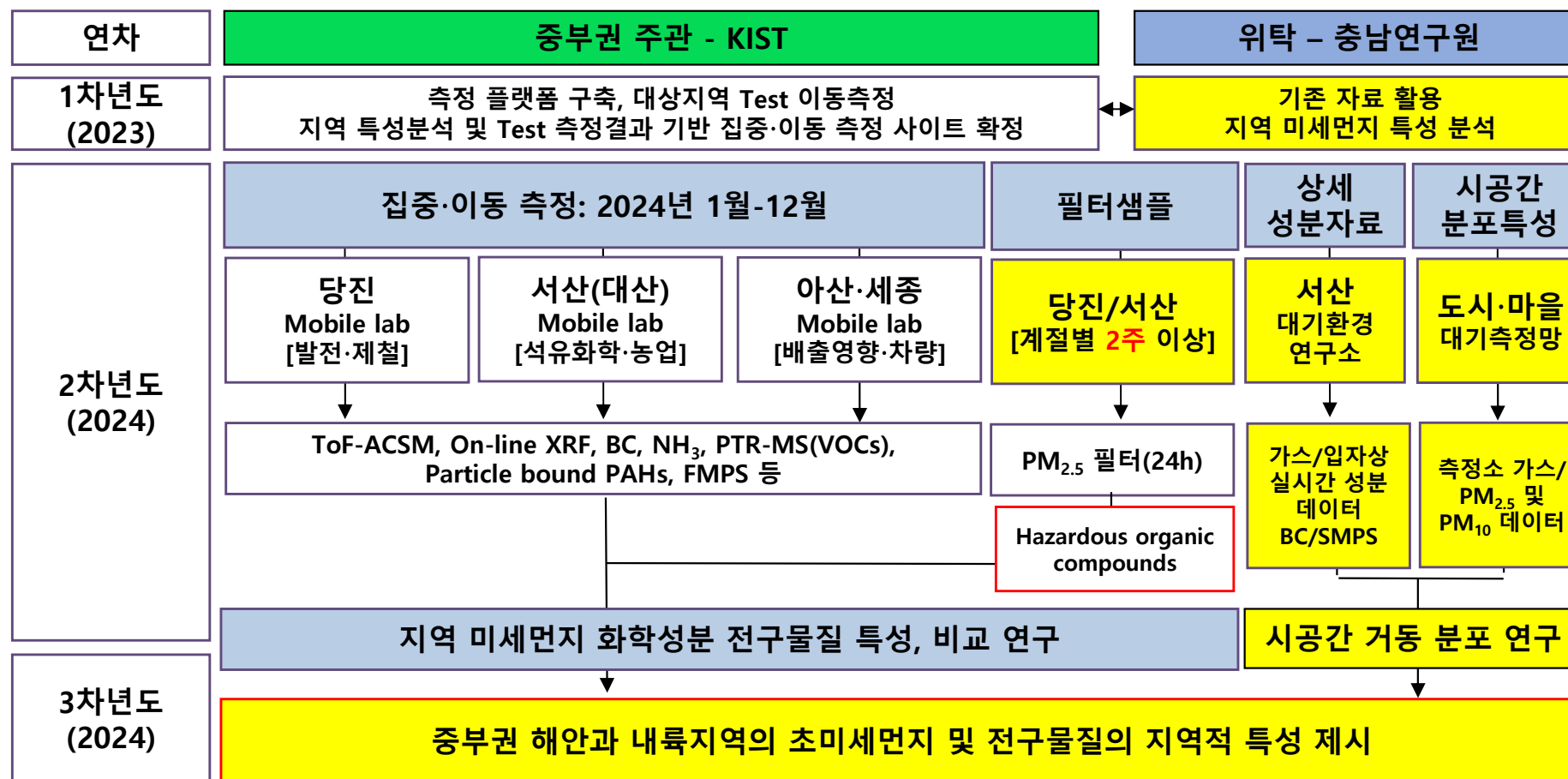
- » 충남연구원: 위탁과제 기관으로 측정자료 확보/분석, 집중측정 공동 수행 및 지역 정책발굴/제안
- » 충청권대기환경연구소: 실시간 데이터 자료 공유 협조 / 데이터 공동 활용
- » 충남보건환경연구원: 집중측정, 필터샘플링 등을 위한 장소 협조 / 데이터 공동 활용
- » 중부권 미세먼지연구·관리센터: 데이터 활용을 통한 지역 정책 개발, 공동연구 및 업무협력 협조
- » 충남 서북부 미세먼지 대응 행정협의회 : 측정장소 선정 및 협조, 연구결과 및 데이터 활용



4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 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_{2.5}의 물리화학적 특성 분석 / 정책제언



4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

충남지역 유관기관 설명회: '23. 04. 03 ~ 04



참석기관: KIST, 충남연구원, 충청권 대기환경연구소, 충남보건환경연구원, 중부권 미세먼지연구관리센터, 아산시청



당진 고정측정 지점: 당진 송산면 대기 측정소

당진 이동측정: 현대제철 주변

4. 중부권 초미세먼지의 물리화학적 특성 및 지역 발생원인 조사

■ 세종시 유관기관 설명회: '23. 04. 12



참석기관: 사업단, KIST, KEI, 충남연구원, 세종시 보건환경연구원, 대전·세종연구원, 세종시청

감사합니다



Chungnam Institute

충청남도 마을대기측정망 소개자료

2023 5. 11.

박세찬, 송한결, 이가혜, 최영남, 이상신, 김종범

충남연구원 서해안기후환경연구소





CONTENTS

1. 마을대기측정망 설치 배경
2. 충청남도 대기질 측정 현황
3. 발전소 주변지역 대기질 관리 현황
4. 마을대기측정망 운영 현황

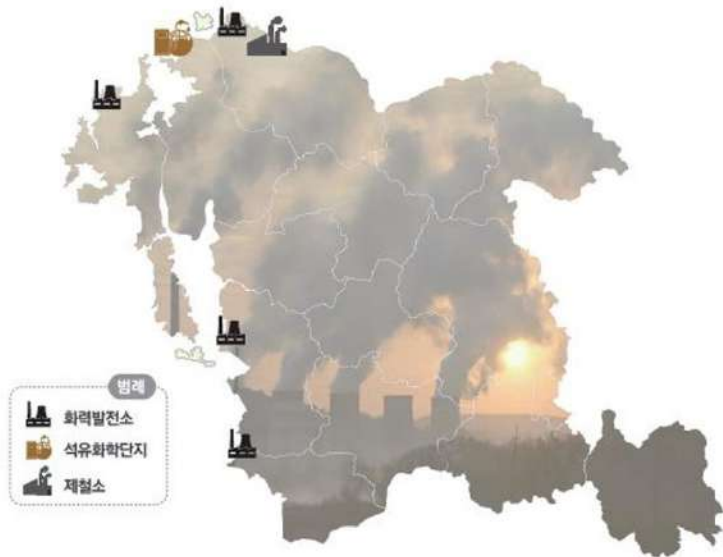


1. 마을대기측정망 설치 배경



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

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



1

지리적 영향 •



편서풍 지대
장거리 이동 대기오염물질
중국발 황사의 영향

2

환경적 영향 •



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

3

끊임없는
사건사고와
보도자료



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

복합적인 환경문제 발생

주민 건강 보호와 대기환경 개선을 위한 대기 관리 대책 마련이 시급

1. 마을대기측정망 설치 배경

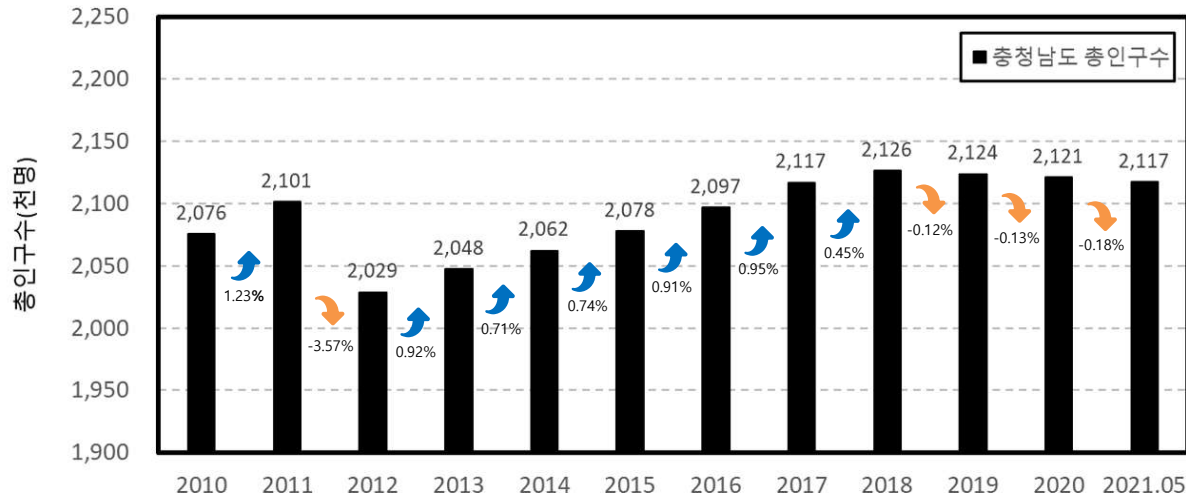


대기오염배출물질 농도추이 파악 필요

- 화력발전소의 석탄사용량은 2017년 이후 꾸준한 증가 추세(충남연구원, 2020)
- 충청남도의 인구는 꾸준히 증가 추세에 있으며 이에 따라 과학기술 기반의 강화된 정책, 관리방안이 요구되는 실정
- 지역 인구수는 고정배출원 또는 이동배출원의 증감과 상호 밀접한 관련성이 있음

전국 17개 시·도 총 대기오염물질 배출량

단위 : 톤
*2019년 기준



▣ 2012년 7월 1일부터 행정구역 변경: 연기군이 세종특별자치시로 편입

2. 충청남도 대기질 측정현황



충청남도 대기오염측정망(국가)

2022.06. 기준

- 충청남도 국가대기 측정망 현황 : 도시대기측정소(AQMS) 38개소, 도로변측정소(RAQMS) 2개소
- 지역별 측정소 개수 : 아산(7) > 천안(5) > 서산(4) > 논산, 태안, 서천(3) > 당진, 보령(2) / 충남 도민 57,216명당 1개 AQMS



국가대기측정망(충청남도 보건환경연구원 관리)

한계점 1

도시대기 측정을 목적으로 하기 때문에 주거지역 위주로 배치되어 있어 발전소 주변 지역 대기질 판단에 무리가 있음

한계점 2

측정소 위치를 화력발전소 기준으로 계산하면 태안화력을 제외한 모든 측정소가 10 km 이상 떨어짐

한계점 3

충남지역에 화력발전소가 위치하는 시군별 대기측정소는 태안군 및 서천군 3개소 당진시 및 보령시 2개소가 전부인 실정

3. 발전소 주변지역 대기질 관리 현황



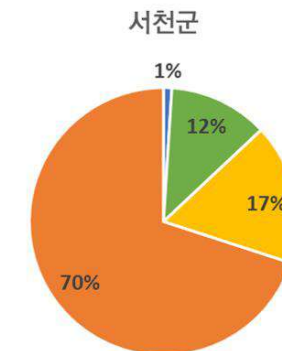
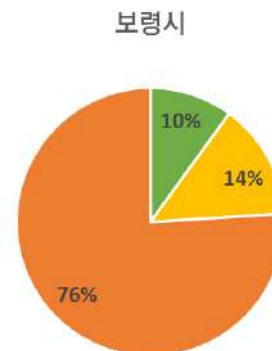
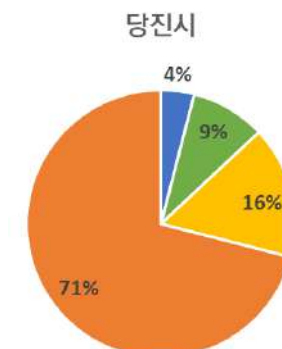
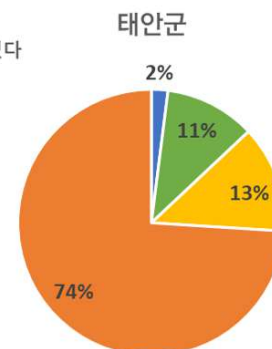
충청남도 대기오염 측정망(민간)

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



민간대기 측정망(발전3사 관리)

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



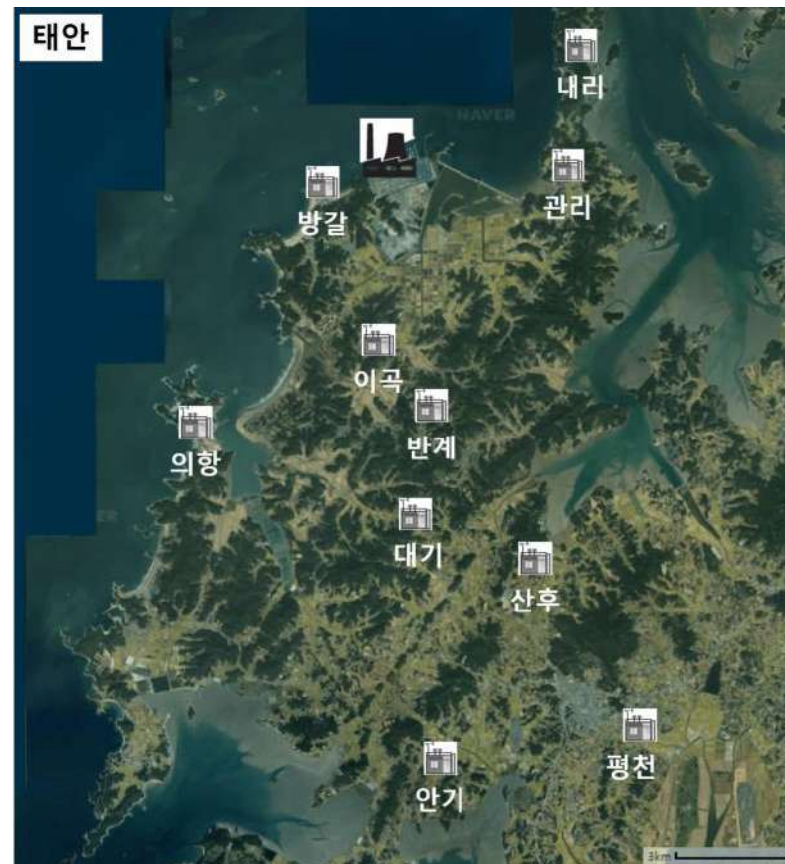
발전사 사후영향평가 및 자체모니터링 인지도

3. 발전소 주변지역 대기질 관리 현황



| 마을대기측정망 측정소 위치 정보

- 당진화발발전(한국동서발전) 기준 20 km 내 12개 측정소 위치 (대난지도 측정소는 배경농도로 활용)
- 태안화력발전(한국서부발전) 기준 19 km 내 10개 측정소 위치

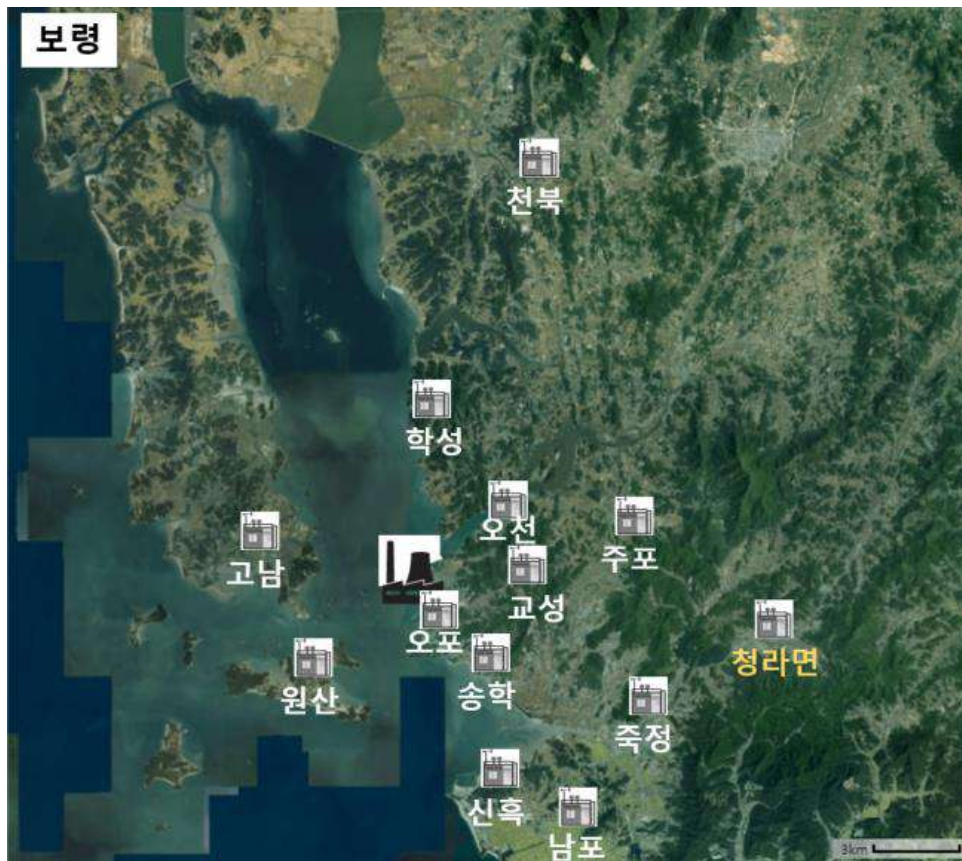


3. 발전소 주변지역 대기질 관리 현황



| 마을대기측정망 측정소 위치 정보

- 보령화발발전(한국중부발전) 기준 20 km 내 13개 측정소 위치 (청라면 측정소는 배경농도로 활용)
- 태안화력발전(한국중부발전) 기준 3 km 내 5개 측정소 위치



4. 마을대기측정망 운영 현황



마을대기측정망 통합정보센터 역할

설립목적

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

22년도 추진전략

1. 전 측정소 등가성평가수행
2. 유효가동률 75% 이상 달성
3. 발전소 인근 주민들에게 정보제공

산후 마을대기측정소



< 마을대기측정망 측정소 예시 >

구분	시·군	측정소명	주 소
마을대기 측정망	보령시 (11곳)	교성 / 교성1리 마을회관	충남 보령시 오천면 김산길31
		남포 / 삼현1리 노인회관	충남 보령시 남포면 봉덕삼현길 590(삼현1리)
		송학 / 송학 초등학교	충남 보령시 주교면 토정로 796-52
		신축 / 오천면사무소 어항출장소	충남 보령시 대천항중앙길 46
		오천 / 오천 초등학교	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
		학성 / 바닷빛집 인근	충남 보령시 천북면 학성염전길 94-26
	당진시 (11곳)	교로 / 당진 화력본부	충남 당진시 면천면 면천로 623(성상리 945)
		금천 / 신평면사무소	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 675-172)
		원당 / 당진 예곡파워	충남 당진시 석문면 대호안로 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 이전 부지	충남 서천군 서면 도둔리 957-7
	태안군 (11곳)	고남 / 고남 면사무소	충남 태안군 고남면 안면대로 4254-12
		관리 / 이원초등학교 관동분교	충남 태안군 아원면 관리 572-1
		내리 / 이원초등학교 내리분교	충남 태안군 아원면 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 학암포길 29
		산후 / 산후1리 다목적회관	충남 태안군 태안을 밤나무길 390
		안기 / 안기2리 마을회관	충남 태안군 근흥면 명장길 6-4
		익항 / 익항리 보건지소	충남 태안군 소원면 개죽길 25-9
		이곡 / 이곡1리 다목적회관	충남 태안군 원북면 이곡1길 14
		평천 / 평천3리 다목적회관	충남 태안군 태안을 평천길 77
고정대기 측정망	당진시	석문(태난지도)	충남 당진시 석문면 교로리 난지도리 177-62, 당진시청소년수원원
	보령시	청라(청라면)	충남 보령시 청라면 나원리 749

- 

환경부
환경정보센터

콘텐츠/뉴스/이벤트
실시간 자료조회
대기주의도/경보
통계정보
백과사전
고지사항

환경정보센터 로그인

통합대기환경지수(AQI)

초미세먼지(PM_{2.5})

미세먼지(PM₁₀)

오존(O₃)

아산화질소(NO₂)

일산화탄소(CO)

아황산가스(SO₂)



2023.04.06 20:00
7.3℃

습도 40%
바람 남서풍 1.7m/s

우지율을 대가 정보
인주면
2023.04.06 20:00

시간 지역	우지율
초미세먼지(PM _{2.5})	138(1h) 127(1h) 86(2h) 87(2h)
미세먼지(PM ₁₀)	158(1h) 147(1h) 105(2h) 106(2h)
오존(O ₃)	0.055 ppm 0.055 ppm
아산화질소(NO ₂)	0.613 ppm 0.613 ppm
일산화탄소(CO)	0.8 ppm 0.8 ppm
아황산가스(SO ₂)	0.002 ppm 0.002 ppm

측정단 구분

국가대기 측정대기

초미세먼지(PM_{2.5})

단위: μg/m³

0-15
16-35
36-75
76-150

국지사항 / 정보

수역보 04-06(초미세먼지)경보

수역보 04-06(초미세먼지)경보

자료기

자료기

국지사항 / 정보

수역보 04-06(초미세먼지)경보

수역보 04-06(초미세먼지)경보

자료기

자료기

승청시간	지역	직급소형	원장자수	참료	차수종목
2023-04-04 21:00	여산시	오동동	252	백두나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	여산시	백영동	255	백두나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	여산시	영두동	257	백두나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	여산군	여산군	257	백두나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	완안시 동남구	신영동	252	백두나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	완안시 동남구	신영동	236	나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	완안시 서북구	백석동	246	나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	완안시 서북구	남기동	253	백두나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	완안시 서북구	상성동	246	나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	성당군	성당면	258	백두나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	청양군	청양읍	274	백두나물	조식제원지
2023-04-06 21:00	태안군	군남	266	백두나물	조식제원지
2023-04-06 22:00	태안군	관지	212	나물	조식제원지
2023-04-06 22:00	태안군	내리	256	백두나물	조식제원지
2023-04-06 22:00	태안군	대리	252	백두나물	조식제원지

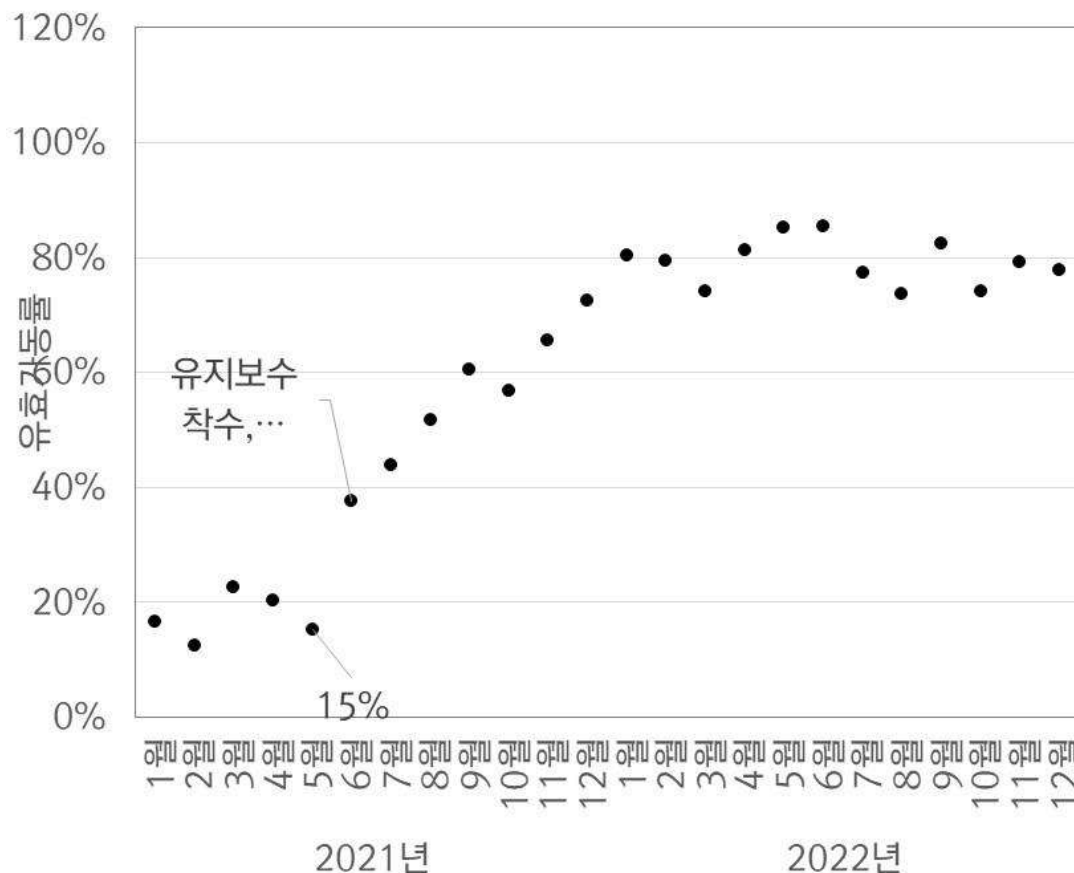
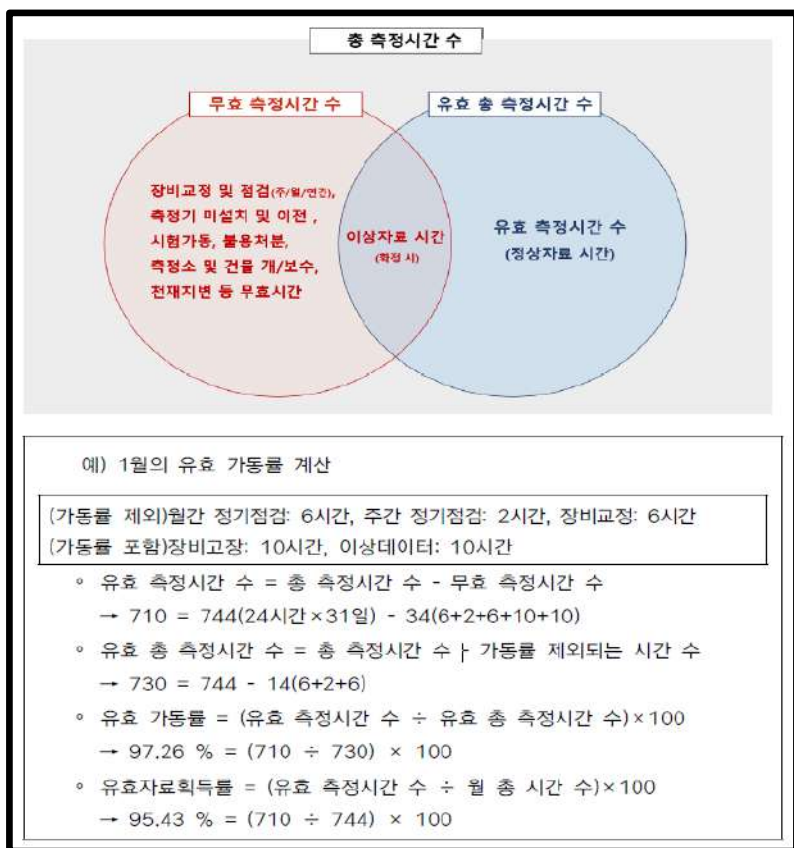
4. 마을대기측정망 운영 현황



