

기후대기환경관련 연구 동향 공유 세미나

I 추진배경

- IPCC에서 발간하고 있는 기후변화평가보고서(Assessment Report)에 따르면 전 세계적으로 발생하고 있는 기후변화는 더 이상 방관할 수 없는 수준에 이르렀으며, 적극적인 개선노력 없이는 비가역적인 영향으로 전 지구에 걸친 비가역적인 피해가 야기될 것으로 보고되고 있음
- 대기환경 또한 기후변화의 영향으로 환경용량의 변동성이 커져 고농도 미세먼지 발생 사례가 증가하고 있으며, 미세먼지와 기후영향에 대한 대응은 동일 관점에서 개선대책 마련이 요구되고 있음
- 전반적인 기후대기 정책연구를 위해 기후와 대기환경에 대한 포괄적인 관점과 지식이 요구되나 상이한 전공지식으로 인해 이해가 어렵고, 연구추세가 빠르게 변화함에 따라 전문가를 통한 연구동향 파악 및 연구인프라 구축이 필요함

II 추진목적

- 기후와 대기환경에 대한 연구동향 및 국가차원의 정책추진 현황 파악
- 연구진의 기후대기환경에 대한 이해능력 향상

III 기대효과

- 기후와 대기환경 연구수립에 필요한 전반적인 정보 습득
- 다양한 연구분야 경험을 통한 개인역량 강화
- 국가 및 국공립 출연기관과의 연구 교류를 통한 인적 네트워크 구축

IV 행사개요

- 기상인자를 활용한 기후대기 연구 및 국가 정책동향 세미나
- 일시 : 2022년 4월 20일 (수) 15:30~17:30
 - 각 연사별 발표 30분, 질의응답 10분
- 주관 : 충남연구원 서해안기후환경연구소
- 참여 : 국립기상과학원, 강원대학교
- 장소 : 충남연구원 서해안기후환경연구소 (충남 홍성군 홍북읍 홍예로 360)
- 참석인원 : 이상신 연구소장 외 9명

V 세부일정

시 간	내 용	
4월 20일 (수)		
15:30~15:35(5')	참석자 소개	김종범 책임연구원 (충남연구원)
15:35~15:40(5')	환영사	이상신 연구소장 (충남연구원)
15:40~16:20(40')	국립기상과학원 기후변화감시 현황 및 연구	김수민 연구사 (국립기상과학원)
16:20~17:00(40')	기상기후정보를 접목한 대기환경 연구 사례	곽경환 교수 (강원대학교)
17:00~17:30(30')	종합토의	김종범 책임연구원 (충남연구원)

【별첨 1】

참석자 명단 (10명)

소 속	직 위	성 함	비고
충남연구원 (8)	연구위원	이상신	
	책임연구원	김종범	
	책임연구원	박세찬	
	연구원	최영남	
	연구원	김민수	
	연구원	조민철	
	연구원	송혜영	
	연구원	이가혜	
국립기상과학원	연구사	김수민	
강원대학교	교수	곽경환	

기후변화감시 현황 및 연구

2022. 4. 20.

국립기상과학원 미래기반연구부
김수민

발표 내용 요약

1. 기후변화감시소 설립 배경
2. 기후변화감시 분야 및 측정자료
3. 자료 품질 관리
4. IPCC 6차 평가보고서 제1실무그룹 보고서 중 SLCFs 소개
5. 측정망 자료 활용의 예

지구가열로 인한 기상재해

화력발전소 : 30% of CO2 emission



교통 : 15% of CO2 emission



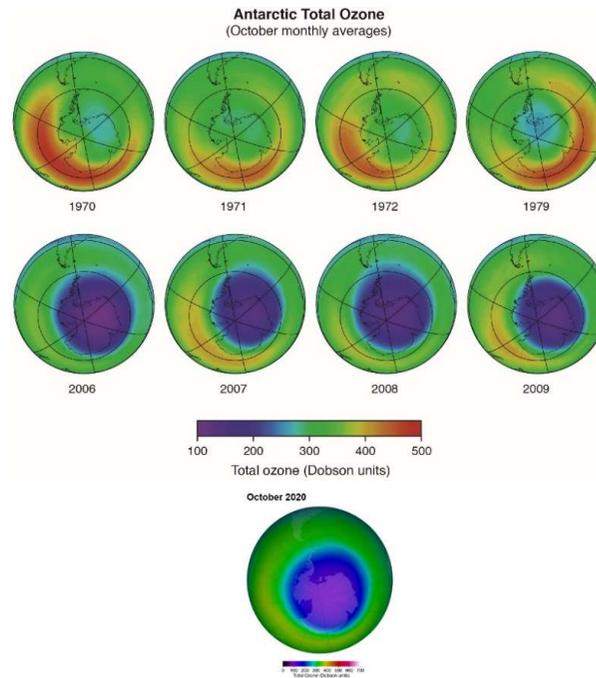
중국 안후이성 루안시 위안구 구전현의 주거 지역이 20일 홍수로 물에 잠겨 있다. 신화-연합뉴스

산업 발전과 함께 자란 지구환경문제

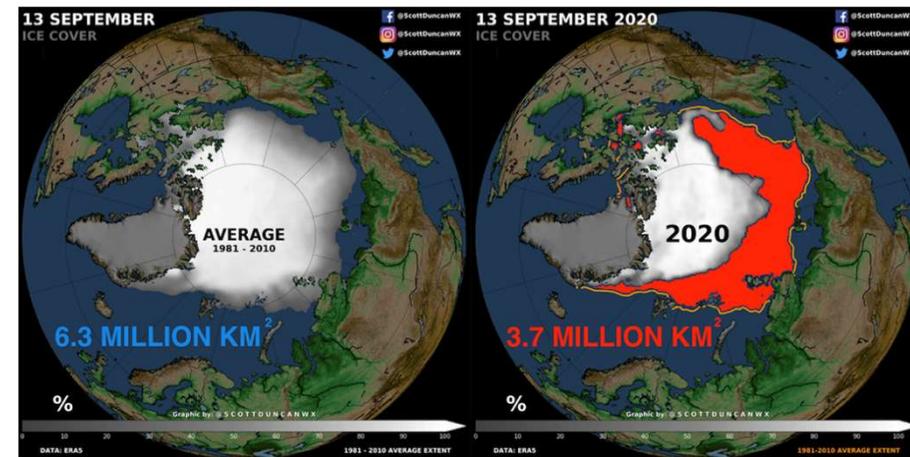
산성비, 스모그(1960s-1980s)



오존홀(1980s-1990s)



지구가열(2000s)



World Scientists' Warning of a Climate Emergency

BioScience • January 2020 / Vol. 70 No. 1

1979~2019년 인간활동(A)과 기후관련(B) 연변화

WILLIAM J. RIPPLE, CHRISTOPHER WOLF, THOMAS M. NEWSOME, PHOEBE BARNARD, WILLIAM R. MOOMAW, AND 11,258 SCIENTIST SIGNATORIES FROM 153 COUNTRIES (LIST IN SUPPLEMENTAL FILE S1)

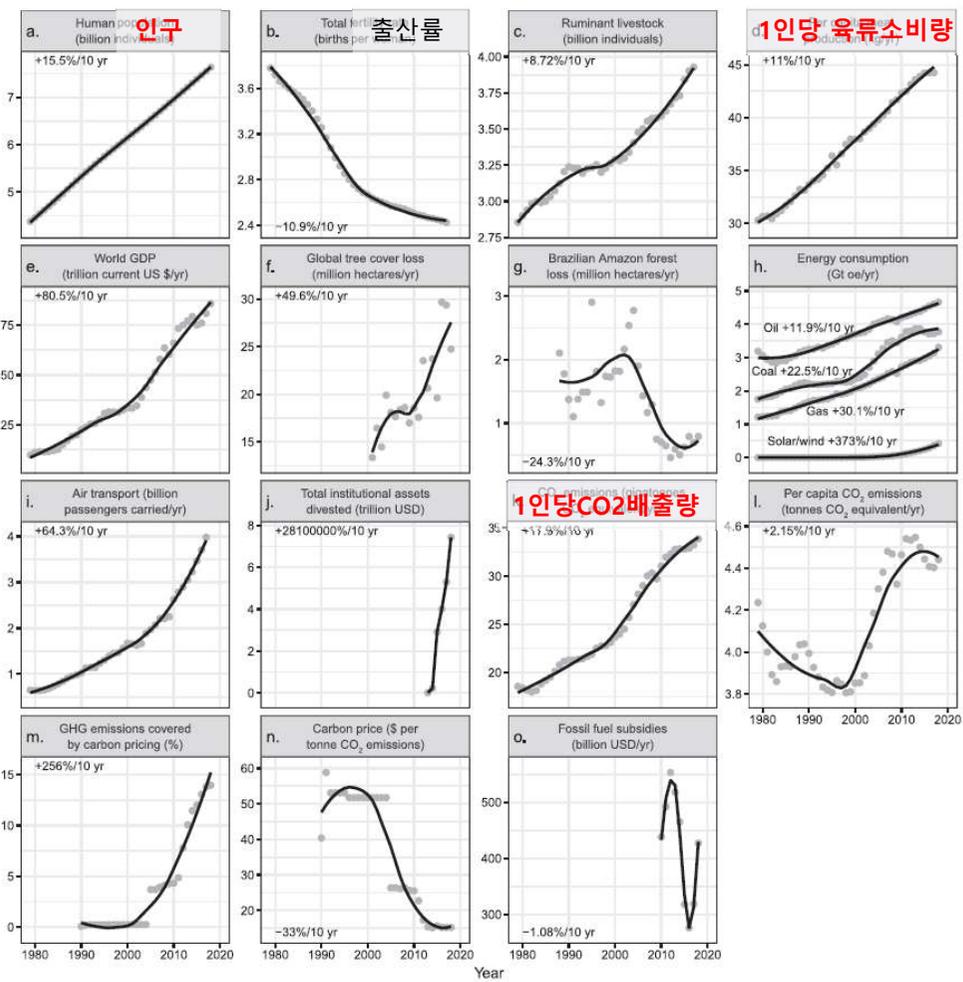


Figure 1. Change in global human activities from 1979 to the present. These indicators are linked at least in part to

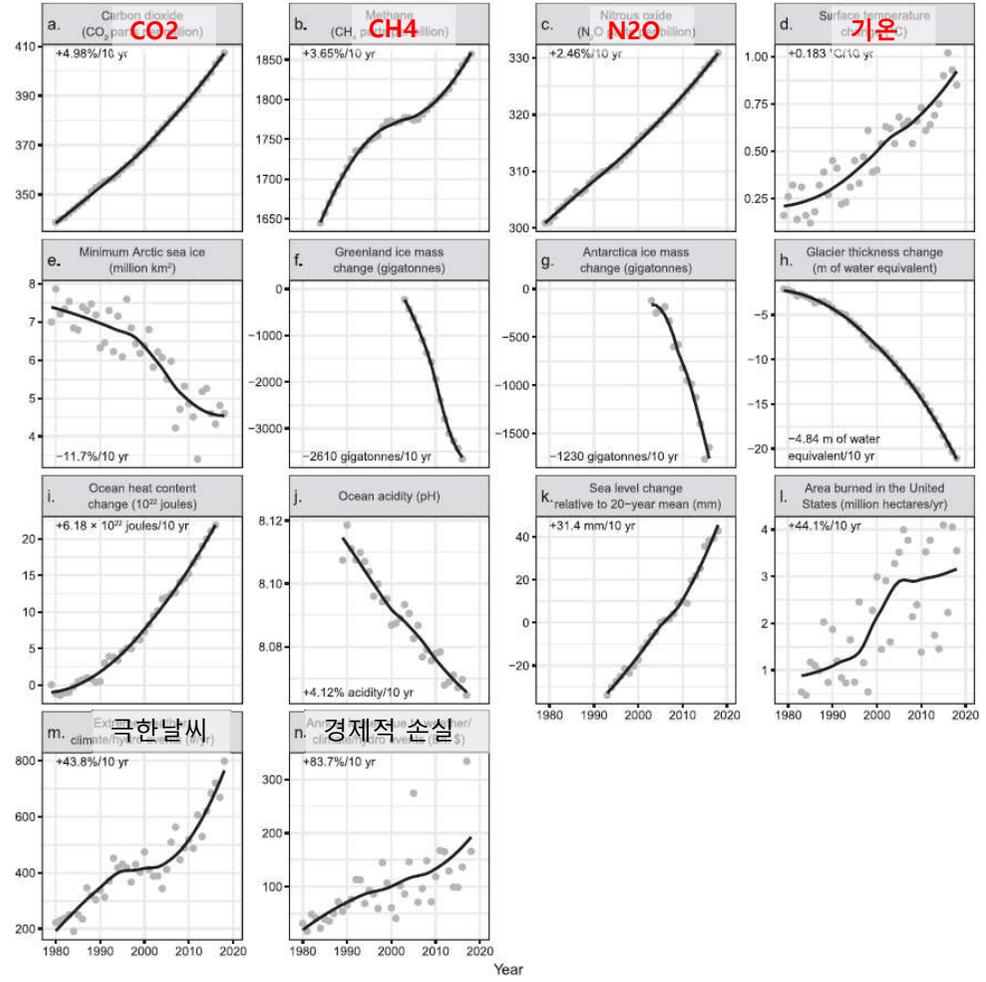


Figure 2. Climatic response time series from 1979 to the present. The rates shown in the panels are the decadal change

