

지역 맞춤형 미세먼지 대응방안 마련을 위한 전문가 회의

권역별 미세먼지연구관리센터 과제 추진 현황 및 계획 (중부권)

국립공주대 김맹기 교수

2025.8.13.(수) 14:30 ~ 16:30, 공항철도 서울역 회의실 (B1-3)



목 차

1. 중부권 센터 과제 추진 현황 (1단계)
2. 암모니아 배출량 산정 및 항공관측 (1단계)
3. 중부권 센터 과제 추진 계획 (2단계)
4. 맺음말



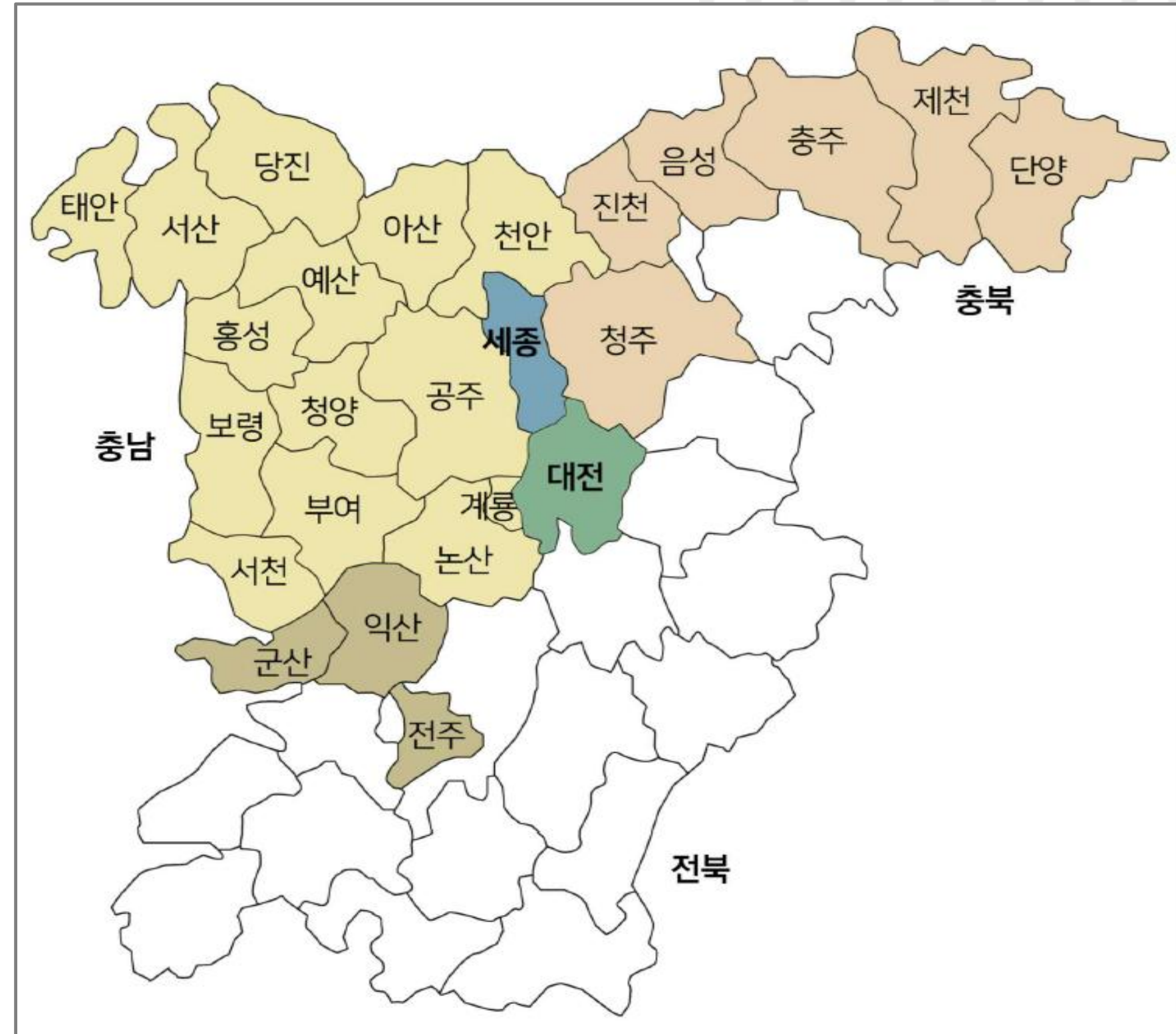
<https://www.youtube.com/watch?v=ilb06xC62R4>

중부권 미세먼지연구관리센터

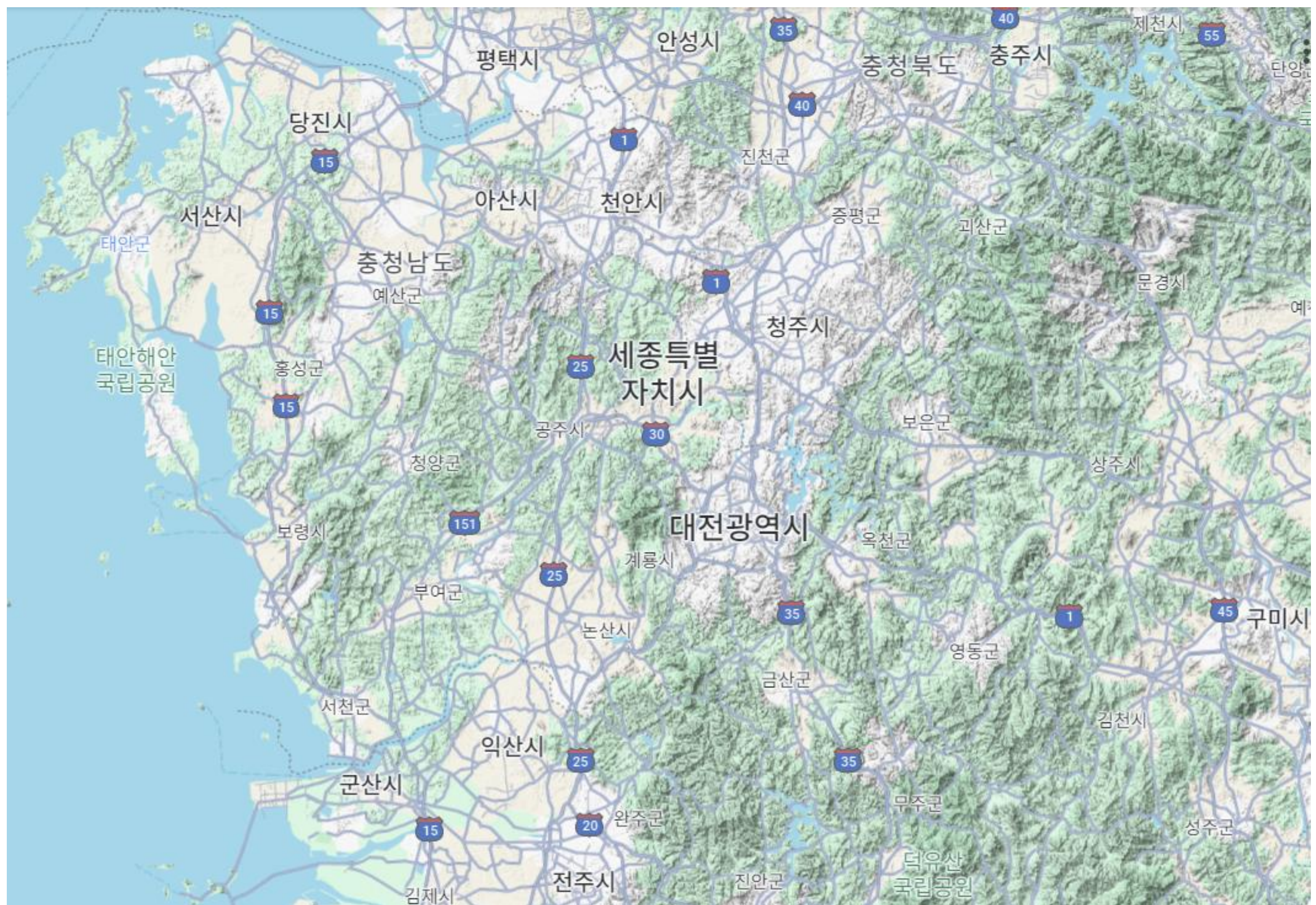
주요 연혁

- 2021.9. 중부권 미세먼지연구관리센터 지정 (환경부)
- 2022.1. 중부권 센터 개소식
- 2021.9~2024.12. 1단계 사업
- 2022.02 특별관측 (당진:항공, 라디오존데, 드론 등)
- 2022.10 공주대-공주시-공주교육지원청 업무협약
(기후위기대응 환경교육사업)
- 2023.02 특별관측 수행 (서산/공주: 항공, 라디오존데 등)
- 2023.04 국가미세먼지정보센터 업무협약
(충남지역 맞춤형 미세먼지 원인진단)
- 2023.07 대전충남환경보전협회 (환경교육사업)
- 2024.03 4개 지역환경교육센터 업무협약 (교육협력)
- 2024.04 대산공단협의회-충남도-센터 업무협력 협약
- 2024.04 제 3회 캘리그래피 공모전
- 2024.06 특별관측 (대산: 항공, 서산/공주 존데 관측 등)
- 2024.10 실무협의회 구성
- 2024.12 정책자문단 구성
- 2025.01 2단계 1차년도 사업 시작

중부권 대기관리권역





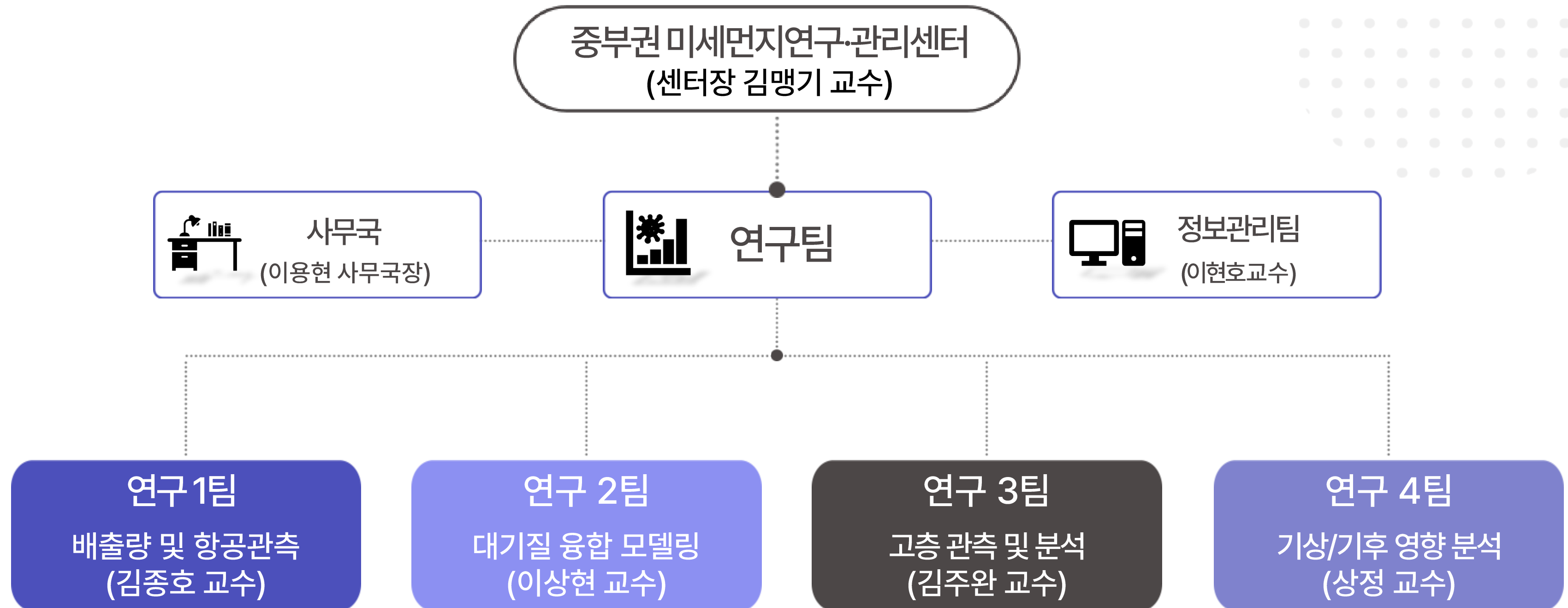


중부권센터 단계별 목표



전략목표: 과학 기반 감축 정책 지원 정보 고도화를 통한 대기질 개선

중부권센터 1단계 연구 사업 (2021~2024)



✓ 전략목표: 중부권 대기질 위험 예측 및 감시 기반 구축

중부권센터 1단계 과제 추진 현황

중부권미세먼지연구·관리센터사업
- 총괄 연구 책임자: 공주대학교 김맹기 교수 -

연구1팀 한서대 김종호 교수

중부권 고해상도 대기오염물질 배출 인벤토리 구축 및 검증

1) 중부권 고해상도 대기오염물질 배출 인벤토리 구축

Y1 누락배출원 발굴 (점 오염원 중심)

Y2 면오염원의 점오염원화 (4,5종 중심)

Y3 중부권역 배출자료 구축 및 배출 자료 고도화 (1KM 해상도, 시간단위 세분화)

2) 항공관측을 이용한 대형배출원의 배출량 검증

Y1 충남 북부지역 대형배출원의 SO₂ 배출량 검증 연구

Y2 충남의 주요 축산 밀집지역 (홍성)의 NH₃ 배출량 시험 검증 연구

Y3 전북/충남 축산 밀집지역 확대에 따른 NH₃ 배출량 검증 연구

미세먼지 교육홍보 사업 (사무국)

1) 교육프로그램: 중부권 시민대상 홍보 교육 (연 6회)

2) 전문가 워크숍: 자체워크숍 1회, 공동워크숍 1회

3) E뉴스레터 발간: 분기별

4) 미세먼지통합포럼 개최 (Y3)

연구2팀 공주대 이상현 교수

충청권역 상세 기상대기질 융합분석 체계 개발

3) 충청권역 상세 기상대기질 분석 시스템 구축

Y1 충청권역 상세 기상대기질 융합모델링 체계 개발

Y2 충청권역 상세 모형배출량 산출 및 개선

Y3 충청권역 대기질 위험 예측 및 감시 기술 개발

△ 4개 연구 팀 6개 세부 과제

△ DB 구축사업

△ 교육홍보사업

DB 구축 사업 (정보관리팀, 이현호 교수)

1) 중부권 고농도 미세먼지 사례 분석 종합 DB

2) 중부권 미세먼지 배출량 관측 자료 DB

(Y1 프레임워크 구축, Y2 사례 3건, 관측 5건 이상

Y3 사례 5건, 관측 5건 이상 구축)

연구3팀 공주대 김주완 교수

중부권 고농도 PM_{2.5}의 기상/기후 영향 원인 분석

4) 고농도 PM_{2.5} 예상시 고층 기상관측 및 분석

Y1 충청권역 대기질 연구를 위한 고층 관측망 설계 및 시험관측

Y2 중부권역 고층 관측망 구성 및 고농도 미세먼지 사례 관측

Y3 고층 관측망 확장 및 고농도 사례 상세 기상장 특성 산출

연구 4팀 공주대 상정 박사

5) 중부권 고해상도 기상/대기질 관측 격자 자료 산출

Y1 중부권 고해상도 격자형 3종 기상 자료 산출

Y2 중부권 고해상도 PM_{2.5}자료 산출 기술개발 및 기초 적용

Y3 고해상도 대기오염물질자료 산출 및 검증

6) 중부권 고농도 PM_{2.5}의 기상/기후 영향 분석

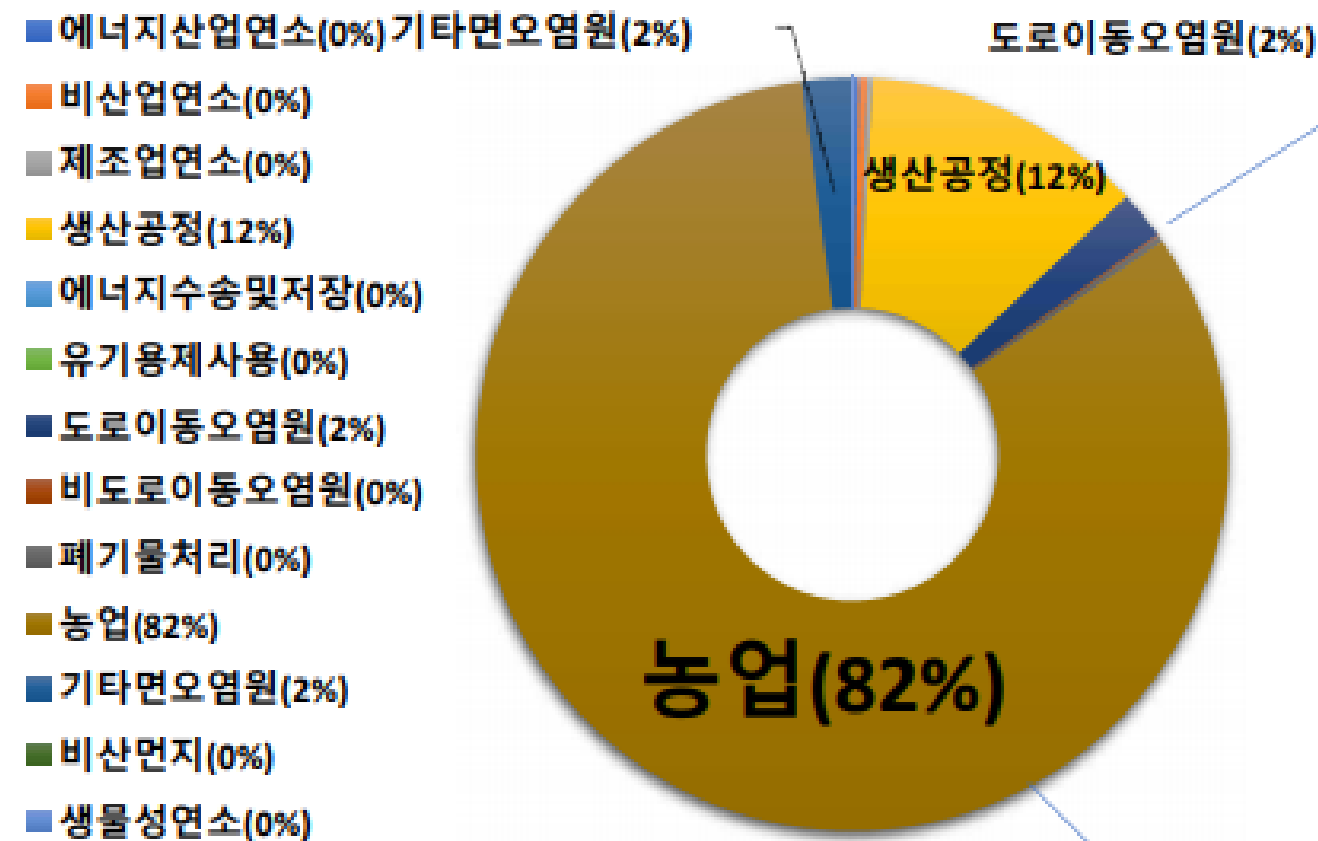
Y1 중부권 미세먼지의 시공간 변동성 특성 및 원인분석

Y2 중부권 고농도 미세먼지의 지역별 원인 분석

Y3 중부권 고농도 미세먼지의 대규모 원격상관패턴의 영향 분석

충남 (농업 부문) 암모니아 배출량 현황 (CAPSS 2019)