I 마을대기측정망 운영결과(I)

💡 전체 측정소의 평균 유효가동률

□ 대기오염측정망 설치운영관리지침(2021)에 따라 유효가동률 산정

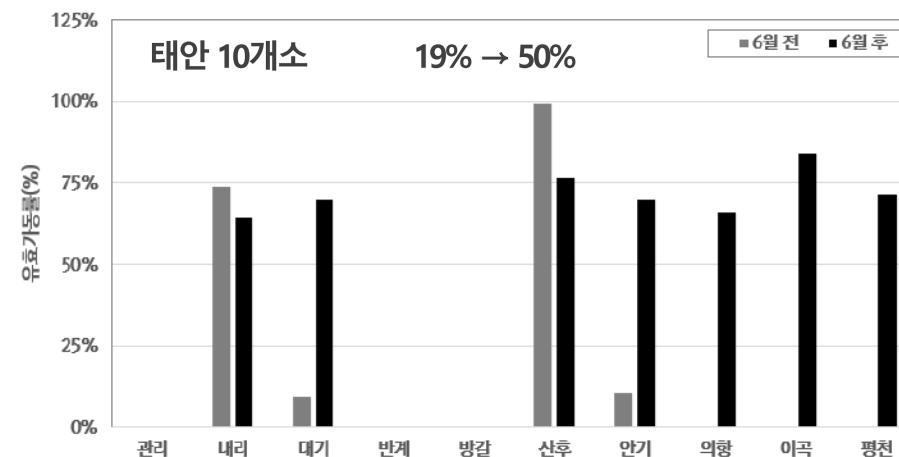
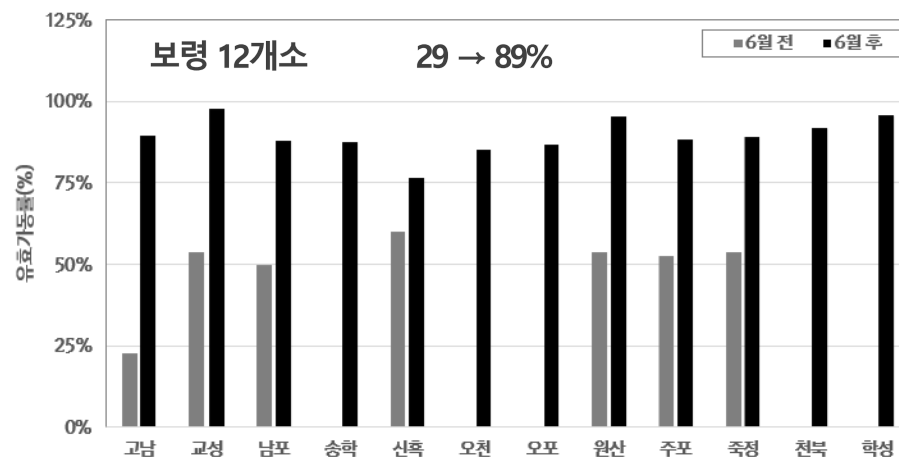
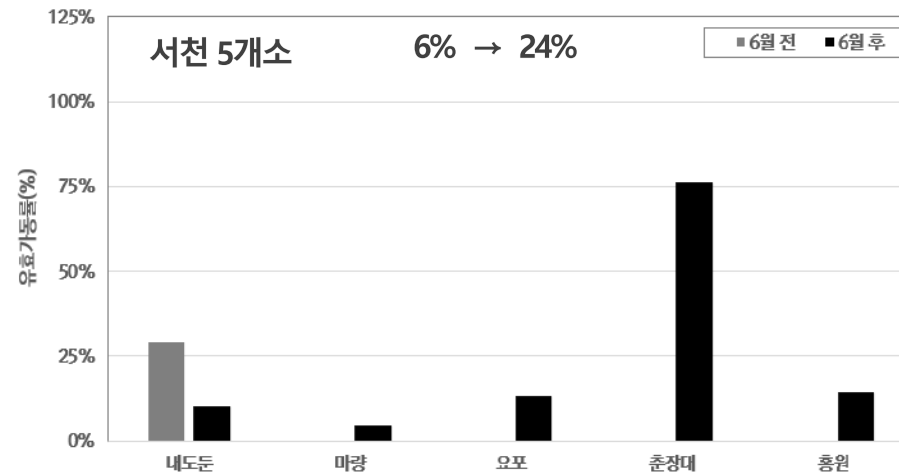
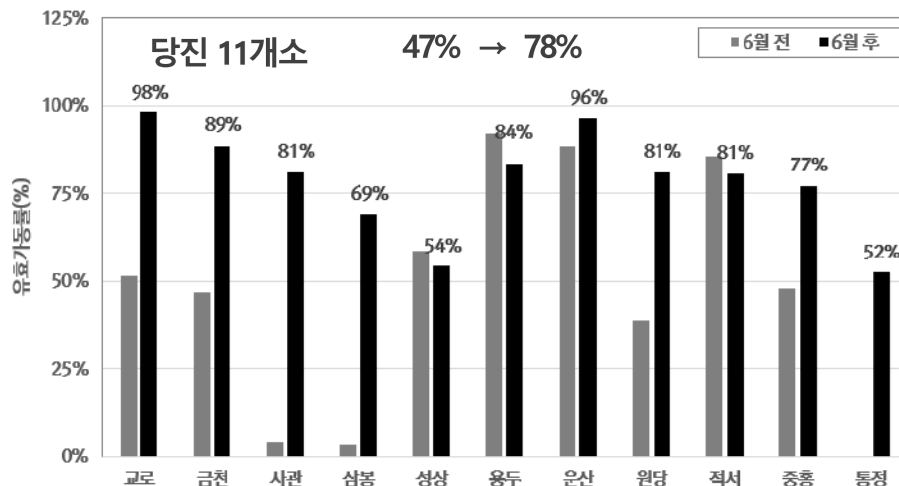


4. 마을대기측정망 운영 현황



마을대기측정망 운영결과(Ⅱ)

💡 지역별 유효가동률 비교

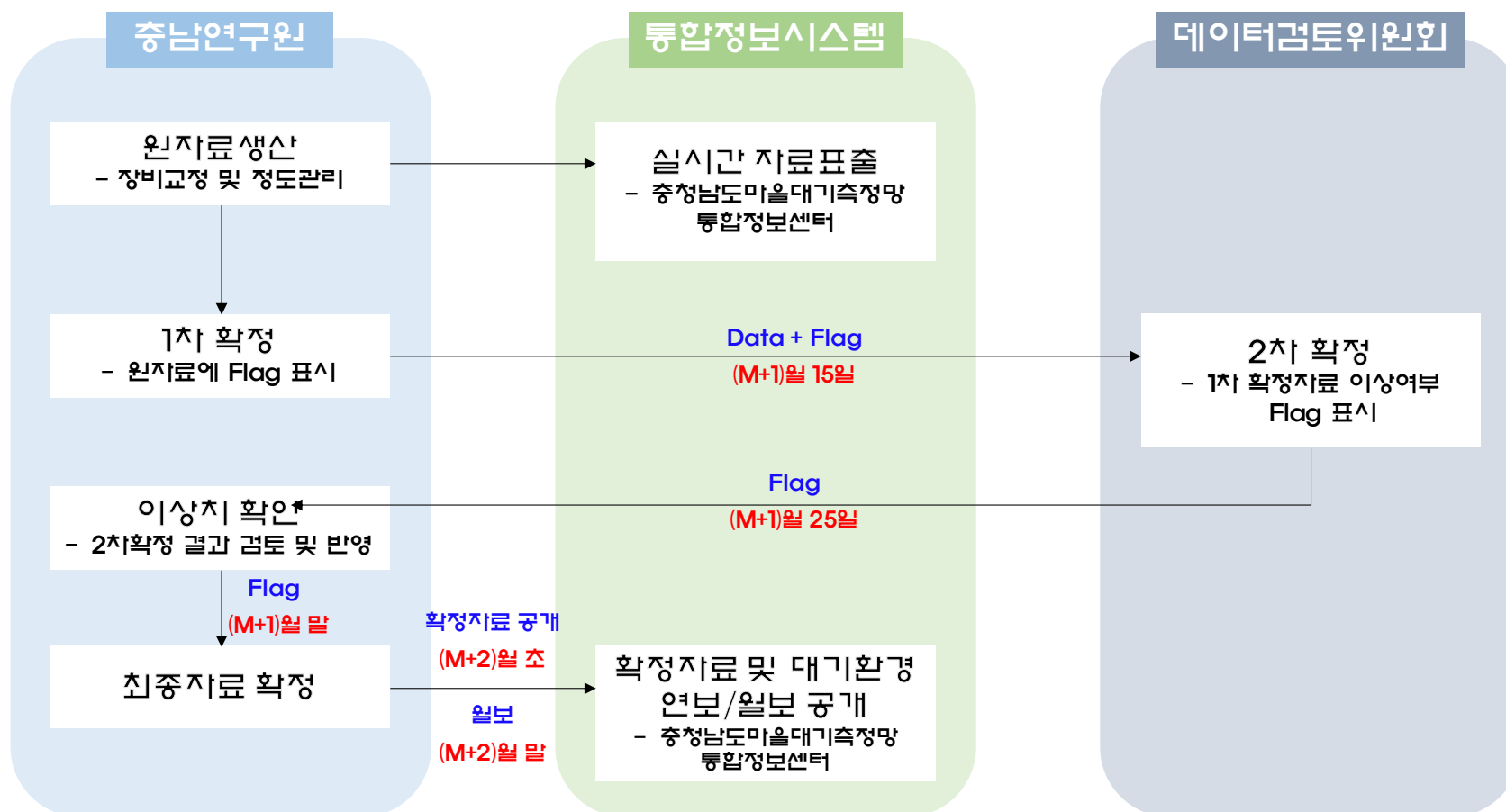


4. 마을대기측정망 운영 현황



마을대기측정망 통합정보센터 데이터 처리현황

- 데이터의 유효성을 판별하기 위하여 이상데이터(이상치) 분류 작업이 수행
- 국가대기측정망과 동일한 절차로 구성하기 어려워 '데이터검토위원회'를 통해 데이터의 2차 확정 진행



- 측정기기 운영기술 고도화 및 정도검사 수행을 통한 유효가동률 개선
- 데이터 검토위원회를 통한 데이터확정 및 확정자료 제공
- 마을대기측정망 데이터 홍보를 통한 충청남도 대기질 개선 관련 연구 독려
- 충청남도 마을대기측정망 연간보고서 및 월간보고서 배포
- 발전소 주변지역 주민설명회 개최를 통한 지역주민과의 소통 활성화
- 측정소가 없는 지역의 대기오염물질 농도 예측 및 예보시스템 검토
- 발전소 주변지역 대기오염물질 정보제공 시스템에 마을대기측정망 데이터 활용 독려

감사합니다



Chungnam Institute



중부권 고농도 PM_{2.5} 기상/기후 영향분석

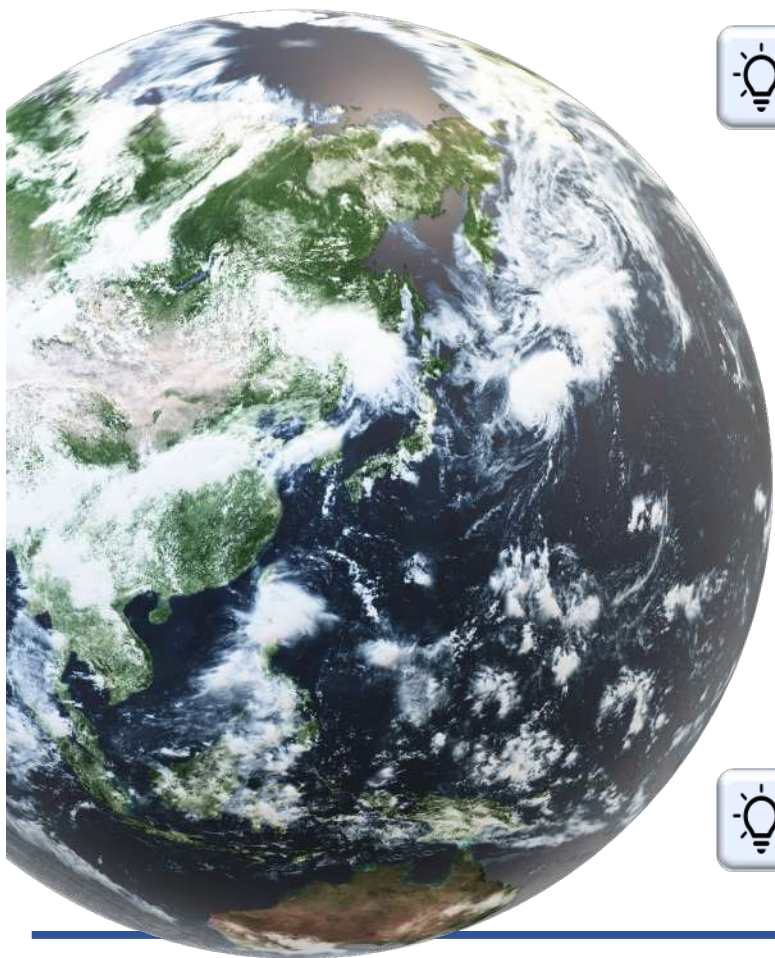
2023.05.11

상 정

현지민



목 차



연구계획



서론



자료 및 연구방법



연구결과



요약

○ 고농도 초미세먼지(PM_{2.5}) 발생 주요 요인

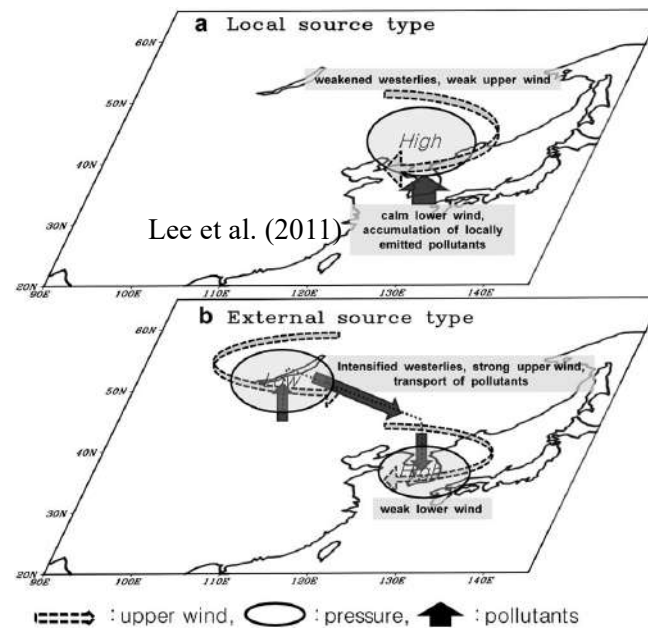
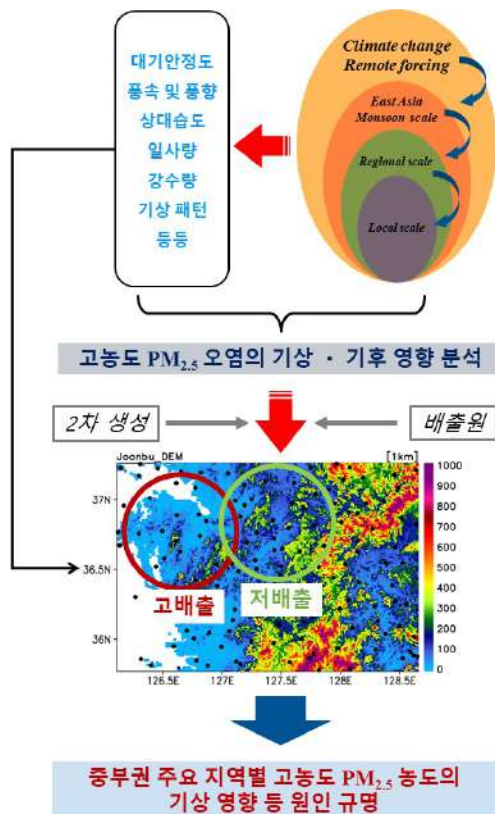
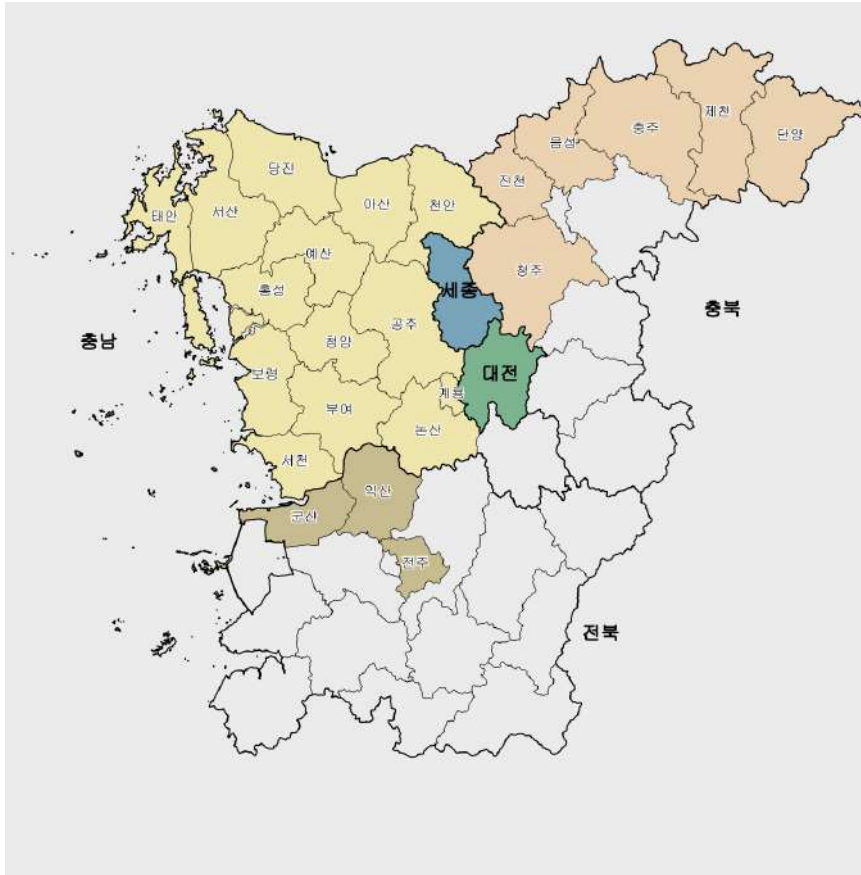


Fig. 9. Schematic diagram of local and external sources of high-PM10 episodes in Seoul, Korea.

PM₁₀ & 2.5 (particulate matter diameter < 10 & 2.5μm) 오염은 배출량 뿐만 아니라, 대기 순환 패턴의 변동성과도 크게 관련되어 있음 (Lee et al., 2011; Park and Kim, 2014)

한반도에서 발생하는 **고농도 PM₁₀ & 2.5 오염**은 한반도 **상공의 고기압성 편차**와 **하층 기압계 약화**로 인한 **대기 환기효과의 약화**와 관련되어 있음 (Kwon et al., 2020; Ku et al., 2021)

중부권 지역별 고농도 PM2.5 기상·기후 영향 분석



○ 자료

출처	변수	분석 기간	시간 해상도
Air Korea	PM _{2.5}	2018년~ 2022년 1월~2월 (JF)	Daily 중부권 36개 관측소 (황사 발생일은 제거함)
ECMWF ERA5	Geopotential height (GPH)		Daily 1°× 1°
	Sea level pressure (SLP)		
	U,V wind		
	Air Temperature		
	Boundary Layer Height (BLH)		

- Airkorea 에서 제공하는 시간 별 PM_{2.5} 농도의 일평균 자료(황사일 제거)
 - 2018년부터 2022년까지 이동 없이 유지된 PM_{2.5} 관측소 자료 선별하여 사용
 - 유효관측자료가 매년마다 80%이상 확보된 관측소 선별
- 분석 기간 : 2018년부터 2022년 1월부터 2월

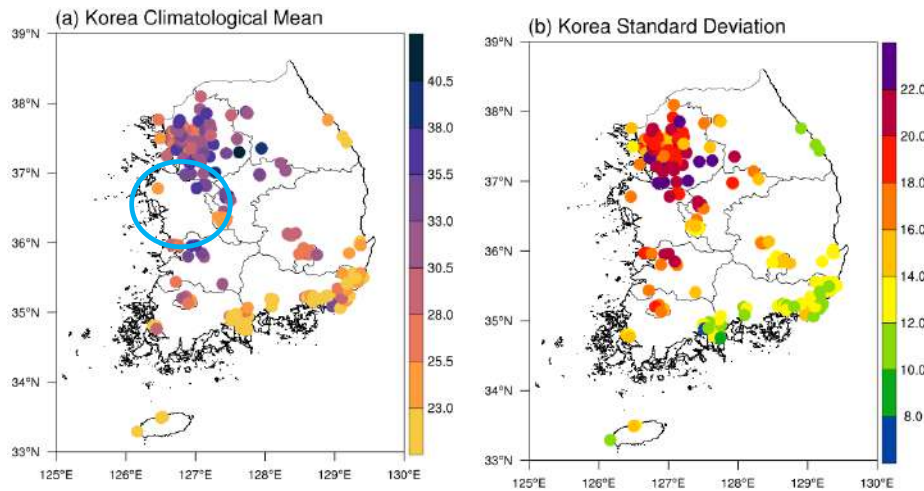
○ 연구방법

- 한반도 PM_{2.5} 농도의 시·공간 분포 특성을 확인하기 위해 통계적 기법 사용
 - EOF (empirical orthogonal function)
 - 각 사례 및 군집 별 대기순환 패턴의 특징 파악을 위해 합성장 편차 분석 수행

연구결과 – 고농도 PM_{2.5}와 관련된 대기순환 패턴

❖ 2016년부터 2021년까지 유지된 한반도 관측소 : 총 208개

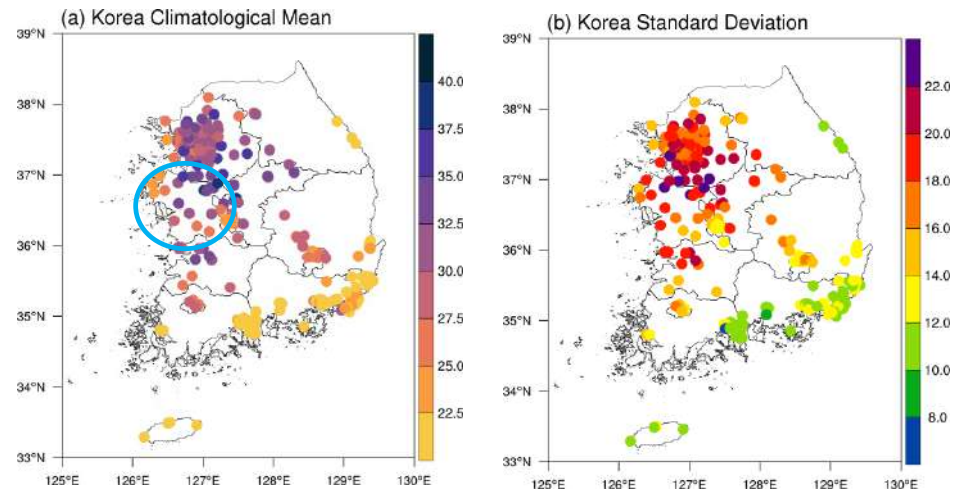
- 분석 기간: 2016년 ~ 2021년 1-2월



- 평균: 28.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 지점별
Min : 14.40 (336133 : 전남 순천)
Max : 40.61 (131591 : 경기 여주)
- 평균: 16.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 지점별
Min : 6.91 (336133 : 전남 순천)
Max : 23.24 (131591 : 경기여주)

❖ 2018년부터 2022년까지 유지된 한반도 관측소 : 총 241개

- 분석 기간: 2018년 ~ 2022년 1-2월



- 평균: 27.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 지점별
Min : 13.65 (336133 : 전남 순천)
Max : 39.62 (534115 : 충남 천안)
- 평균: 16.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 지점별
Min : 6.77 (336133 : 전남 순천)
Max : 22.88 (131195 : 경기 안산)