600여 곳 WMO/GAW, 기후변화를 감시하며 함께 자료를 나눈다

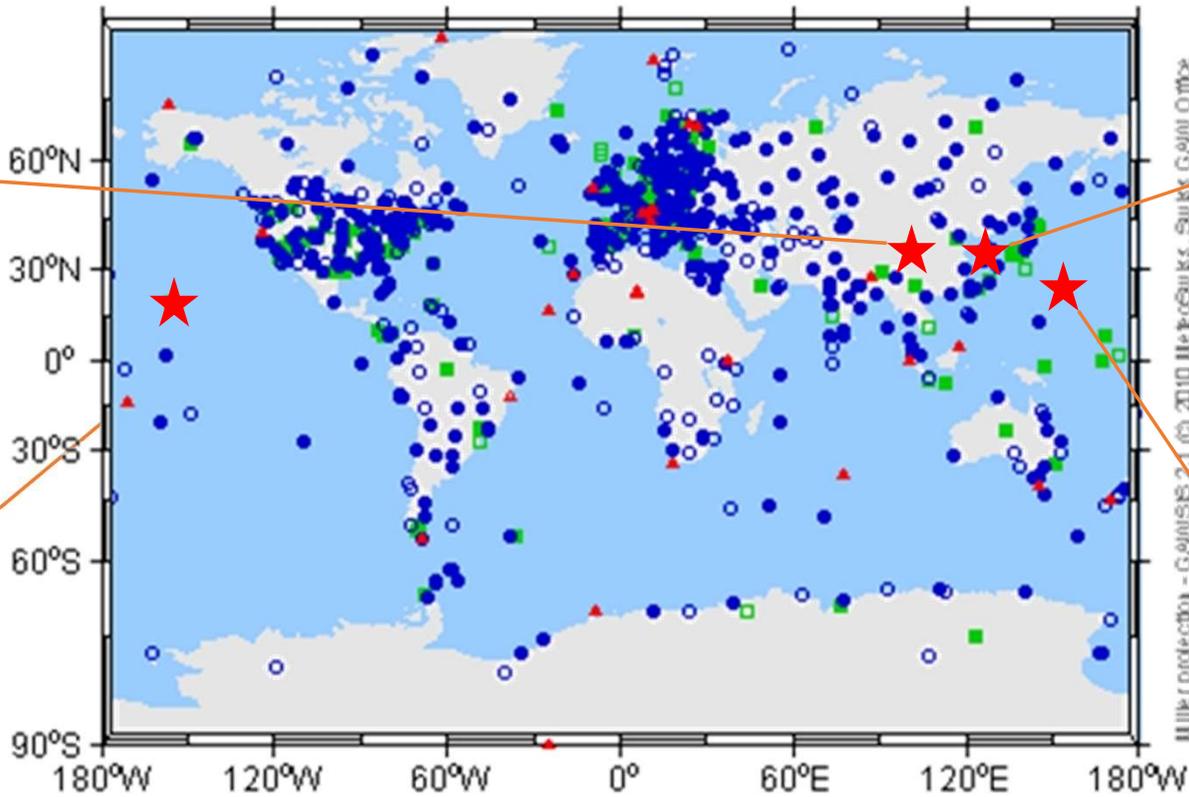
*지구급 관측소(30개)/지역급 관측소



왈리구안(중국, 지구급)



마우나로아(미국, 지구급)



안면도 기후변화감시소 (지역급)



미나미토리시마(일본, 지구급)

한반도를 감싸는 국립기상과학원 기후변화감시소

감시분야	측정요소
온실가스	CO2, CH4, N2O, SF6, CFCs
반응가스	O3, CO, NOx, SO2
에어로졸	PM10, 입자크기별 계수, AOD, 입자 광학특성 입자 화학성분 분석
성층권오존/자외선	연직 오존분포, 오존전량/ UVA, UVB
대기복사	직달산란, 일사, 지구상향.하향복사 태양상향.하향복사
총대기침적	강수화학, 건성침적



안면도, 1996~



제주 고산, 2009~



울릉도.독도, 2014~



기후변화감시 자료

온실가스

- 대기 중에 가스 상태로 장기간 체류하면서 대부분의 태양복사를 투과시키고 지표면에서 방출하는 지구복사를 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 물질이다. 온실효과를 유발하여 지표온도를 상승시킬 수 있는 온실가스 중에는 이산화탄소 이외에 메탄, 아산화질소, 염화불화탄소 등의 미량기체를 꼽을 수 있다.

<온실가스 특성>

누적된다.

온실가스 종류	화학식	체류시간(년)	지구온난화지수(GWP)
이산화탄소	CO ₂	5~200	1
메탄	CH ₄	12.4	28
아산화질소	N ₂ O	121	265
육불화황	SF ₆	3,200	23,500
염화불화탄소	CFC-11	45	4,660
염화불화탄소	CFC-12	100	10,200
염화불화탄소	CFC-113	85	5,820
삼불화질소	NF ₃	500	16,100

이산화탄소(CO₂) 산림벌채, 에너지 사용, 화석연료의 연소 등

메탄(CH₄) 가축 사육, 습지, 논, 음식물 쓰레기, 쓰레기 더미 등

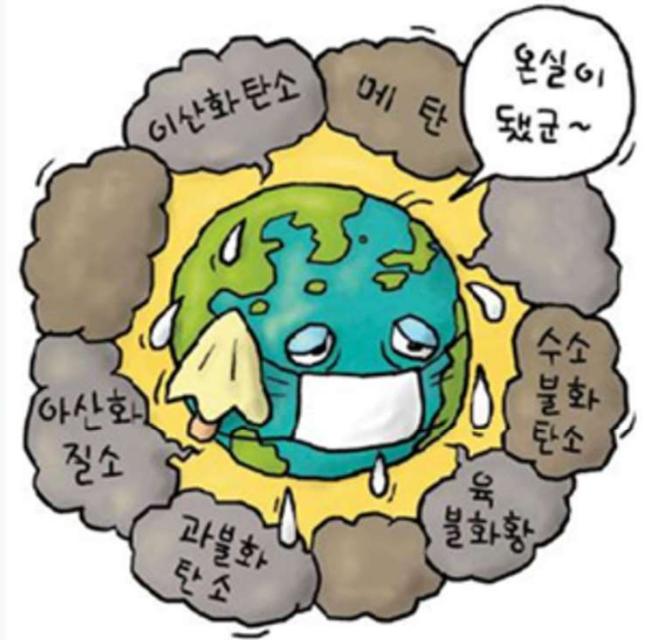
아산화질소(N₂O) 석탄, 폐기물 소각, 화학 비료의 사용 등

수소불화탄소 (HFCs) 에어컨 냉매, 스프레이 제품 분사제 등

과불화탄소 (PFCs) 반도체 세정제 등

육불화황(SF₆) 전기제품과 변압기 등의 절연체 등

<교토의정서 규제대상 6대 온실가스(1997)>



<교토의정서 규제대상 6대 온실가스(1997)>

[출처: 기상청 기후변화감시용어해설집]

우리나라 CO₂ 배경대기 농도

표 4.2.1 2020년 안면도, 고산, 울릉도, 독도 전지구의 CO₂ 농도 (단위 : ppm)

지 점	안면도	고산	울릉도	독도	전지구 ¹
2020년 평균값	420.4	418.9	417.6	416.6	412.5
2019년 대비 절대 증가값 ² (단위: ppm/year)	2.7	2.4	2.3	1.8	2.4
최근 10년간 절대 증가값 평균 (2010~2019년) (단위: ppm/year)	2.7	-	-	-	2.4
과거 10년간 절대 증가값 평균 (2000~2009년) (단위: ppm/year)	2.2	-	-	-	1.9

¹ 본 보고서에 명시된 전지구 농도는 미국해양대기청(NOAA)의 발표값으로 향후 변경될 수 있음. WMO에서 발표하는 전지구 농도는 통상 10월에 발표됨.

² 절대 증가값 = 올해 연평균값 - 전년도 연평균값

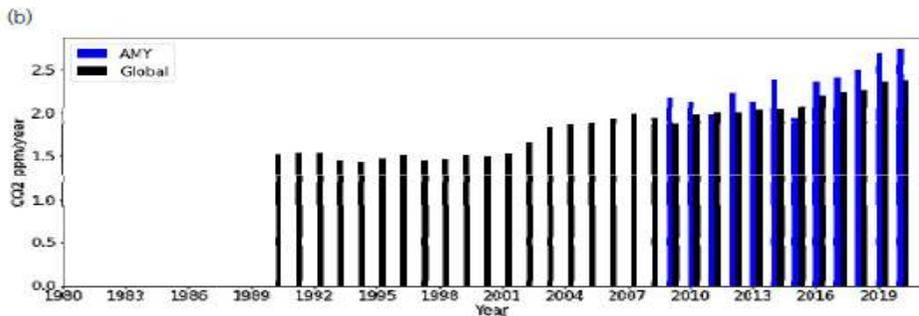
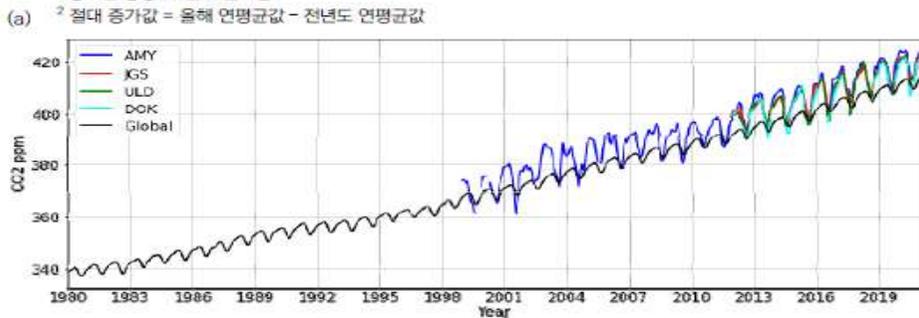


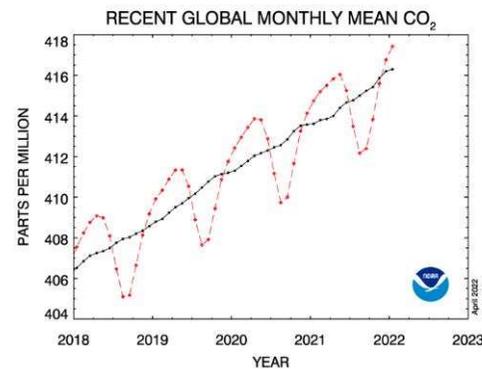
그림 4.2.1 (a) 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD), 독도(DOK)와 전지구(Global)의 이산화탄소 배경농도.
(b) 매 10년간 증가값(Δ CO₂)의 평균.