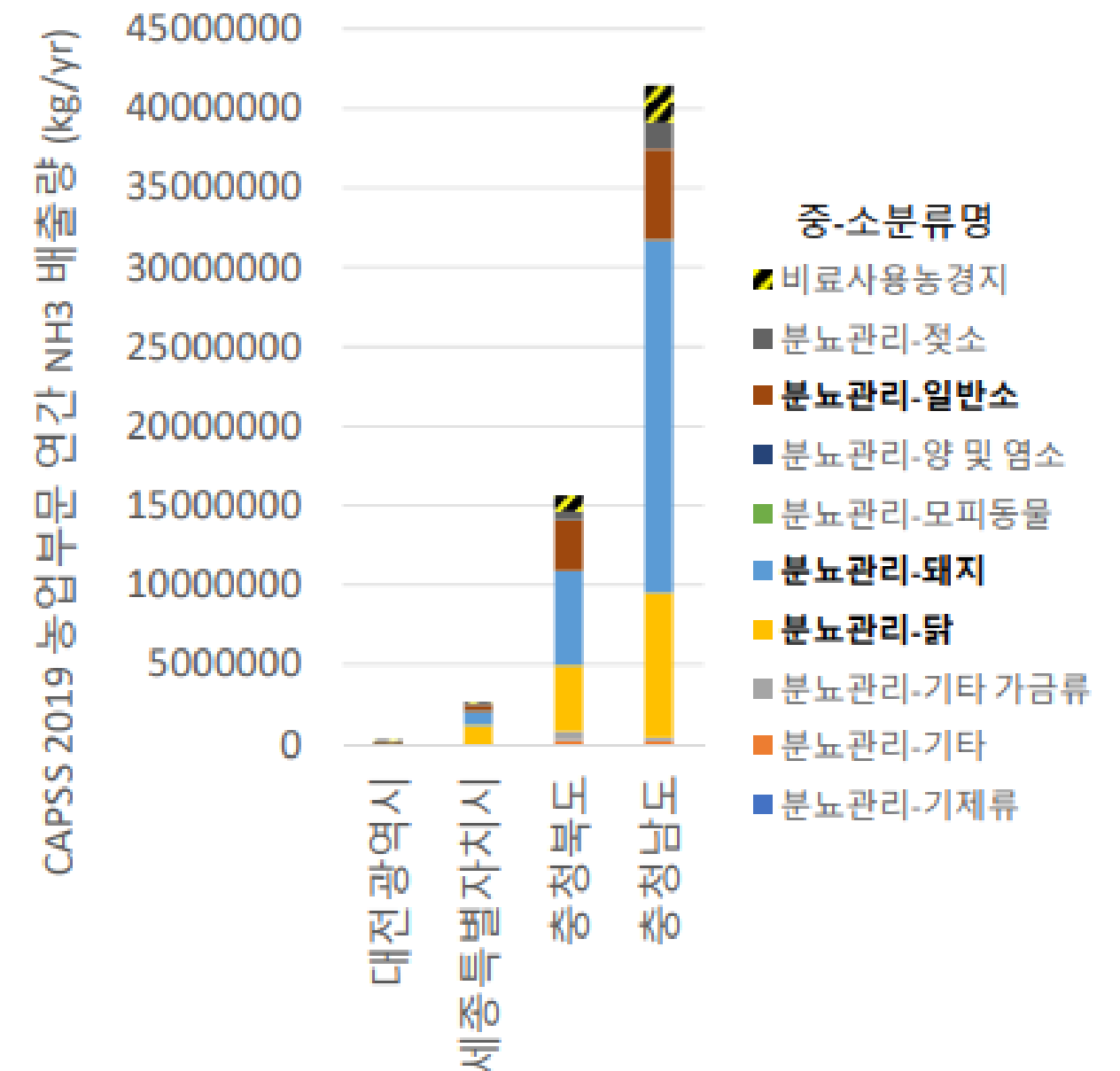
[배출원별(SCC) NH3 배출량 분포 (CAPSS 2019)]



[농업부문 배출원 분류]

배출원 대분류	배출원 중분류	배출원 소분류	배출원 세분류
농업	분뇨관리	기제류	말
			개
		기타	사슴
			거위
		기타 가금류	오리
			칠면조
		닭	산란계
			육계
			종계
		돼지	모돈
			비육돈
			육성돈
		모피동물	자돈
			토끼
	양 및 염소	양	염소
			1~2년
비료사용 농경지	농경지	일반 소	1년 미만
			2년 이상
			(비어 있음)
		젖소	복합비료
			요소
		황산암모늄	황산암모늄

[지역별 농업부문 NH3 배출량]



- 충청권역 NH3 배출량은 대부분 농업 부문
- 항목별: 분뇨(돼지> 닭> 일반소>..) > 비료

💡 농업-분뇨관리 배출량 산정 방법 비교: CAPSS v5 & v6

[농업-분뇨관리 배출량 산정방법 (CAPSS, 2022)]

$$E_{NH_3} = A_i \times EF_{NH_3}$$

E_{NH_3} : 가축 1 분뇨관리에 따른 NH_3 배출량 (kg/yr)
 A : 가축 1 사육두수 (마리/yr)
 EF_{NH_3} : 가축 1 분뇨관리에 따른 NH_3 배출계수 (kg/마리)

다. 활동도

「농업-분뇨관리」의 활동도는 소·돼지·닭은 통계청의 분기별 **가축 사육두수** 자료, 그 외 축종은 농림축산식품부의 사육두수 자료를 활용한다. 돼지는 <표 10-5>와 같이 통계청 월령별 사육두수를 돼지 배출원의 세분류와 연계하여 활용한다.

(1) 시간 해상도

소, 돼지, 닭의 경우 분기별로 입수되는 가축 사육두수를 각 분기에 해당하는 월(1분기: 1~3월/2분기: 4~6월/3분기: 7~9월/4분기: 10~12월)의 가축 사육두수라고 가정하여 **월별 배출량**을 산정한다. 그 외 축종은 당해연도 4분기 가축 사육두수로 전국 배출량을 산정하며, 연간 일정하게 배출되는 것으로 가정하고 **월별 균등 할당**한다.

(2) 공간 해상도

가축 사육두수 자료를 이용하여 **시도 배출량을 산정**하고, **농업 종사자 수 자료**로 시군구로 할당한다. 이때, 농업 종사자 수 자료 수집이 어려운 경우 **농경지 면적**을 대체 자료로 활용한다. 다만, 개의 경우 인간과 생활권을 같이 한다는 관점에서 **인구 밀도자료**를 활용하여 할당한다.

종사자수 기반

[농업-분뇨관리 배출량 산정방법 (CAPSS, 2023)]

$$E_{NH_3} = A_i \times EF_{NH_3}$$

E_{NH_3} : 가축 1 분뇨관리에 따른 NH_3 배출량 (kg/yr)
 A : 가축 1 사육두수 (마리/yr)
 EF_{NH_3} : 가축 1 분뇨관리에 따른 NH_3 배출계수 (kg/마리)

다. 활동도

「농업-분뇨관리」의 활동도는 소·돼지·닭은 통계청의 분기별 가축 사육두수 자료, 그 외 축종은 농림축산식품부의 사육두수 자료를 활용한다. 돼지는 <표 10-5>와 같이 통계청 월령별 사육두수를 돼지 배출원의 세분류와 연계하여 활용한다.

(1) 시간 해상도

- 소, 돼지, 닭 : 분기별 가축 사육 두수를 각 분기에 해당하는 월의 가축 사육두수라고 가정하여 월별 배출량을 산정한다.
 - * 1분기: 1~3월, 2분기: 4~6월, 3분기: 7~9월, 4분기: 10~12월
- 그 외 축종 : 4분기 가축 사육두수로 전국 배출량을 산정하며, 연간 일정하게 배출되는 것으로 가정하고 월별 균등 할당한다.

(2) 공간 해상도

가축 사육 두수 자료를 이용하여 **시도 배출량을 산정**하고 **5년 주기의 농업 총 조사 가축 사육 두수 자료(통계청)**로 시군구로 할당한다.

가축 사육 두수 기반

축산 종사자 주소와 가축사육 지역의 차이 사례 (홍성군)

- NH₃(면오염원)

; 공간 해상도 수정(충남) : 축산 종사자 거주지주소 → 실제 가축사육 지역
; 중부권 NH₃ 총 배출량 43,680 톤(충남 27,620 톤)

(단위 : kg)

시 군	읍 면	배출량	배출 증가량
보령	천북면	1,809,166	Δ 1,107,252
홍성	온하면	969,532	Δ 783,991
공주	탄천면	762,174	Δ 697,160
논산	연무읍	563,102	Δ 343,832
홍성	결성면	595,013	Δ 340,738



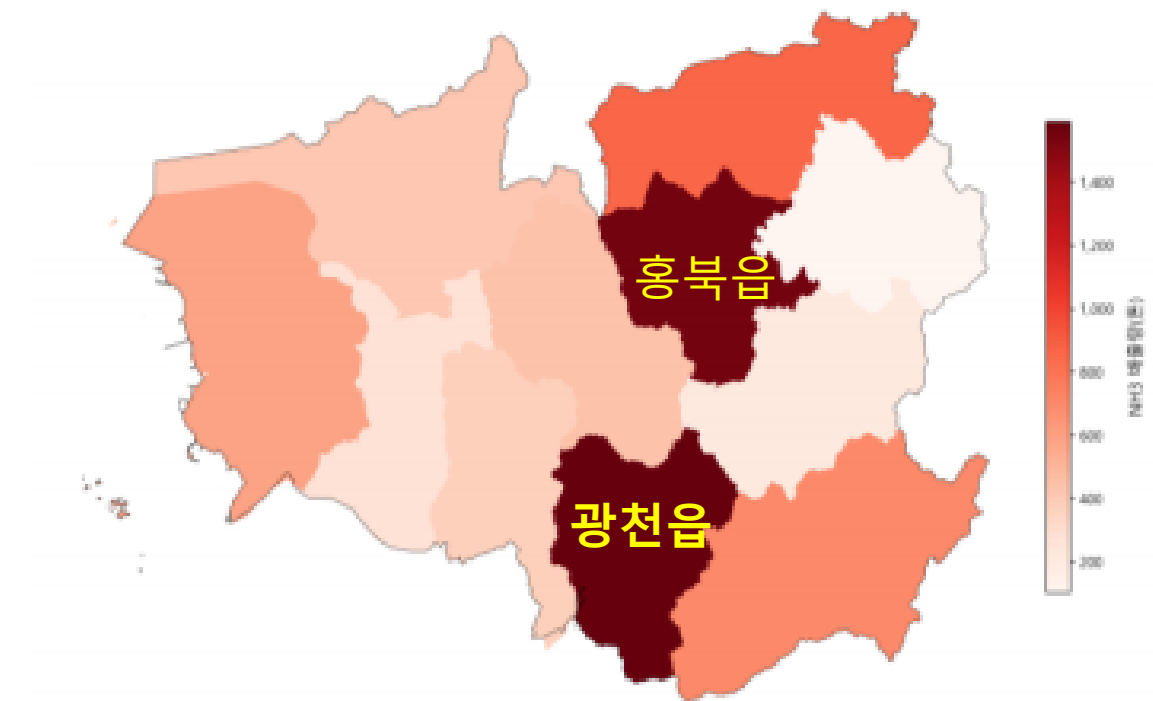
축산 종사자 주소와 가축사육 지역의 차이 사례 (홍성군)

- 홍성

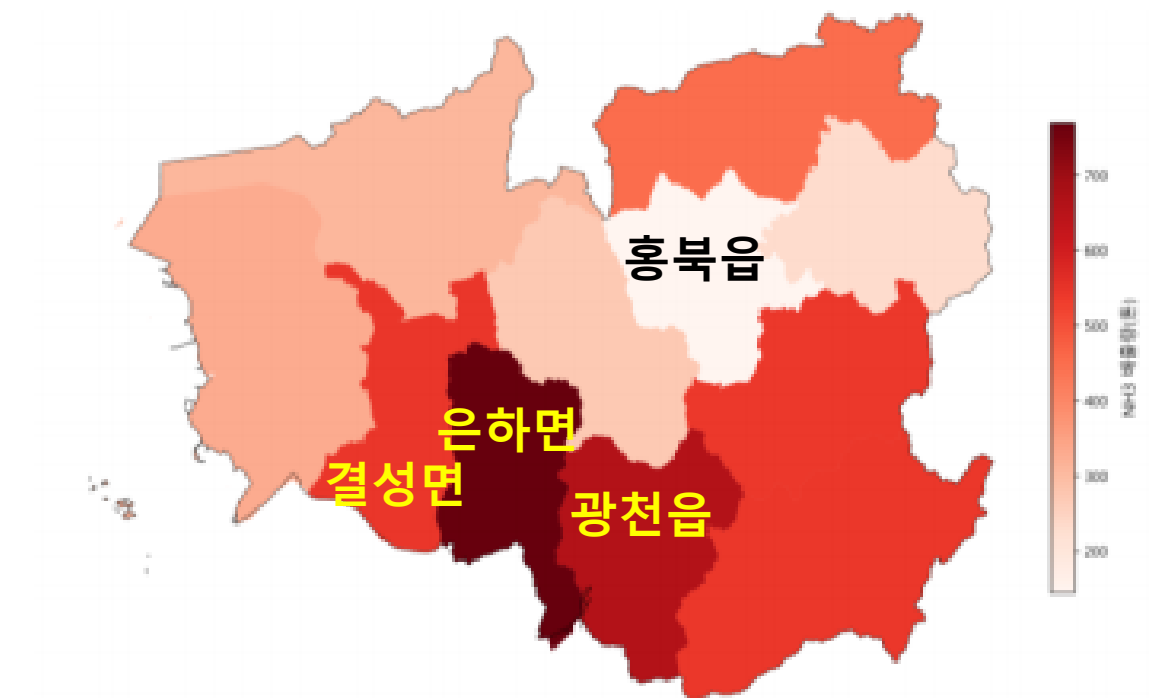
; 가축두수 자료를 이용한 NH₃ 배출량 공간분포 재설정

읍면동	CO	SOx	NOx	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOC	NH ₃
갈산면	235	2	286	200	71	24	180	309
결성면	174	1	119	124	44	15	106	546
광천읍	293	6	137	361	112	32	161	662
구항면	231	2	173	191	57	19	167	273
금마면	178	2	120	109	39	15	115	232
서부면	240	1	139	249	80	24	136	330
은하면	218	3	211	184	61	20	120	770
장곡면	229	8	121	248	76	23	116	545
홍동면	229	1	80	143	48	18	115	541
홍북읍	375	4	284	342	119	36	312	452
홍성읍	418	6	273	423	136	39	355	145
계	2,819	35	1,942	2,575	844	263	1,885	4,803

(단위:톤)