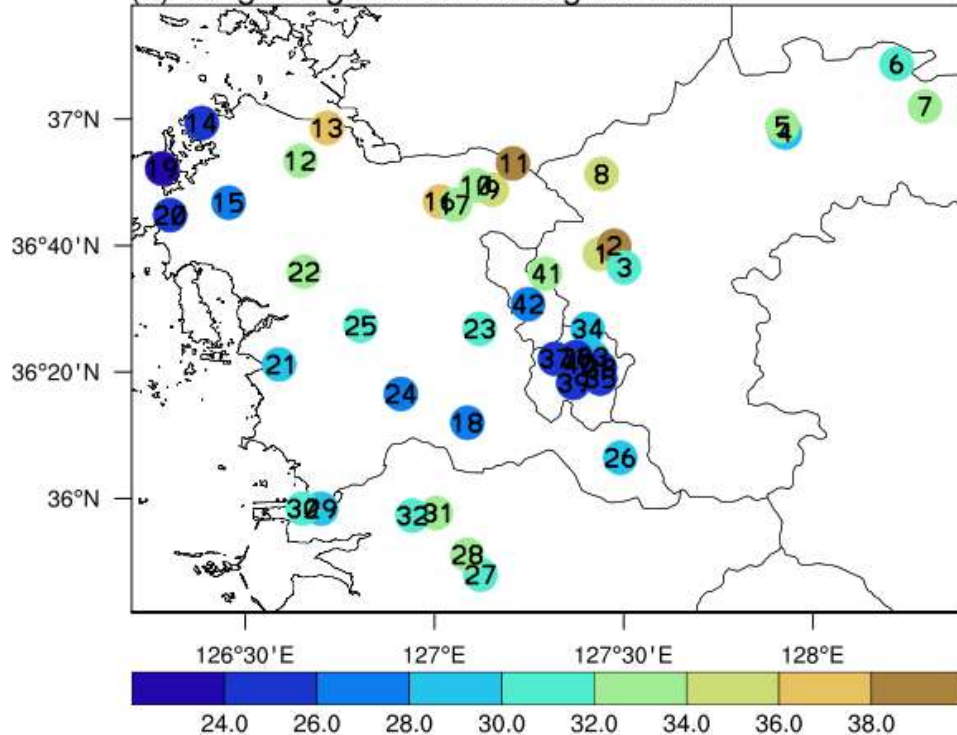


연구결과 - 고농도 PM_{2.5}와 관련된 대기순환 패턴

❖ 2018년부터 2022년까지 유지된 중부권 관측소 : 총 42개

- 분석 기간: 2018년 ~ 2022년 1-2월

(a) Jungboo-gwon Climatological Mean

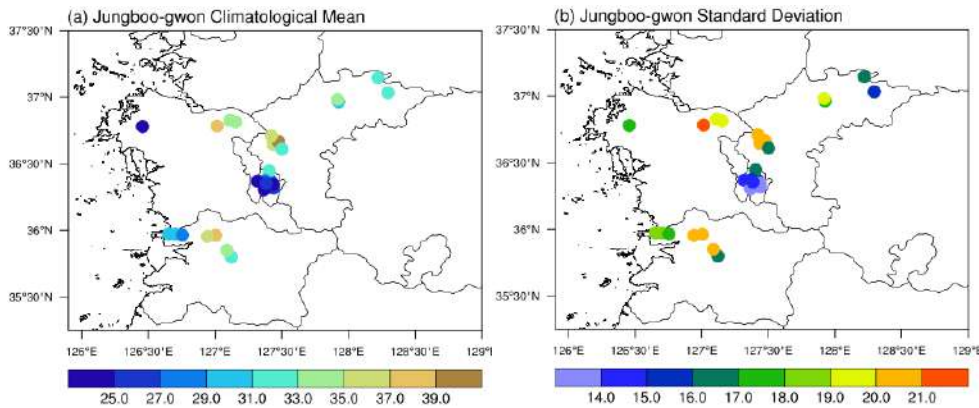


1	533112	청주	송정동	27	735111	전주	삼천동
2	533113	청주	사천동	28	735114	전주	팔복동
3	533115	청주	용암동	29	735121	군산	신평동
4	633122	충주	호암동	30	735122	군산	소룡동
5	633123	충주	칠금동	31	735133	익산	팔봉동
6	633131	제천	장락동	32	735134	익산	모현동
7	633311	단양	매포읍	33	525111	대전	읍내동
8*	633411	진천	진천읍	34	525112	대전	문평동
9	534111	천안	성황동	35	525121	대전	문창동
10	534112	천안	백석동	36	525141	대전	구성동
11*	534115	천안	성거읍	37	525142	대전	노은동
12*	534434	당진	당진시청사	38	525161	대전	성남동
13*	534433	당진	송산면	39	525171	대전	정림동
14*	534421	서산	독곶리	40	525172	대전	둔산동
15	534422	서산	동문동	41*	541111	세종	신흥동
16	534441	아산	모종동	42*	541112	세종	아름동
17*	534442	아산	배방읍				
18*	534451	논산	논산				
19*	534462	태안	이원면				
20*	534463	태안	태안읍				
21*	534481	보령	대천2동				
22*	534491	홍성	홍성읍				
23*	534342	공주	공주				
24*	534411	부여	부여읍				
25*	534502	청양	청양읍				
26*	534501	금산	금산읍				

충북
충남
전북
대전
세종

❖ 2016년부터 2021년까지 유지된 중부권 관측소 : 총 27개

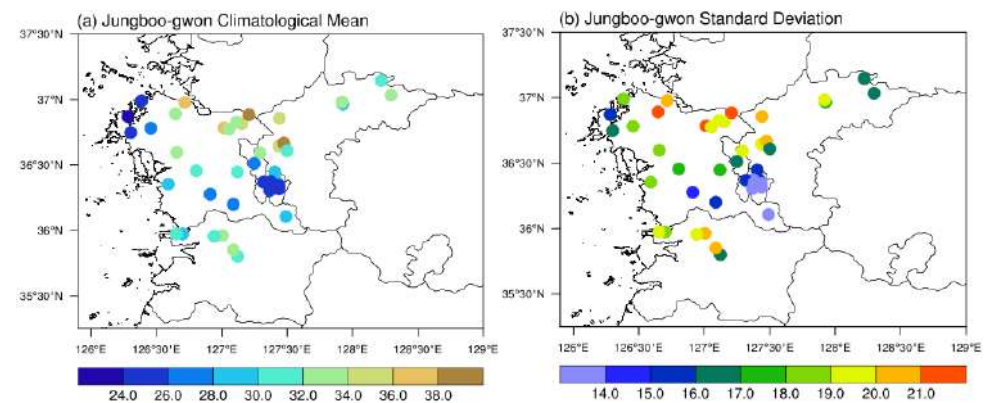
- 분석 기간: 2016년 ~ 2021년 1-2월



- 평균: 31.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 표준편차: 17.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 지점별
 - Min : 24.01 (525171 : 대전)
 - Max : 39.22 (533113 : 충북 청주)
- 지점별
 - Min : 12.32 (525161 : 대전)
 - Max : 21.45 (534441 : 충남 아산)

❖ 2018년부터 2022년까지 유지된 중부권 관측소 : 총 42개

- 분석 기간: 2018년 ~ 2022년 1-2월

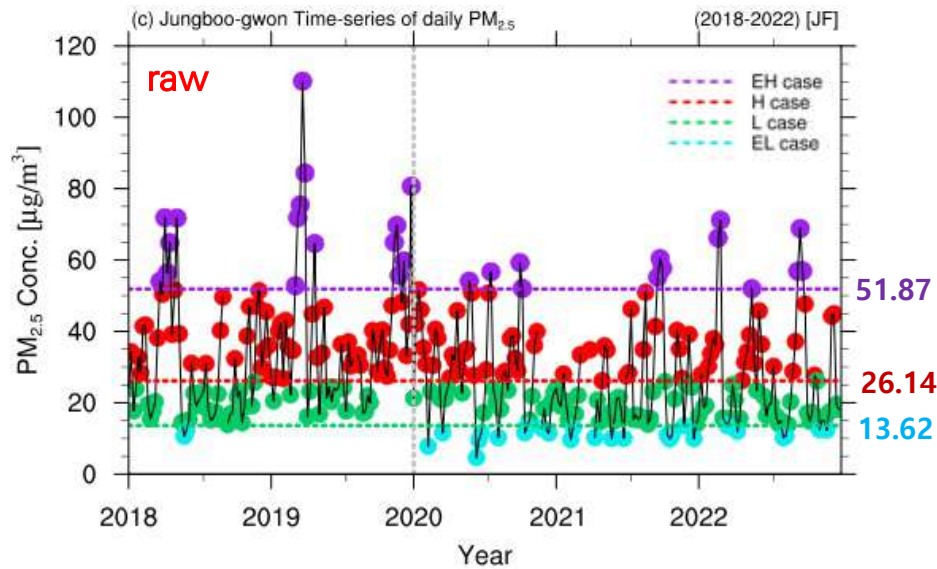


- 평균: 30.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 표준편차: 17.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 지점별
 - Min : 23.03 (534462 : 충남 태안)
 - Max : 39.62 (534115 : 충남 천안)
- 지점별
 - Min : 12.99 (525161 : 대전)
 - Max : 22.30 (534115 : 충남 아산)



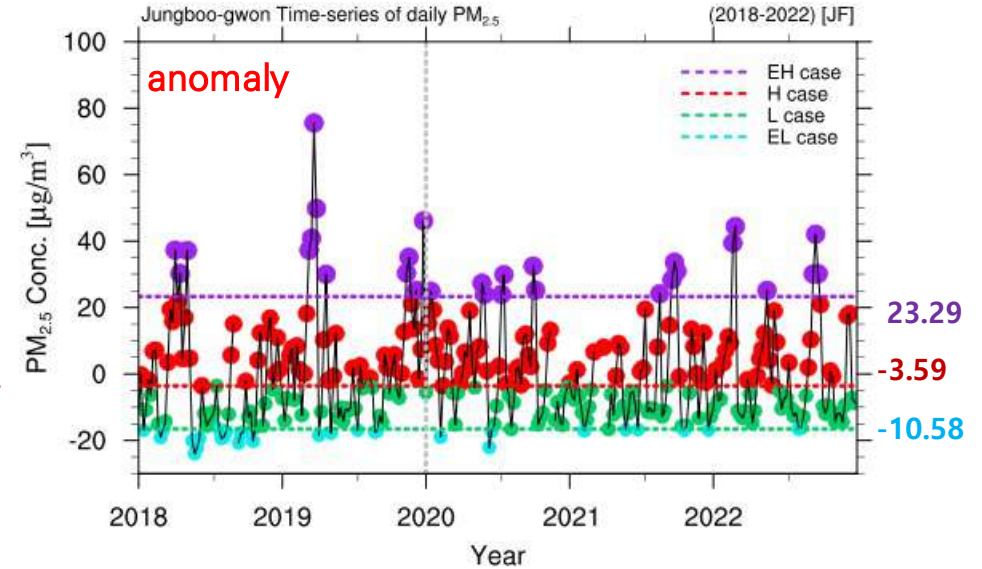
연구결과 – 고농도 PM_{2.5}와 관련된 대기순환 패턴

❖ 2018년부터 2022년까지 유지된 관측소 : 총 36개



JB	Before	After	Total
EH day	16 (8)	13 (4.3)	29 (5.8)
H day	53 (26.5)	62 (20.6)	115 (23)
L day	45 (22.5)	70 (23.3)	115 (23)
EL day	2 (1)	27 (9)	29 (5.8)

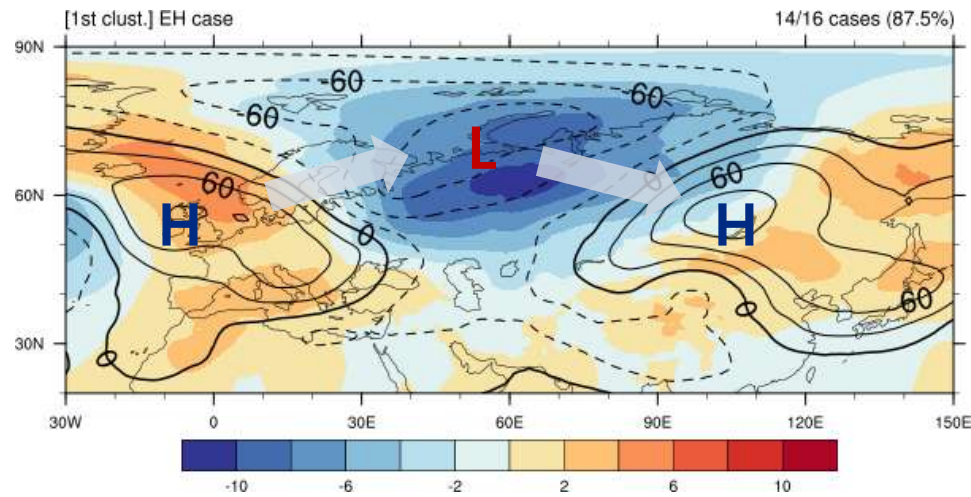
괄호 안 : [day/year]



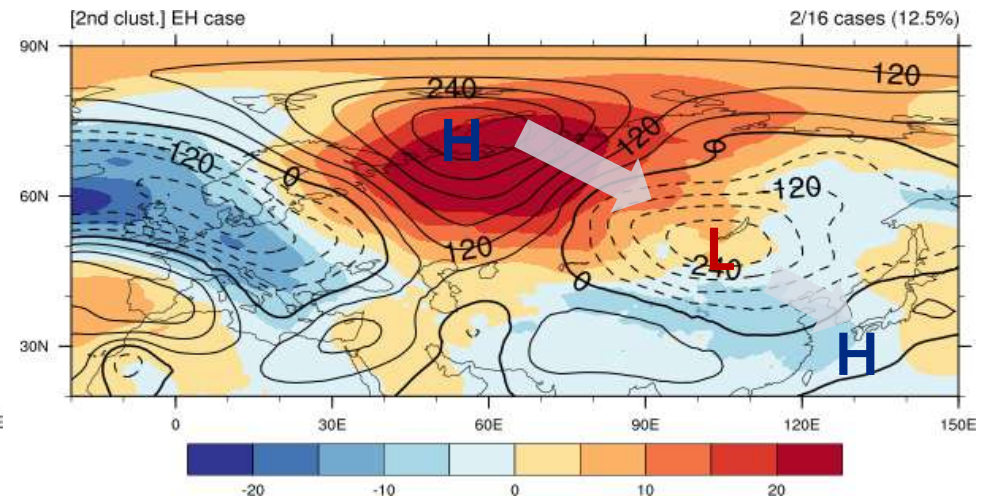
JB	Before	After	Total
EH day	12 (6)	17 (5.6)	29 (5.8)
H day	46 (23)	69 (23)	115 (23)
L day	38 (19)	77 (23.6)	115 (23)
EL day	20 (10)	9 (3)	29 (5.8)

K-means Clustering : EH start day

1st cluster



2nd cluster

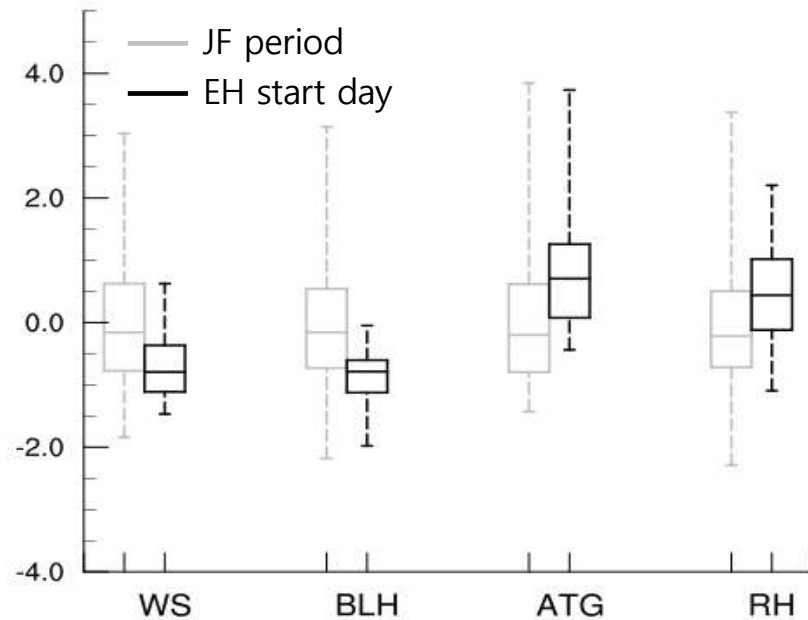


❖ 고농도 PM_{2.5}와 관련된 대기순환

✓ EH start day

한반도: 33N-38N
125E-130E

[EH case] Standardize atmospheric variables

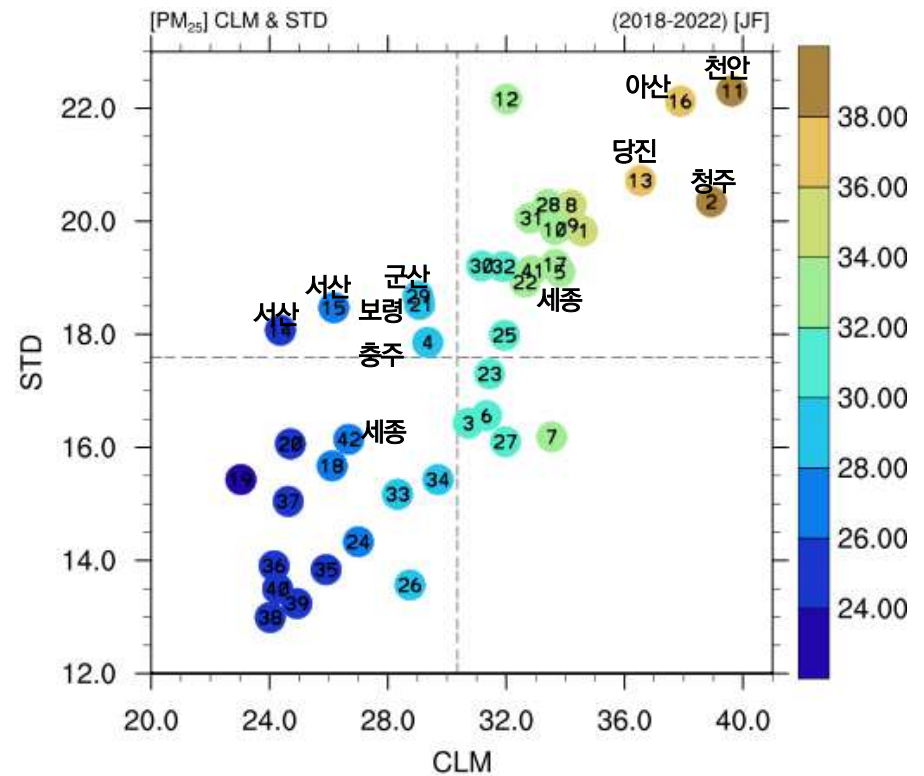
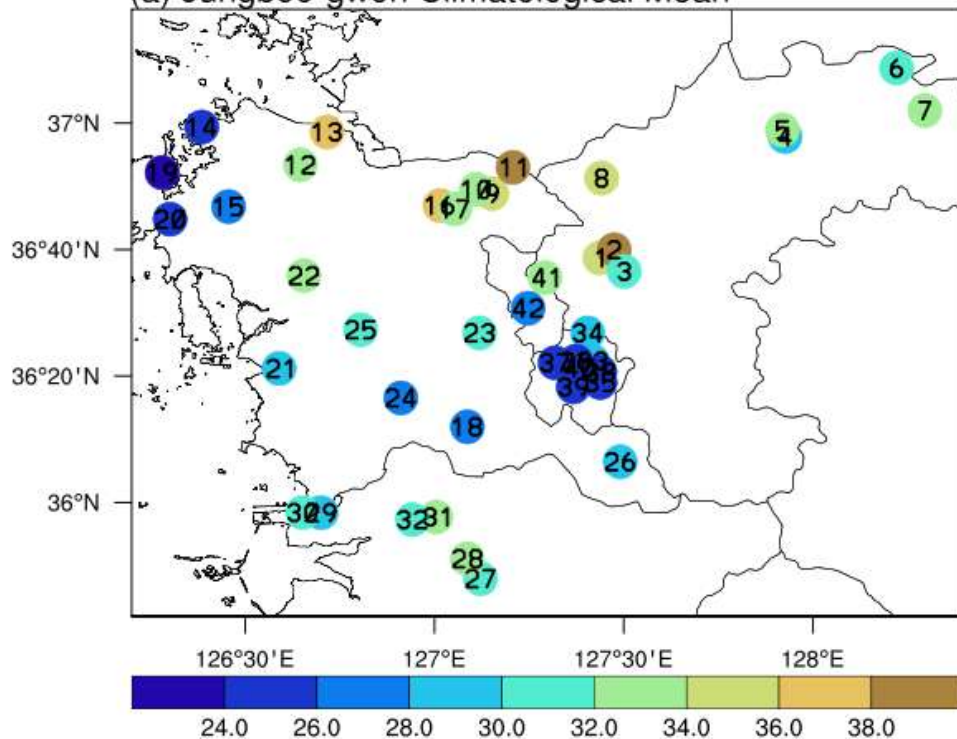


	JF period Median	EH period Median	%
WS [m/s]	4.96	2.37	52.21% 감소
BLH [m]	776.07	591.03	23.84% 감소
ATG [K]	1.43	3.68	257.3% 증가
RH [%]	57.74	63.64	110.2% 증가

❖ 2018년부터 2022년까지 유지된 중부권 관측소 : 총 42개

- 분석 기간: 2018년 ~ 2022년 1-2월

(a) Jungboo-gwon Climatological Mean



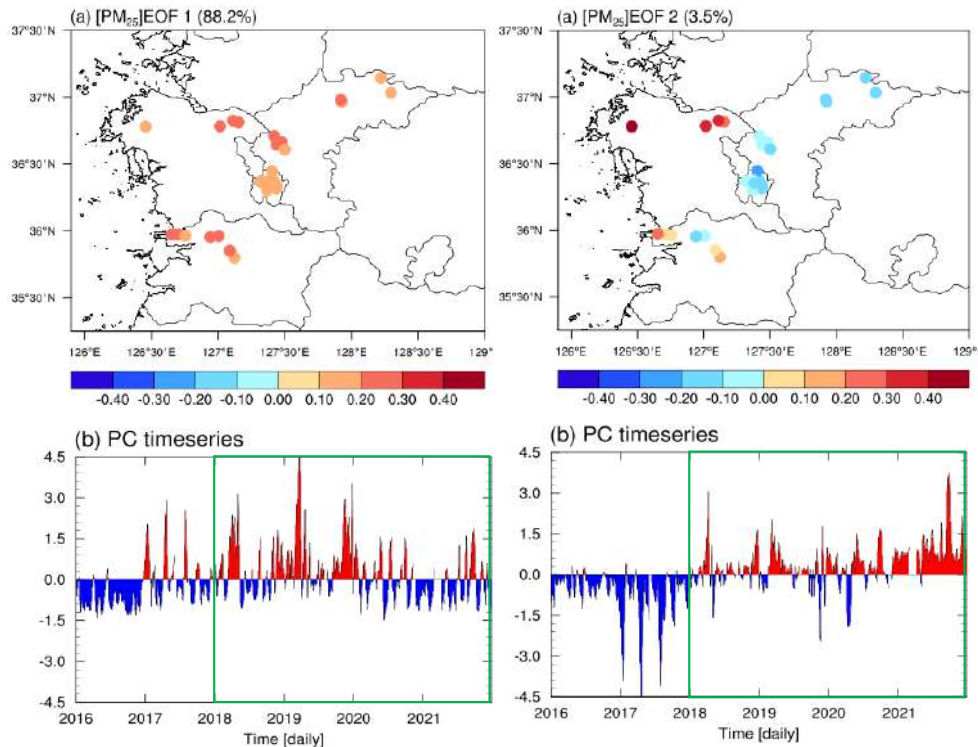


연구결과 - 고농도 PM_{2.5} 시공간적 특성 분석

✓ Raw 값을 이용

❖ 2016년부터 2021년까지 유지된 중부권 관측소 : 총 27개

- 분석 기간: 2016년 ~ 2021년 1-2월

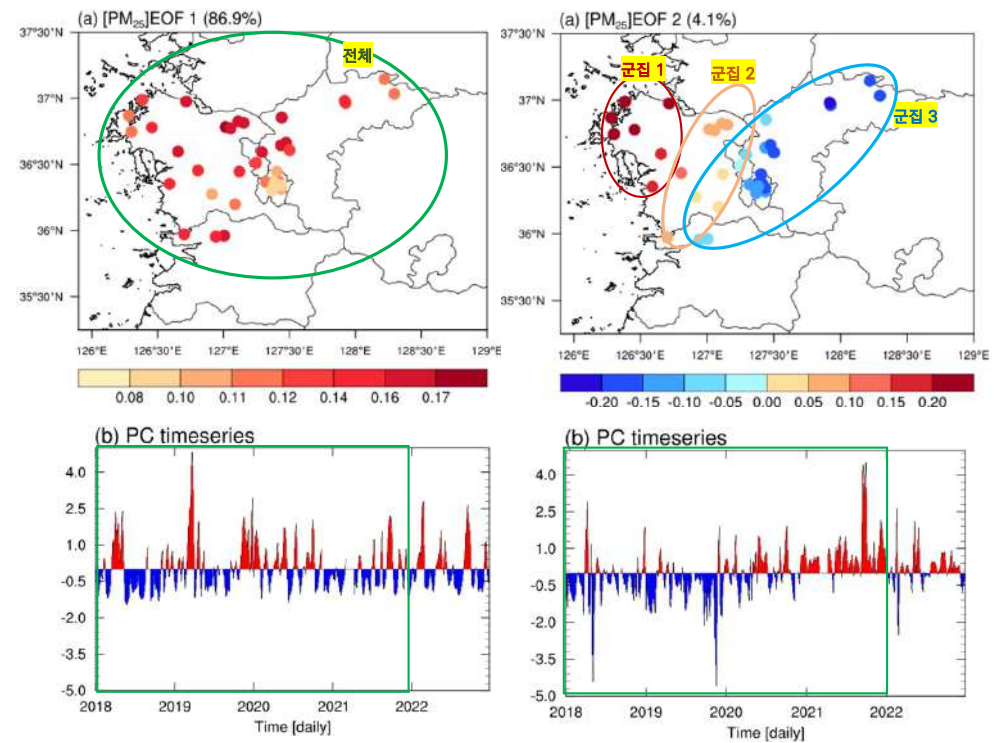


✓ 코로나 기간 평균, 코로나 이후 기간 평균을 뺀 Anomaly 값을 이용함

❖ 2018년부터 2022년까지 유지된 중부권 관측소 : 총 36개

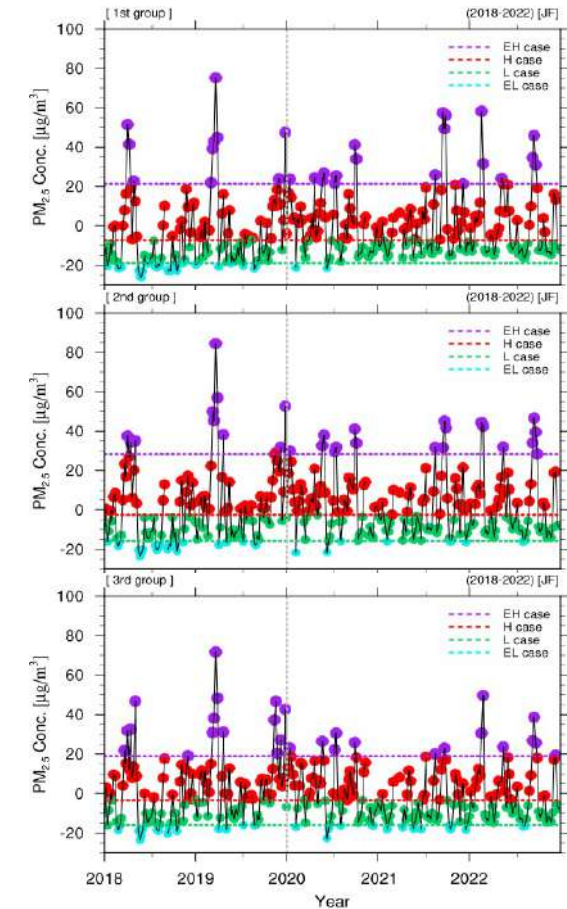
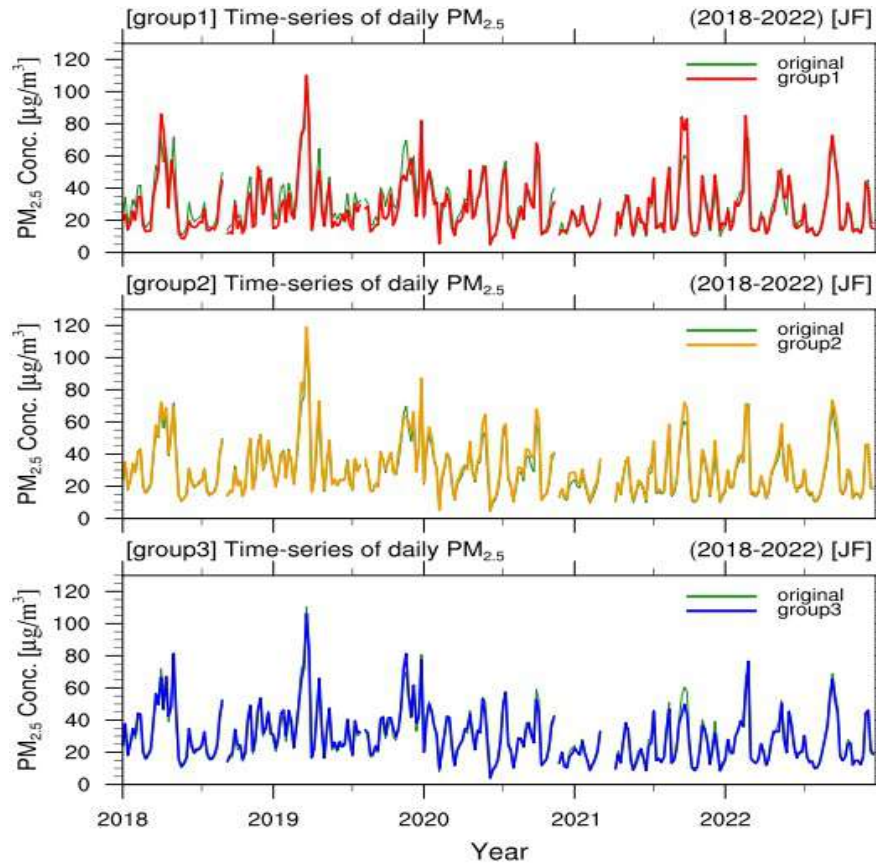
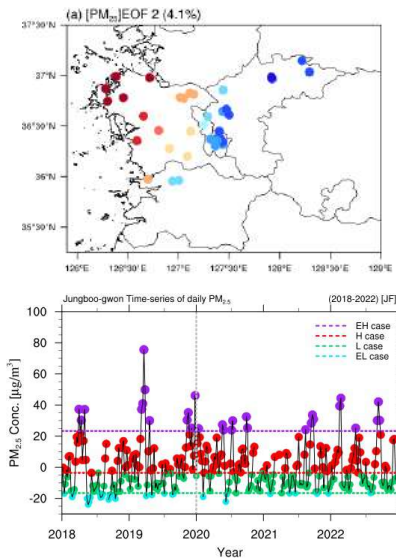
(유효 관측 값이 매년 80%이상 확보된 관측소 개수)