[출처: 2020 지구대기감시보고서, 이해영 연구사]

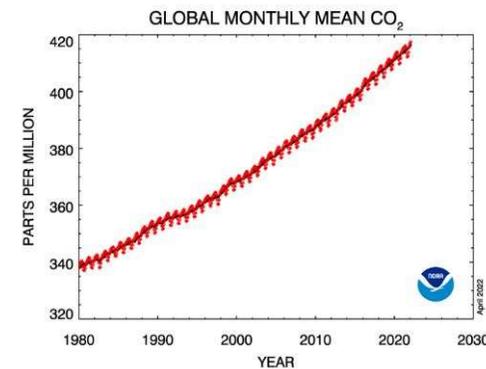
Global Monthly Mean CO₂

January 2022: 417.43 ppm
January 2021: 414.74 ppm

Last updated: April 8, 2022



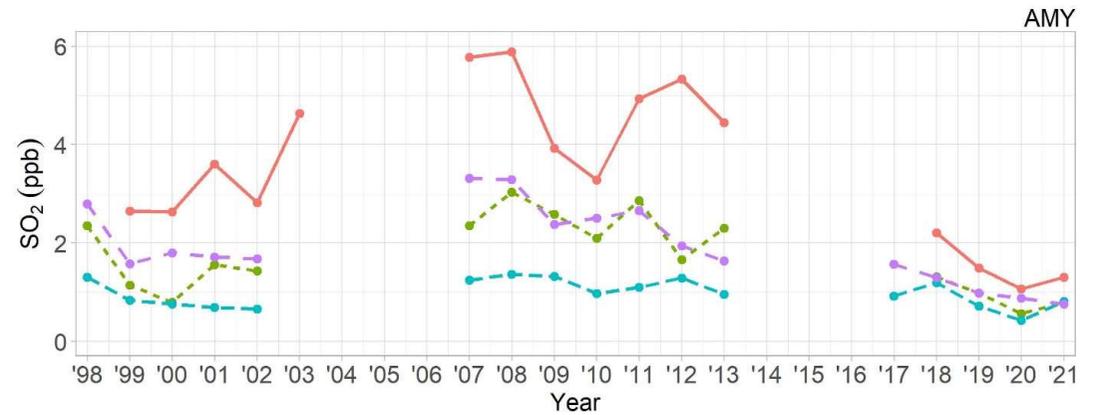
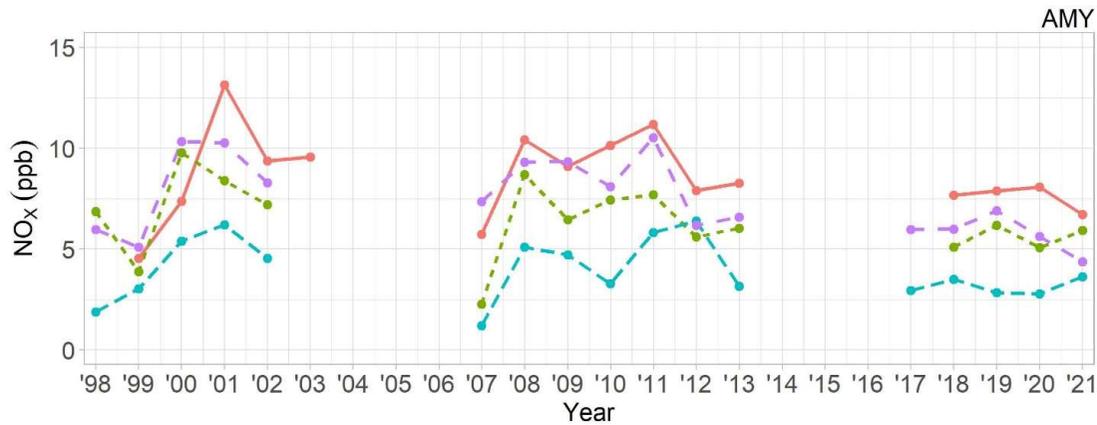
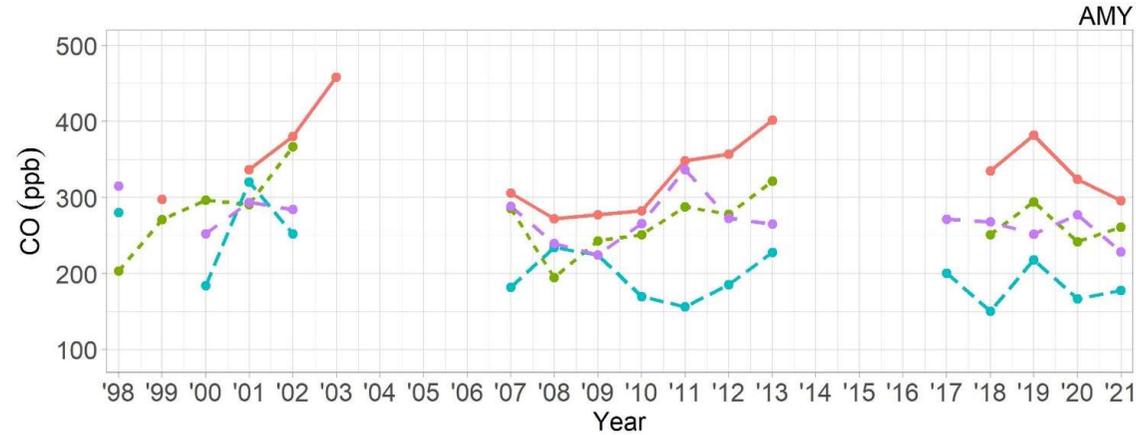
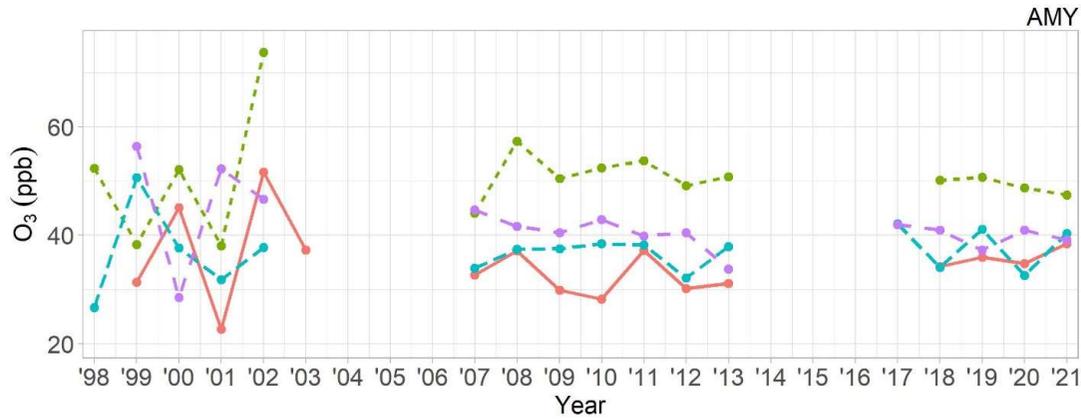
Recent global monthly means



Global monthly means since 1980

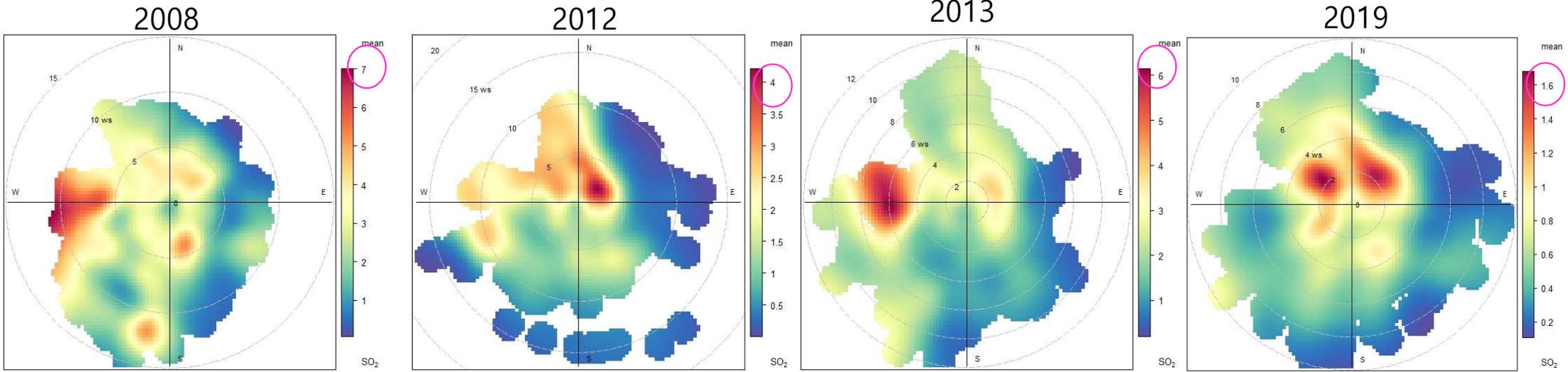
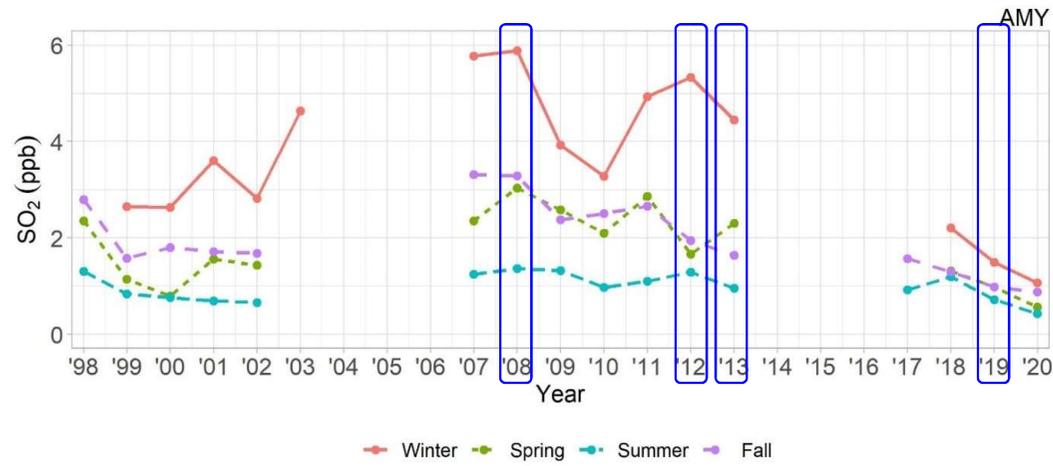
안면도 반응가스 계절별 장기간 변화 경향