<NH₃ (개선 전)>



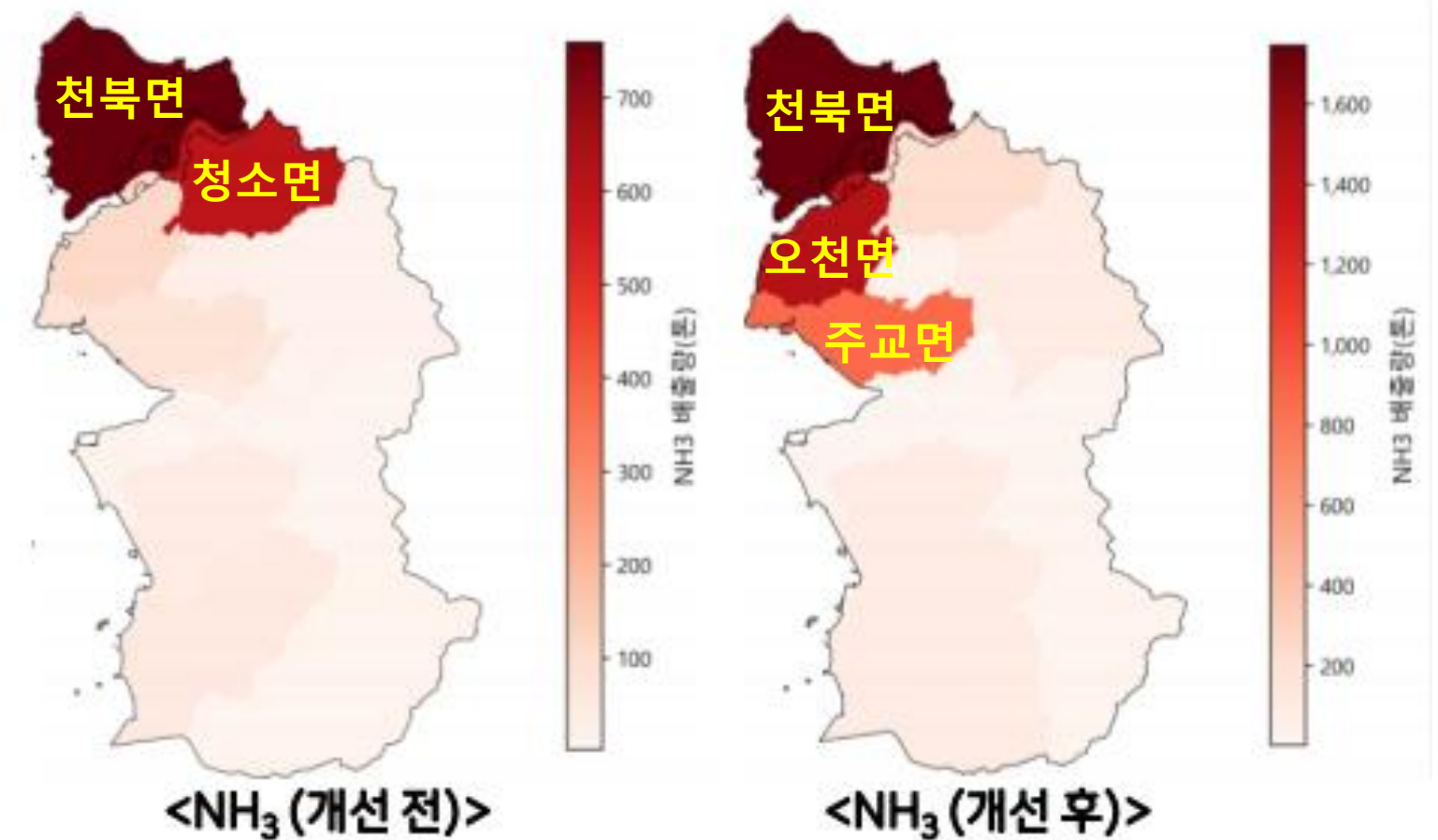
<NH₃ 개선 후>

축산 종사자 주소와 가축사육 지역의 차이 사례 (보령시)

- 보령

; 화력발전시설이 위치한 오천면, 주교면의 CO 배출량 증가
; NH₃ 배출량 공간분포 재설정 후 천북면의 배출량 증가

								(단위:톤)
읍면동	CO	SOx	NOx	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOC	NH ₃
궁촌동	22	1	18	12	5	1	35	2
남곡동	33	4	63	20	8	3	22	4
남포면	1,514	6	270	214	99	54	785	85
내항동	57	3	57	31	13	4	82	5
대천동	70	3	59	36	15	4	87	7
동대동	41	2	35	17	7	2	41	3
명천동	45	2	51	25	11	3	60	4
미산면	95	1	55	75	24	8	57	21
성주면	55	5	50	28	11	4	41	5
신흑동	66	5	77	55	20	6	59	6
오천면	36,228	8,857	4,619	427	42	17	381	1,426
요암동	18	1	24	11	4	1	40	2
웅천읍	504	7	333	201	73	31	289	89
주교면	21,111	1,508	964	216	42	15	487	868
주산면	116	2	120	65	25	10	105	90
주포면	76	3	83	42	15	6	50	25
죽정동	34	1	31	24	8	3	39	2
천북면	372	1	161	293	84	30	170	1,746
청라면	151	8	92	116	41	12	112	93
청소면	262	3	191	221	60	22	131	230
화산동	23	1	19	11	4	1	28	11
계	60,892	10,424	7,371	2,140	611	236	3,103	4,722



💡 상향식 축산 암모니아 배출량 산정: 활용자료

[통계자료별 충남 축산 사육두수 비교]

SCC항목 (소분류)	축종	사업장별 자료	환경부 전국오염원조사	통계청 가축동향조사*	농림축산식품부 등록현황
닭	닭	40,821,309	40,821,309	29,169,493	
일반소	한우(소)	438,848	438,848	416,639	
젖소	유우(젖소)	74,677		68,898	
돼지	돼지	2,474,467	2,474,467	2,339,515	
기타가금류	오리	481,064		216,560	
	가금기타	1,137,719			61
기제류	마필(말)	622			388
양 및 염소	면양				315
	산양(염소)	41,436			47596
모피동물	토끼	-			11,470
기타	개	76,520			58,005
	사슴	5,856			5,627

*분기 평균 사육두수

[상향식 배출량 산정 절차]

축종별 사육두수 분석 (법정동단위)

CAPSS 축종별 배출계수 적용

축종별/법정동별 암모니아 배출량 산정

[활용 자료]

- 환경부 전국오염원조사 (https://egis.me.go.kr/negis/map/wa_livestock_pollutant.jsp?cat=0)
- 통계청 가축동향조사 (<https://kosis.kr/>)
✓ 『가축동향조사』 통계정보보고서, 2022
- 농림축산식품부 등록현황 (<https://uni.agrix.go.kr/docs7/biOlap/dbdRaise.do>)

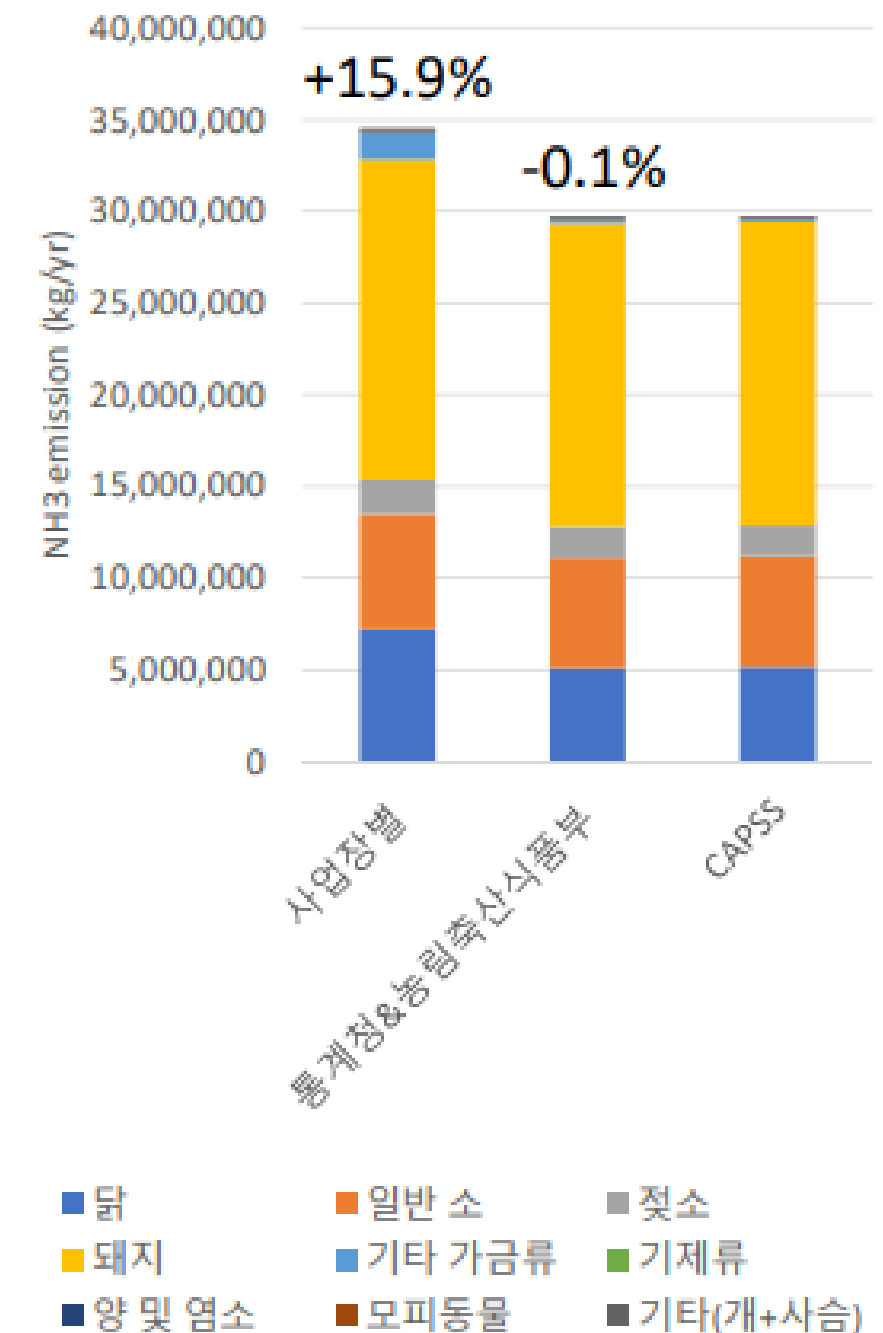
💡 상항식 축산 암모니아 배출량 산정

[2020년 충남 분뇨관리 부문 암모니아 배출량 (kg/yr)]

SCC항목 (소분류)	사업장별 자료		통계청 & 농림축산식품부 자료		CAPSS
닭	7,184,858	(+38.0%)	5,134,050	(-1.4%)	5,207,149
일반소	6,326,618	(+5.3%)	6,006,447	(0.0%)	6,006,447
젖소	1,837,054	(+8.4%)	1,693,642	(-0.1%)	1,694,891
돼지	17,498,065	(+5.8%)	16,543,758	(0.0%)	16,543,758
기타가금류 (오리포함)	1,489,280	(+776.2%)	199,291	(+17.3%)	169,969
기제류	3,172	(+2.1%)	1,979	(-36.3%)	3,106
양 및 염소	19,061	(-25.5%)	22,039	(-13.9%)	25,599
모피동물	-	-	19,384	(+10.2%)	17,595
기타 (개+사슴)	197,742	(+44.0%)	151,202	(+10.1%)	137,280

(백분율은 CAPSS 배출량 대비 상대 비율 (#/CAPSS-1 * 100(%))

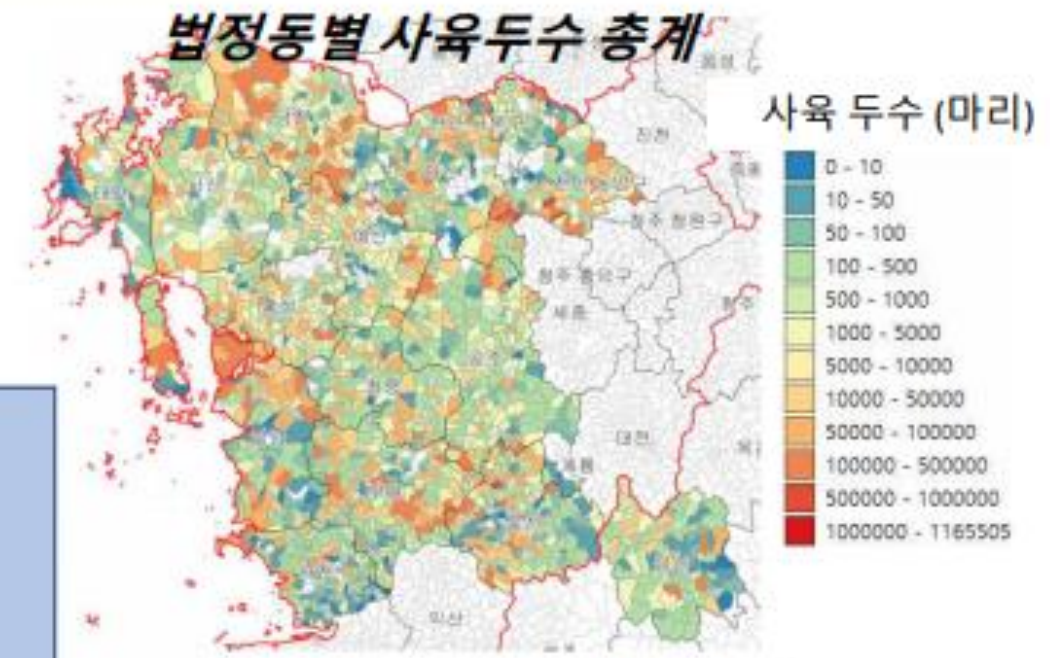
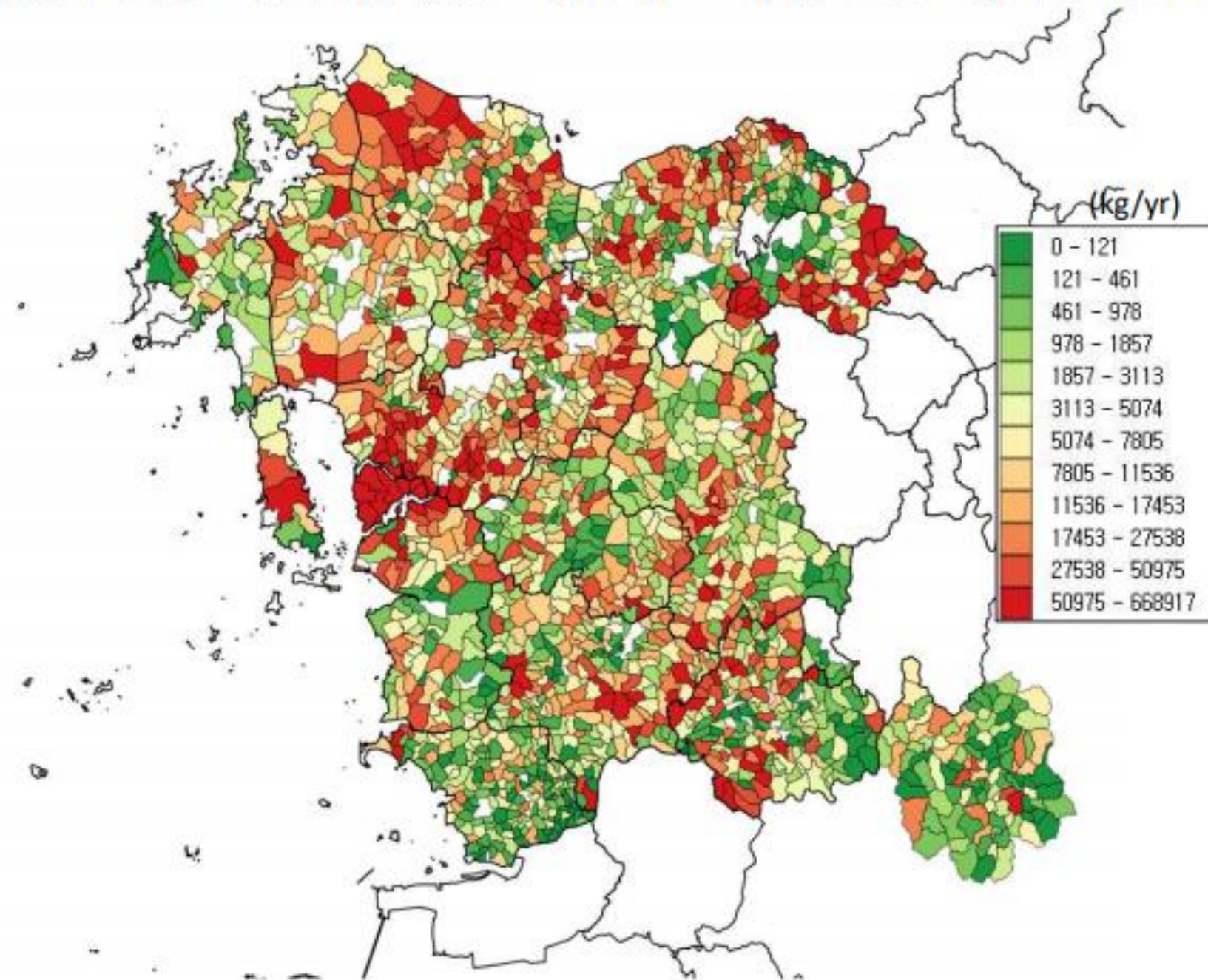
사업장별 자료: 충청남도청 제공 법정동별 축종별 사육두수 자료



(백분율은 CAPSS 배출량 대비 상대 비율 (#/CAPSS-1 * 100(%))

상항식 축산 암모니아 배출량 산정

[충남 법정 읍면동(리)별 축산 암모니아 연간 배출량 (2020)]