- 분석 기간: 2018년 ~ 2022년 1-2월



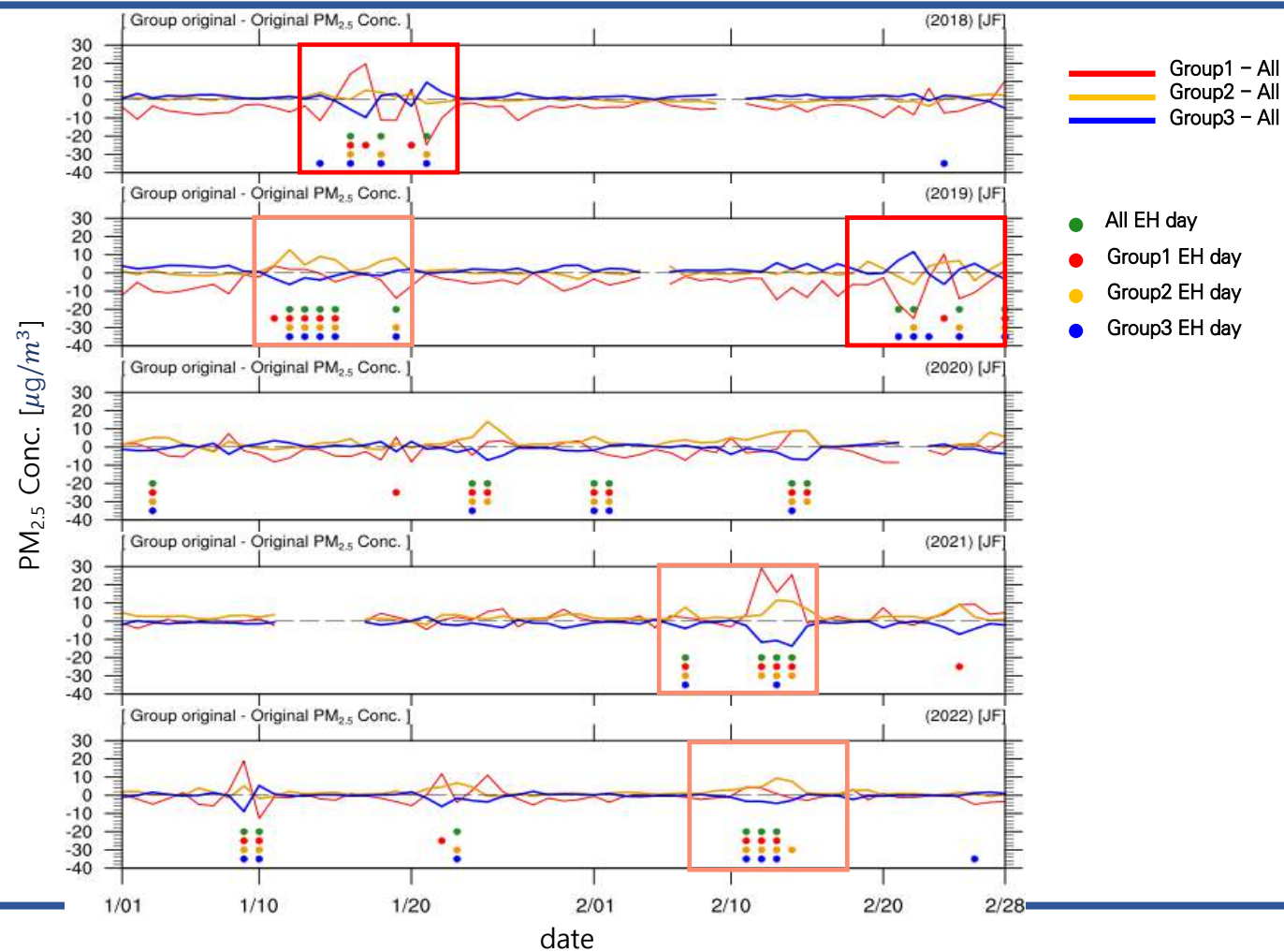
연구결과 - 고농도 PM_{2.5} 시공간적 특성 분석

	90pct	Median	10pct
All	23.29	-3.59	-10.58
1	21.30	-7.6	-14.53
2	28.34	-2.58	-8.75
3	18.85	-3.41	-10.02





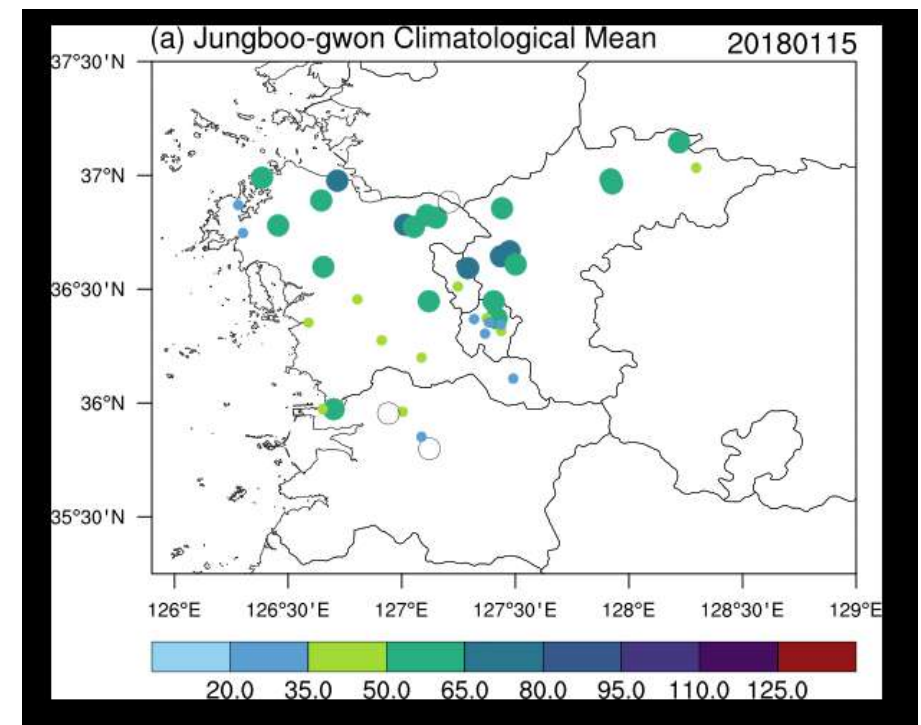
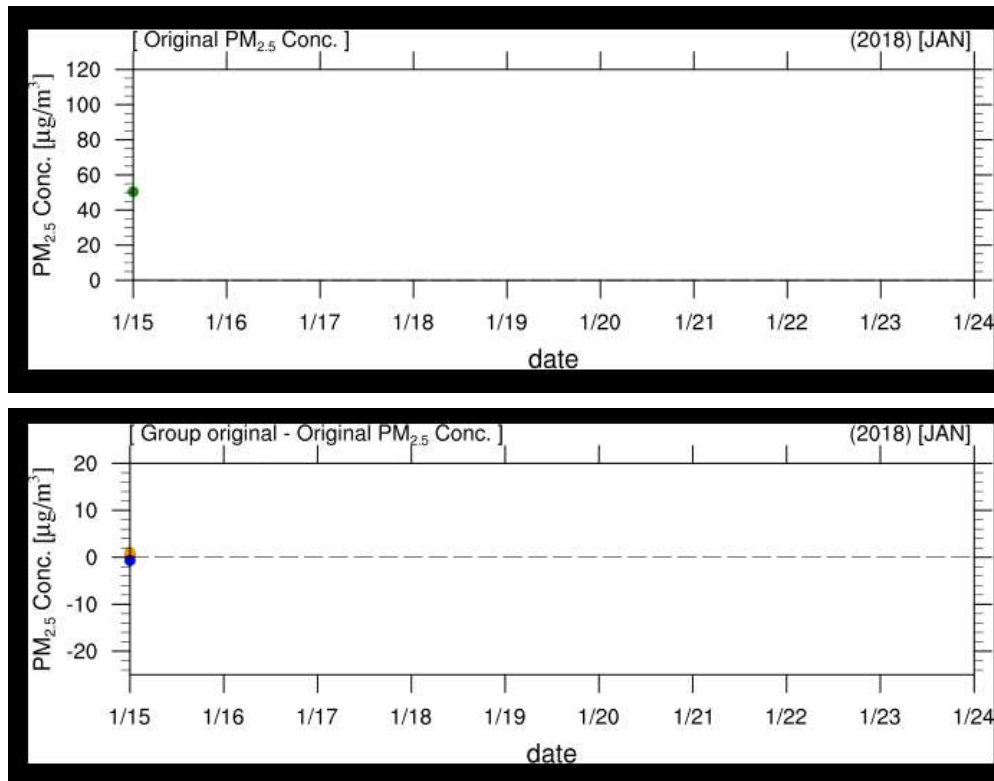
연구결과 - 고농도 PM_{2.5} 시공간적 특성 분석





연구결과 – 고농도 PM_{2.5} 시공간적 특성 분석

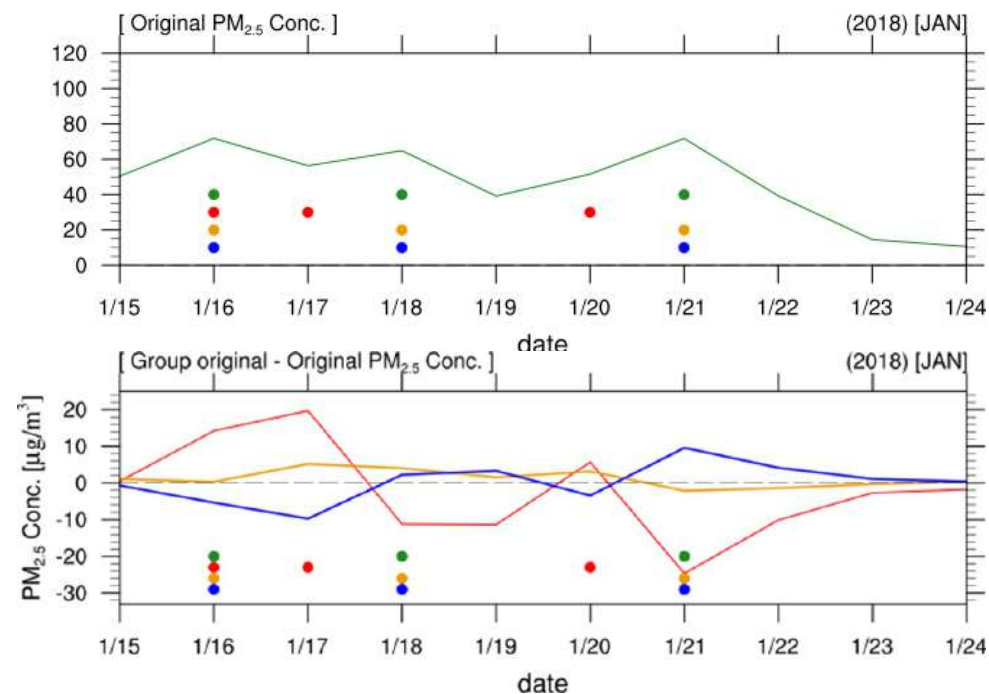
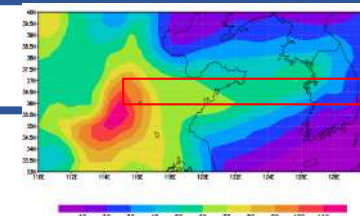
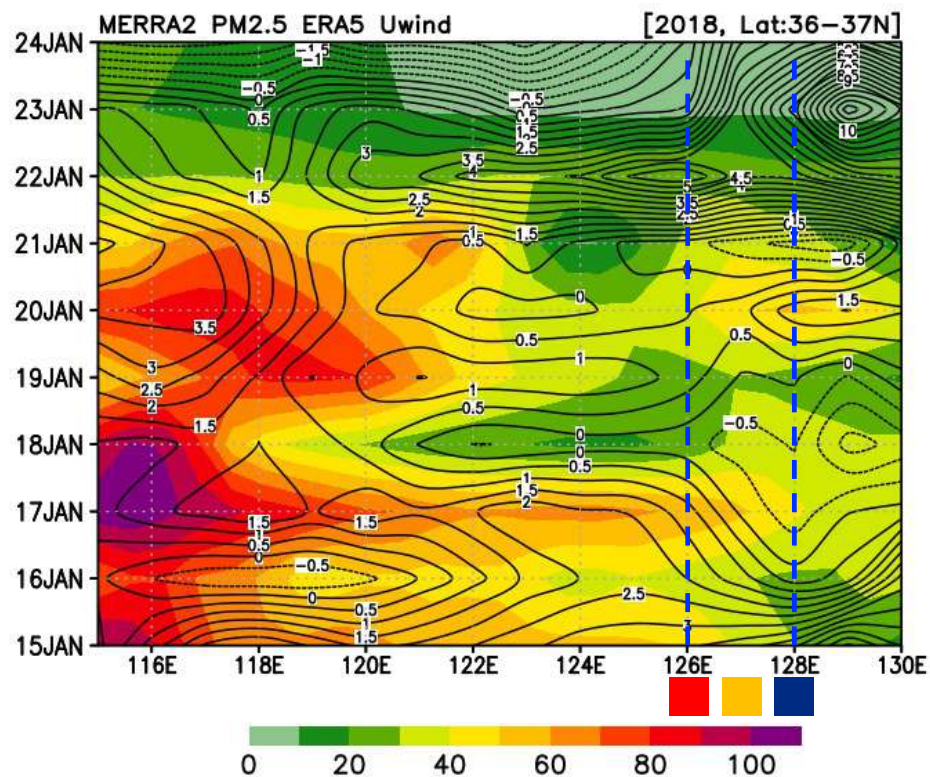
○ 사례1(2018.01.15~2018.01.21)





연구결과 - 고농도 PM_{2.5} 시공간적 특성 분석

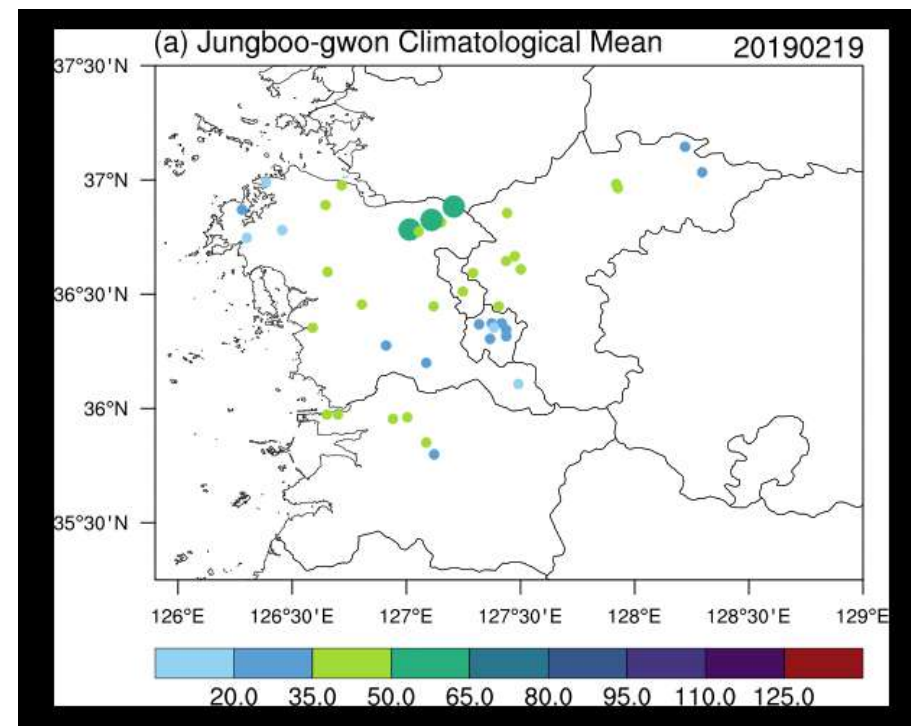
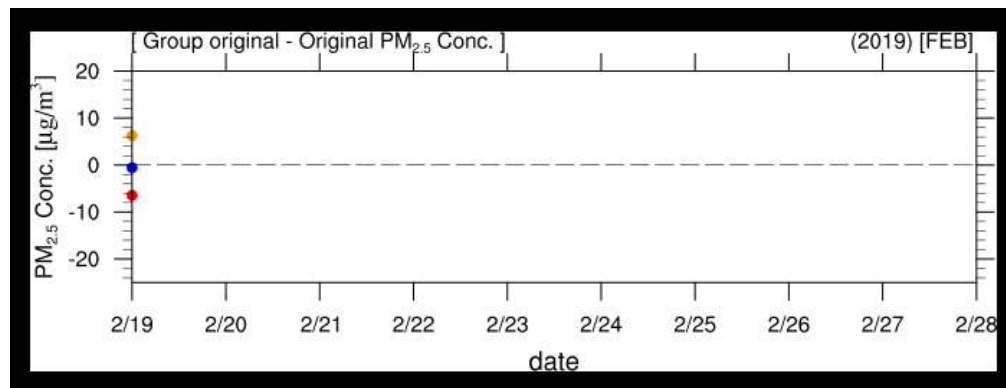
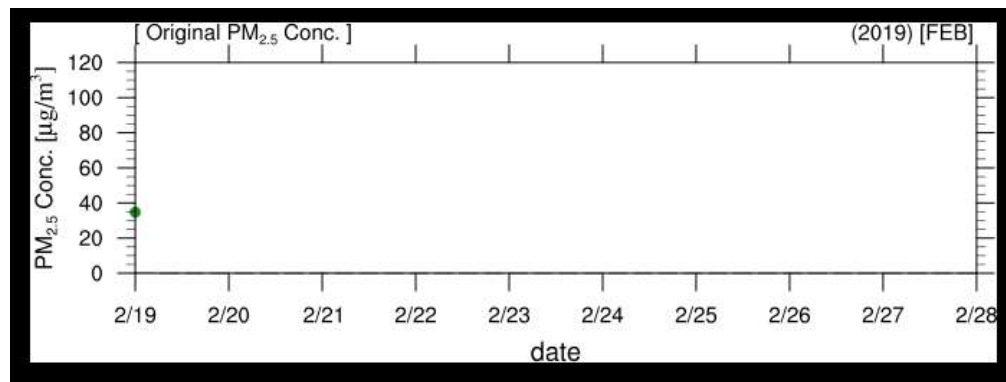
○ 사례1(2018.01.15~2018.01.21)





연구결과 – 고농도 PM_{2.5} 시공간적 특성 분석

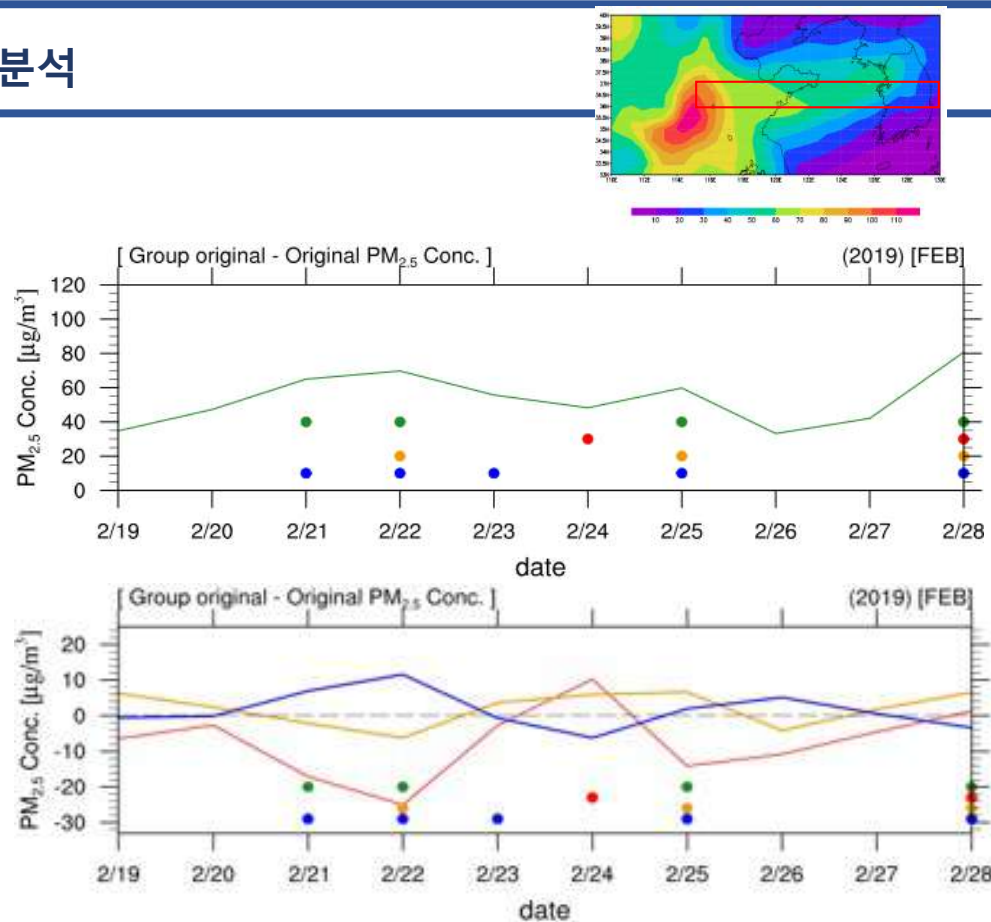
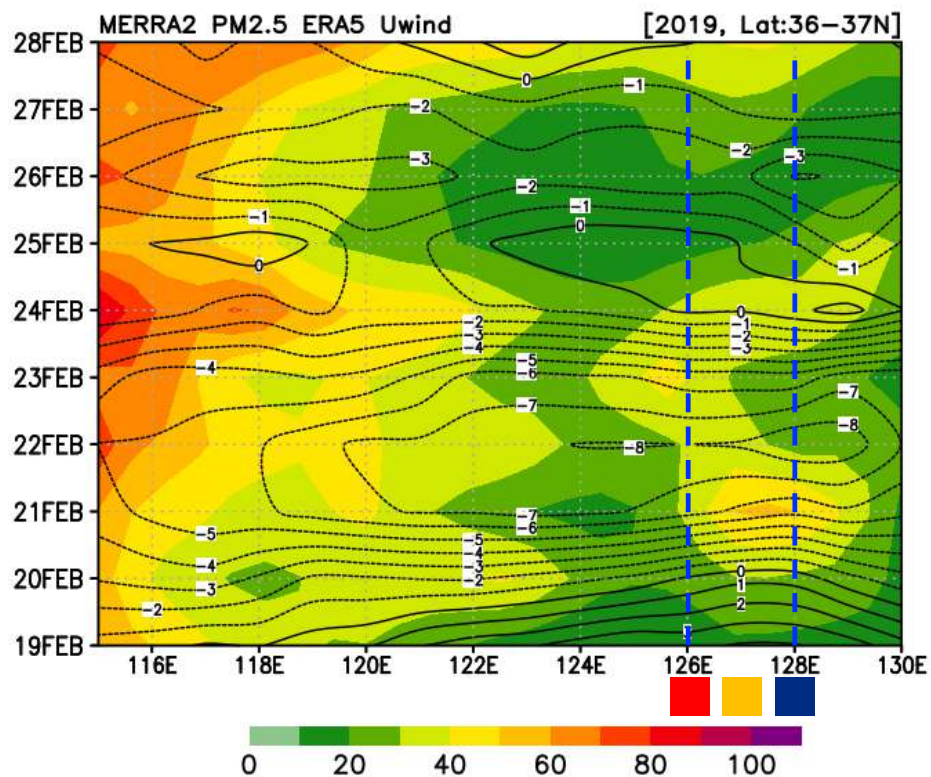
○ 사례2(2019.02.19~2018.02.28)