— Winter — Spring — Summer — Fall

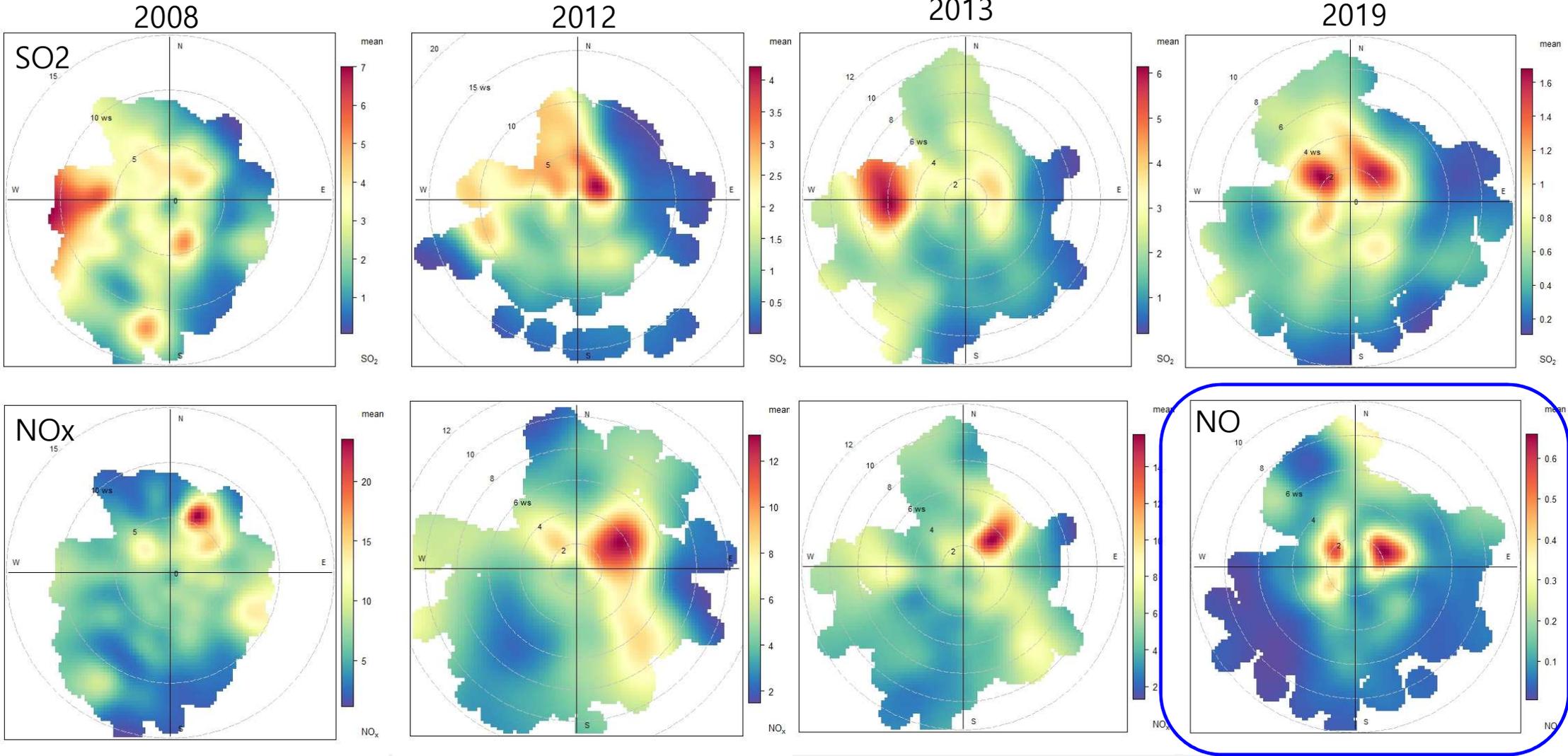


- O3농도는 봄에 높고, 겨울에 낮음
- CO, Nox, SO2농도는 겨울에 높고, 여름에 낮음

- 연변화는 최근일수록 농도가 점차 낮아짐
- SO2 연변화가 가장 뚜렷함



2008, 2012, 2013년 서/북서풍일 때 SO₂ 고농도 관측, 2019년에 SO₂ 고농도 패턴이 바뀜



NO_x는 반응성이 강하여 장거리 이동보다 국지 오염의 영향 큼.

2019년 SO₂ 농도분포는 NO 농도분포와 비슷하여, 국내 영향이 더 큰 것으로 보임.

안면도 에어로졸 장기간 변화 경향 및 분포특성

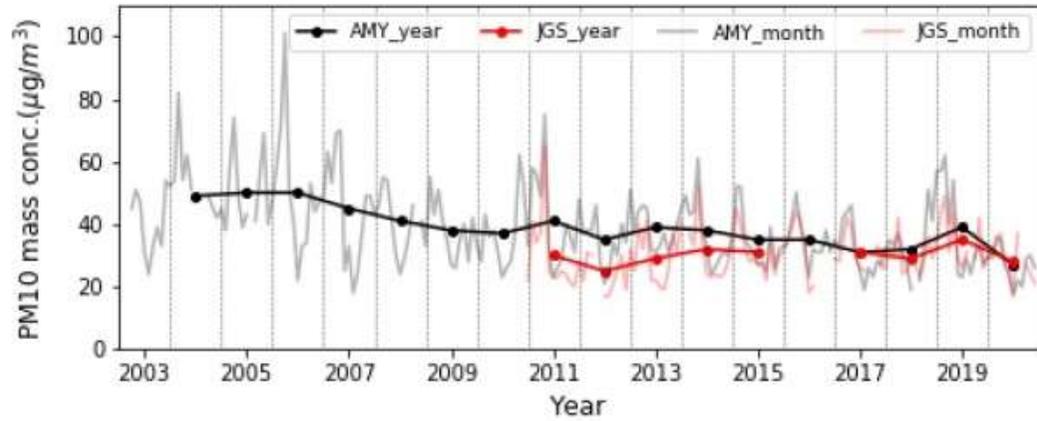
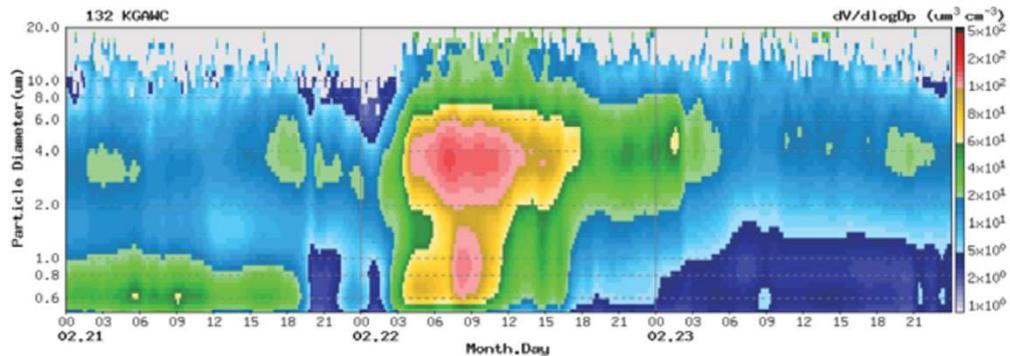


그림 6.2.2 안면도(AMY)와 고산(JGS) PM10 질량농도의 연변화(µg/m³).

[출처: 2020 지구대기감시보고서, 김정은 연구관]



2020.2.22. 황사

P. Laj et al.: A global analysis of climate-relevant aerosol properties

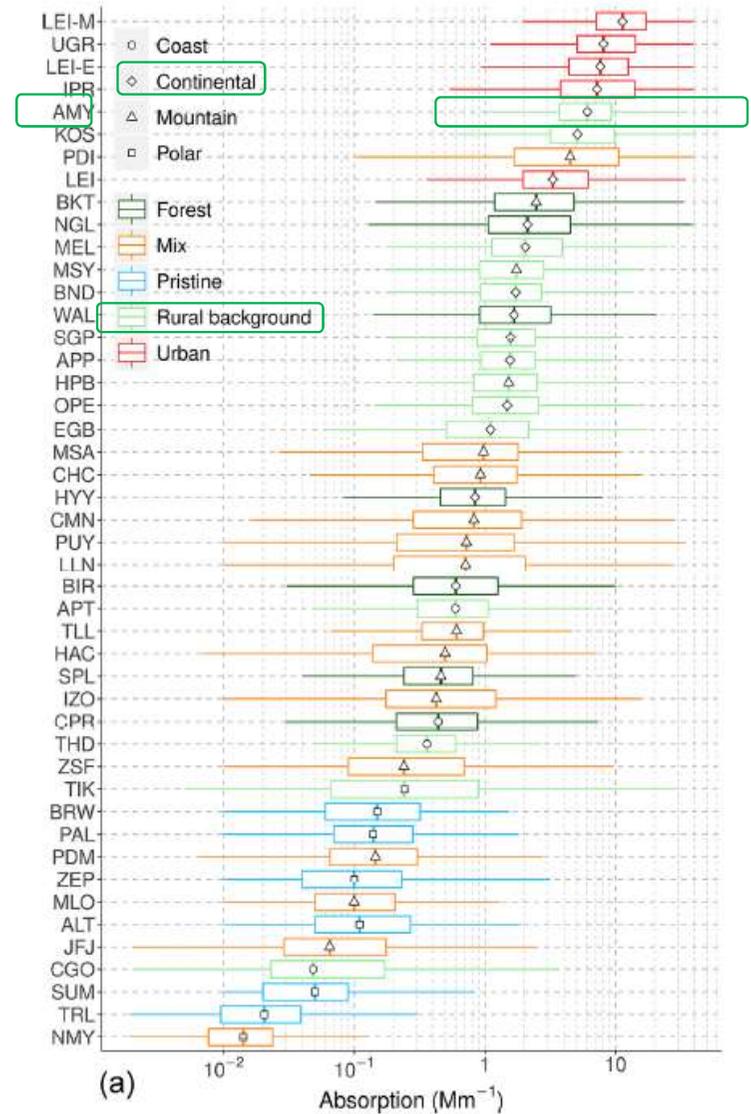


Fig.5. aerosol absorption coefficient (Laj et al., 2020)

한반도 오존층이 살아나고 있다

등록 :2014-09-17 16



14일 오후 서울 마포구 하늘공원을 찾은 시민들이 가을 경치를 즐기고 있다. 2014.9.14 (서울=연합뉴스)

기상청 "지속적 증가세 보여"

염화불화탄소류 줄어든 덕

한반도 상공의 오존층이 뚜렷하게 회복되고 있는 것으로 나타났다.

기상청은 17일 "한반도의 오존 전량이 서울의 경우 1985년 317DU(돌슨단위·대기 오존 총량 측정 단위)에서 지난해 325DU, 포항에서는 1994년 304DU에서 지난해 318DU로 지속적 증가 추세를 보이고 있다"고 밝혔다. 오존층은 성층권 가운데 상공 25~30km 부근에 오존이 밀집돼 있는 층으로, 자외선이나 우주선을 차단해 지구상 생물들의 생존에 영향을 준다. 돌슨단위(DU)는 섭씨 0도, 1기압 상태에서 1cm 상에 존재하는 오존의 두께를 10⁻⁹cm의 단위로 표현한 것으로, 지구 전체의 평균오존량은 두께 300DU(3mm) 정도이다.

오존층은 '프레온가스'로 알려진 염화불화탄소류(CFCs)에 의해 파괴돼 오존 전량이 1980~1990년대 초반에 지구 대부분 지역에서 감소 추세였다. 그러나 1987년 몬트리올의정서 체결 이후 프레온가스 사용이 규제되면서 2000년 이후로는 변동 없이 유지되고 있다.

한반도 오존 전량의 증가는 염화불화탄소류 농도의 감소와 직접적 연관이 있는 것으로 기상청은 분석했다. 안면도에서 관측된 염화불화탄소-11(CFC-11)과 CFC-113의 2013년 연평균 농도는 각각 236ppt(1조분의 1)와 73.7ppt로 전년보다 7.2ppt(3.04%), 1ppt(1.35%)씩 감소했다. 특히 CFC-11dms 1999년 관측 이래 꾸준한 감소세를 보이고 있다. CFC-12도 2013년 연평균 농도가 514ppt로 1.5ppt(0.29%)가 줄었다. 우리나라는 몬트리올의정서 체결 이후 염화불화탄소류의 생산이 줄어들다 2010년에 전면 중단됐다.

남극 회복세 뚜렷
우리나라 1997년 이후 1%/10년 오존전량 상승
(단기적 변화, 적도~중위도 변화 뚜렷한 확인 어려움)

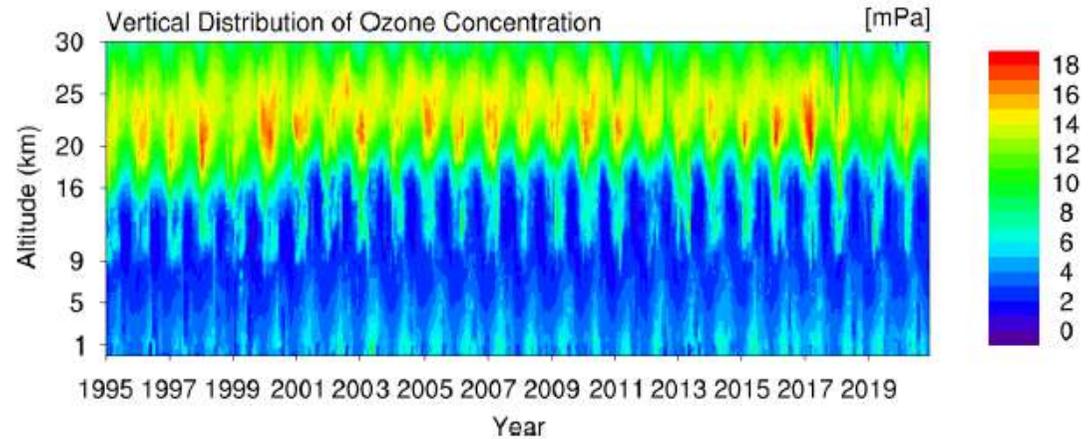


그림 8.5.4 포항 지점에서 관측된 연직오존 시계열.