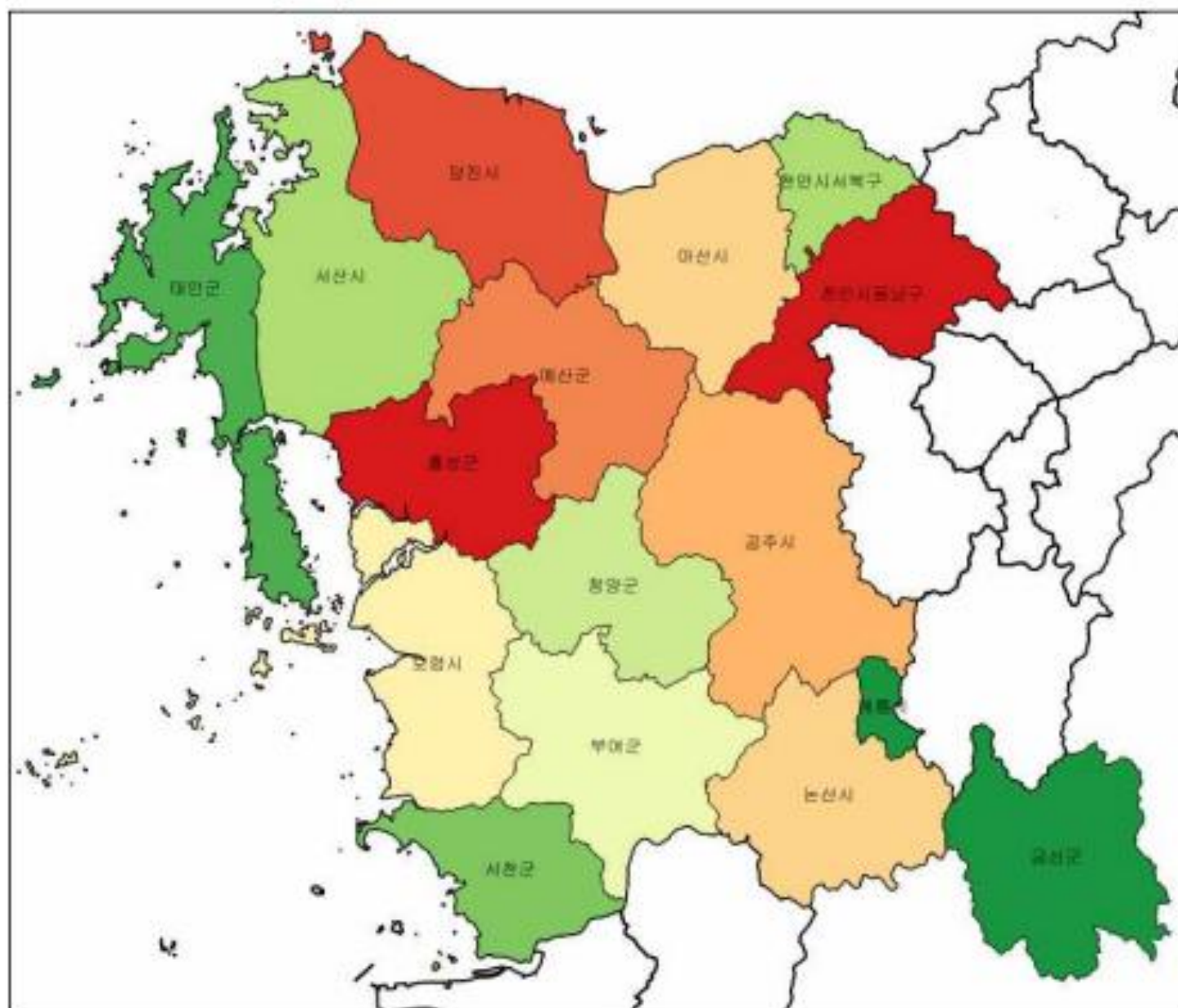


축종	배출계수 (kg/마리 yr)
닭	0.18
한우(소)	14.4
유우(젖소)	24.6
돼지	7.07
기타가금류 (오리포함)	0.92
마필(말)	5.1
산양(염소포함)	0.46
모피동물	1.69
개	2.5
사슴	1.1

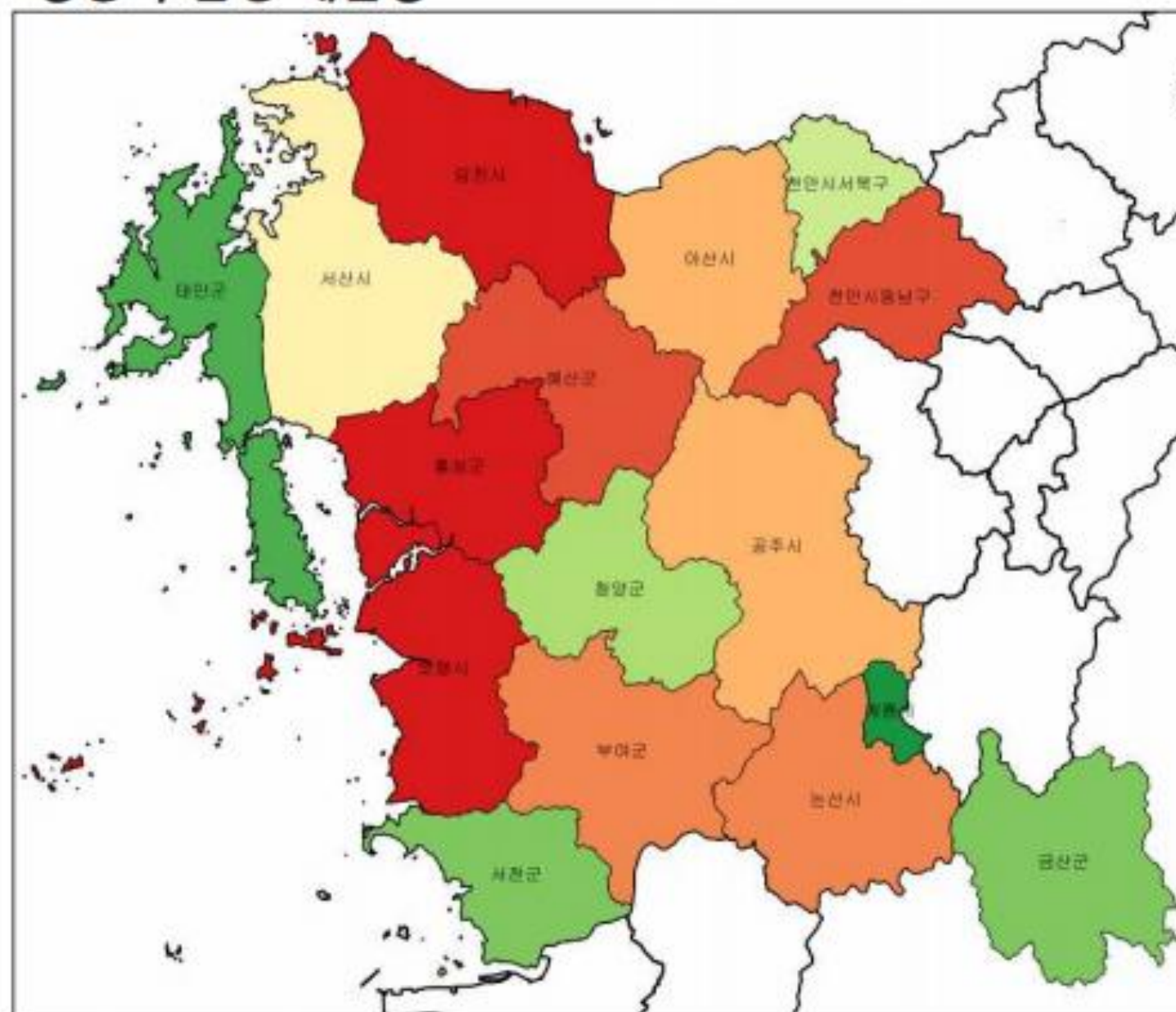
💡 상향식 축산 암모니아 배출량 산정: CAPSS2020 비교

[충남 시군구별 축산(분뇨관리) 부문 연간 암모니아 배출량 (2020)]

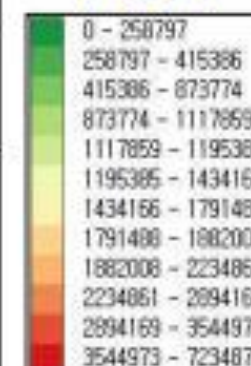
CAPSS2020(V6)



상향식 산정 배출량

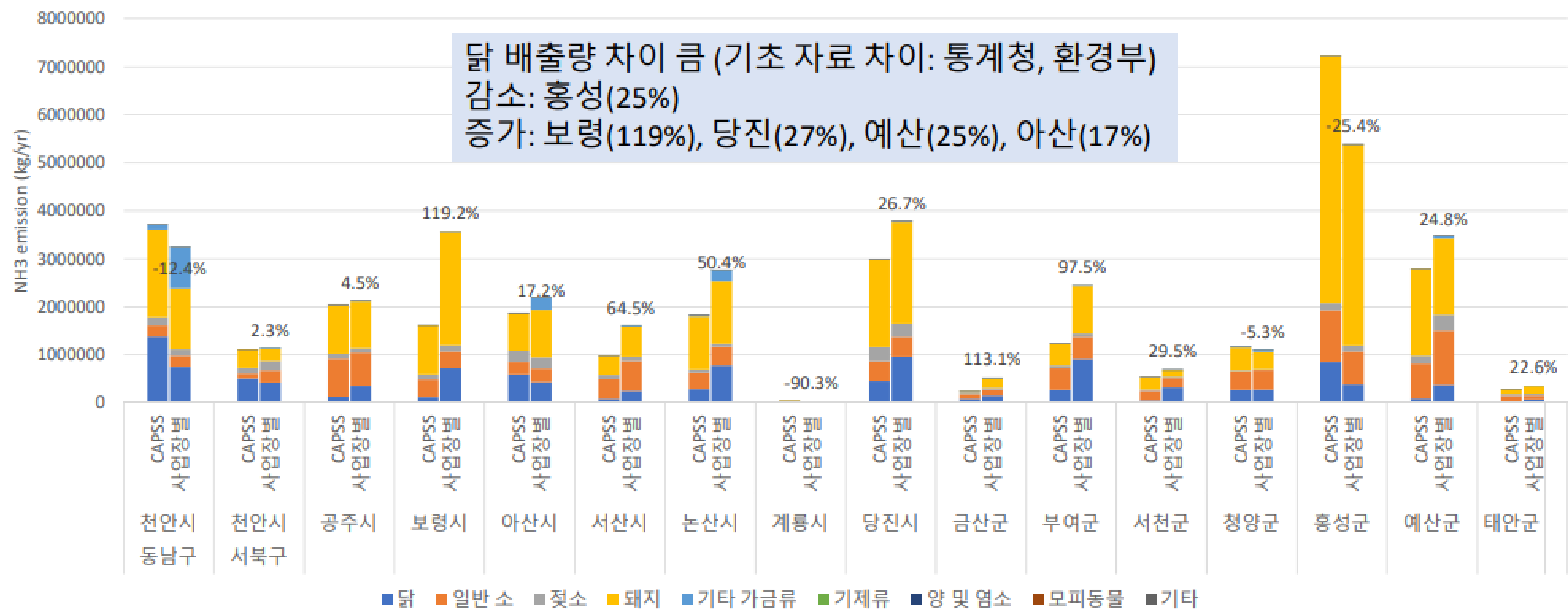


(kg/yr)



💡 상향식 축산 암모니아 배출량 산정: CAPSS2020 비교

[충남 시군구별 분뇨관리 부문 연간 암모니아 배출량]



(백분율은 CAPSS 배출량 대비 상대 비율 (#/CAPSS-1 * 100(%))

대기질 관측 항공기(C90GT, B1900D)

KingAir-C90GT (C90GT, 주항공기)



측정 항목	측정 장비	
	B1900D	C90GT
SO ₂	CIMS (2022)	43iQTL (2022)
NH ₃	EAA-911 (2023~2024)	EAA-911 (2023~2024)
CO, CO ₂ , CH ₄	MCEA1-911	MCEA1-911 (2022)
VOCs	PTR-ToF-MS	-
NR-PM ₁	HR-ToF-AMS	-
풍향, 풍속 등	AIMMS-30	AIMMS-30

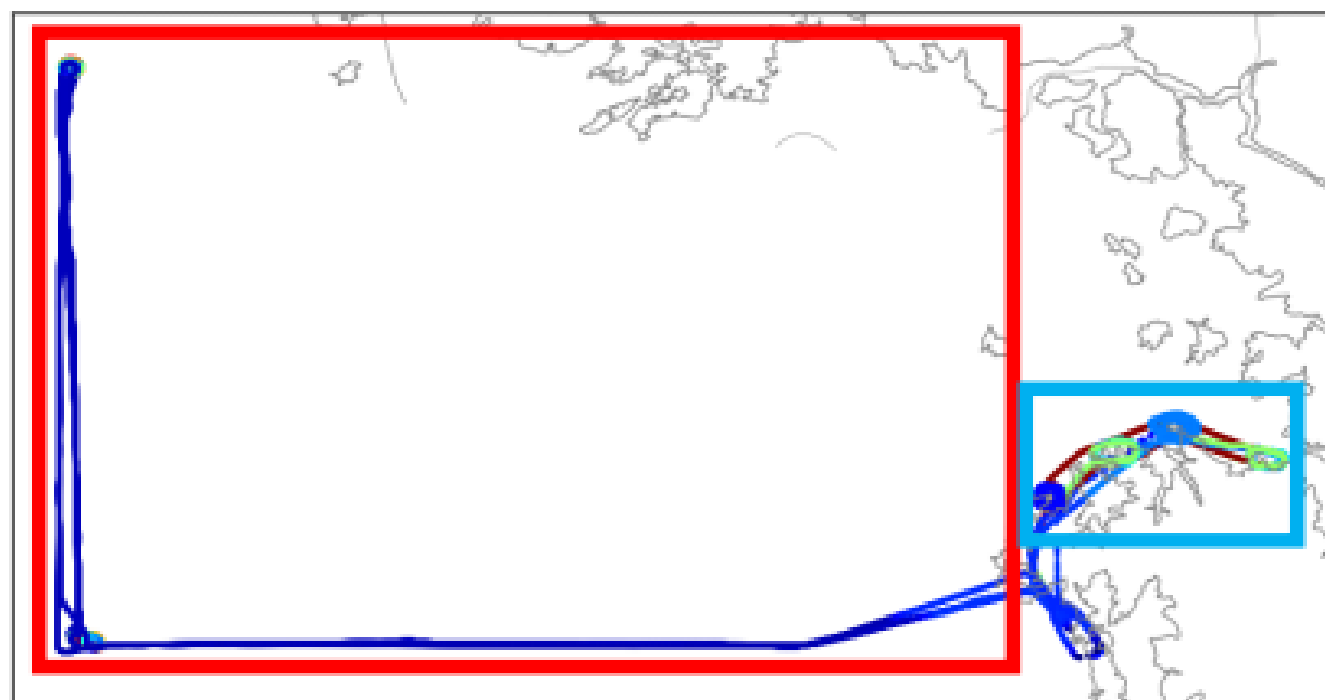
Beechcraft 1900D (B1900D)



항공관측 경로

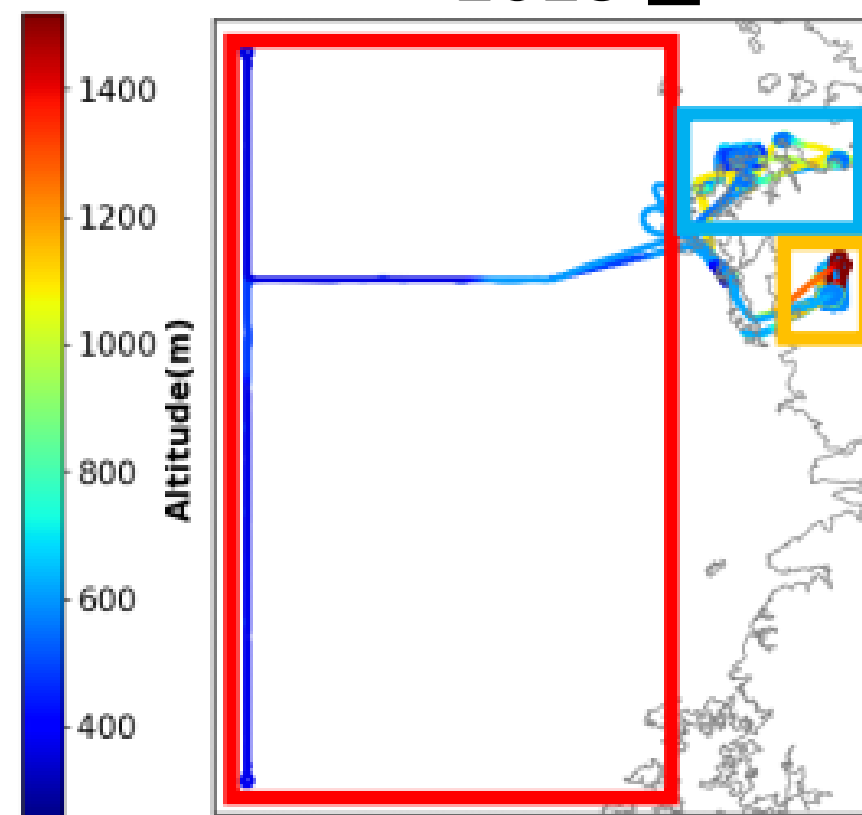
- 1차년도 (2022년) : 중부권역 충남 대형 배출원과 서해 상공 비행
- 2차년도 (2023년) : 중부권역 충남 주요 축사밀집지역과 서해 상공 비행
- 3차년도 (2024년) : 중부권역 충남과 전북 주요 축사밀집지역과 충남 대형 배출원 상공 비행