연구결과 - 고농도 PM_{2.5} 시공간적 특성 분석

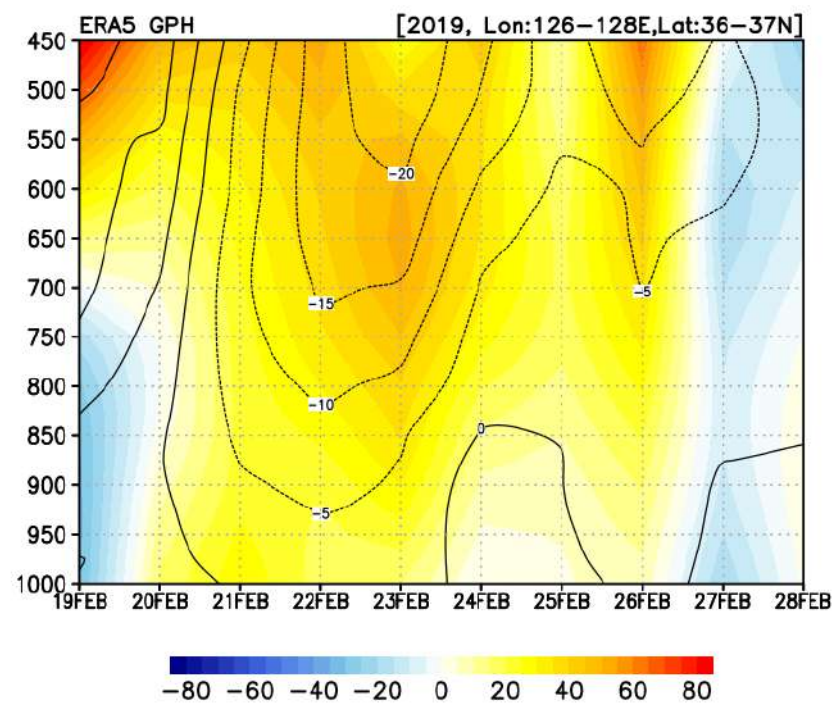
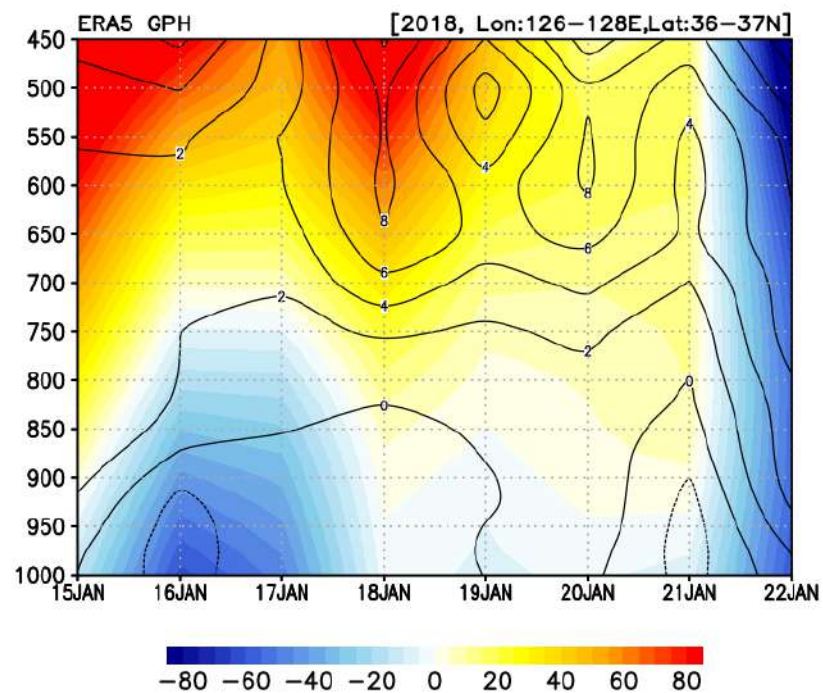
○ 사례2(2019.02.19~2019.02.28)





향후계획

- 중부권 PM_{2.5} 농도에 대한 군집분석(K-mean)을 통해 사례 분석 수행 예정





요약 및 결론

- 본 연구는, 최근 5년 (2018~2022년) 간 겨울철 (1~2월)
중부권 PM_{2.5} 농도의 변동 특성과 이와 관련된 대기 순환 패턴을 분석함
- 중부권에서 **EH** 사례는 약 5.8 day/year, **H** 사례는 약 23 day/year로 나타남
- 중부권의 **EH** 사례에 대해 **K-mean** 군집 분류 결과,
 - **1st cluster**: 북대서양-북유럽 대기 변동성과 관련된 대기 순환 패턴
: Eastern Atlantic and northern Europe (ENE) 지역에서 급격히 발달하는 **고기압성 편차**와 관련되어 있음
(Kim et al., 2021)
 - **2nd cluster**: 북극/고위도의 대기 변동성과 관련된 대기 순환 패턴
: Barents-Kara sea **해빙 농도의 감소**와 관련되어 있음 (Kim et al., 2019)
- 중부권 PM_{2.5} 농도의 **EOF 1st mode**는 **대규모 변동 모드**로 나타남
2nd mode는 동서 변동 모드로 나타나며, 3개 그룹으로 구분됨
 - 사례1(2018.01.15~2018.01.21) : 국외 유입(G1 고농도) → 풍하측 바람약화(G2,G3 고농도)
 - 사례2(2019.02.19~2018.02.28) : 하층바람 약화(G2, G3 고농도)



감사합니다.

<중부권 미세먼지 연구관리센터 연구 교류 세미나>

장소: 충남연구원 서해안기후환경연구소

일시: 2023.5.11 (목) 10:00~12:00

WRF-Chem 모형을 이용한 동아시아 기상-대기질 예측 체계 개발

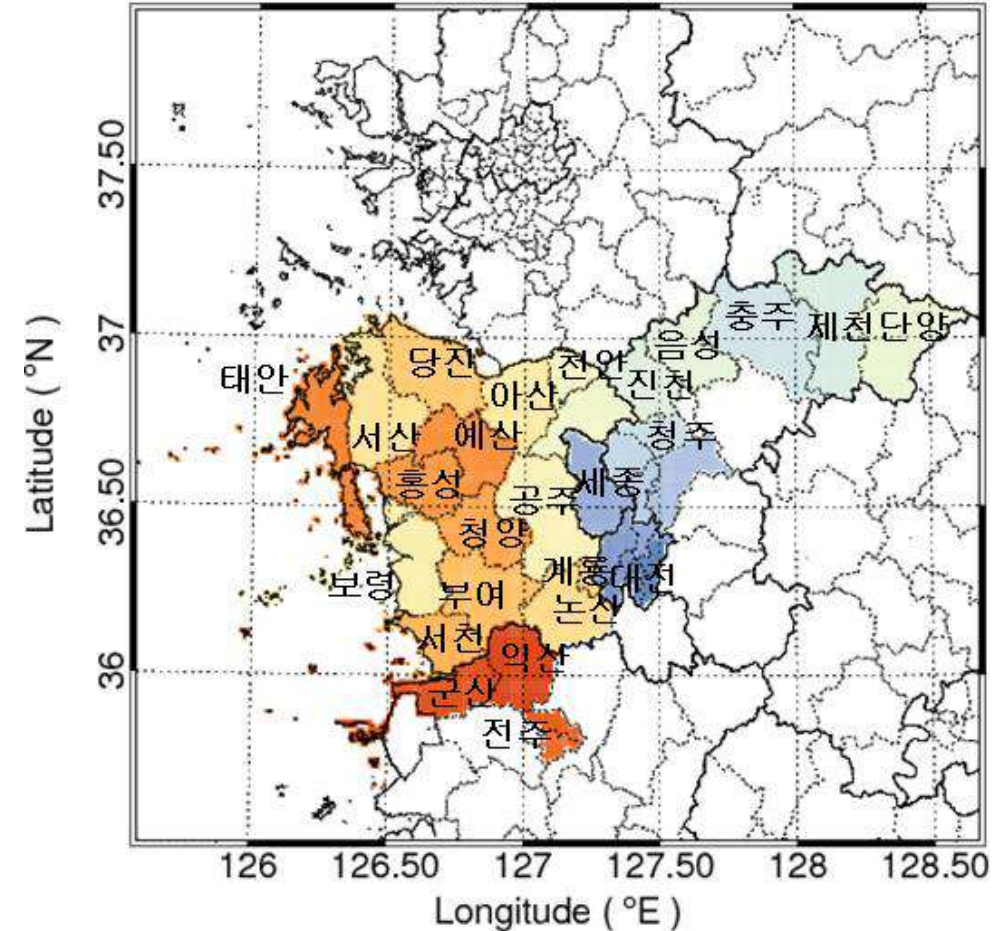
이재형, 이상현*

중부권 미세먼지연구관리센터 연구 2팀



충청권역 상세 기상·대기질 융합 모델링 체계 구성

대상 영역: 25개 시/군

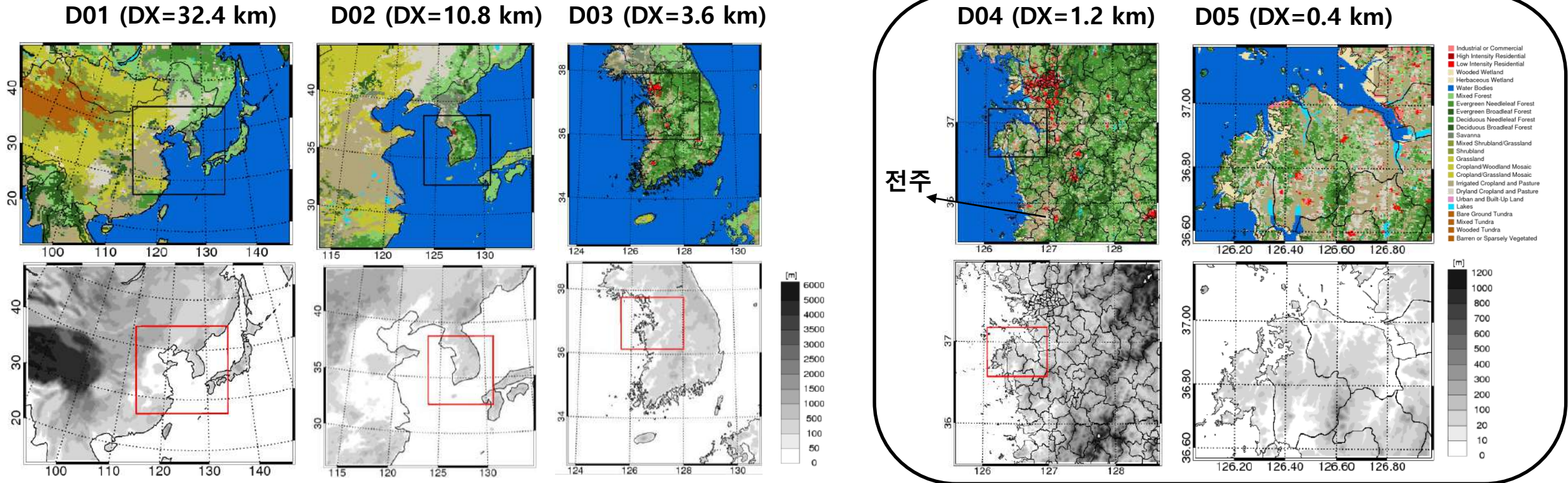


■ 대상 권역: 충남 14, 충북 6, 전북 3, 특·광역시 2 (총 25개 시/군)

- 1) **충남:** 당진, 태안, 서산, 아산, 천안, 예산, 홍성, 공주, 청양, 보령, 부여, 서천, 논산, 계룡
- 2) **충북:** 청주, 진천, 음성, 충주, 제천, 단양
- 3) **전북:** 전주, 군산, 익산
- 4) **특·광역시:** 대전, 세종

충청권역 상세 기상·대기질 융합 모델링 체계 구성

대상 모의 영역



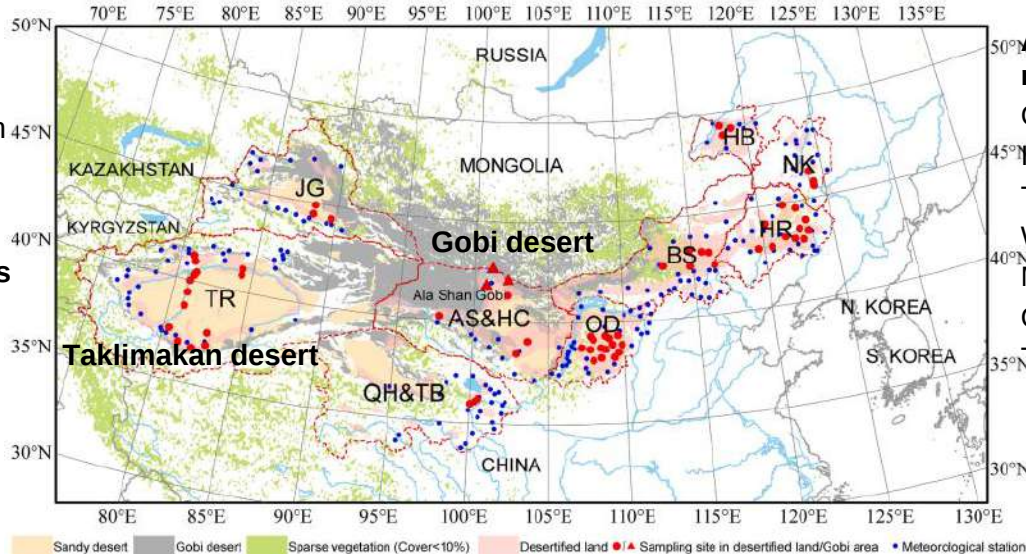
	Horizontal grid (ΔX)					Vertical layer	모델링 시스템(기상장)
	D01	D02	D03	D04	D05		
PRMC	180×133 (32.4 km)	189×180 (10.8 km)	180×189 (3.6 km)	225×222 (1.2 km)	201×165 (0.4 km)	55	WRF-Chem (FNL/GFS)
NIER	175×127 (27 km)	97×136 (9 km)	196×214 (3 km)	-	-	28	WRF-Chem (UM)
	174×128 (27 km)	99×138 (9 km)	198×216 (3 km)	-	-	28	WRF/CMAQ (WRF)
CN	174×128 (27 km)	67×82 (9 km)	74×110 (3 km)	164×164 (1 km)	-	15	WRF/CMAQ (UM/GFS)

동아시아 지역의 황사 발원지 및 수송 경로

<Spatial distributions of the desertified lands in 2000>

Gobi desert:
area of more than
1,040,000 km²

**Desertified lands
in China:**
386,000 km²
(early 2000s)

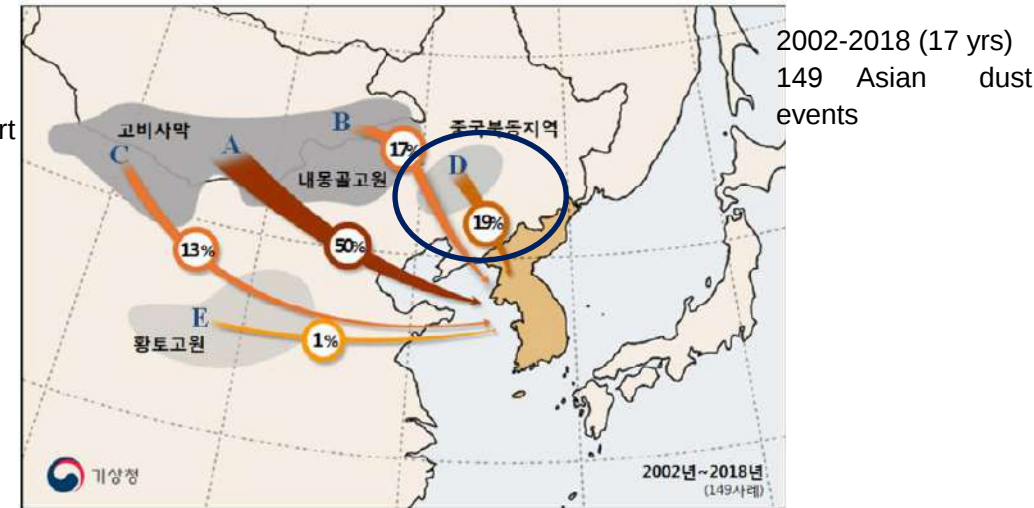


Wang et al. (2021)

Transport pathway that affected the Korean Peninsula in the Asian dust events

Asian dust source regions:

Gobi desert
Inner Mongolia desert
Taklimakan desert
Whang-To plateau
Manchurian plain
Ordos desert
Tengel desert

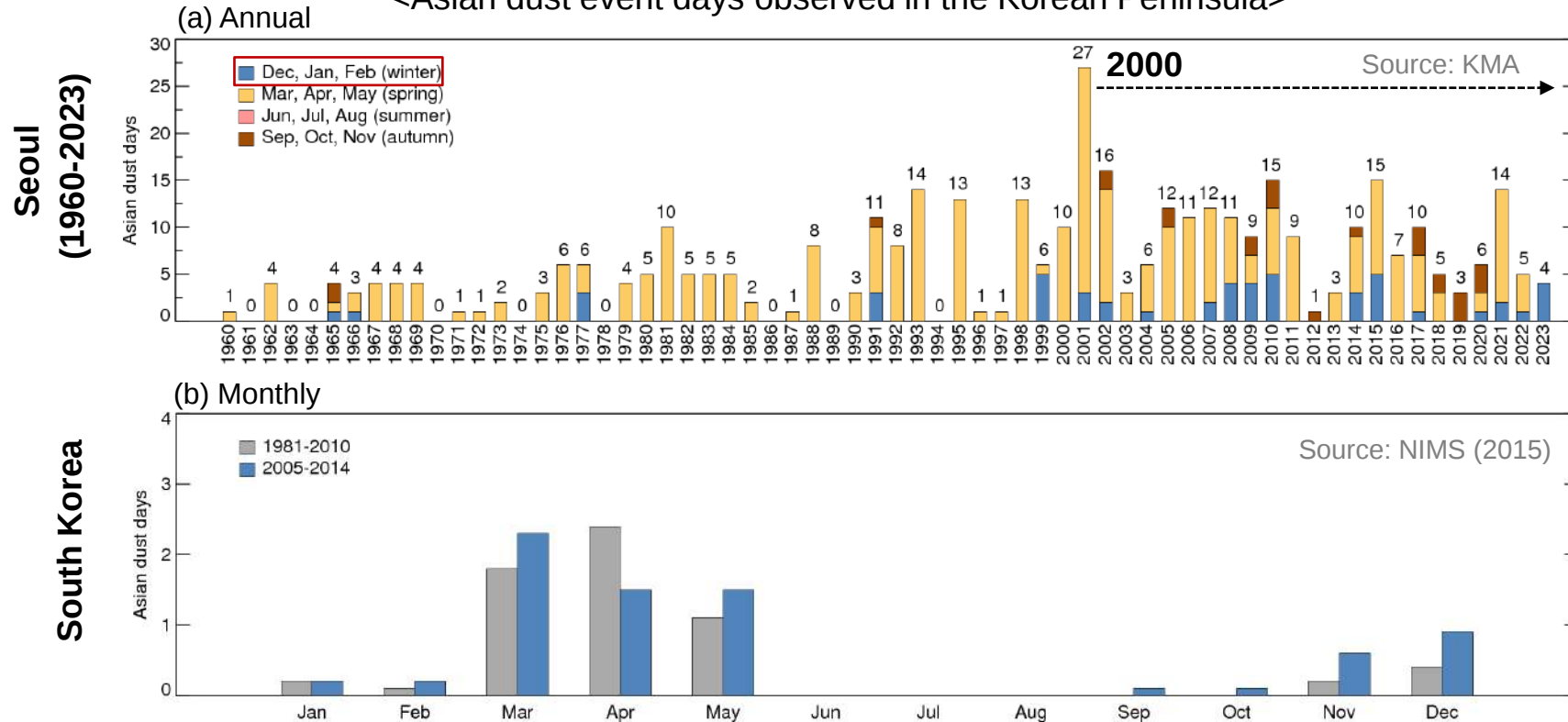


NIMS (2018)

- 동아시아 지역은 전 지구 지역에 분포하는 주요 자연 먼지 발생 지역 중 하나임 (Zhang et al., 1997; Ginoux et al., 2001, 2004; Sun et al., 2001; Tanaka and Chiba, 2006; Kok et al., 2021)
 - Asian dust or yellow sand ('Hwangsa') (Chun et al., 2001, 2008; In and Park, 2002; Park and Lee, 2004)
 - 전 지구 먼지 배출량의 약 10-40% 발생 (Ginoux et al., 2001; Huang et al., 2014; Hu et al., 2019; Kok et al., 2021)
- 주로 고비/내몽골 사막에서 발해만을 지나 한반도로 수송됨 (약 50% 이상)
 - 중국 북동부 지역: 14-19%

한반도 지역에서 관측된 황사 일수

<Asian dust event days observed in the Korean Peninsula>



Since 2000, the frequency of Asian dust events in wintertime has increased (Kim and Park, 2001; Zhou and Zhang, 2003; Kim, 2008; Kim et al., 2008, Kim et al., 2010a; NIMS, 2015; Park et al., 2016; Ma et al., 2019)

- 1981-2010 (30 years): **6.3**
Springtime: 84.1% } 95.2%
Wintertime: **11.1%**
- 2005-2014 (10 years): **7.5**
Springtime: 70.7% } 88.0%
Wintertime: **17.3%**

- 황사는 봄철에 빈번하게(약 70-80%) 관측되고 있으나, 겨울철 황사도 두번째로 높은 빈도를(약 10-25%) 차지함 (Kim, 2008; Kim et al., 2008; NIMS, 2015)
- 겨울철 황사는 적설, 토양 수분, 토양 결빙과 같이 봄철과 다른 지면 조건의 영향을 받음 (Kurosaki and Mikami, 2004; Larent et al., 2006)
- 겨울철 황사에 대한 WRF-Chem 모형의 성능을 조사하고 먼지 배출 방안을 평가함

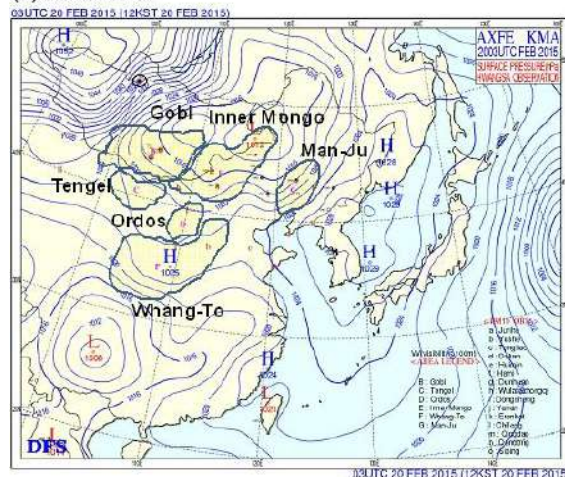
겨울철 강한 황사 사례 선정

2015년 2월 22일-24일

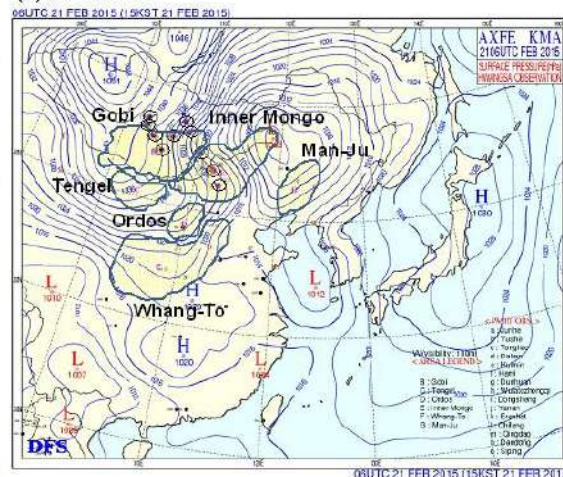
[6]