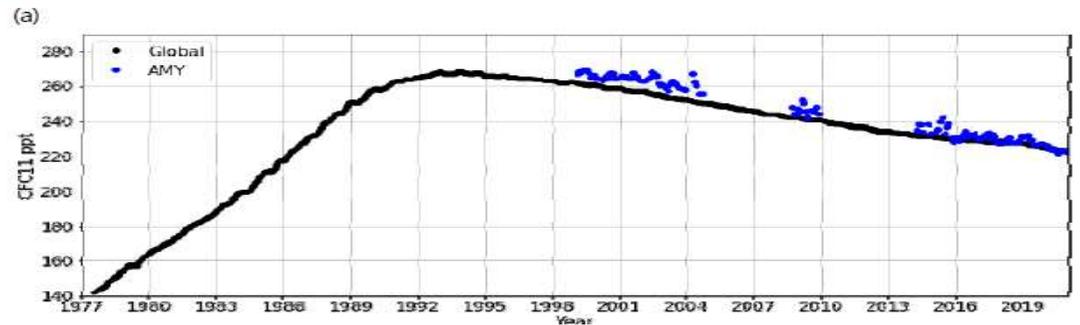


그림 4.6.1 안면도(AMY)와 전지구(Global)의 (a) CFC-11, (b) CFC-12, (c) CFC-113의 배경농도.

[출처: 2020지구대기감시보고서, 신대근 연구원]

태양복사와 지구복사 측정

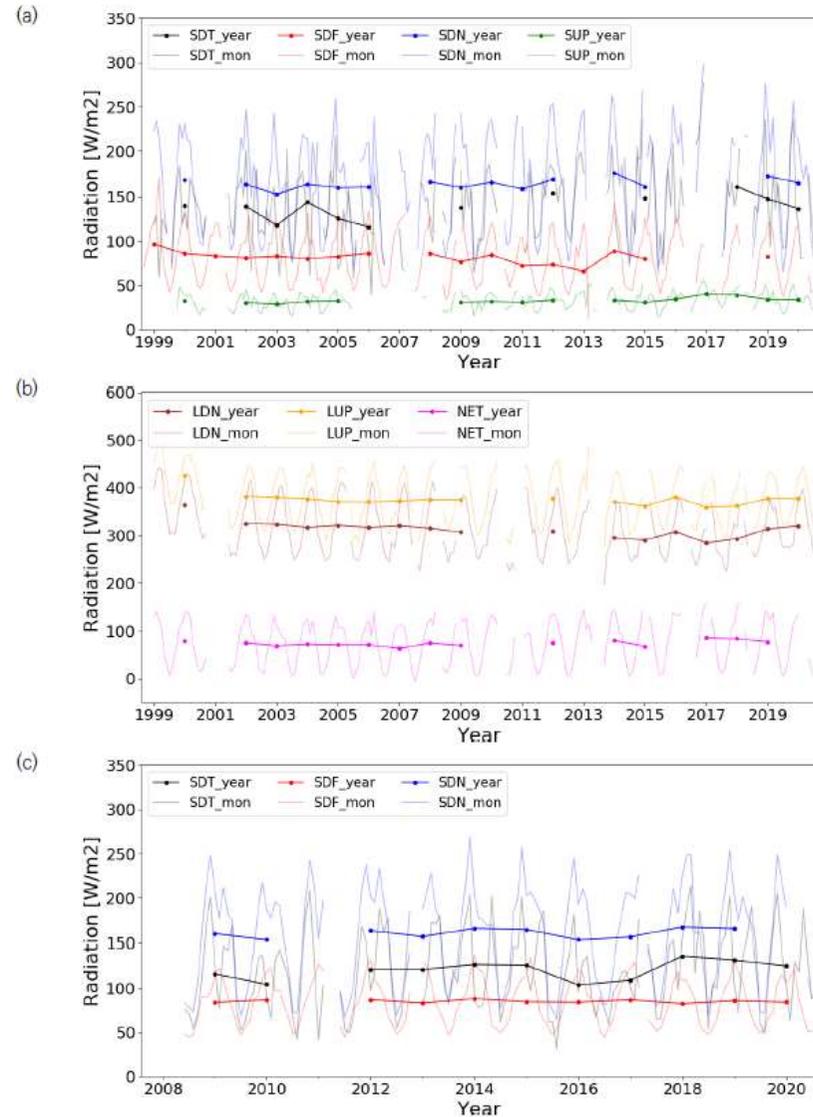
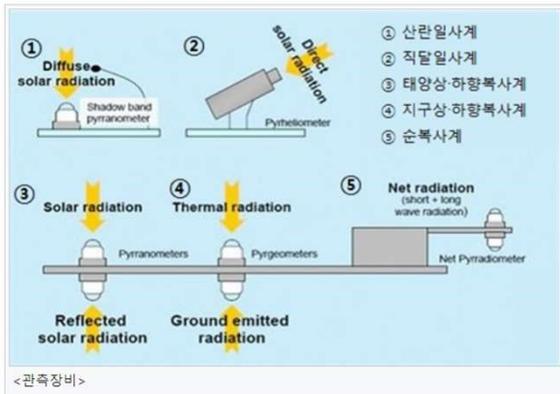


그림 7.6.2 대기복사 관측기간 동안의 (a, b) 안면도(AMY)와 (c) 고산(JGS) 복사량 변화(SDT:직달일사, SDF:산란일사, SUP:태양상향복사, SDN:태양하향복사, NET:순복사, LUP:지구상향복사, LDN:지구하향복사). [출처: 2020 지구대기감시보고서, 신대근 연구원]

기상청, 강수화학 분석능력 '세계 1위'

기사일력 2012-11-22 06:00

【서울=뉴시스】배민욱 기자 = 기상청이 강수화학 분석능력에서 세계 1위를 차지했다.

기상청은 지난 8월말부터 두달간 진행된 지구대기감시(GAW)프로그램 '강수화학 국제비교실험'에서 49개국 78개 기관 중 최고의 분석능력을 가진 것으로 나타났다고 22일 밝혔다.

강수화학 성분분석은 대기 중에 떠다니는 오염물질이 산성비를 발생시켜 하천, 토양의 생태계 파괴와 건물의 부식촉진 등 심각한 환경문제를 일으키면서 시작됐다.

이후 대기·육지·해양의 기후변화파악 등 광범위한 분야에 활용되면서 자료의 중요성과 더불어 신뢰도가 국제적으로 강조되고 있는 상황이다.

지구대기감시(GAW) 강수화학 데이터센터(WDCPC)에서 보낸 미지시료 3개를 각국의 참여기관이 분석해 그 능력을 테스트하는 것이 강수화학 국제비교실험이다.

우리나라는 이번 실험에서 미지시료 속에 1000만분의 일(0.1 ppm) 이하로 존재하는 성분들의 농도를 분석한 결과 WDCPC의 기준값에 가장 근접한 최고의 성적을 거뒀다고 기상청은 전했다.

mkbae@newsis.com

산성비 < pH 5.6

표 10.3.1 2020년 안면도, 고산, 울릉도 강수의 부피가중평균 pH(산성도)

기 간	감시소	안면도	고 산	울릉도
2020년		5.23	5.07	4.98
최근 10년 (2010~2019년)		4.74	4.93	4.80
전체 기간 (관측기간)		4.70 (1997~2019년)	4.88 (1998~2019년)	4.84 (1997~2019년)

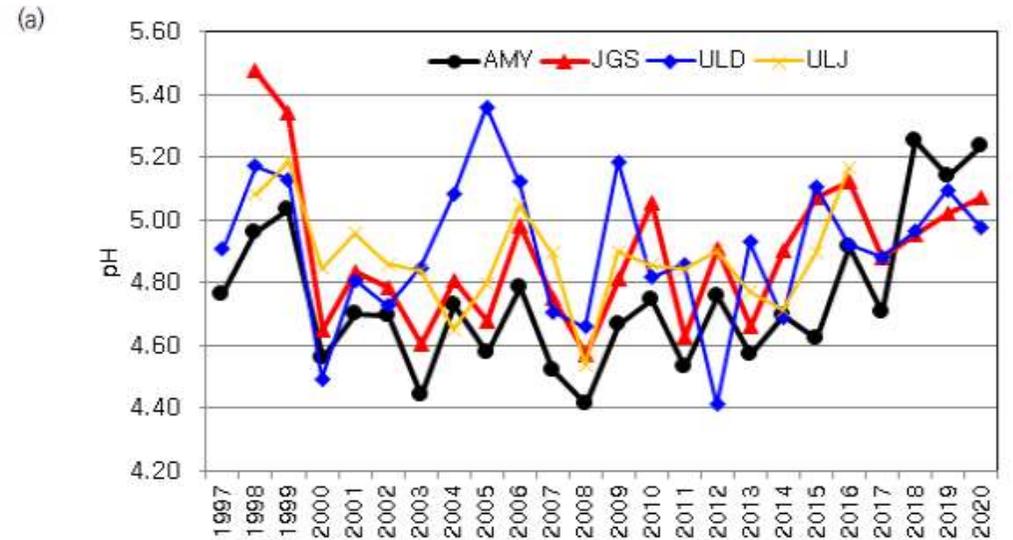


그림 10.3.1 (a) 연도별, (b) 계절별 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD)의 부피가중평균의 산성도 변화.

[출처: 2020 지구대기감시보고서, 고희정 연구사]

기후변화감시 자료의 품질관리



표준의 중요성



필스너 우르켈 (Pilsner Urquell)