2022년



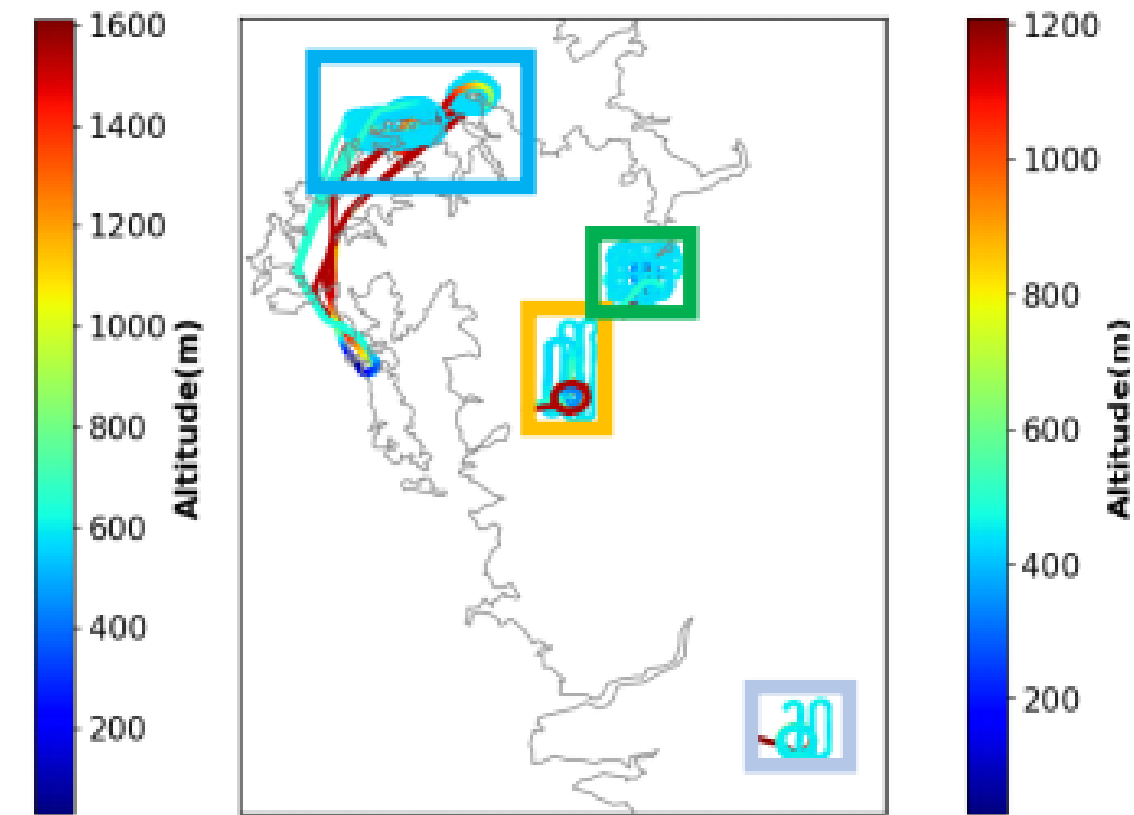
<1차년도(2022년) 항공관측 경로>

2023년



<2차년도(2023년) 항공관측 경로>

2024년

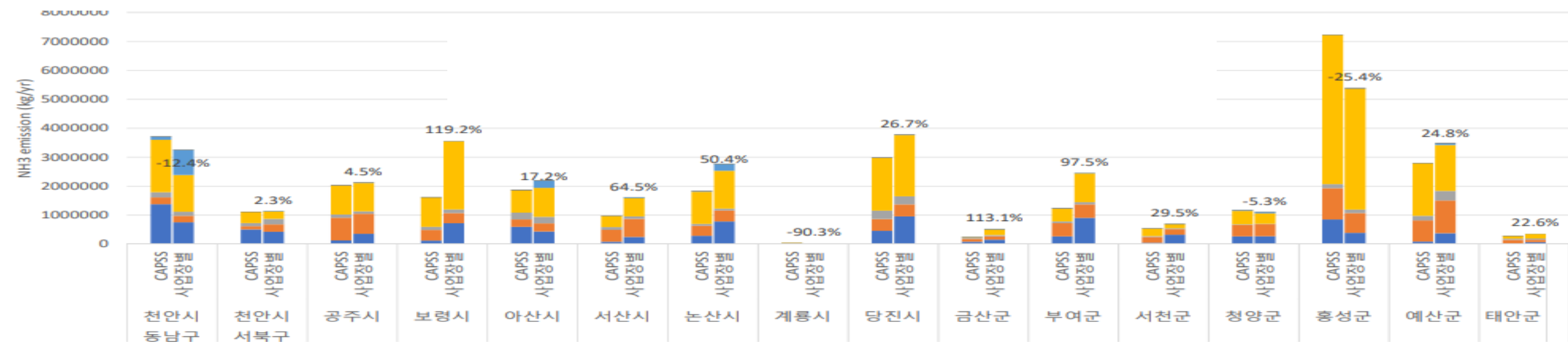
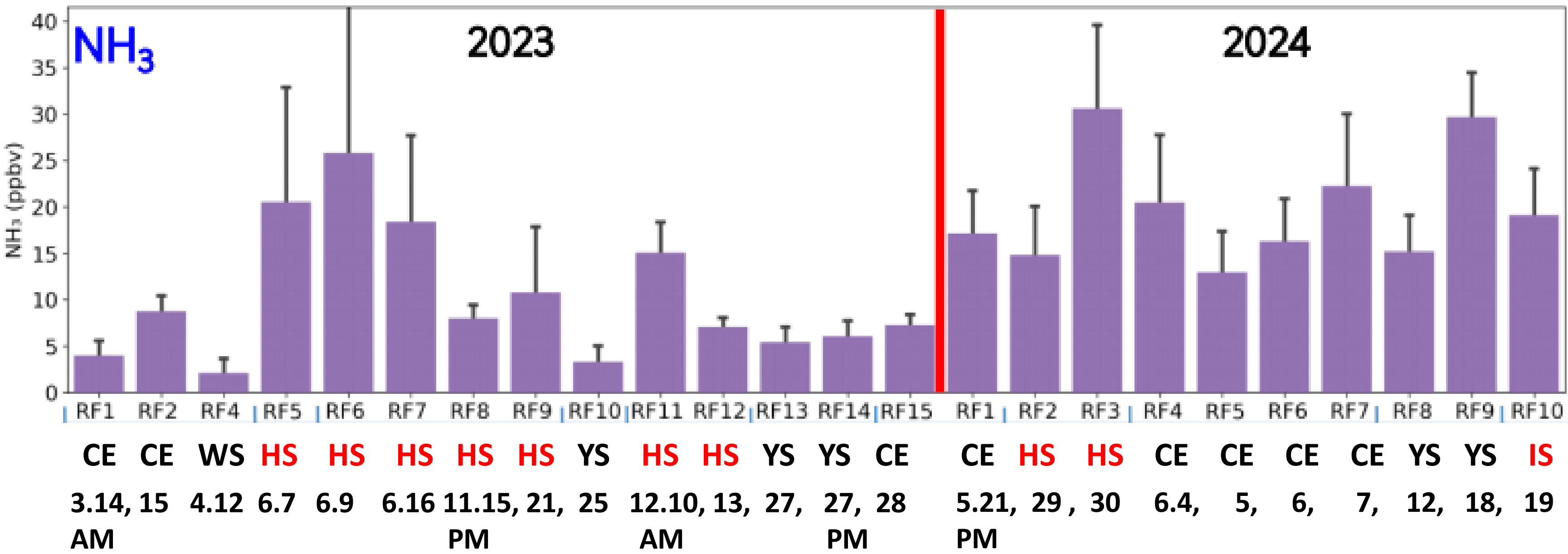


<3차년도(2024년) 항공관측 경로>

 WS (West Sea)
 CE (Chungnam Emission area)
 HS (Hong Seong)
 YS (Yesan)
 IS (Iksan)

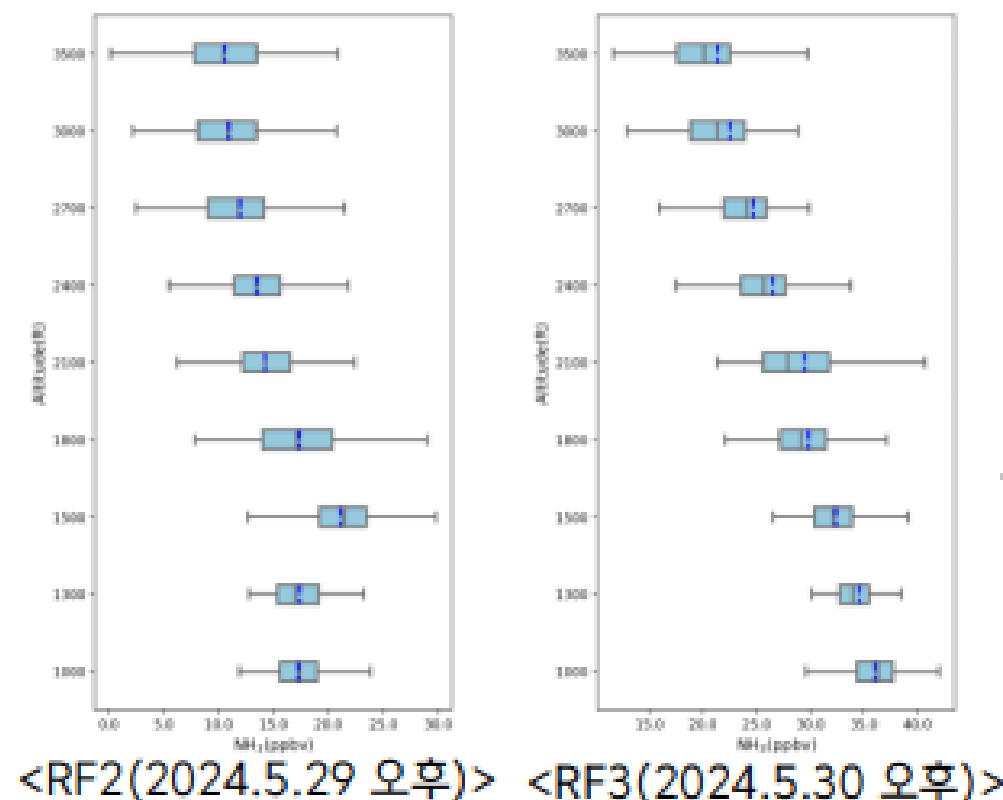
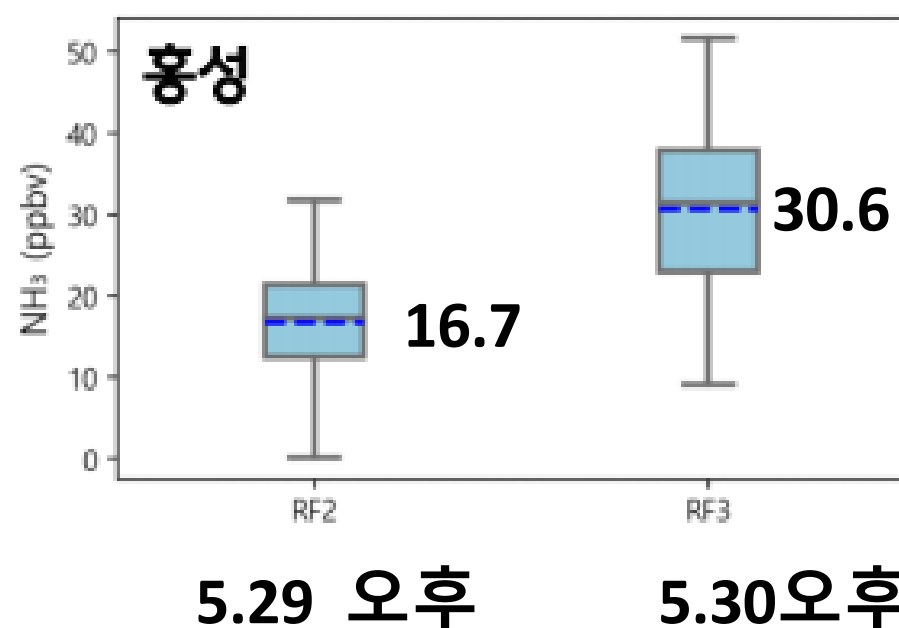


암모니아 항공관측 결과 (2023년, 2024년)

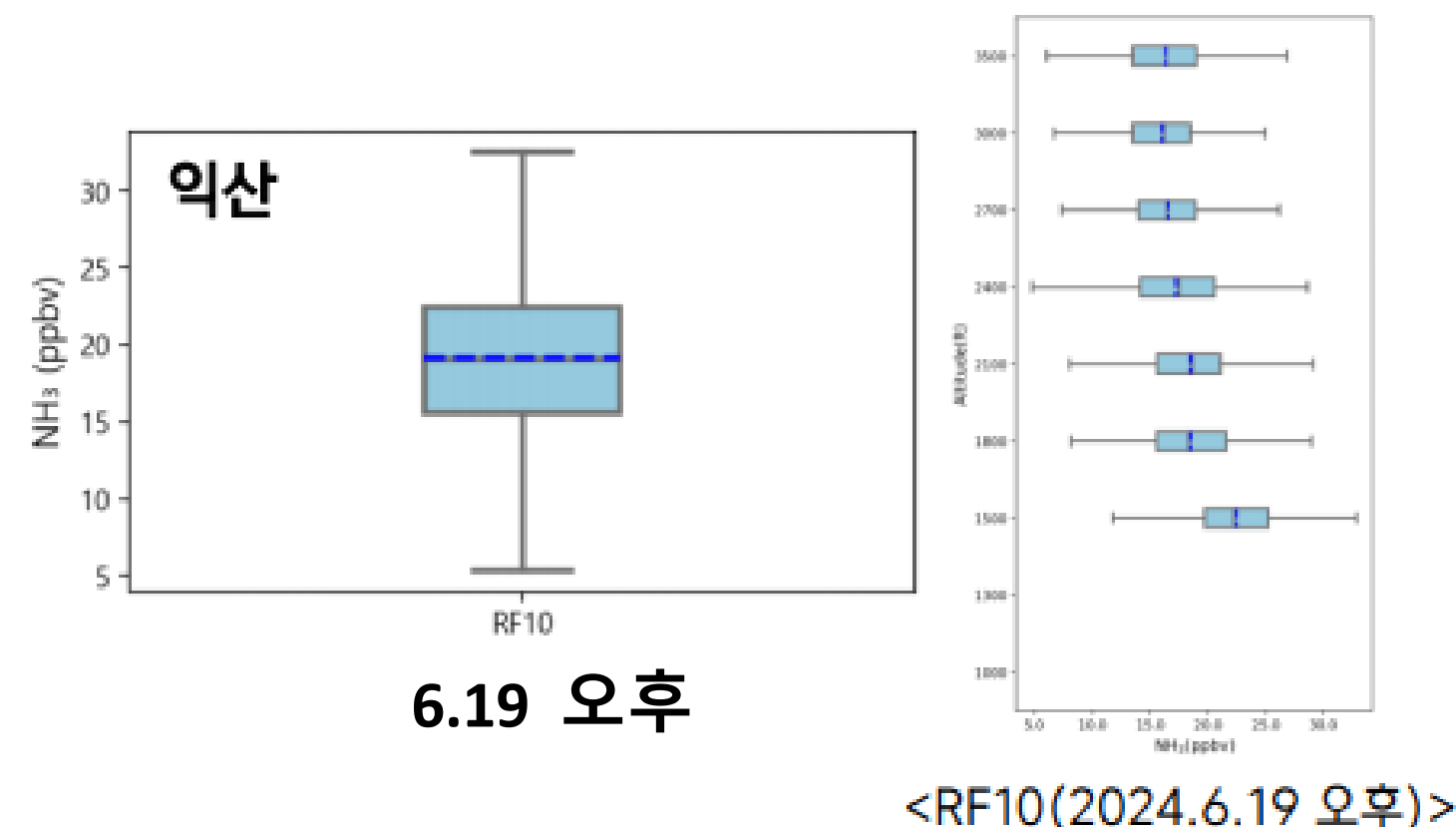
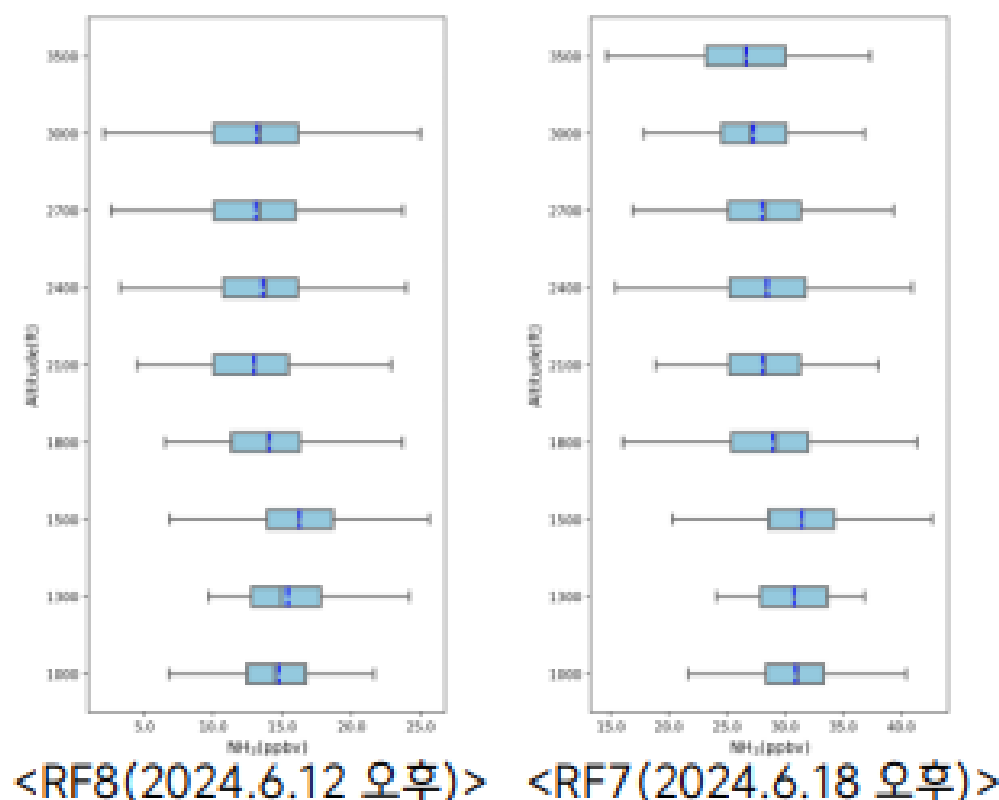
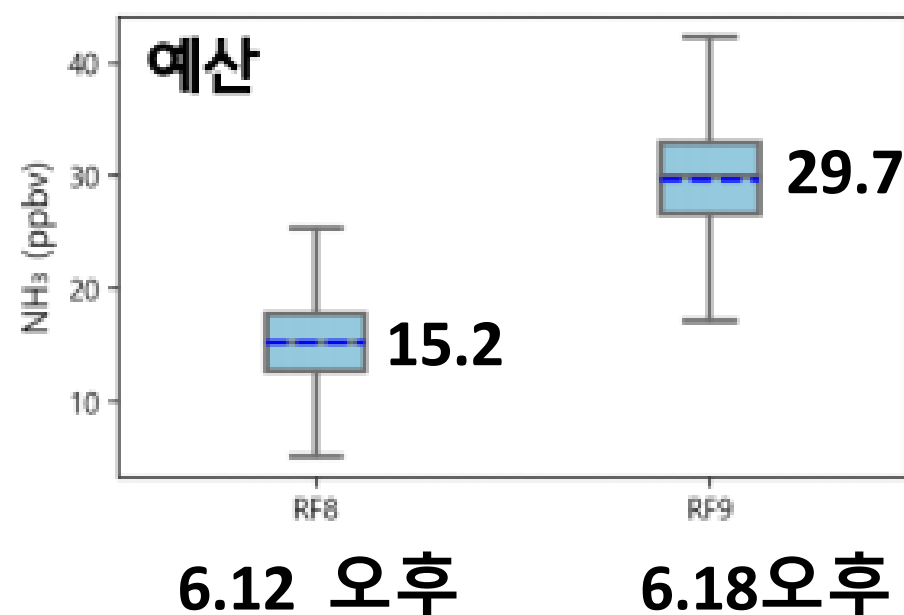