Surface weather charts during the Asian dust event period of 20–22 February 2015

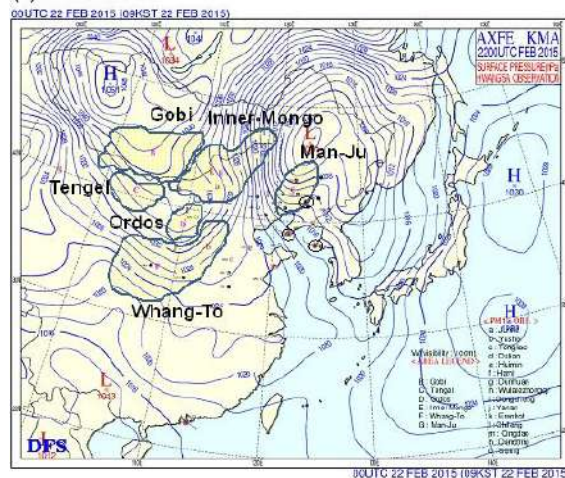
(a) 20 03 UTC



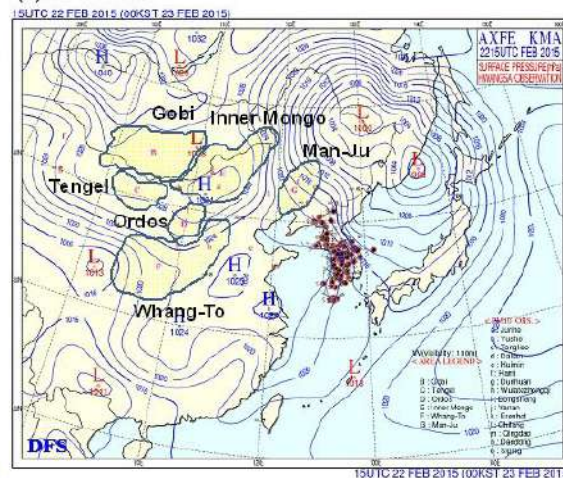
(b) 21 06 UTC



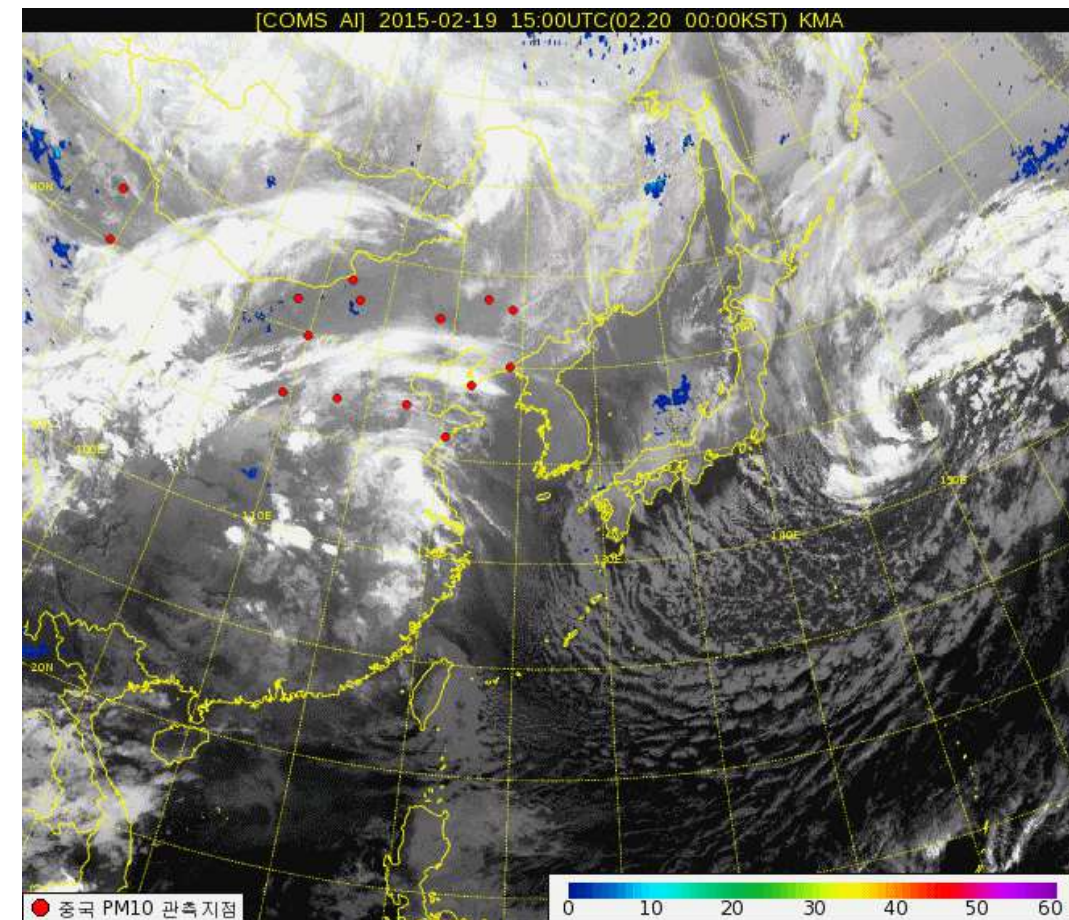
(c) 22 00 UTC



(d) 22 15 UTC



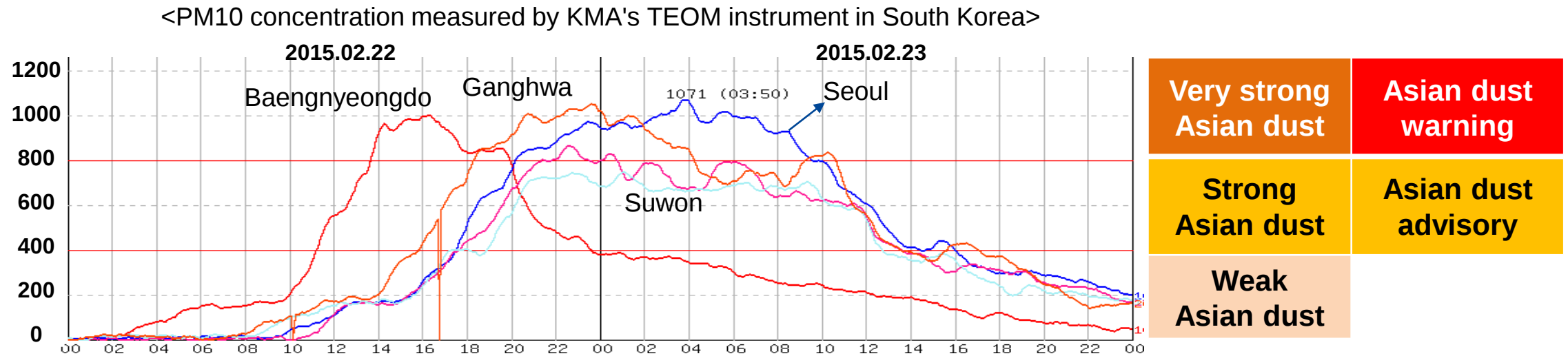
COMS/MI Aerosol index (AI) on 20-24 February 2015



Lee and Lee (2022)

겨울철 강한 황사 사례

한반도 주요 지점에서 측정된 PM10 농도

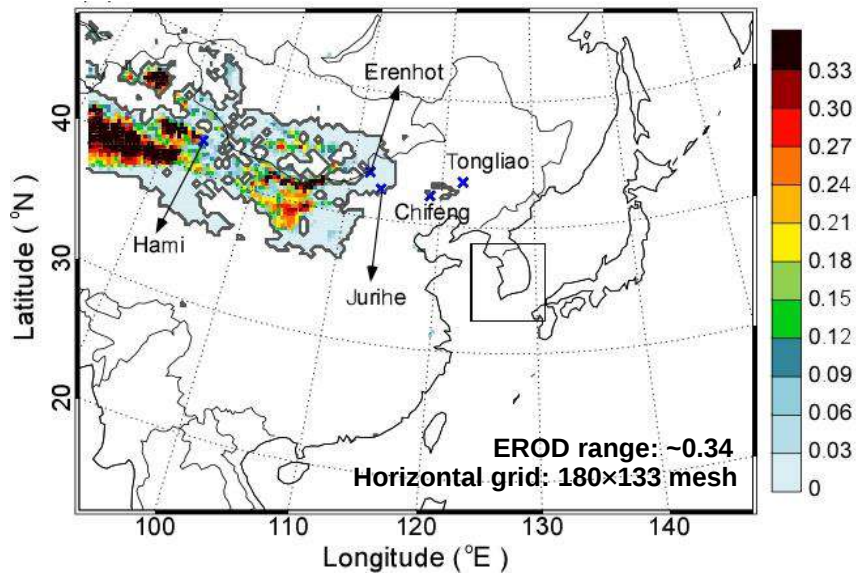


- PM10 최대농도는 $1044 \mu\text{g m}^{-3}$ 로 측정되었으며, 이는 서울 기상청에서 두번째로 높은 기록이었음 (NIMS, 2015)
- 약 4년 만에 황사 주의보가 발령되었고, 35시간동안 발효되었음

자료 및 방법

실험 설계

The domain of the WRF-Chem model for the Asian dust event simulation with erodibility factor (EROD)



<WRF-Chem version 3.9.1>

- 고비 사막과 내몽골 사막을 포함한 동아시아 먼지 발생 지역 포함
- 기상장의 종관 변화를 명시적으로 나타낼 만큼 충분히 확장 (Lee et al., 2011; Lee et al., 2015; Oh et al., 2020)
- 수평 격자 해상도 (연직 층): 32.4 km (55)
- 기상 초기/경계 조건: NCEP-FNL (w/ 4DDA)
- 화학 메커니즘: RACM (gas)/GOCART (aerosol)
- 인위적 배출량: MICS-Asia 2010
- 분석 기간: 2015.02.20-02.24 (4 days)
- WRF-Chem 모형의 다른 먼지 배출 방안을 통해 5개 시뮬레이션 수행
- 모든 물리/화학적 옵션은 먼지 배출 방안을 제외하면 5개 실험에서 동일

Experimental design for the severe wintertime Asian dust simulation using the WRF-Chem dust emission schemes (Lee and Lee, 2022)

experiment name	dust scheme	model option	reference
UC01	UC	dust_opt = 4, dust_scheme = 1	Shao (2001)
UC04	UC	dust_opt = 4, dust_scheme = 2	Shao (2004)
UC11	UC	dust_opt = 4, dust_scheme = 3	Shao et al. (2011)
GO01	GOCART	dust_opt = 1	Ginoux et al. (2001)
GA19	AFWA	dust_opt = 3	LeGrand et al. (2019)

자료 및 방법

먼지 배출 방안

WRF-Chem 모형에서 구현된 5가지 먼지 배출 방안

- ✓ **UC01**: 도약 충격(Saltation bombardment) 및 응집 분해 (aggregate disintegration) 메커니즘 (Shao, 2001)
- ✓ **UC04**: 도약 충격 효율성의 단순화 (Shao, 2004)
- ✓ **UC11**: 토양 입자 크기 분포의 단순화 (Shao et al., 2011)

} **physical based**

10-m 풍속 ✓ **GO01**: 지표 풍속과 먼지 배출 사이 관계를 사용하는 간단한 방안 (Ginoux et al., 2001) → **empirical based**

- ✓ **GA19**: GO01 방안에 기반한 물리적 접근 (도약 충격) 방식 (LeGrand et al., 2019) → **semi-empirical based**

<UC01>

$$F(d_i, d_s) = c_y [(1 - \gamma) + \gamma \sigma_p] \frac{Q(d_s)g}{\mu u_*^2} (\underbrace{\rho_b \eta_{f,i} \Omega}_{\text{Saltation bombardment}} + \underbrace{m \eta_{c,i}}_{\text{Aggregation disintegration}})$$

$F(d_i, d_s)$: the dust emission rate for particles of size d_i produced by the saltation of particles of size d_s ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

<UC04>

$$F(d_i, d_s) = c_y \eta_{f,i} [(1 - \gamma) + \gamma \sigma_p] \frac{Q(d_s)g}{u_*^2} (1 + \sigma_m)$$

$F(d_i, d_s)$: the dust emission rate for particles of size d_i produced by the saltation of particles of size d_s ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

<UC11>

$$F(d_i) = c_y \eta_{m,i} \frac{Q_{\text{total}}g}{u_*^2} (1 + \sigma_m)$$

$F(d_i)$: the dust emission rate for particles of size d_i produced by the total saltation ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

“Source regions: refer to binary”

<GO01>

$$F_p = \begin{cases} C S_p u_{10m}^2 (u_{10m} - u_{*,t}(D_p, \theta_s)), & u_{10m} > u_{*,t}(D_p, \theta_s) \\ 0, & u_{10m} \leq u_{*,t}(D_p, \theta_s) \end{cases}$$

F_p : Emission flux for each size bin ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

C : Dimensional proportionality constant ($= 0.8 \times 10^{-9} \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-5}$)

u_{10m} : 10 m wind speed (m s^{-1})

$u_{*,t}(D_p, \theta_s)$: Threshold friction velocity (m s^{-1})

S : Dust source strength (unitless) S_p : Mass fraction from soil (unitless)

<GA19>

$$F_{d,p} = F_B \kappa_{d,p} \quad F_B = \begin{cases} C \beta, & z_0 \leq 20 \text{cm} \\ 0, & z_0 > 20 \text{cm} \end{cases}$$

$F_{d,p}$: Size – resolved dust emission fluxes ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

F_B : The bulk dust emission flux ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

$\kappa_{d,p}$: Suspended dust distribution weighting factors (Kok, 2011)

Dust source regions

$$S = \left(\frac{Z_{\text{max}} - Z_i}{Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}} \right)^5$$

S : Dust source strength function (EROD)

Z_i : Elevation of the cell

Z_{max} : Maximum elevation ($10^\circ \times 10^\circ$ area)

Z_{min} : Minimum elevation ($10^\circ \times 10^\circ$ area)

자료 및 방법

검증 자료

Measurement dataset used for meteorology and air quality evaluations (Lee and Lee, 2022)

	type	parameter	temporal resolution	source
meteorology	surface	2-m temperature 2-m specific humidity 10-m wind speed precipitation	3 h	NCDC ISD ^a
air quality	satellite	precipitation	daily	TRMM ^b
	surface	PM ₁₀	1 h	air quality monitoring site (South Korea)
		PM ₁₀ ^c	1 h	dust monitoring site (China)
	satellite	aerosol optical depth (AOD) extinction coefficient	day/night	CALIOP ^d / CALIPSO ^e

$$\text{AOD}_{\text{WRF-Chem}} = \sum_{k=1}^n e(k) \Delta z$$

e_{550} : the extinction coefficient at 550 nm

k : the vertical layer index of the model

Δz : the thickness of the vertical layer of the model

1) 지표 측정

■ NOAA/NCDC ISD

- ✓ 10-m 풍속, 2-m 온도/습도 (3시간 간격)
- ✓ 1044 지점 (동아시아 지역)

■ PM10

- ✓ 황사 발원 지역: 하미, 주리허, 에렌하오터, 츠핑, 톈랴오 (Park et al., 2016)
- ✓ 한반도: 백령도, 서울, 군산, 대관령, 고산

2) 위성

■ TRMM (TRMM_3B42_Daily v7, Level 3)

- ✓ 일 강수량 (0.25°×0.25°)

■ MODIS (MYD04_L2, collection 61 level 2 deep blue algorithm)

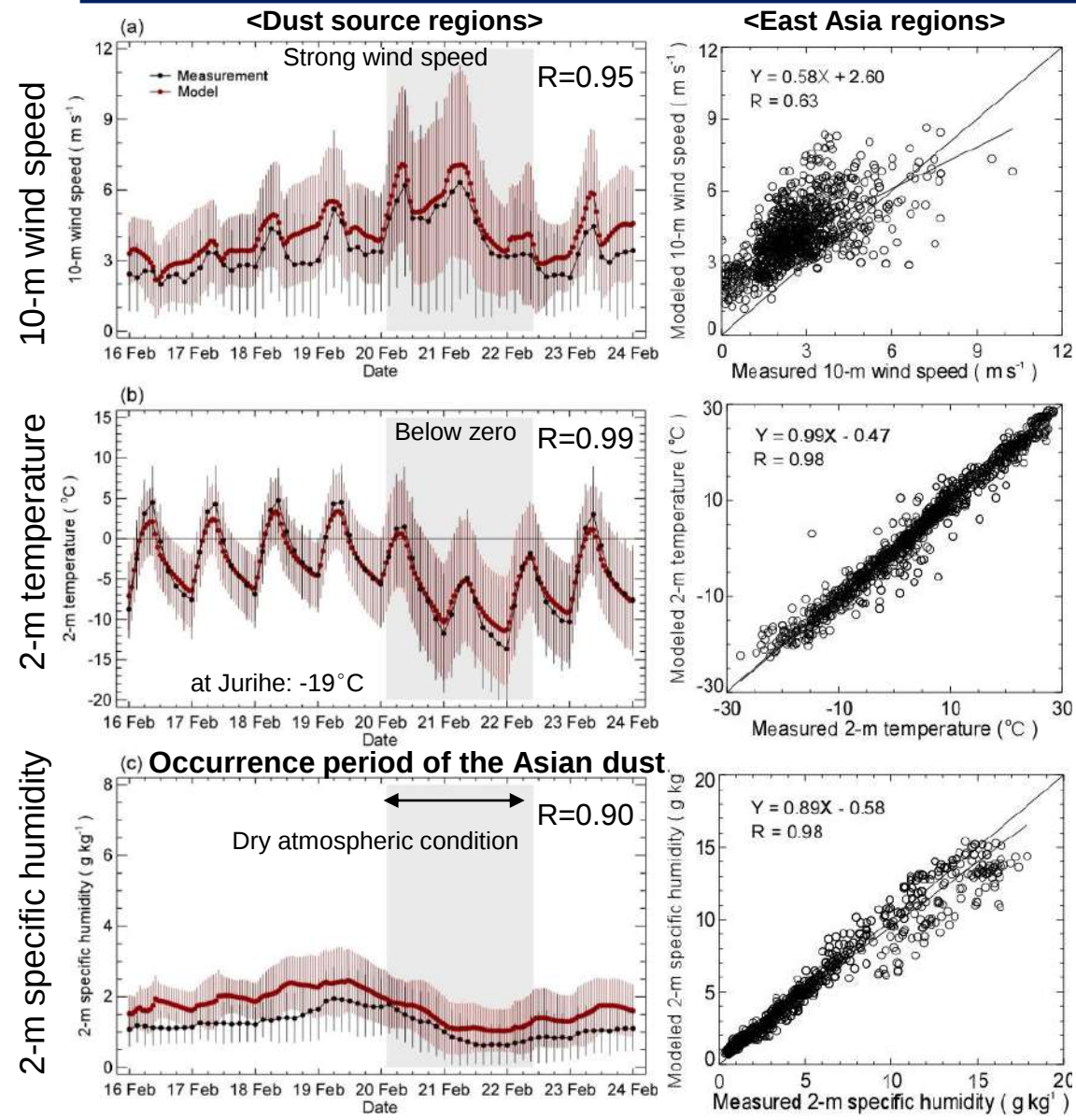
- ✓ 일별 AOD (10×10 km²)

■ CALIOP/CALIPSO (CAL_LID_L2_05kmAPro-Standard-V4-20)

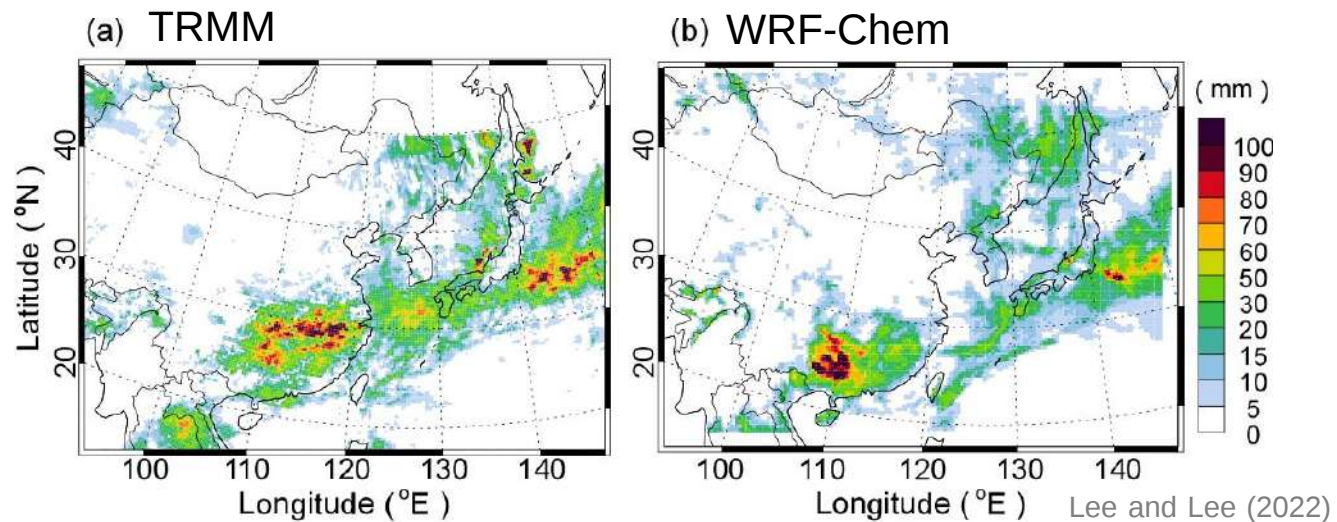
- ✓ 에어로졸 소산 계수

결과

모의 기상장 검증



<Precipitation distributions, 16-24 February 2015>



- 모형은 풍속 과대 모의 경향이 있으나, 먼지 발원 지역에서 관측된 풍속의 일 변동을 잘 포착하였음($R=0.95$)
- 먼지 발생 기간 동안 기온이 영하로 유지됨
- 먼지 발원 지역에서 측정된 건조한 대기 조건을 모형이 포착하였음
- 중국과 몽골의 먼지 발생 지역은 수 mm 미만으로 강수량이 적었음

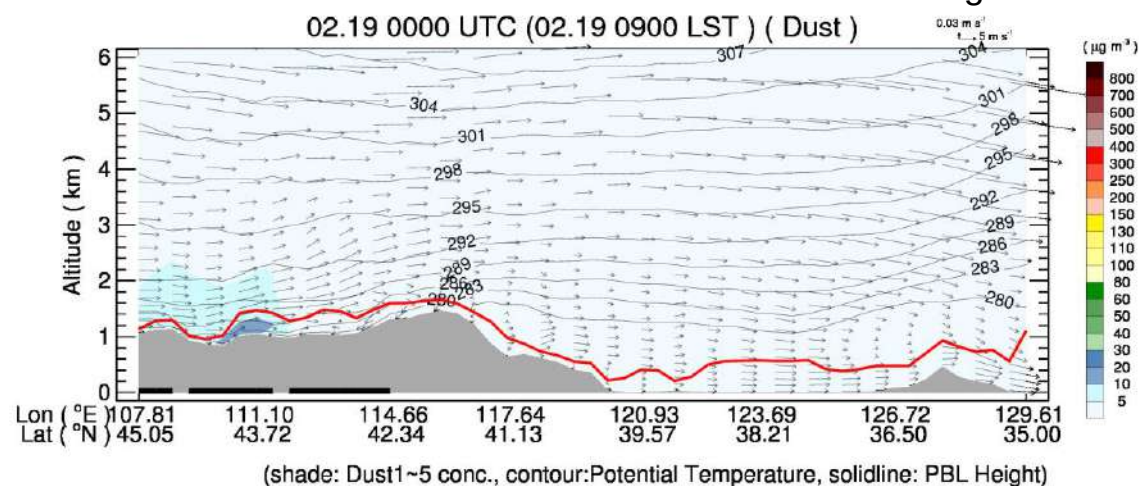
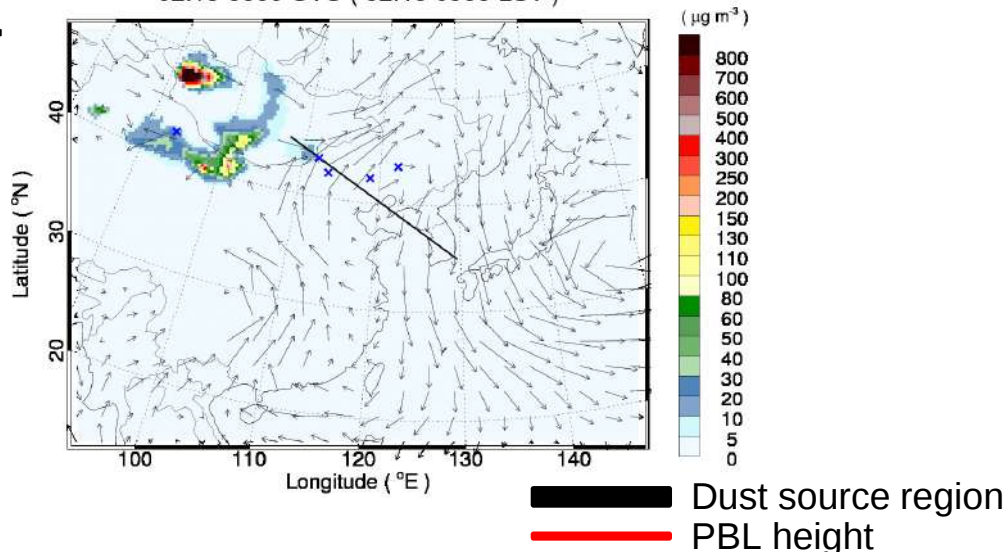
모의된 먼지 농도의 수평 및 연직 분포

Dust concentration: dust 1+dust 2+dust 3+dust 4+ dust 5

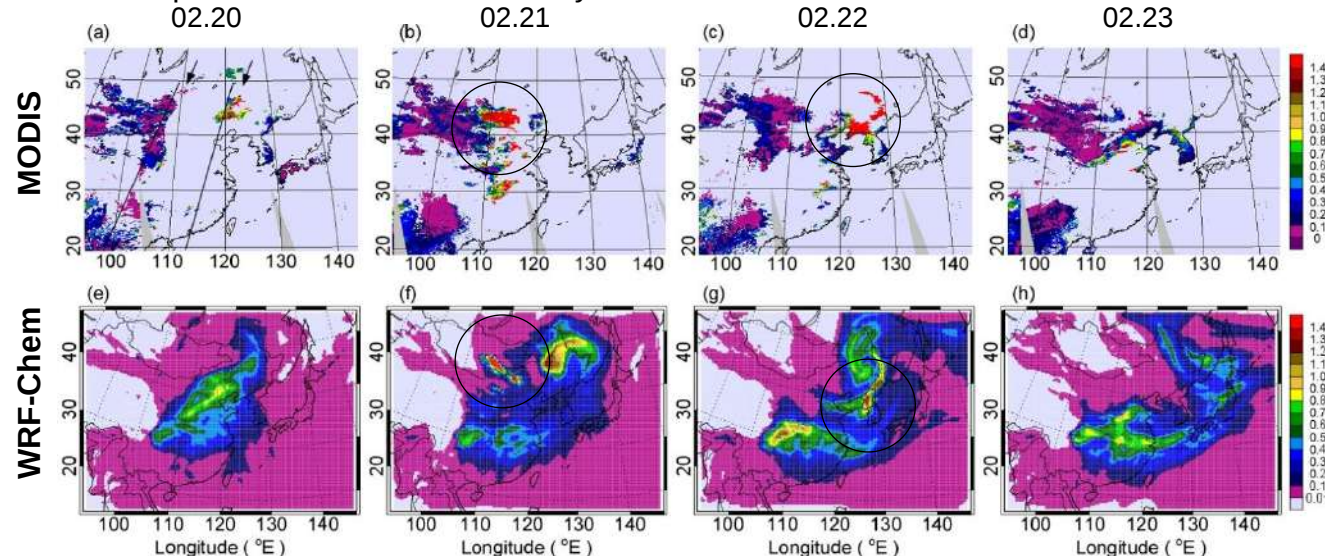
[2015.02.19 00 UTC ~ 02.24 00 UTC]

02.19 0000 UTC (02.19 0900 LST)