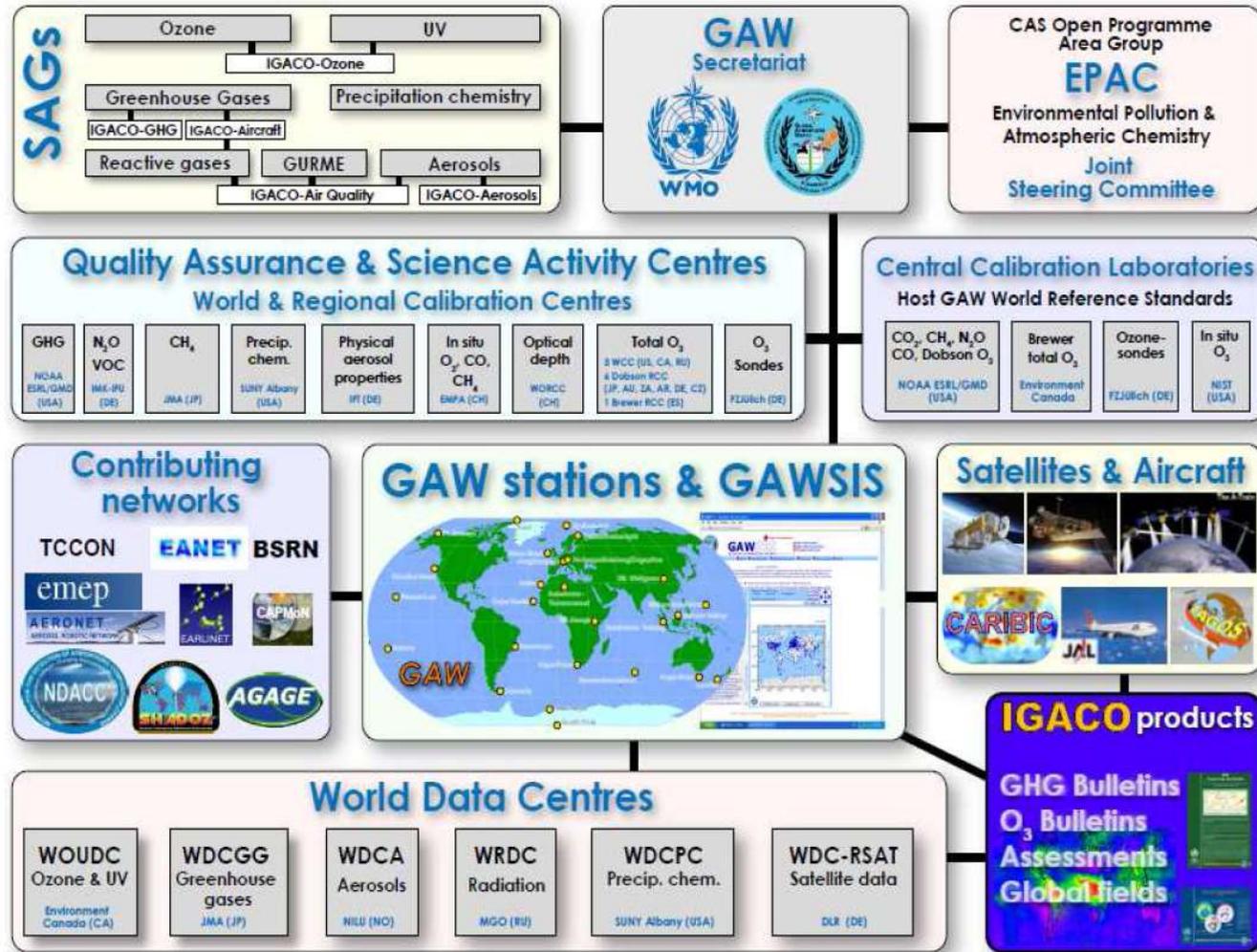
체코 플젠 지방의 라거 원조

플젠시민 누구나 맥주제조, 영업 → 맛의 품질 저하
→ 1838년, 36배럴 사건 (~ 2L 삼다수 2900개)

→ 맛의 **표준화**

; 전통방식의 오크통 숙성 맥주와 공장비교하여 맛의 **품질 보증**

품질보증을 위한 활동들 - GAW quality system



WMO 홈페이지 > Gaw > Research infrastructure > Qaqc

기상청 육불화황 세계표준센터 (WCC for SF₆) since 2013

Global warming potential (GWP) values relative to CO₂

(IPCC 5th AR, 2014)

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second Assessment Report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	21	25	28
Nitrous oxide	N ₂ O	310	298	265
Sulfur hexafluoride	SF ₆	23,900	22,800	23,500

대기중 수명 3200yr

- 육불화황 세계표준센터의 역할

- 1) SF₆ 분석지침
- 2) 적합성평가/ 지원
- 3) 국제비교실험(순차순환, 상호비교 등)
- 4) 교육

표 4.5.1 2020년 안면도, 고산, 울릉도, 전지구의 SF₆ 농도 (단위 : ppt)

	안면도	고산	울릉도	전지구 ¹
2020년 평균값	10.5	10.5	10.5	10.3
2019년 대비 절대 증가값 ²	0.2	0.2	0.2	0.3
최근 10년간 절대 증가값 평균 (2010~2019년)	0.3 ppb/year	-	-	0.3 ppb/year

¹ 본 보고서에 명시된 전지구 농도는 미국해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)의 발표값으로 향후 변경될 수 있음. WMO에서 발표하는 전지구 농도는 통상 10월에 발표됨.

² 절대 증가값 = 올해 연 평균값 - 전년도 연 평균값

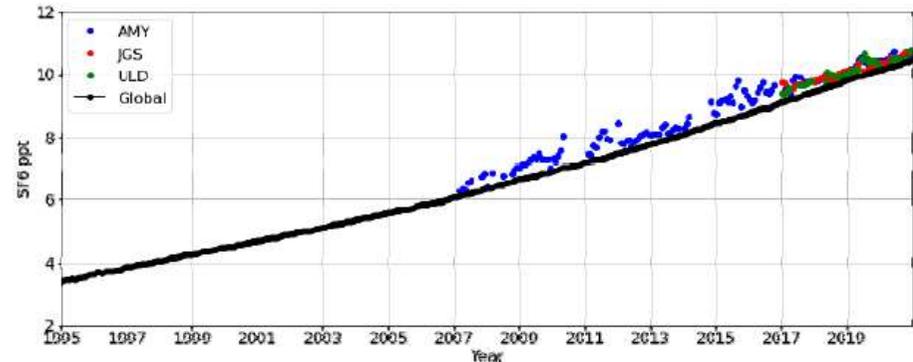


그림 4.5.1 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD), 전지구(Global)의 SF₆ 배경농도.

[출처: 2020지구대기감시보고서, 이해영 연구사]

품질보증을 위한 활동들 - 자체 교정, 국내외 교정, 비교실험 등

감시분야	품질관리를 위한 교정, 비교실험 등
온실가스	GAW scale 표준가스, RRT 등
반응가스	KRISS 표준가스, 정도검사, WCC 비교실험 참여
에어로졸	표준입자, 정도검사, WCC 비교실험 참여
성층권오존/자외선	세계복사센터 교정
대기복사	기상청 국가기준기, 세계복사센터 교정
총대기침적	국제비교실험(미지시료 분석)

요약

- 국내 3개 지역급 GAW 관측소 및 1개 기후변화감시소 운영
- 온실가스, 반응가스, 에어로졸, 성층권오존/자외선, 대기복사, 총대기침적
125대 이상의 측정장비들 대부분 실시간 운영
- 매 해 6월, 작년 측정값을 추가한 장기간 측정자료에 대한 지구대기감시보고서 발간
- 측정값의 품질을 보증하기 위한 GAW scale 표준 사용,
WCC 비교실험 참가, WCC 기준장비와의 비교 등의 활동으로 품질 유지
- 품질관리된 L2 WMO의 세계자료센터와 국가승인통계에 제출

IPCC 6차 보고서 중 SLCFs

Short-lived climate forcers(SLCFs) - 단기체류기후변화유발물질

SLCFs는 기후에 영향을 미치며, 대부분의 경우 대기오염물질이다.

Direct SLCFs : CH_4 , O_3 , HFCs, HCFCs, aerosols

Indirect SLCFs: NO_x , CO, NMVOCs, SO_2 , NH_3

Aerosols : SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , carbonaceous aerosols, mineral dust, sea spray

대기중에서 몇 시간에서 몇 달까지만 지속되므로 공간적으로 매우 다르게 분포.
(메탄, 할로겐화 화합물 제외)

SLCFs는 복사에 직접 관여하거나 화학과정을 통해 복사에 영향주며, 이로 인한 기후영향은 배출이나 형성된 후 주로 처음 20년 동안 일어난다.

기후 냉각화 또는 온난화 효과가 있고, 강수와 다른 기후 변수에도 영향을 미친다.

메탄과 일부 할로겐화 화합물은 기후조약에 포함되었지만, 다른 SLCF는 연소 과정에서 CO_2 와 함께 배출되는 경우가 많음

Sources and processes contributing to **SLCFs** and their effects on the climate system

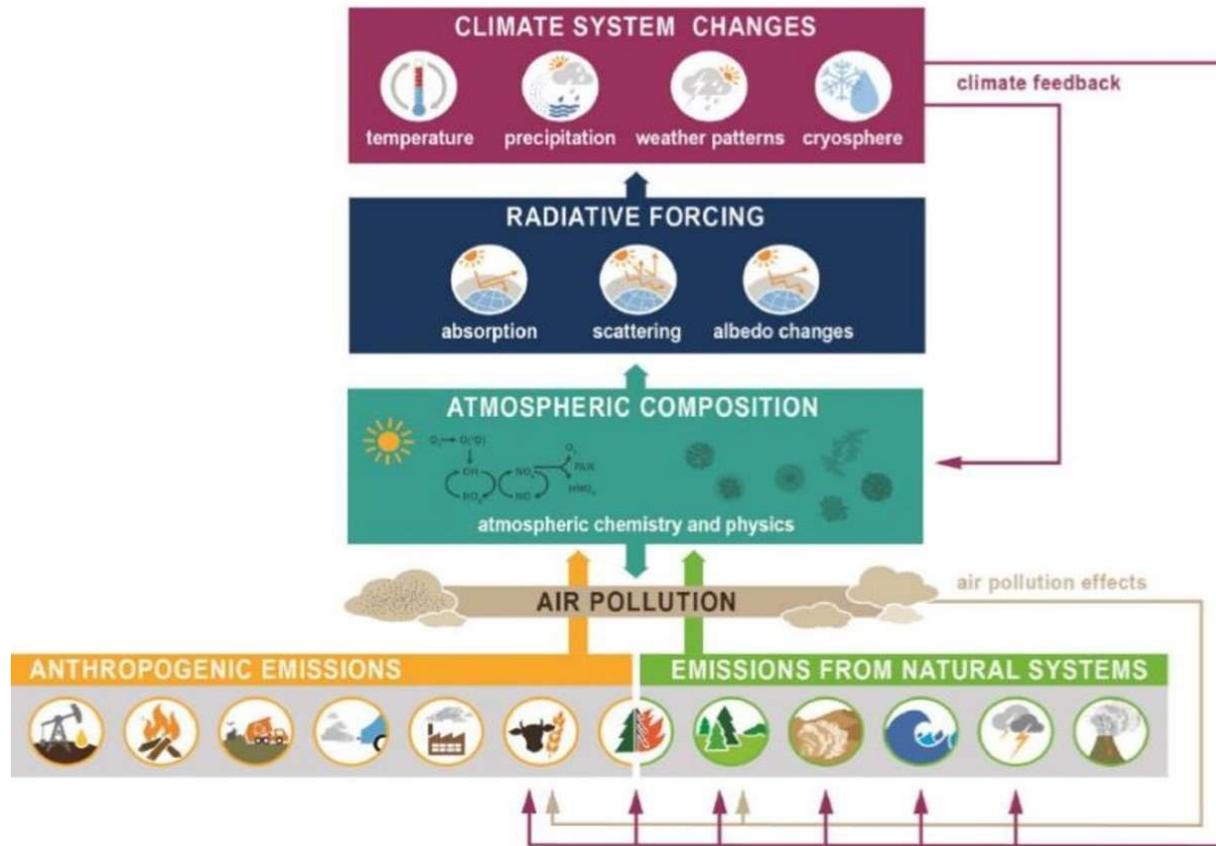
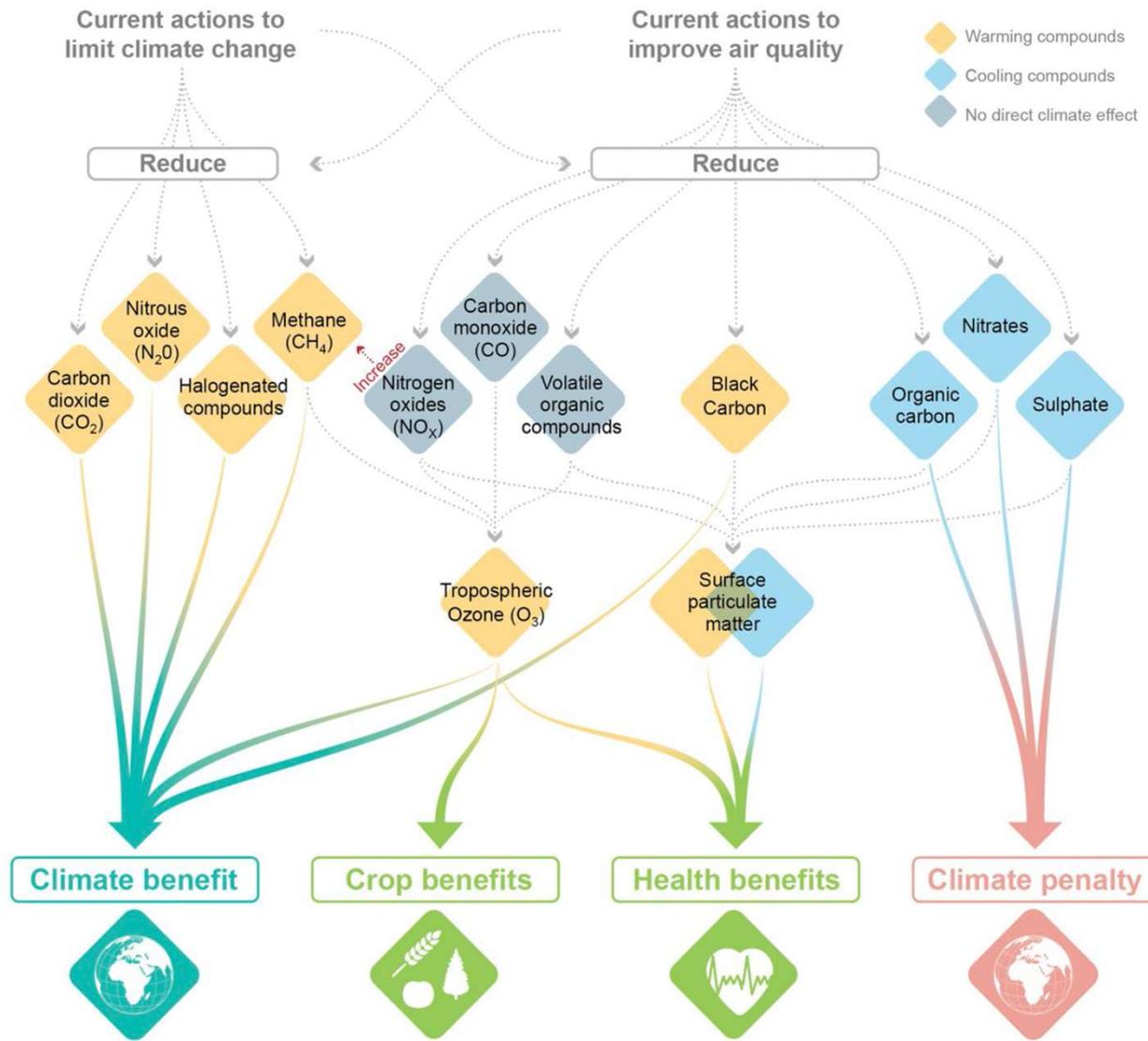