항공관측 상세결과 (2024 지역 별 암모니아)

- 축사밀집지역 (충남 홍성, 충남 예산, 전북 익산)

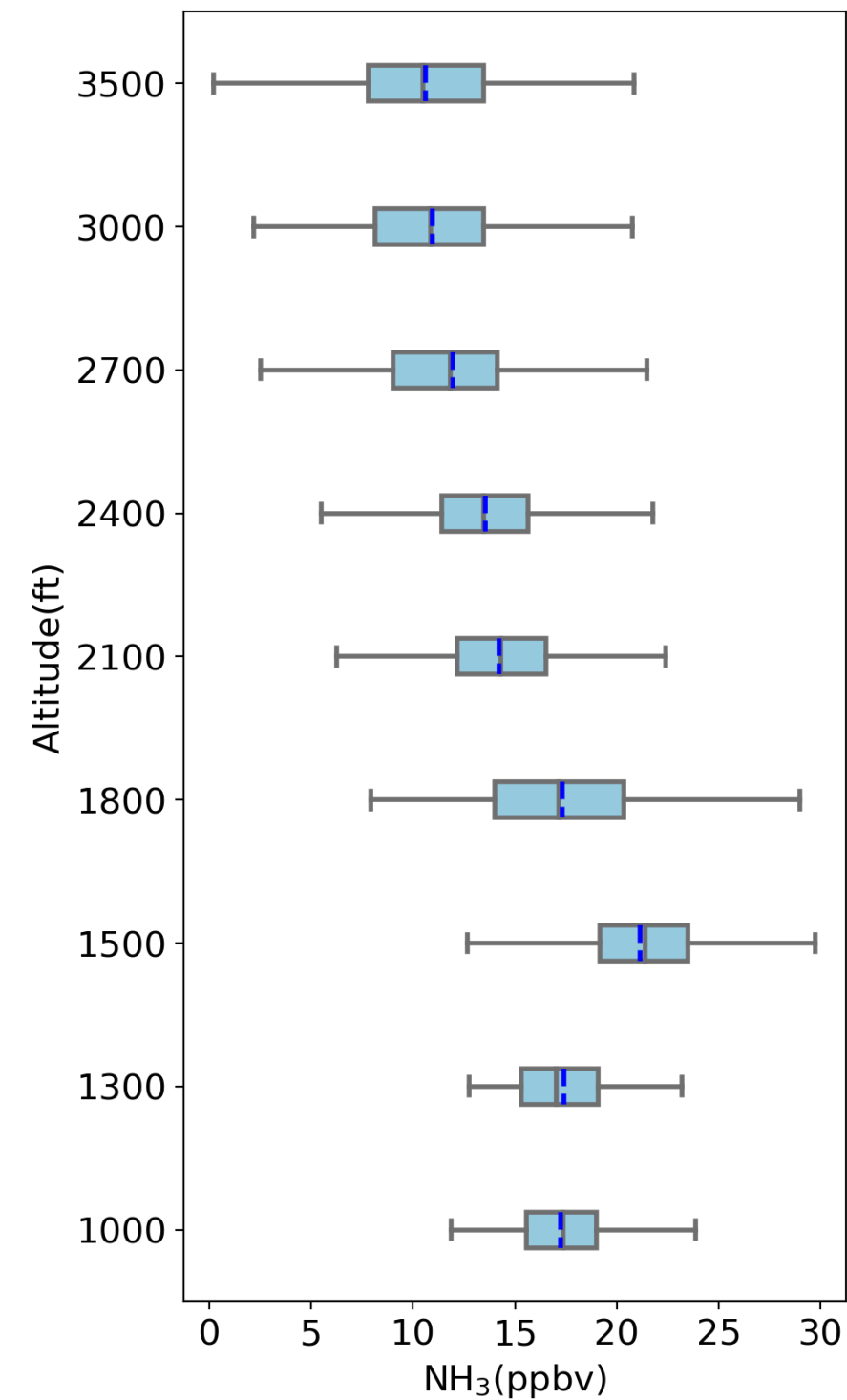


- 금년도 암모니아 측정에서
축사 밀집지역은 지역에 관계 없이 지상에서 발생한 NH₃가
확산되어 상승되므로 저고도 구간의 NH₃ 농도가
고고도 구간 보다 높음
- 암모니아 농도는 홍성 > 예산 > 익산 순으로 나타남
- TERRA를 이용한 배출량 산정 진행 중



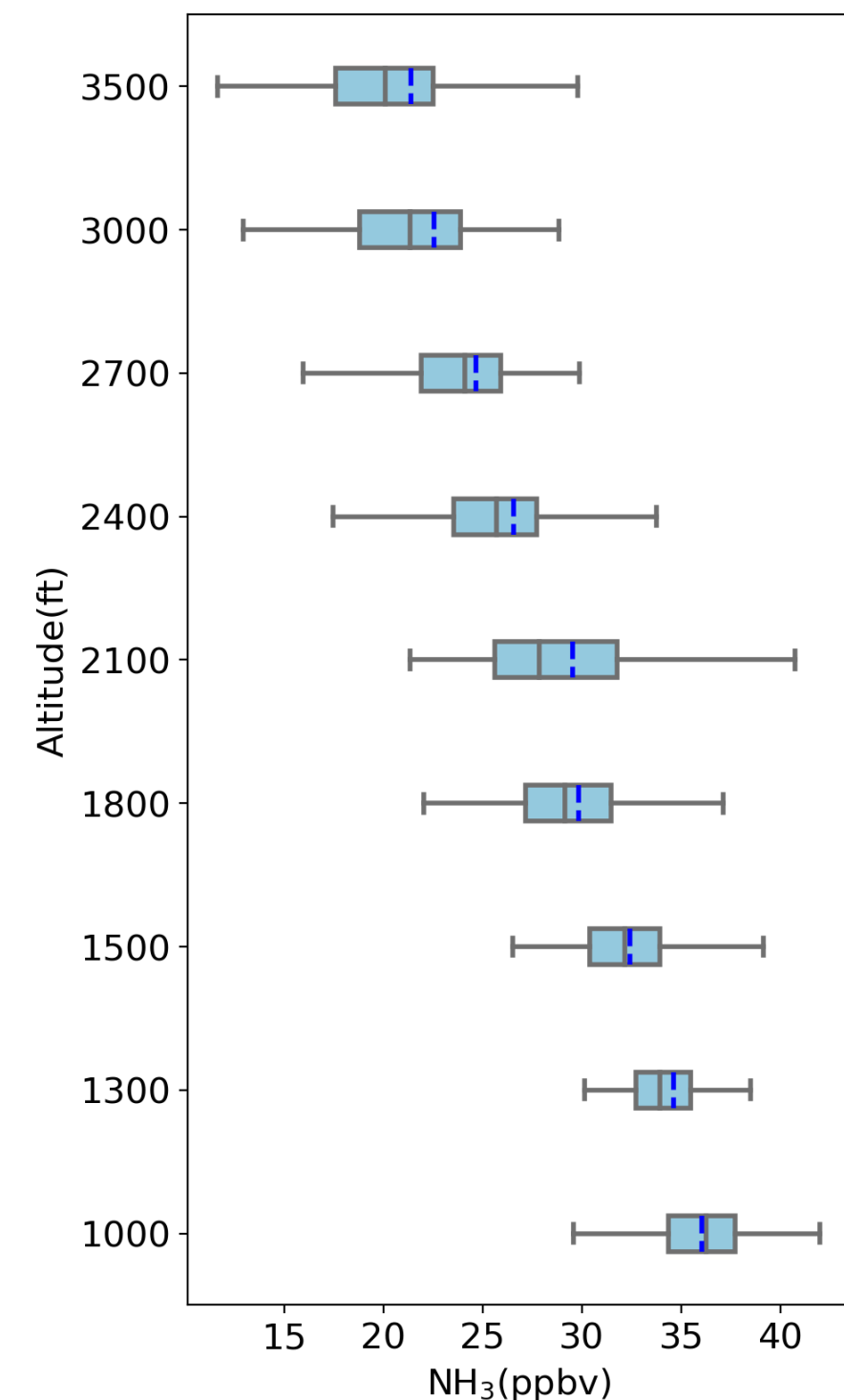


암모니아 연직 구조 (항공관측, 2024년 홍성, 예산)