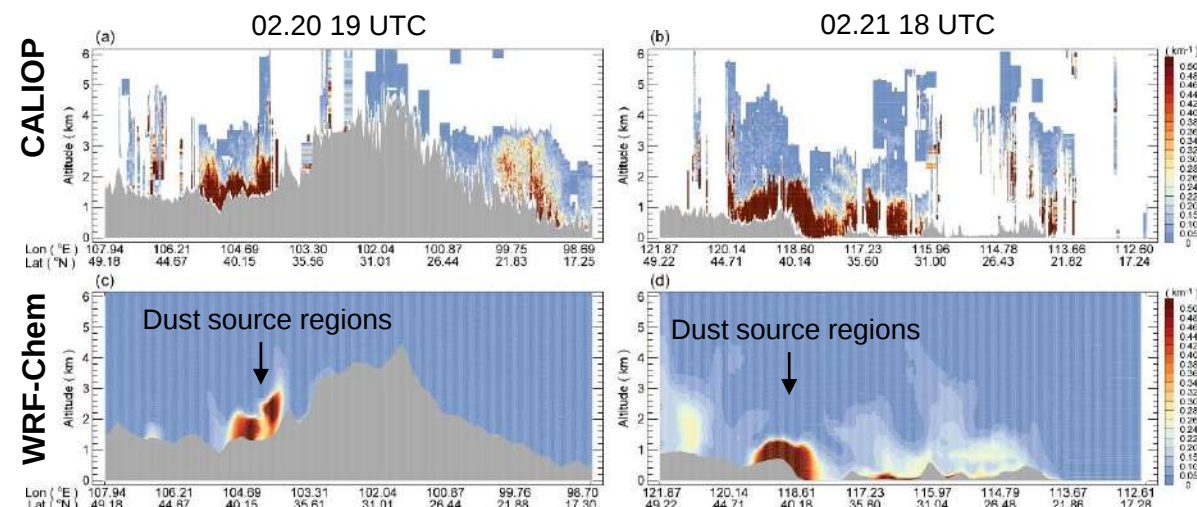
<UC01>



<Spatial distributions of the daily mean AOD from the MODIS and WRF-Chem>



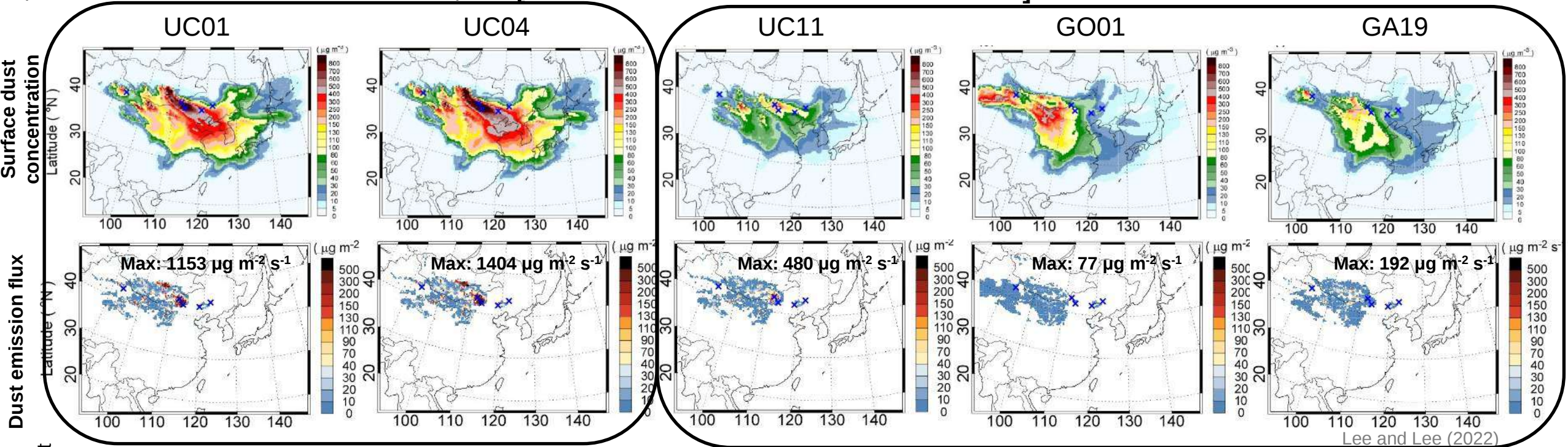
<Vertical distributions of the aerosol extinction coefficient from the CALIOP and WRF-Chem>



결과

WRF-Chem 먼지 방안의 성능 비교

(Total dust: bin 1+ bin 2+bin 3+bin 4+ bin 5) [2015.02.20 00 UTC ~ 02.24 00 UTC mean]



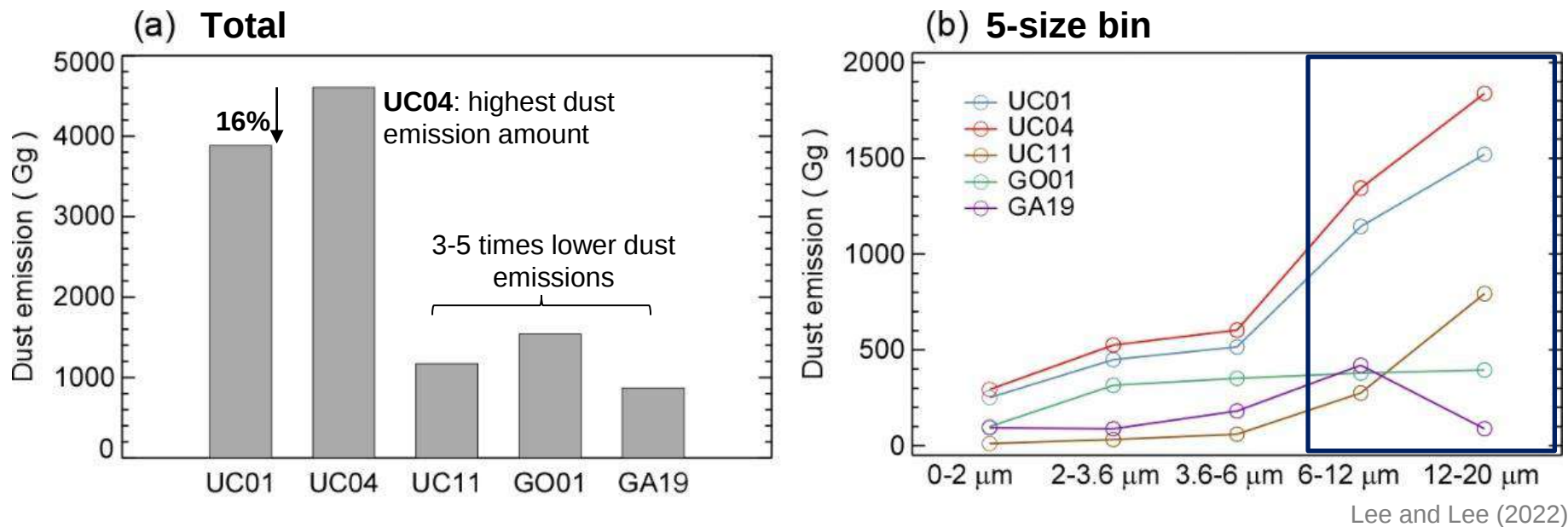
Relatively
low dust
High dust

- **UC01, UC04:** 고비, 내몽골 사막 부근에서 수평으로 확장된 고농도 먼지 플룸 및 배출 플럭스 (공간분포 및 농도 수준 유사)
 - **UC11:** UC01 및 UC04 방안과 비교하여 먼지 농도 및 배출 플럭스 크기 낮음
 - **GO01:** 중국 북서부 및 북부지역에서 높은 수준의 먼지 플룸
 - **GA19:** 상대적으로 낮은 먼지 농도 및 배출 플럭스 (GO01 방안과 유사함)
- 전체적으로 먼지 배출 플럭스의 강도 및 먼지 농도에 따라 크기 두 그룹으로 구분되는 특징

결과

WRF-Chem 먼지 방안의 성능 비교

[2015.02.20 00 UTC ~ 02.24 00 UTC]



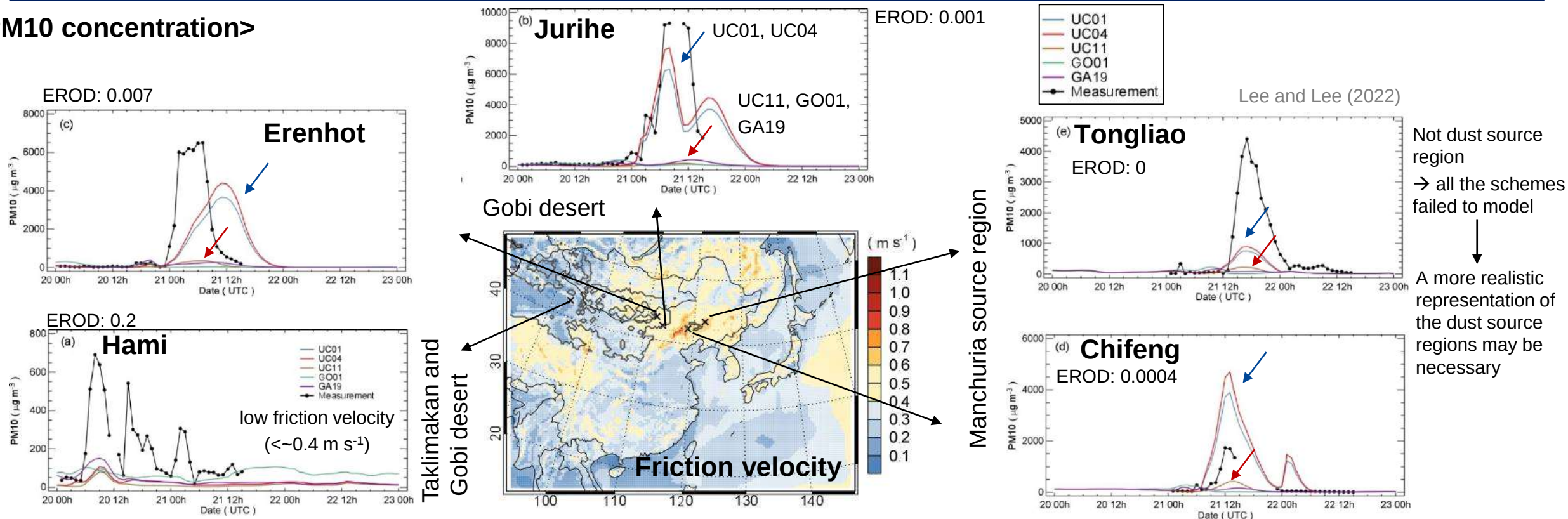
UC01, UC04, UC11:
approximately 70% of dust emissions in bins 4, 5

GO01, GA19: applying the empirical size distribution from measurements (Tegen and Fung, 1994; Kok, 2011)

- 먼지 방안들은 먼지 배출량에서 뚜렷한 차이를 보임 (두 그룹)
- UC01, UC04: 모든 입자 크기 bin (특히, $> 6 \mu\text{m}$) 다른 먼지 방안보다 더 높은 먼지 배출량 발생
 - UC11: 토양 입자 크기 분포 표현의 변화에 기인 (Shao et al., 2011)

지표 측정에 대한 WRF-Chem 먼지 방안의 평가

<PM10 concentration>

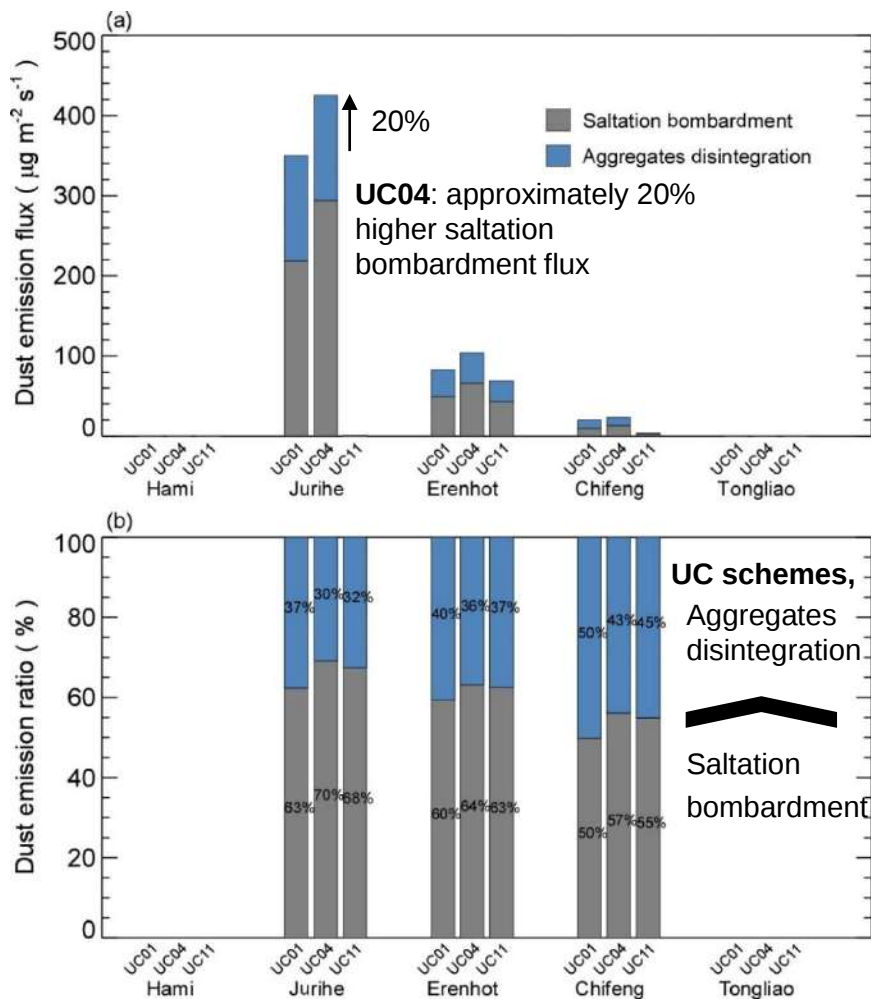


- UC01, UC04: 측정된 높은 먼지 농도를 모의하였음
- UC11, GO01, GA19: 측정된 높은 먼지 농도를 모의하는데 실패하였음
 - ✓ UC11: 먼지 배출 플럭스 발생에 최소 교란 입자 분포 (minimally disturbed particle distribution)만 사용
 - ✓ GO01, GA19: 토양 포화도 임계값 초과 및 먼지 소스 강도의 낮은 값에 기인

결과

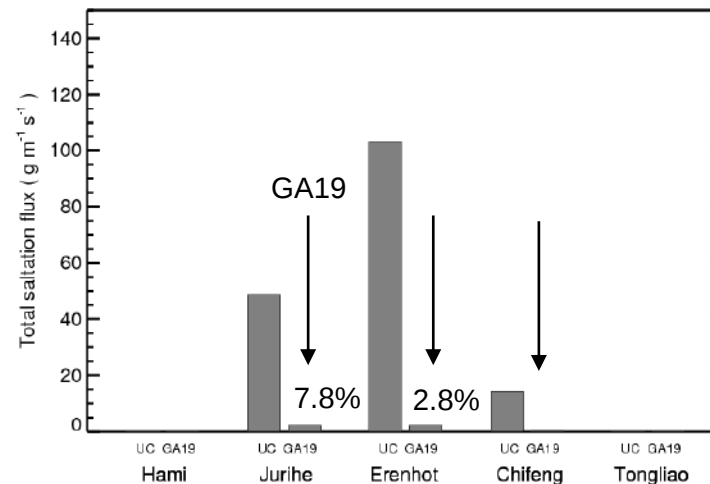
지표 측정에 대한 WRF-Chem 먼지 방안의 평가

<Comparison of the dust emission fluxes and dust emission ratios of the **saltation bombardment** and **aggregates disintegration processes** of the **UC schemes**>



Lee and Lee (2022)

<Comparison of the total saltation bombardment of the UC and GA19 schemes>

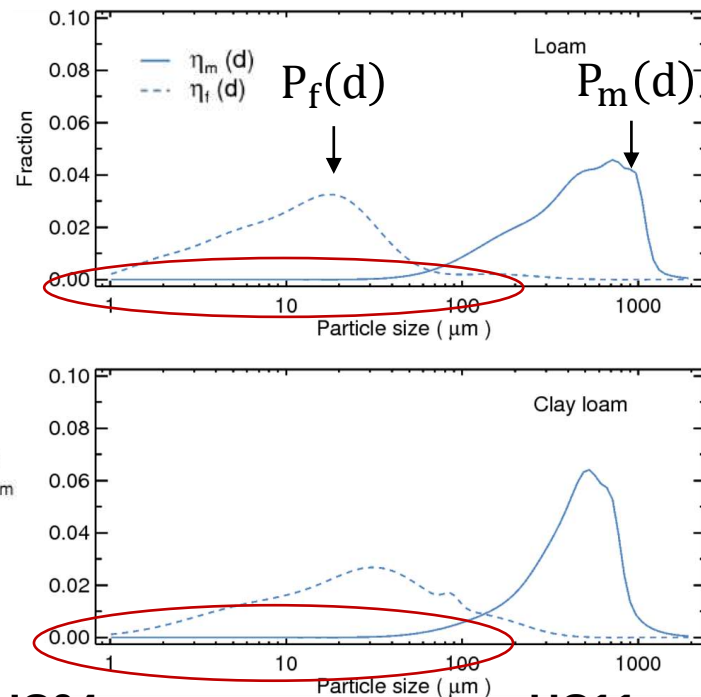
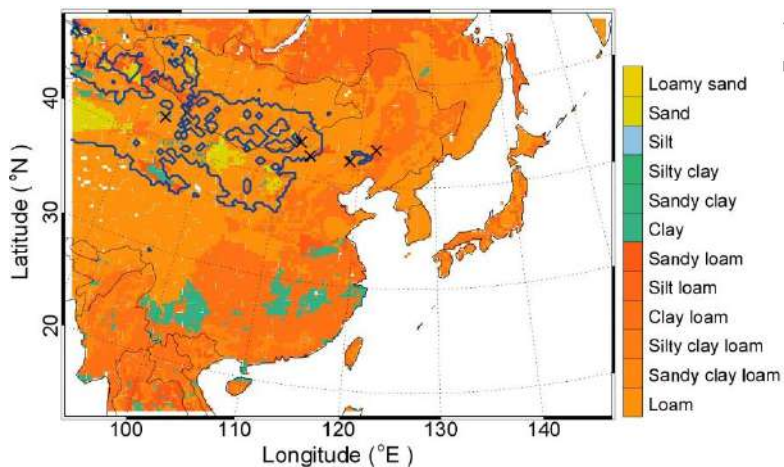


- **UC01, UC04, UC11:** 도약 충격 과정은 응집체 분해 과정보다 더 많은 먼지 배출 플럭스에 기여하였음
✓ UC01과 UC04 방안간 차이는 UC04 방안에서 약 20% 더 높은 도약 충격 플럭스에 기인
- GA19 방안의 총 도약 플럭스는 UC 방안과 비교하여 약 10% 미만 수준이었음 (쥬리허, 에렌하오터)

결과

지표 측정에 대한 WRF-Chem 먼지 방안의 평가

12 Soil texture (UC01, UC04, UC11)



‘Jurihe: Loam’

$$P_s(d) = \gamma P_m(d) + (1 - \gamma) P_f(d)$$

$P_s(d)$: Particle availability term

$P_m(d)$: Minimally disturbed particle size distribution

$P_f(d)$: Fully disturbed particle size distribution

γ : Function describing how easily released aggregated particles

$$\gamma = \exp \left[-k_1 (u_* - u_{*t}(d))^3 \right]$$

γ : Function describing how easily released aggregated particles

k : Constant (= 1)

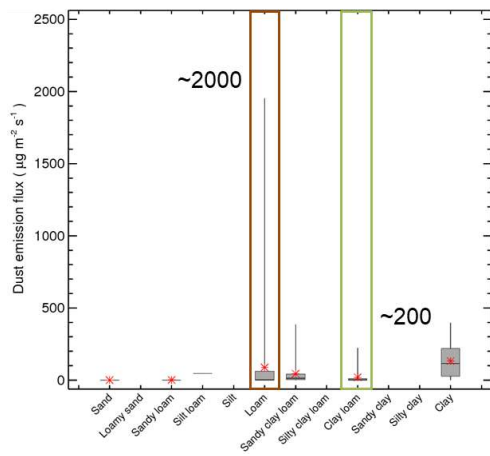
u_* : Friction velocity (m s^{-1})

$u_{*t}(d)$: Threshold friction velocity (m s^{-1})

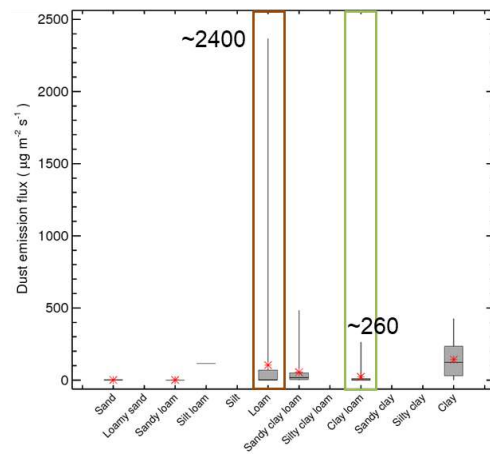
Alfaro et al. (1997); Lu (1999)

If, $\gamma=1$ (UC11)

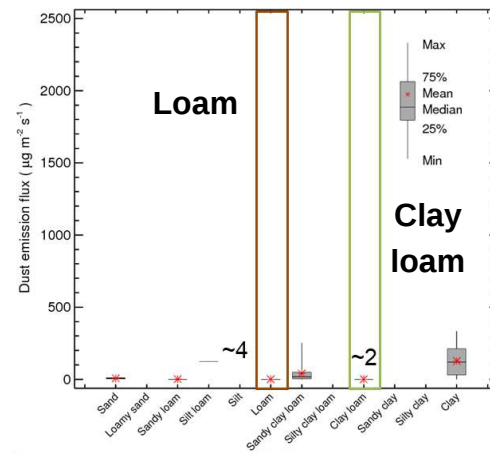
UC01



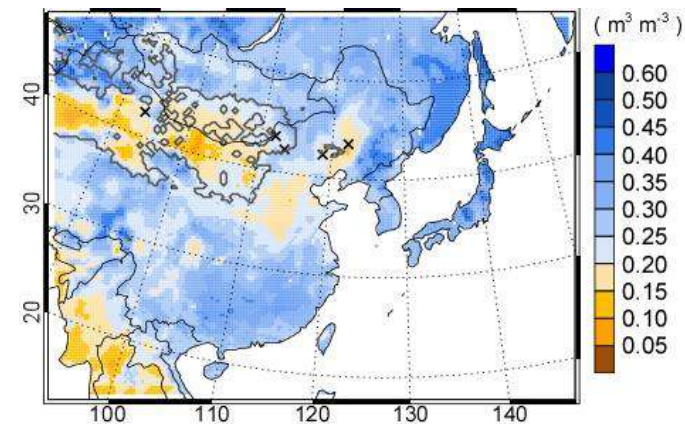
UC04



UC11

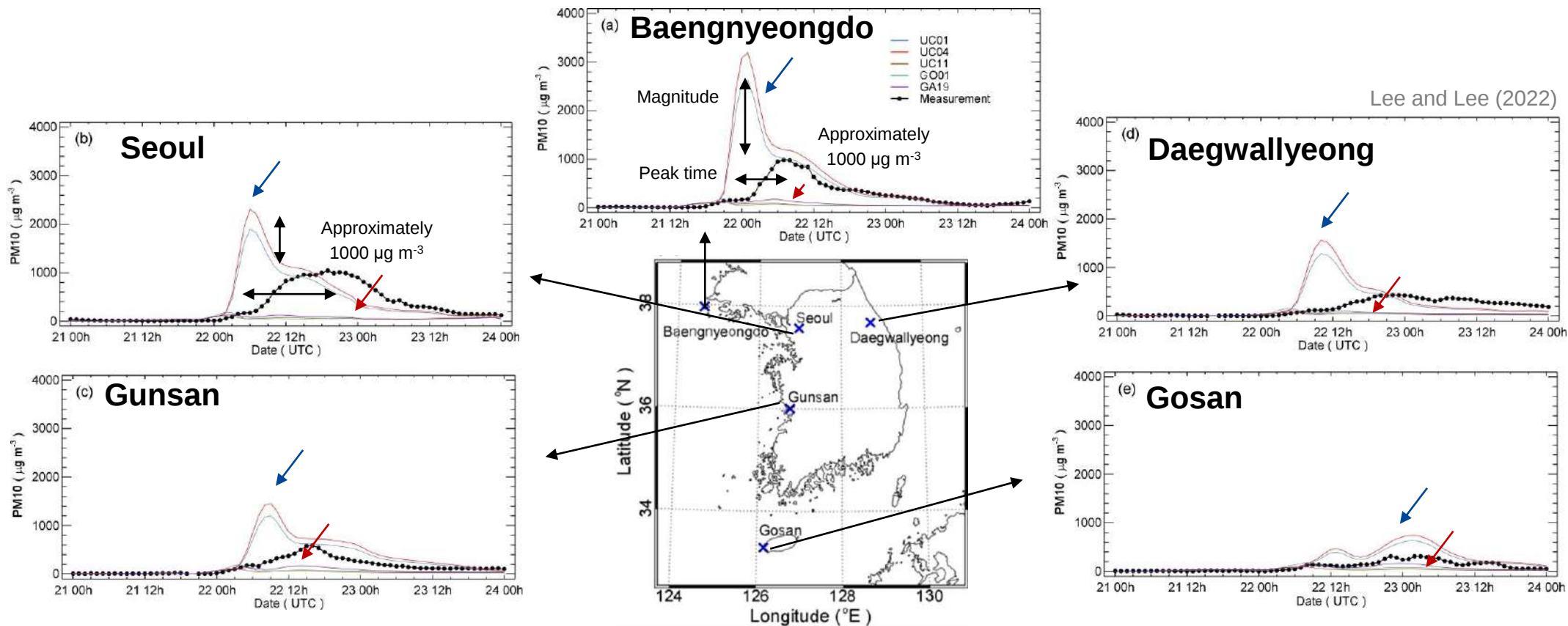


Soil moisture



결과

지표 측정에 대한 WRF-Chem 먼지 방안의 평가



- **UC01, UC04:** 황사의 유입 및 지속 시간을 포착했으나, 모의된 최대 먼지 농도의 크기와 시간에 편향을 보임
- **UC11, GO01, GA19:** 중국 황사 발원지역의 먼지 배출량 추정 성능이 좋지 않아 한반도 지역에서 관측된 황사를 모의하지 못함

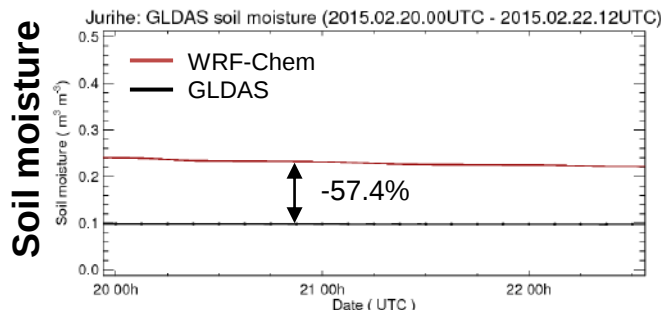
결과

동적 강제력과 토양 수분에 대한 먼지 방안의 민감도

- 재분석 토양 수분과 10-m 풍속을 기반으로 먼지 배출 방안의 민감도 테스트 수행
- 먼지 배출 방안은 지표 풍속과 토양 수분에 상당한 민감성을 보임
- 증가된 마찰속도는 먼지 배출 플럭스를 약 119%~828% 증가시켰음
- 낮은 토양 수분은 먼지 배출 플럭스를 83%~763% 증가시켰음
- 마찰속도와 토양 수분의 결합 효과: 3000%, 3109%, 570%, and 302%