Fig 6.1 단기체류 기후변화유발물질(Short-lived Climate Forcers)과 기후시스템과의 상호작용

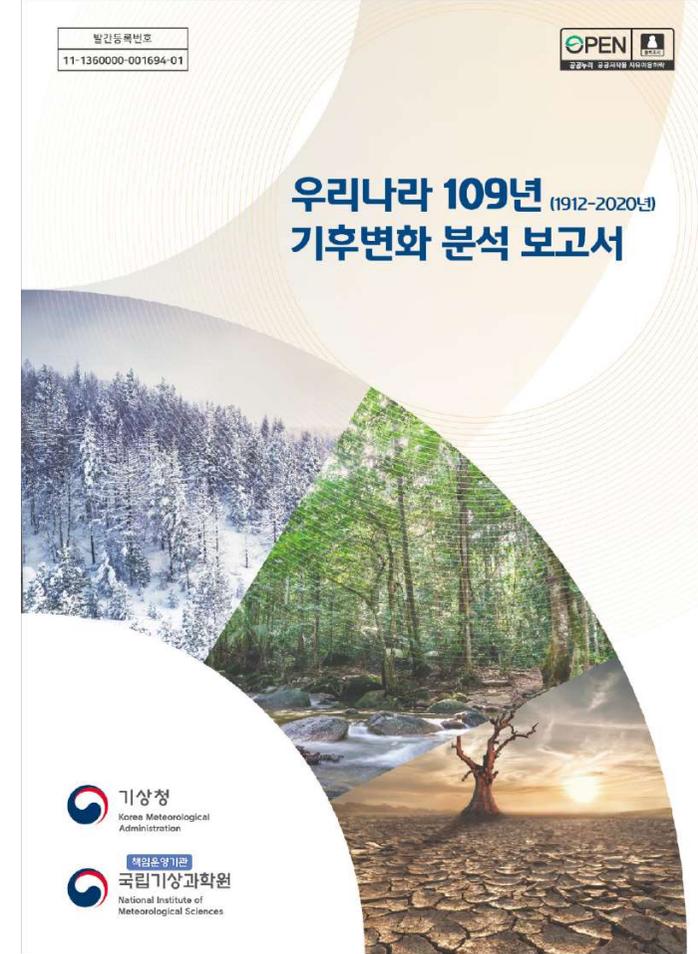
Compounds	Source Type ^a	Lifetime	Direct	Indirect	Climate Forcing	Other effects on climate	WHO AQ guidelines ^b
CH ₄	Primary	~9 years ~12 years (perturbation time)	CH ₄	O ₃ , H ₂ O, CO ₂	+		No ^c
O ₃	Secondary	Hours - weeks	O ₃	CH ₄ , secondary organic aerosols, sulphates	+	Ecosystem	100 µg m ⁻³ 8-hour mean
NO _x (= NO + NO ₂)	Primary	Hours - days		O ₃ , nitrates, CH ₄	+/-	Ecosystem	40 µg m ⁻³ annual mean 200 µg m ⁻³ 1-hour mean
CO	Primary + Secondary	1-4 months		O ₃ , CH ₄	+		No
NMVOCs	Primary + Secondary	Hours - months		O ₃ , CH ₄ , organic aerosols	+/-		No
SO ₂	Primary	Days (trop.) to weeks (strat.)		sulphates, nitrates, O ₃	-		20 µg m ⁻³ 24-hour mean 500 µg m ⁻³ 10-minute mean
NH ₃	Primary	Hours		Ammonium Sulphate, Ammonium Nitrate	-	Ecosystem	No
HCFCs	Primary	Months – years	HCFCs	Stratospheric O ₃	+/-		No ^c
HFCs	Primary	Days – years	HFCs		+		No ^c
Halons and Methylbromide	Primary	Years	Halons and Methylbro mide	Stratospheric O ₃	+/-		No ^c
Very Short-Lived halogenated Species (VSLs)	Primary	less than 0.5 year		Stratospheric O ₃	-		No ^c
Sulphates	Secondary	Minutes – weeks	Sulphates		-	Cloud	as part of PM ^d
Nitrates	Secondary	Minutes – weeks	Nitrates		-	Cloud	as part of PM ^d
Carbonaceous aerosols	Primary + Secondary	Minutes to Weeks	BC, OA		+/-	Cryo, Cloud	as part of PM ^d

Table 6.1



FAQ6.2. Fig.1. Links between action aiming to limit climate change and actions to improve air quality.

우리나라 기후변화 현황이 궁금하시다면..



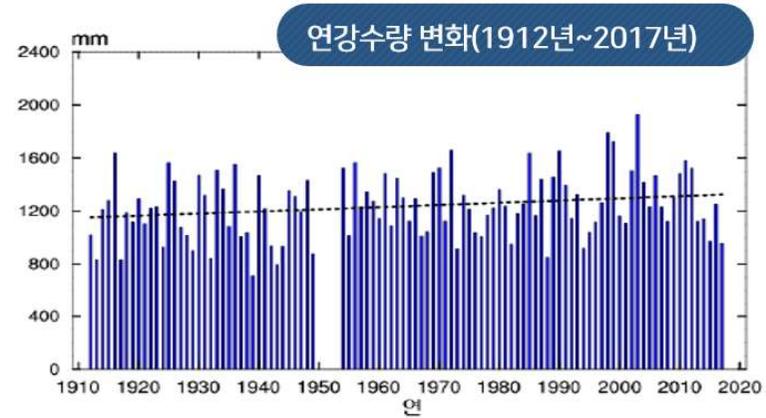
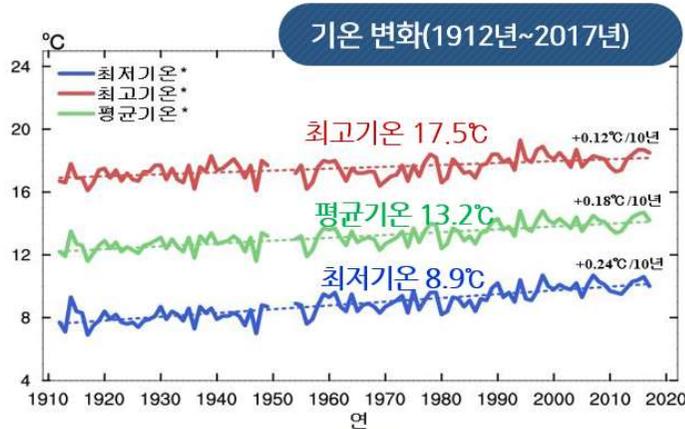
그리고 **기후정보포털**을 검색하세요

◆ (한반도) 106년(1912~2017년) 동안 우리나라 연평균기온은 13.2°C, 연강수량은 1,237.4mm

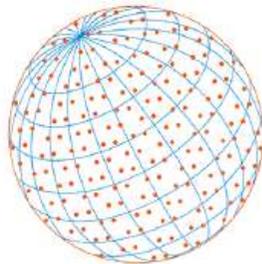
평균 기온	12.6°C (1912~1941년) $\xrightarrow{1.4^\circ\text{C 상승}}$ 14.0°C (1988~2017년)	
강수량	1181.4mm (1912~1941년) $\xrightarrow{124.1\text{mm 증가}}$ 1305.5mm (1988~2017년)	
계절 길이	여름은 19일 길어졌고, 겨울은 18일 짧아졌음	



※ 100년 이상 기상관측자료를 보유하고 있는 6개 관측소(강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포) 자료 활용,
 ※ 한국전쟁 기간인 (1950~1953년) 제외



측정망 자료 활용 연구의 예



**Aerosol and Air Quality
Research**

Special Issue:

Special Issue on COVID-19 Aerosol
Drivers, Impacts and Mitigation (XII)

ORIGINAL RESEARCH

<https://doi.org/10.4209/aaqr.200567>

Global Air Quality and COVID-19 Pandemic: Do We Breathe Cleaner Air?

Mehdi Amouei Torkmahalleh^{1*}, Zarina Akhmetvaliyeva¹, Ali Darvishi Omran², Faezeh Darvish Omran³, Mohadeseh Kazemitabar³, Mahtab Naseri³, Motahareh Naseri¹, Hamed Sharifi³, Milad Malekipirbazari⁴, Enoch Kwasi Adotey¹, Soudabeh Gorjinezhad^{1,5}, Neda Eghtesadi¹, Sergei Sabanov⁶, Andrés Alastuey⁷, María de Fátima Andrade⁸, Giorgio Buonanno^{5,9}, Samara Carbone¹⁰, Diego Ernesto Cárdenas-Fuentes¹¹, Flemming R. Cassee^{12,13}, Qili Dai¹⁴, Andrés Henríquez¹⁵, Philip K. Hopke¹⁶, Petri Keronen¹⁷, Haider Abbas Khwaja^{18,19}, Jong Kim²⁰, Markku Kulmala¹⁷, Prashant Kumar²¹, Jonilda Kushta²², Joel Kuula²³, Jordi Massagué⁷, Tamsin Mitchell²⁴, Dennis Mooibroek¹², Lidia Morawska⁹, Jarkko V. Niemi²⁵, Soulemane Halif Ngagine²⁶, Michael Norman²⁷, Beatriz Oyama⁸, Pedro Oyola¹⁵, Fatma Öztürk²⁸, Tuukka Petäjä¹⁷, Xavier Querol⁷, Yousef Rashidi²⁹, Felipe Reyes¹⁵, Matthew Ross-Jones³⁰, Tunga Salthammer³¹, Chrysanthos Savvides³², Luca Stabile⁵, Karin Sjöberg³³, Karin Söderlund³¹, Ramya Sunder Raman^{34,35}, Hilikka Timonen²³, Masakazu Umezawa³⁶, Mar Viana⁷, Shanju Xie³⁷