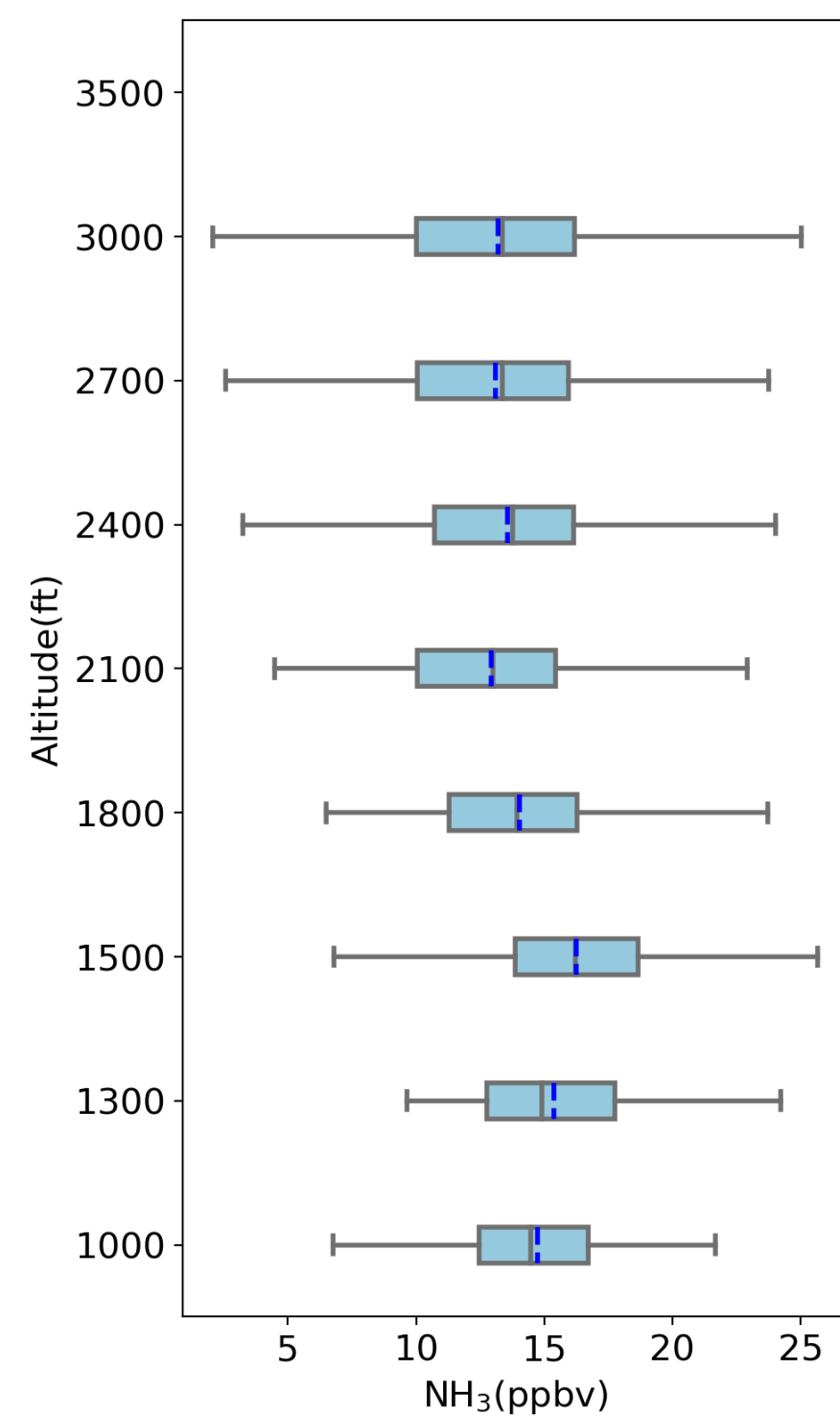


5. 29 오후

홍성

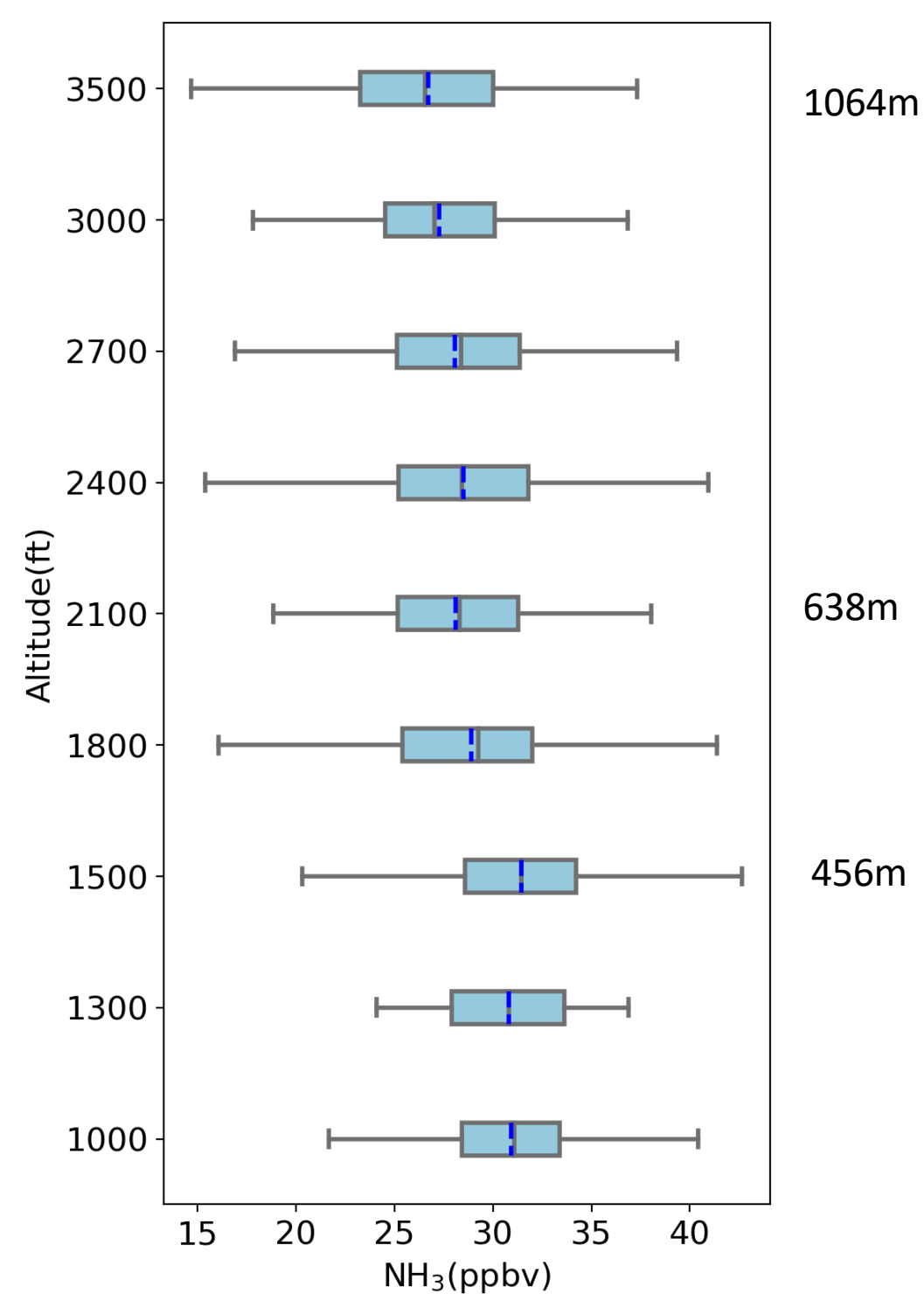


5. 30 오후



6.12 오후

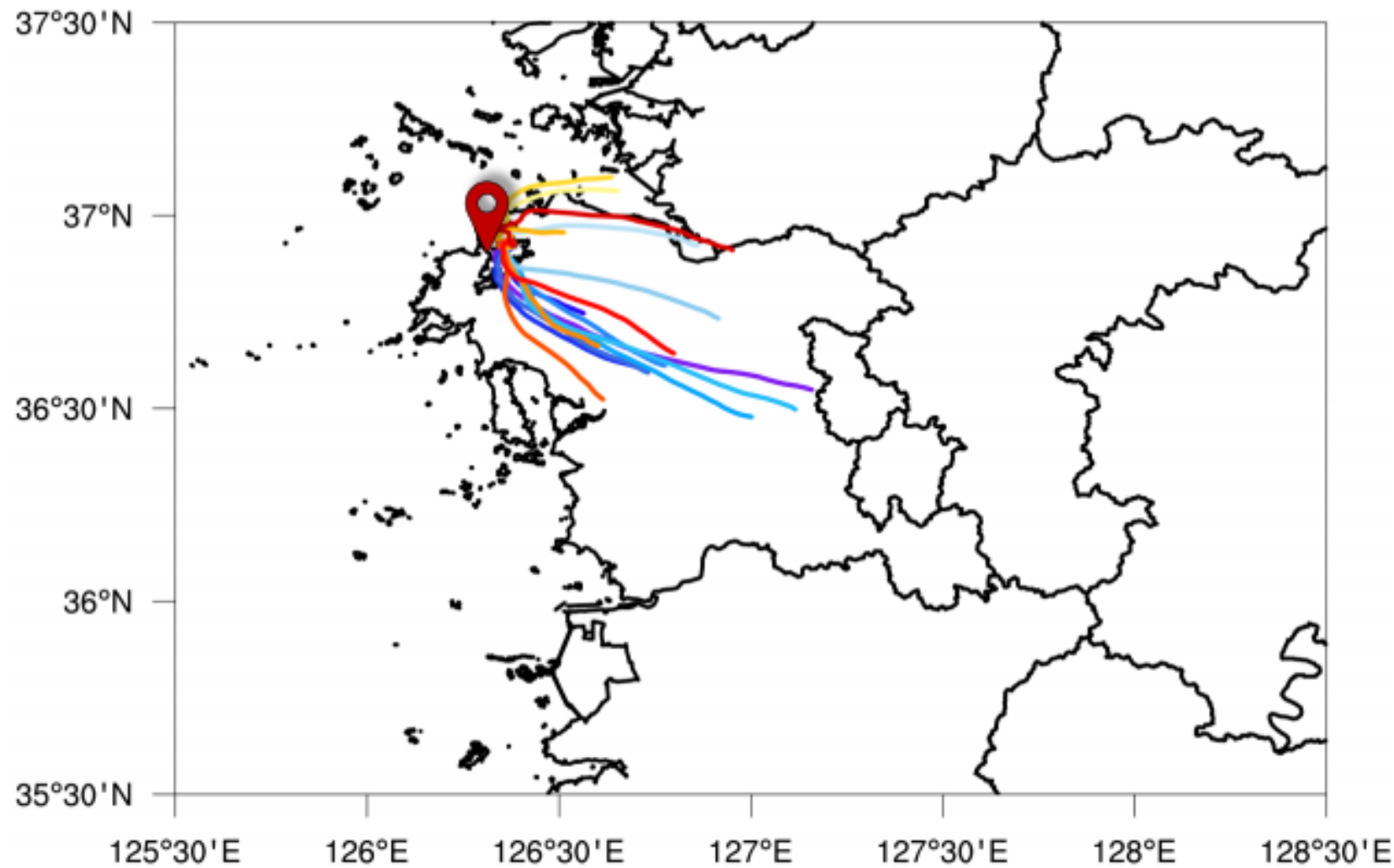
예산



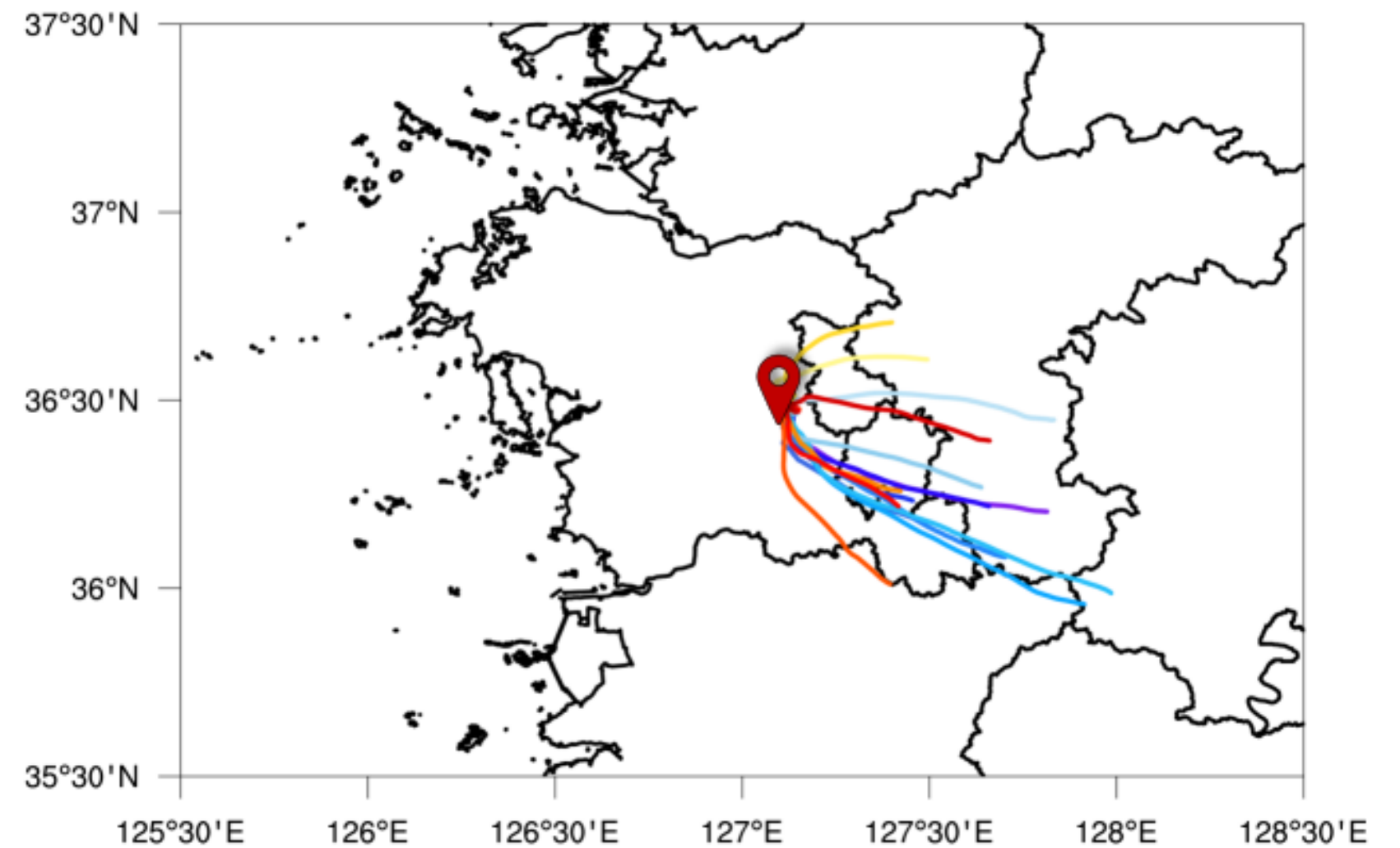
6.18 오후

라디오존데 이동 경로(서산, 6월3일~6일)

Seosan (Lat: 36.9223°N, Lon: 126.378°E)

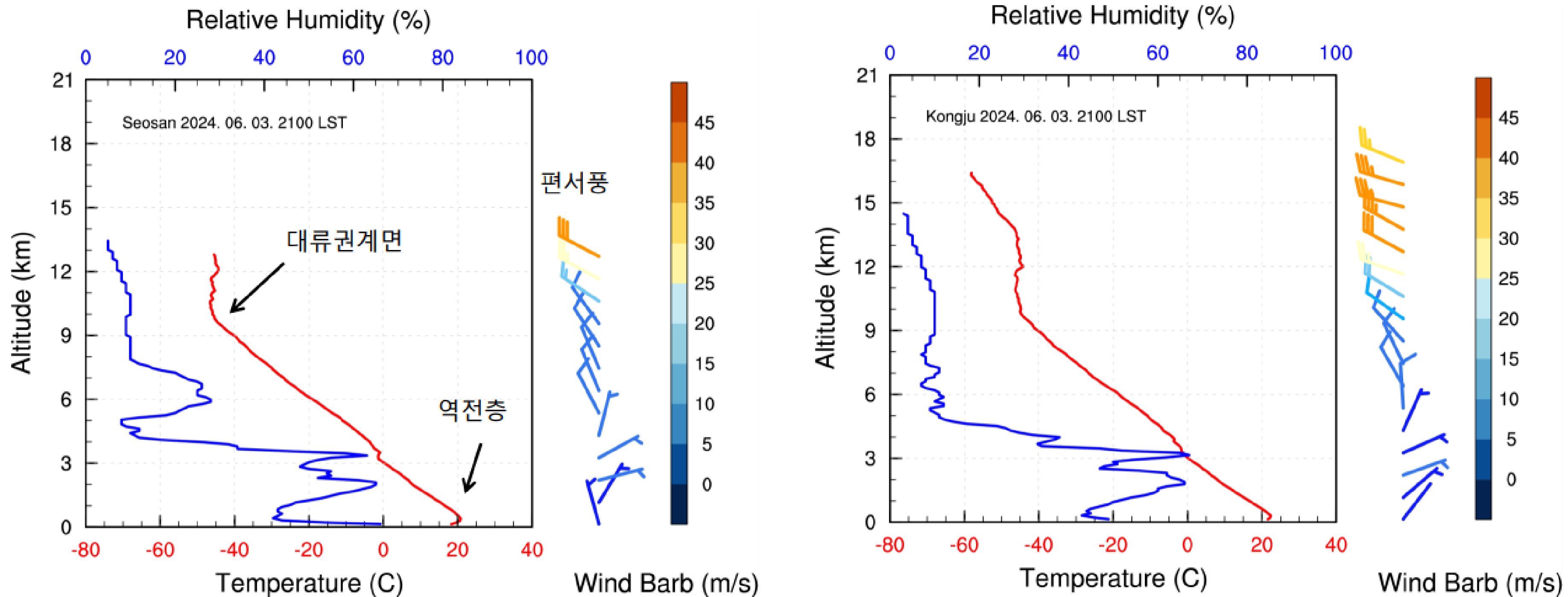


Kongju (Lat: 36.4712°N, Lon: 127.144°E)

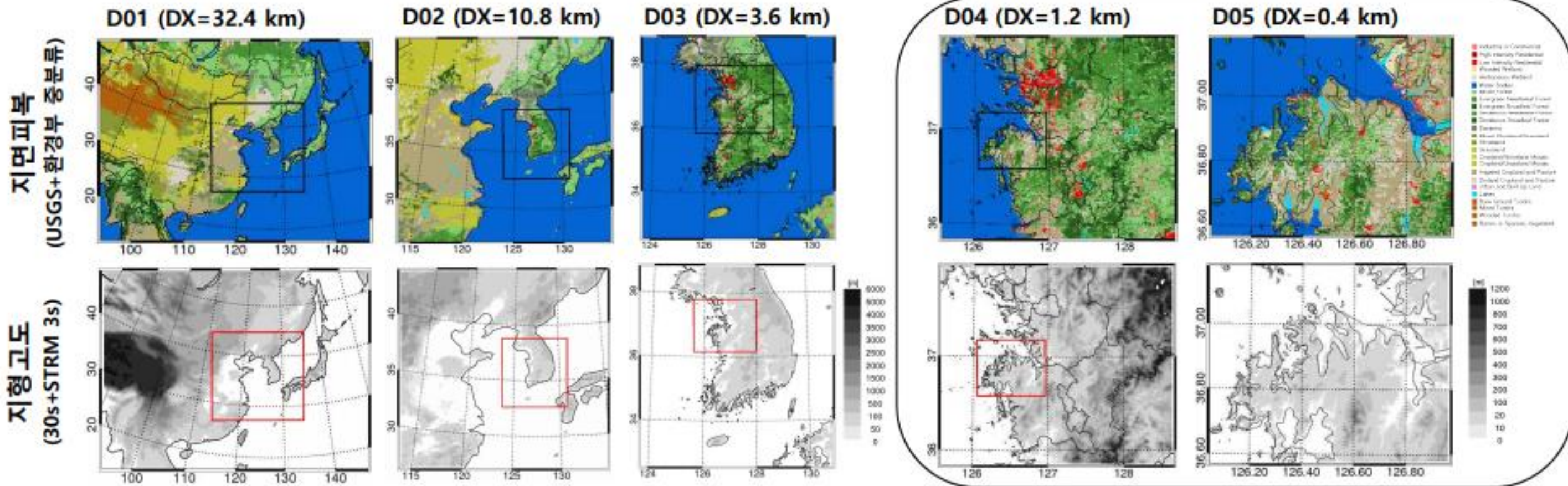


- 서산과 공주에서 동시에 관측 수행하여 각각 16개 자료 획득
- 3차 관측 당시 대류권은 편서풍 영향을 받음

2024년 서산, 공주 동시 고층 기상 관측 및 분석



충청권역 지역 기상·대기질 융합 모델링 체계



	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)	225×192 (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)

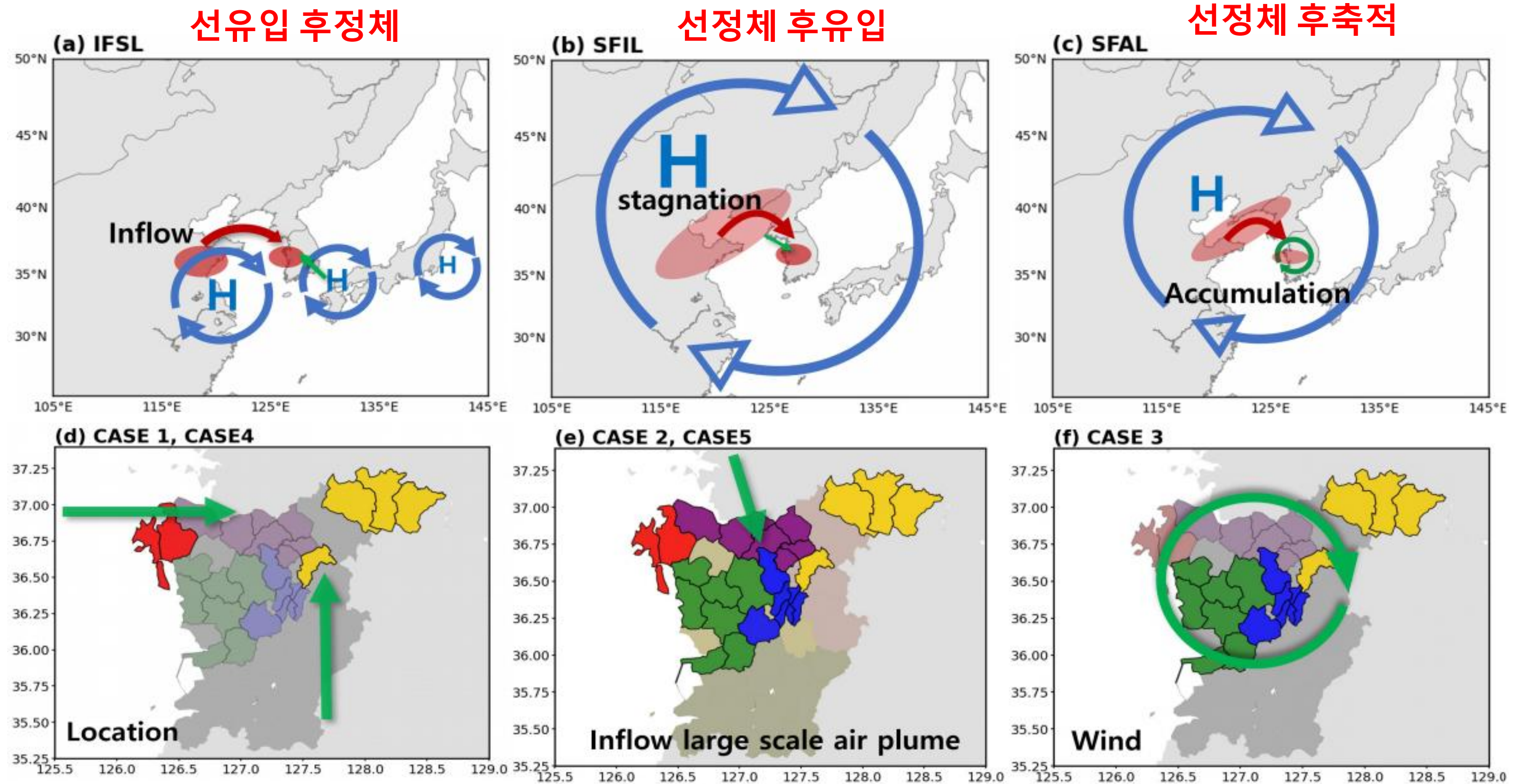


Fig. 6. Schematic diagram of the IFSL, SFIL, SFAL for synoptic patterns (a-c), and regional difference (d-f) related to EH cases in the central region of the Korean Peninsula. Blue line is lower high pressure, red line is inflow path of PM_{2.5} and green line is main wind direction.