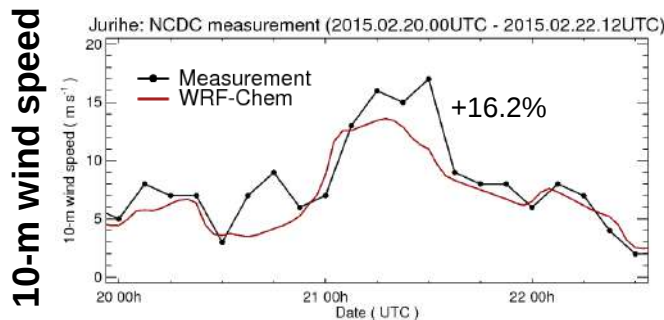
UC01
UC04
UC11
GA19

<Jurihe>



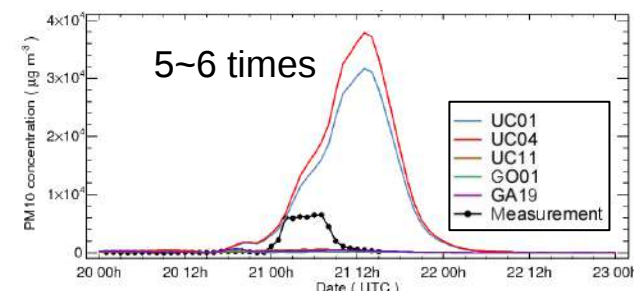
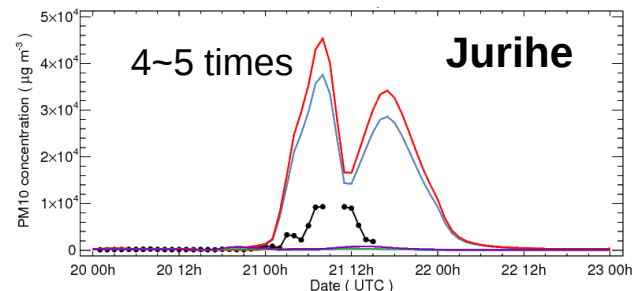
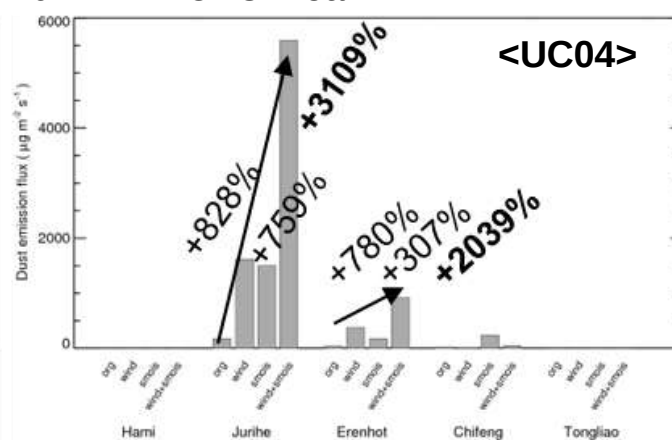
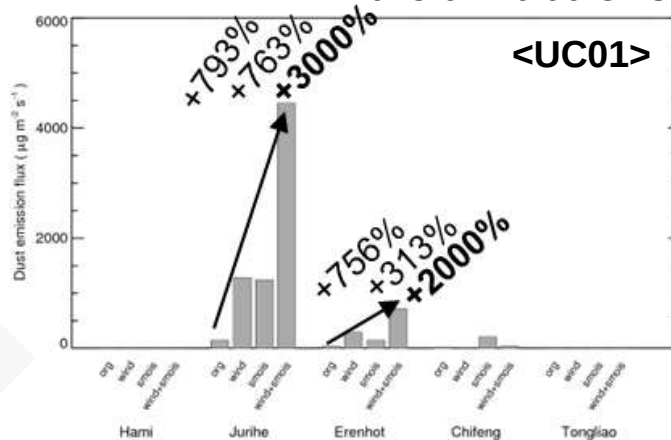
Range: -23.4~57.4% (China dust monitoring sites)

- Measurements
Soil moisture
10-m wind speed



Range: +16.2~32.2% (China dust monitoring sites Jurihe and Erenhot)

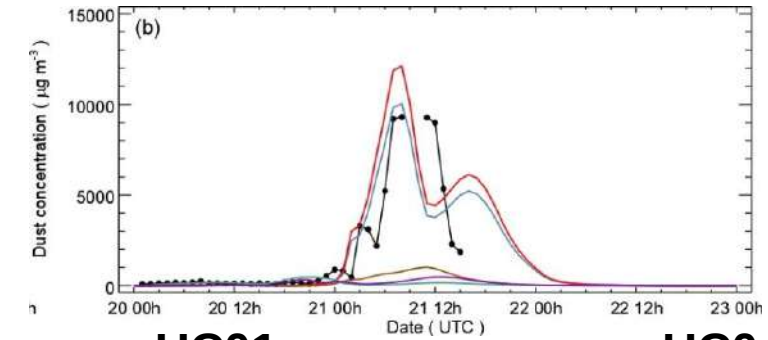
<2015.02.20 00 UTC ~ 02.22 12 UTC mean>



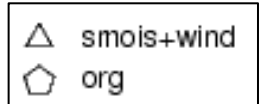
결과

동적 강제력과 토양 수분에 대한 먼지 방안의 민감도

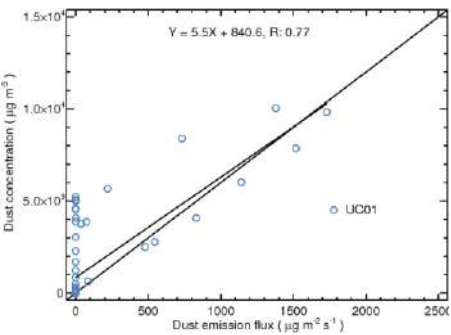
Jurihe



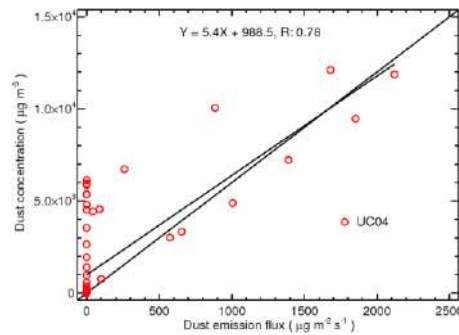
Site	USGS soil texture (UC scheme)	Soil texture (GA19 scheme)	Total erodibility factor (UC, GO01, GA19 schemes)
Jurihe	Loam:100%	Sand:37% Silt:44% Clay:19%	0.0010



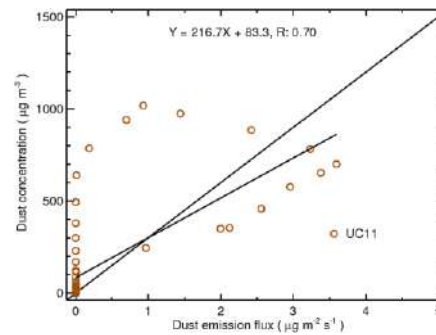
UC01



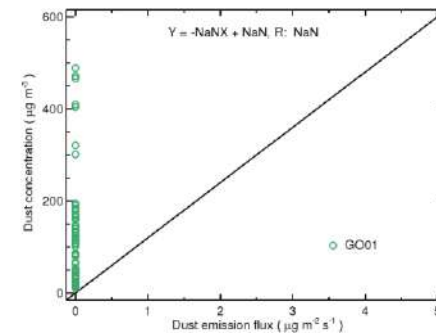
UC04



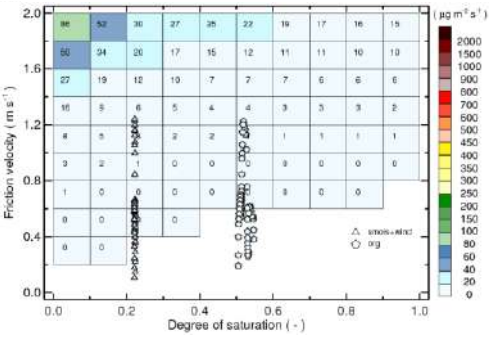
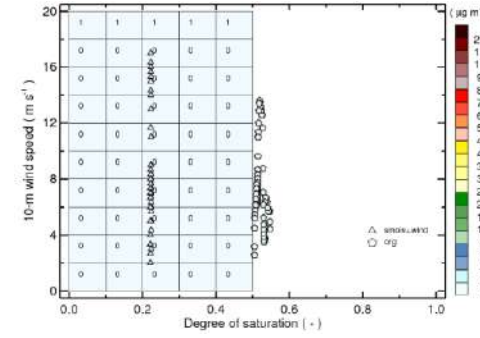
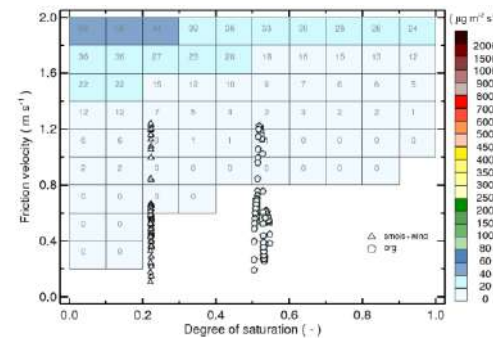
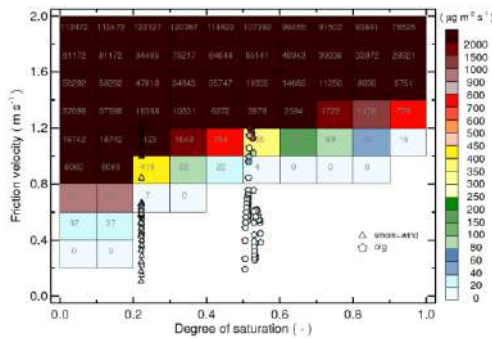
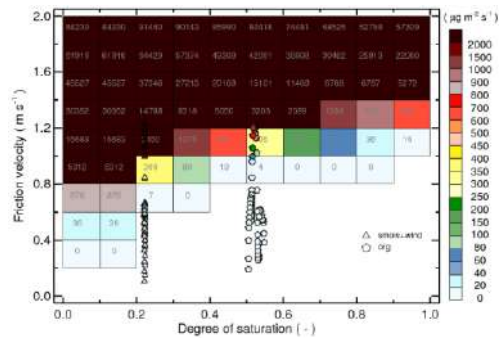
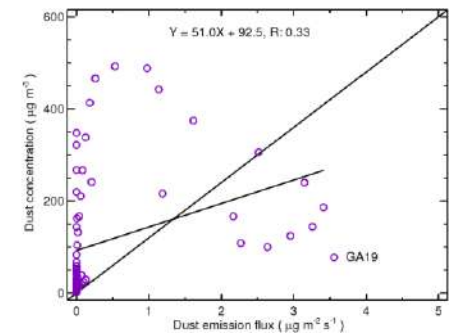
UC11



GO01



GA19



요약 및 결론

- 2015년 2월 관측된 강한 황사 사례를 모의하는 WRF-Chem 모형의 성능을 조사하였음
 - 겨울철 강한 황사 사례에 대한 5가지 먼지 배출 방안의 성능 차이를 확인함
- **UC01, UC04:** 겨울철 먼지 발생 지역에서 수천 $\mu\text{g m}^{-3}$ 의 높은 먼지 농도를 모의하였음
 - **UC11, GO01, GA19:** 겨울철 강한 먼지 플룸을 모의하는데 뚜렷한 한계를 보임
- **UC01, UC04:** 높은 먼지 배출 플럭스를 생성하지만 기상장에 대한 민감도가 높음
 - **UC11:** 먼지 배출 플럭스는 토양 입자 크기 분포 모수화 변화로 인해 토양 구성 (특히 양토, 점토질 양토)에 민감함
 - **GO01:** 본질적으로 먼지 배출 플럭스 발생에 제약
 - **GA19:** GO01 보다 높은 먼지 배출 플럭스가 발생하지만 먼지 소스 강도 항(erodibility factor)에 의존

WRF-Chem 모형의 겨울철 황사 모델링: 한계점

(1) 모형에서 정의된 먼지 발생 지역

The dust source regions (erodibility factors) of the WRF-Chem model

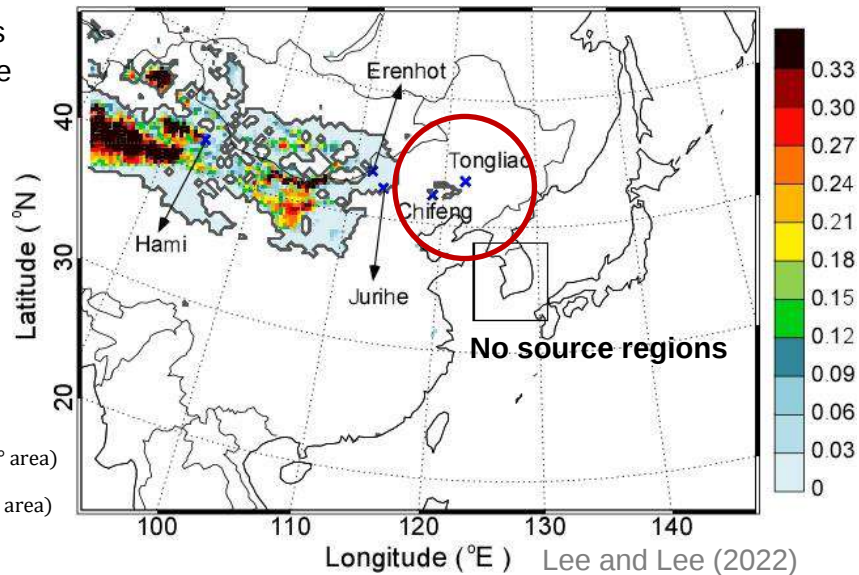
$$S = \left(\frac{Z_{\max} - Z_i}{Z_{\max} - Z_{\min}} \right)^5$$

S: Dust source strength function

Z_i : Elevation of the cell

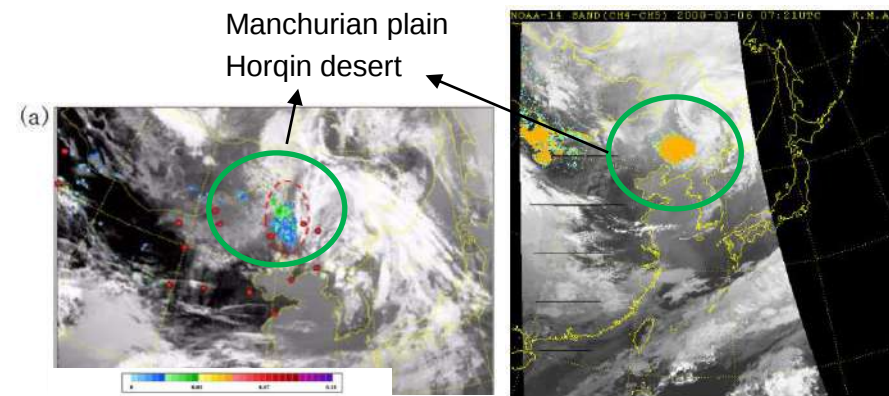
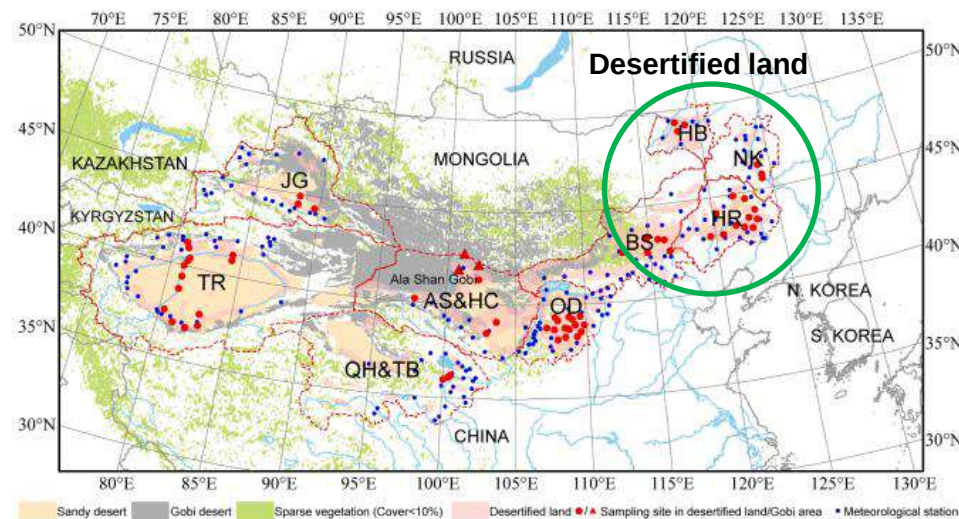
$Z_{\max}$: Maximum elevation ($10^\circ \times 10^\circ$ area)

$Z_{\min}$: Minimum elevation ($10^\circ \times 10^\circ$ area)



- WRF-Chem 모형에서 정의된 먼지 발생 지역은 동아시아 지역의 실제 먼지 발생 지역과 차이가 있음
- 만주 평원 지역(커얼친 사막 부근)에서 발생하는 먼지 플룸은 한반도에 상당한 영향을 미칠 수 있음 (Chun et al., 2003; Kim et al., 2010; Park et al., 2011; Park et al., 2016)
- 동아시아 지역의 먼지 발생 지역에 대한 보다 현실적인 표현을 제안함

Spatial distributions of the desertified lands in 2000



Kim et al. (2010)

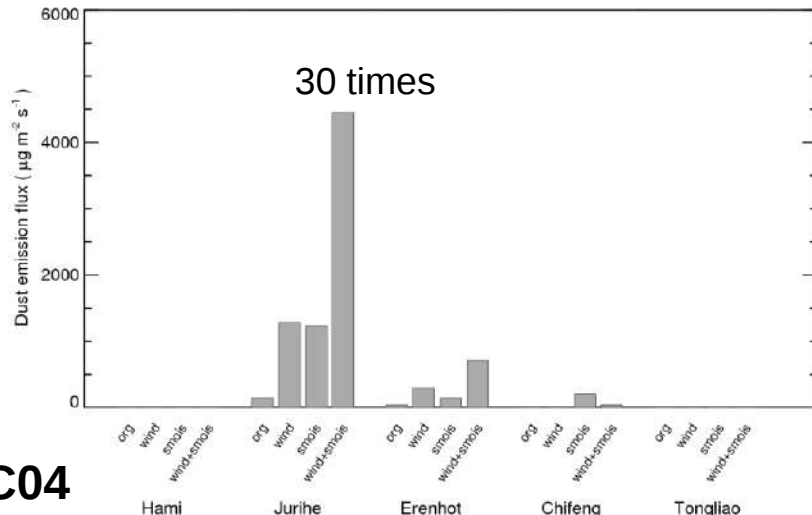
Chun et al. (2003)

Wang et al. (2021)

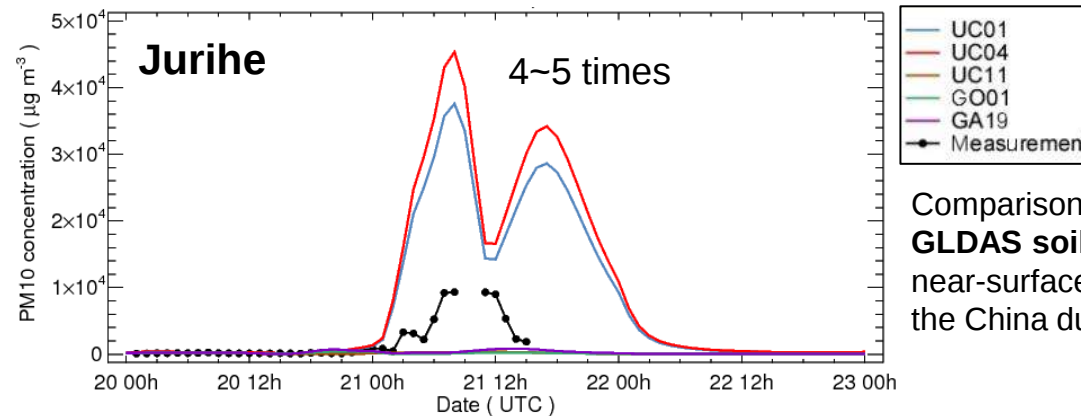
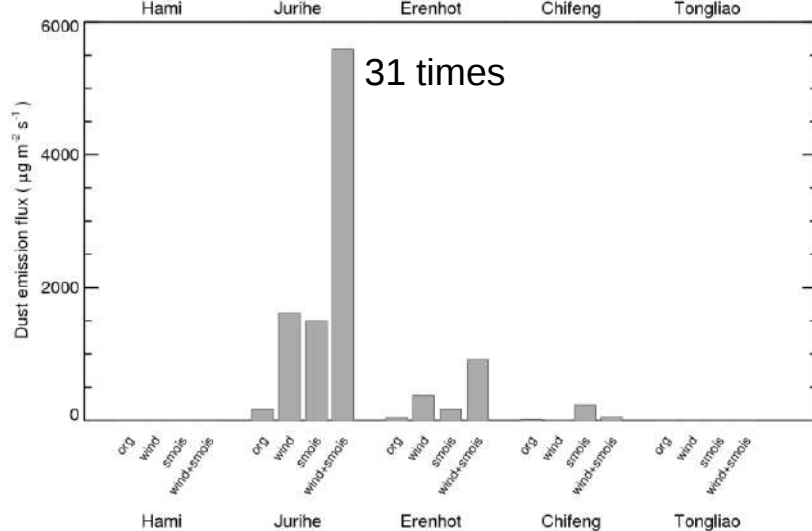
WRF-Chem 모형의 겨울철 황사 모델링: 한계점

(2) 역학적 강제력과 토양수분에 대한 민감성

UC01



UC04

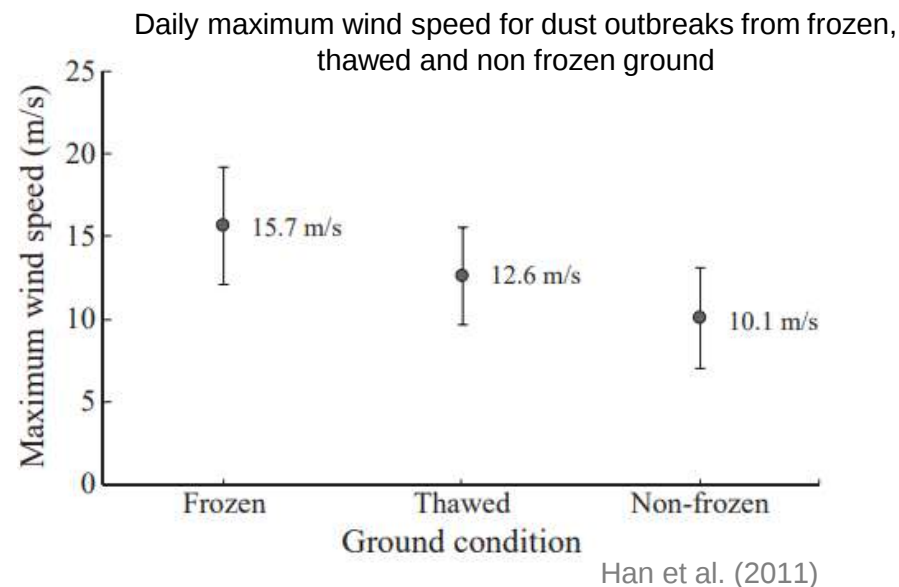
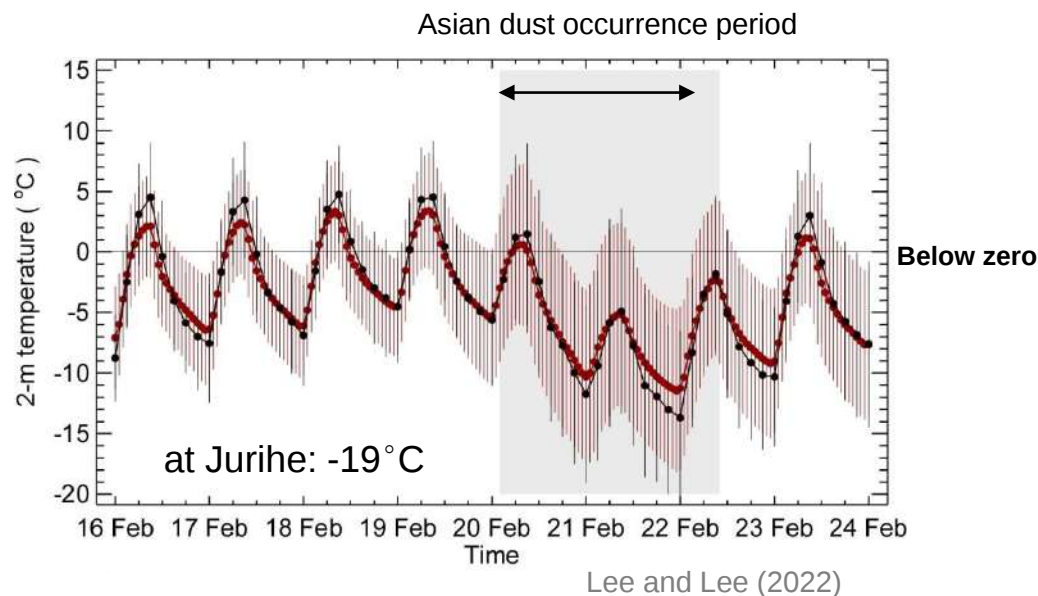


Comparison of the simulated (**applied GLDAS soil moisture**) and measured near-surface PM10 concentrations at the China dust monitoring site of Jurihe.

- 측정 10-m 풍속(SYNOP) 및 재분석 토양 수분(GLDAS)의 입력은 UC01 및 UC04 방안의 먼지 배출 플럭스를 크게 증가시켰음
- 겨울철 먼지 모의 성능을 개선하기 위해서는 추가적인 요소를 고려해야 함

WRF-Chem 모형의 겨울철 황사 모델링: 한계점

(3) 동결 토양 조건



- 동결된 토양 조건은 동아시아 먼지 발생 지역의 먼지 배출 플럭스를 크게 억제할 수 있음 (Han et al., 2011; Wang et al., 2014)
- 몽골 동부 지역에서 먼지 플룸이 발생하려면 약 57% 더 강한 풍속이 필요함 (Han et al., 2011)
- WRF-Chem 모형에서 구현된 모든 먼지 배출 방안은 겨울철 동결 토양 조건을 고려하기 위한 모수화를 포함하고 있지 않음

Thank you for your attention!



In the Gobi desert



Lee, J.-H., and Lee, S.-H., 2022. Modeling a severe wintertime Asian dust event observed in the East Asia region: Sensitivity of the WRF-Chem dust emission schemes. Atmos. Pollut. Res., 13, 101599.