2018 ~ 2022년, 5개 PM_{2.5} 사례,
중부권 기준

현지민 외 (2024)
한국대기환경학회지



정체 고기압과 미세먼지

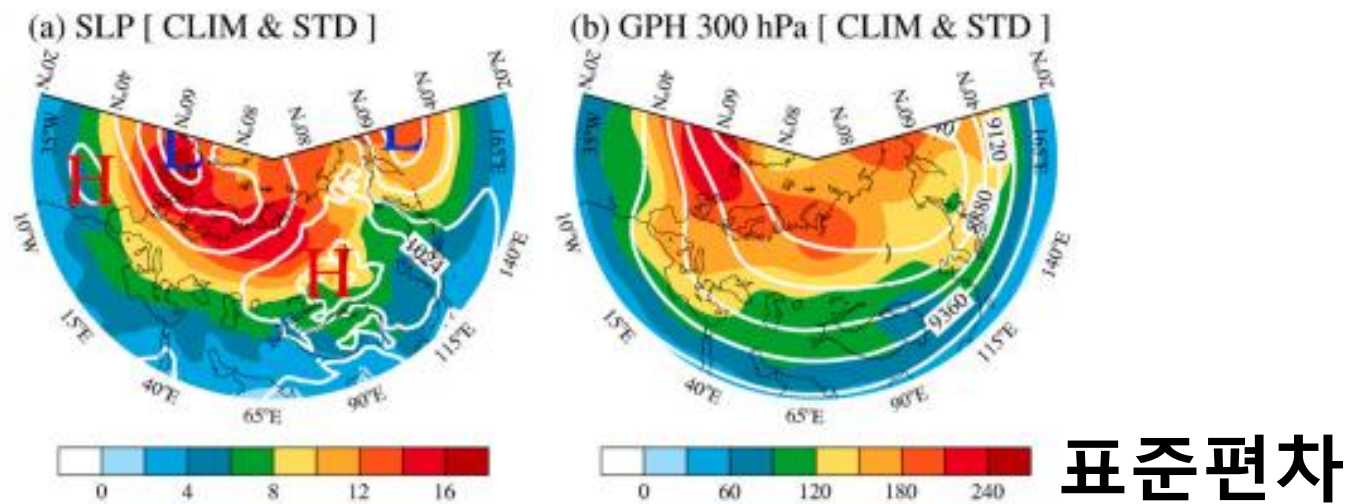
J.-H. Kim et al.

기후평균장

해면기압

H300

Environmental Pollution 290 (2021) 118051



표준편차

Low

High

Extremely High

편차장

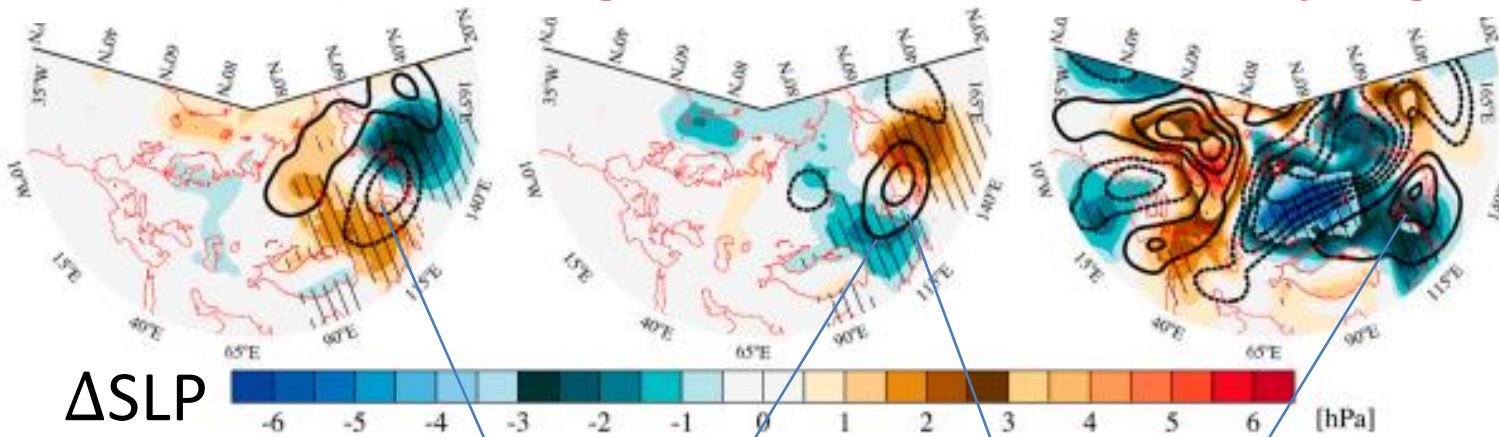


Fig. 2. (a–b) Climatological mean (white contour) and standard deviation (shading) of (a) sea level pressure (SLP; contour interval of 4 hPa) and (b) upper-level (300 hPa) geopotential height (GPH; contour interval of 240 m). (c–e) Composite anomalies of the January SLP (shading) and GPH at 300 hPa (contour interval of 20 m; dashed contours are negative) for L (<50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), H (50–100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), and EH ($\geq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) cases, respectively. The hatched areas indicate a 10% significance level for SLP.

서로 반대 패턴 Trough 약화

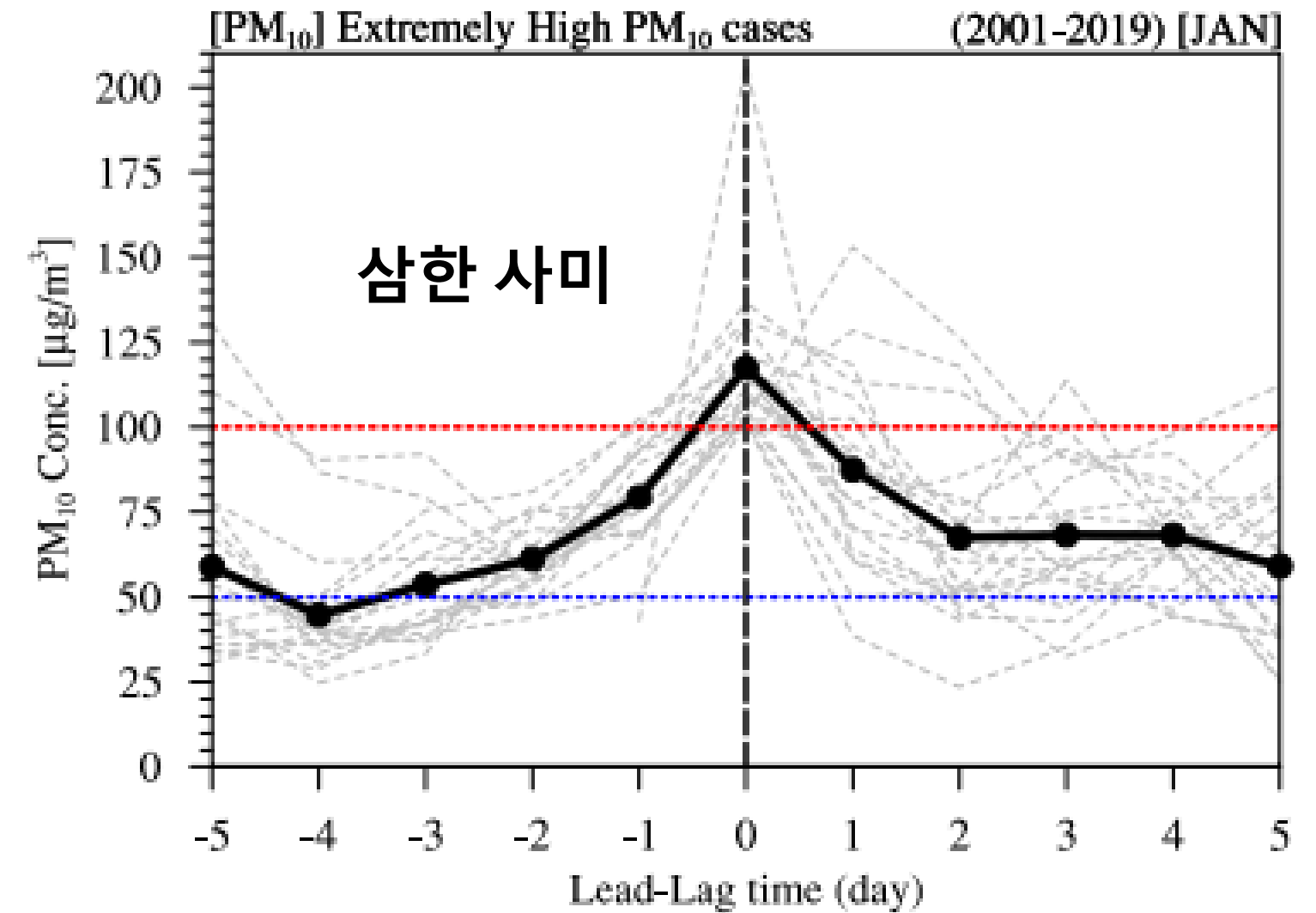


Fig. 3. Lead-lag time series of PM_{10} concentrations from five days before to five days after the occurrence of EH cases. The black solid line indicates the mean PM_{10} concentration, and the gray dashed lines indicate the PM_{10} concentration of each EH case. The red and blue dashed lines indicate PM_{10} concentrations of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

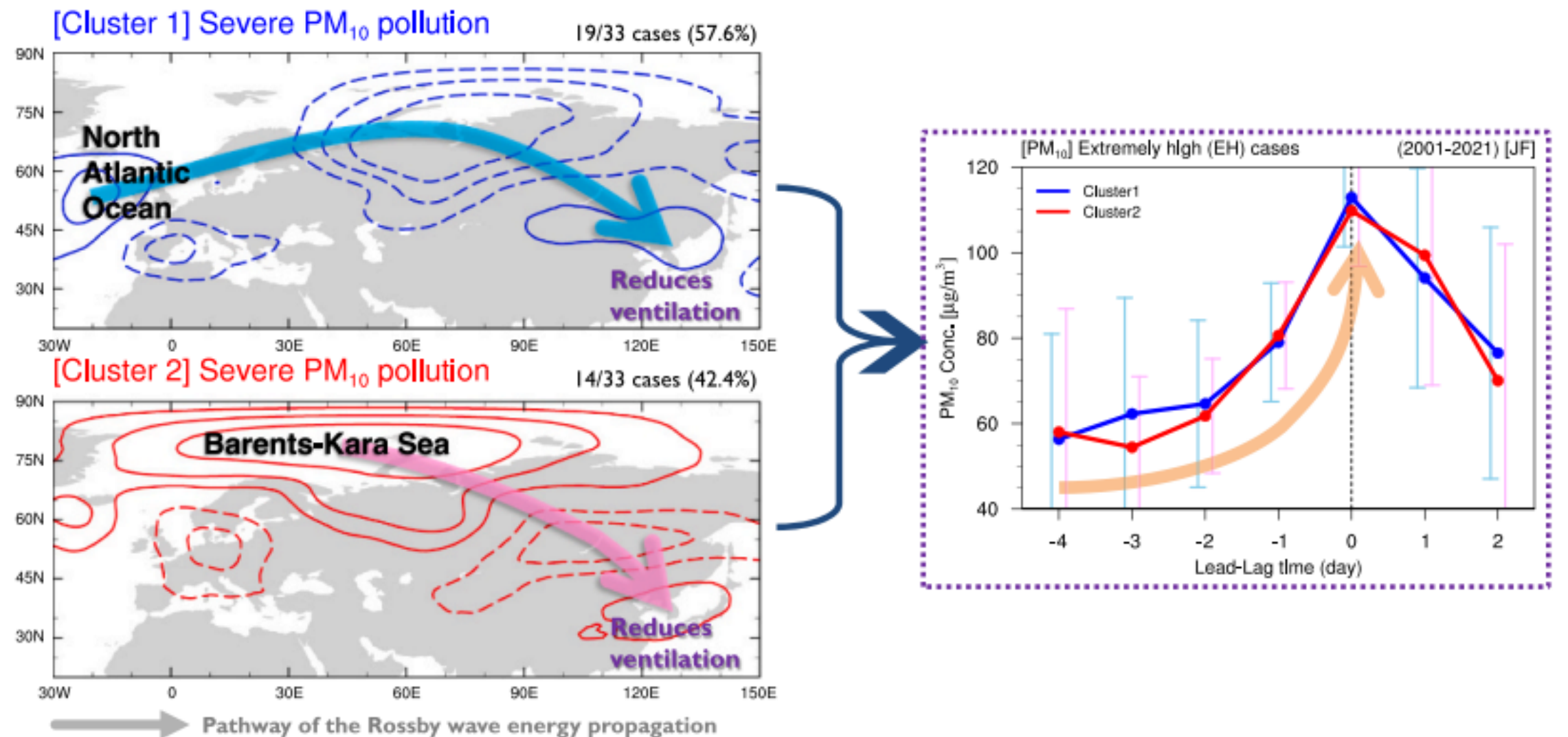
Kim et al. (2021) Environmental Pollution



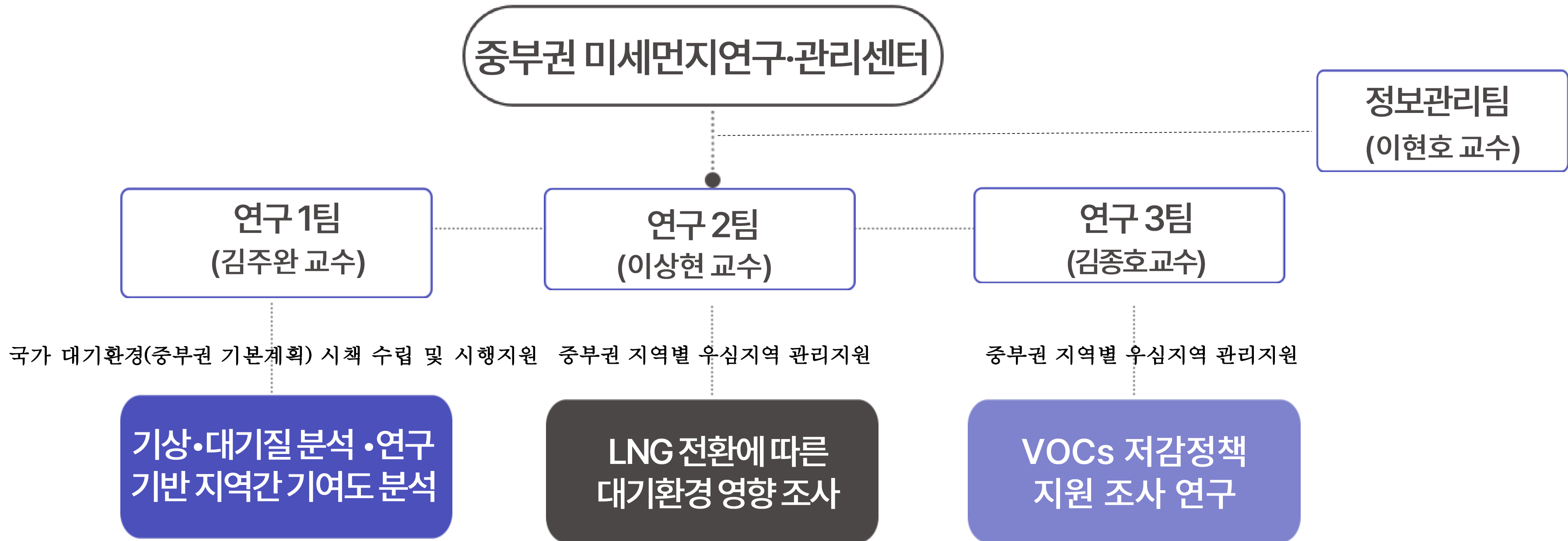
HIGHLIGHTS

- Impact of teleconnection patterns on extremely high (EH) PM₁₀ days is unknown.
- We suggest new teleconnection patterns associated with EH-PM₁₀ events in South Korea.
- Two teleconnection patterns affect EH-PM₁₀ cases in S. Korea.
- Rossby wave energy from North Atlantic and Barents–Kara Sea propagates to S. Korea.
- Large-scale teleconnection patterns reduced ventilation, causing EH-PM₁₀ events.

GRAPHICAL ABSTRACT



중부권센터 2단계 연구 사업 (2025 ~ 2027)



✓ 전략목표: 과학 기반 미세먼지 감축 정책 수립 지원 및 정보 제공



맺음말

1. 환경부 정책, 지자체 시행 계획/이행평가를 지원할 수 있는 브릿지 역할
2. 권역 이슈기반 정책 지원 정보 제공
3. 권역내 유관기관과의 협업 중요 (보건환경연구원 등)
4. 센터간 협업 중요 (예시: 특성화센터와 권역별 센터)
5. 특별 관측 캠페인 추진 (인접 권역 센터간, 전체 공동 등)
6. 미세먼지 교육·홍보