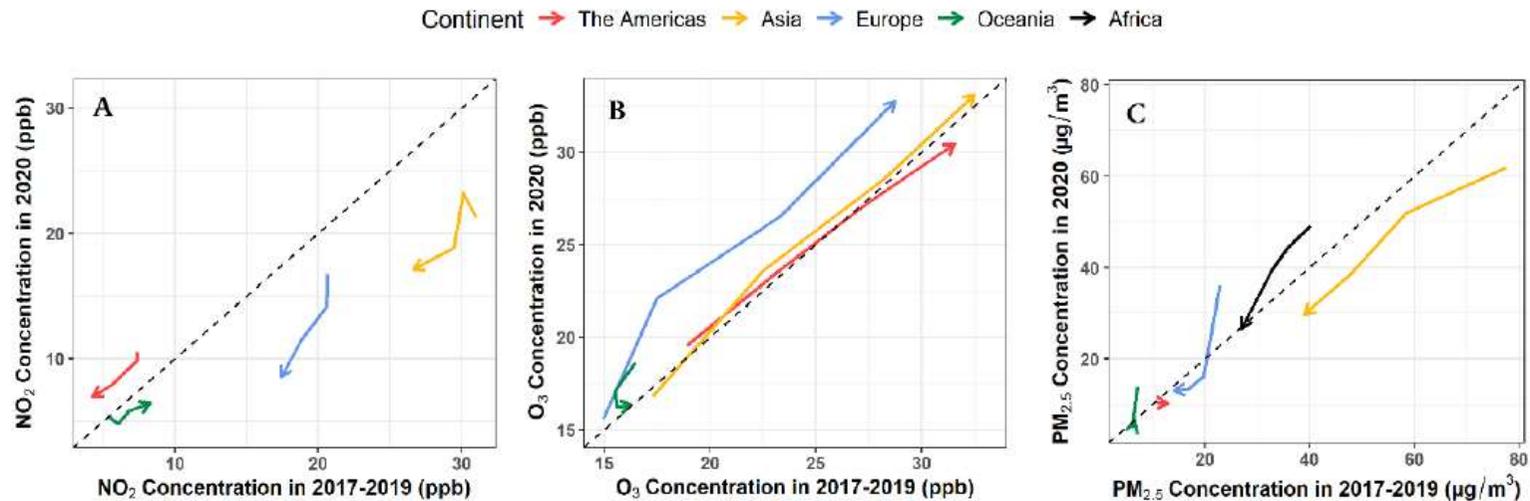


Fig. 1. The average monthly variations of PM_{2.5}, NO₂, and O₃ from January to April 2020 and the average 2017–2019 in different continents. The end of the arrow is January, and the tip of the arrow is April- Dotted lines refer to the equal concentration of the given pollutant in 2020 and average 2017–2019.

- 5대륙 34개국 141개 도시 458개 측정소 자료, 2020년 1~4월 자료 분석 및 2017~2019년 동월 자료 비교
- NO₂ 34% ↓ : 디젤차량, 항공, 선박운송 감소
- O₃ 86% ↑ : 북반구 온도, 일조 강도 증가, NO감소로 인한 O₃ titration 감소, VOC limited(주로 도심지)
- PM_{2.5} 15% ↓ : 운송, 산업 배출 감소, 그러나 lockdown동안 PM_{2.5} 증가한 지역은 SOA 형성으로 추측

Article

Changes in Air Quality during the COVID-19 Pandemic and Associated Health Benefits in Korea

Ji Hoon Seo ^{1,2}, Ji Soo Kim ³, Jinho Yang ³, Hyunjun Yun ³, Minwoo Roh ⁴, Jung Woon Kim ¹, Songhun Yu ¹, Na Na Jeong ¹, Hyun Woo Jeon ³, Joung Sook Choi ³ and Jong Ryeul Sohn ^{1,2,3,*}

- 사회적 거리두기(SD)와 대기오염물질이 대기질 변화에 준 영향
- PM2.5, PM10, NO2 31%, 61%, 33% 감소(3년간 자료와 비교)
- SD 이후 PM2.5/PM10 24.% 감소 → 인위적 배출 감소로 인함
- 대기질 지수 개선 → 사망/조기사망 예방, 의료비 감소

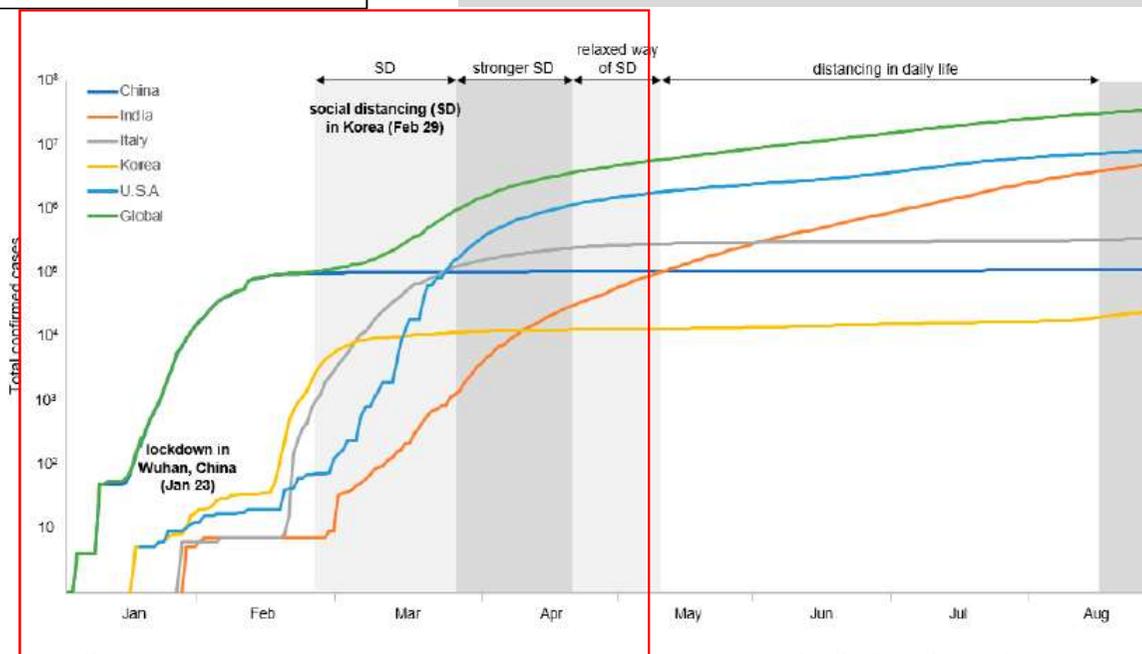


Figure 1. The cumulative number of COVID-19 cases worldwide. The highlighted shadow represents the level of social distancing (SD) in Korea. The data were collected from the WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard [2].

PM2.5

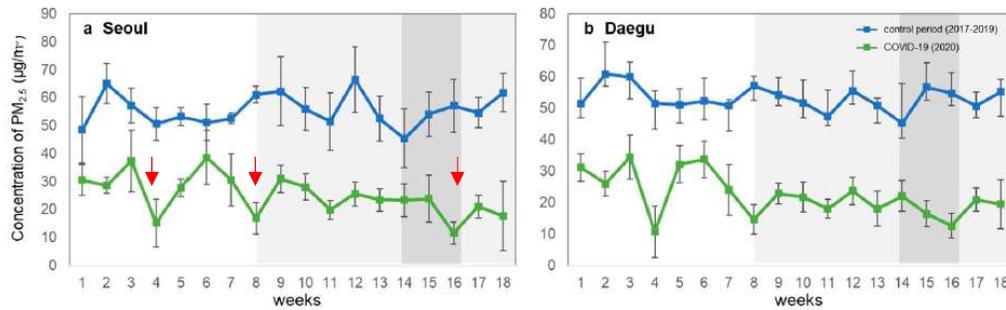


Figure 3. Comparison of average PM_{2.5} concentrations by week between 2020 and the previous three years in (a) Seoul and (b) Daegu. Highlighted shadow represents the level of social distancing. The error bar means standard deviation.

PM10

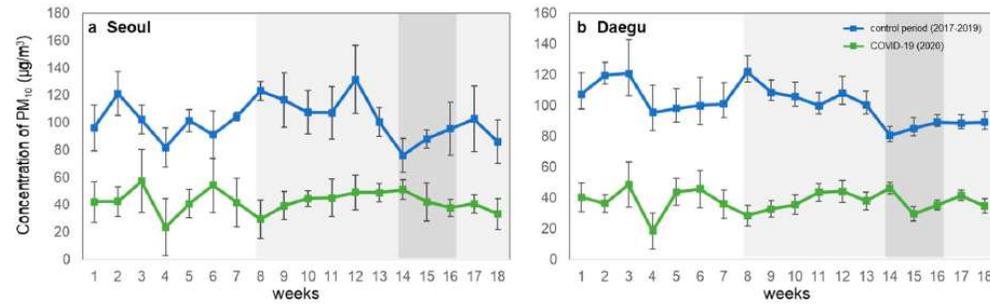


Figure 4. Comparison of average PM₁₀ concentrations by week between 2020 and the previous three years in (a) Seoul and (b) Daegu. Highlighted shadow represents the level of social distancing. The error bar means standard deviation.

NO2

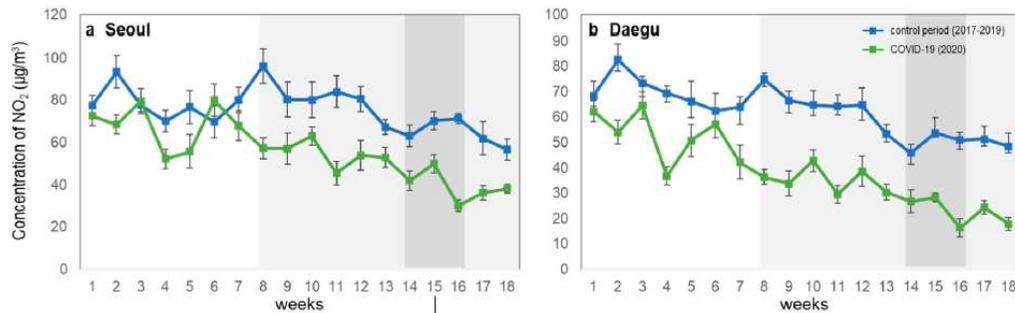


Figure 6. Comparison of average NO₂ concentrations by week between 2020 and the previous three years in (a) Seoul and (b) Daegu. Highlighted shadow represents the level of social distancing. The error bar means standard deviation.

PM2.5/PM10

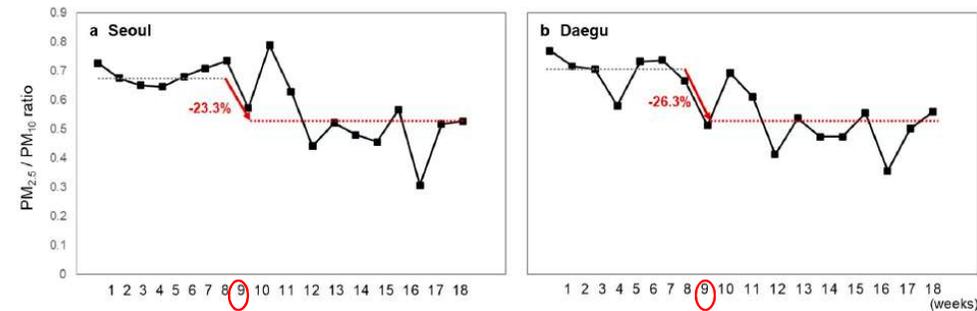


Figure 5. Changes in weekly PM_{2.5}/PM₁₀ ratios in (a) Seoul and (b) Daegu. The black dotted line represents the average ratio before SD, and the red dotted line represents the average ratio after SD. The reduction in the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio is highlighted.

- PM2.5, PM10, NO2 농도
2020년 농도가 3년평균농도보다 낮음
- 우리나라 SD전(1~7주) PM2.5 감소는 중국영향
1월초 설연휴 및 1월말 COVID19 봉쇄
- SD 이후 PM2.5/PM10 감소
→ 인위적 배출 감소로 인함
- SD이후 가파른 교통량 감소로 NO2 농도 감소
- 중국 기원 PM 80%, NO2 40% (by LTP)
→PM에 비해 1~4주 NO2농도 감소 약함

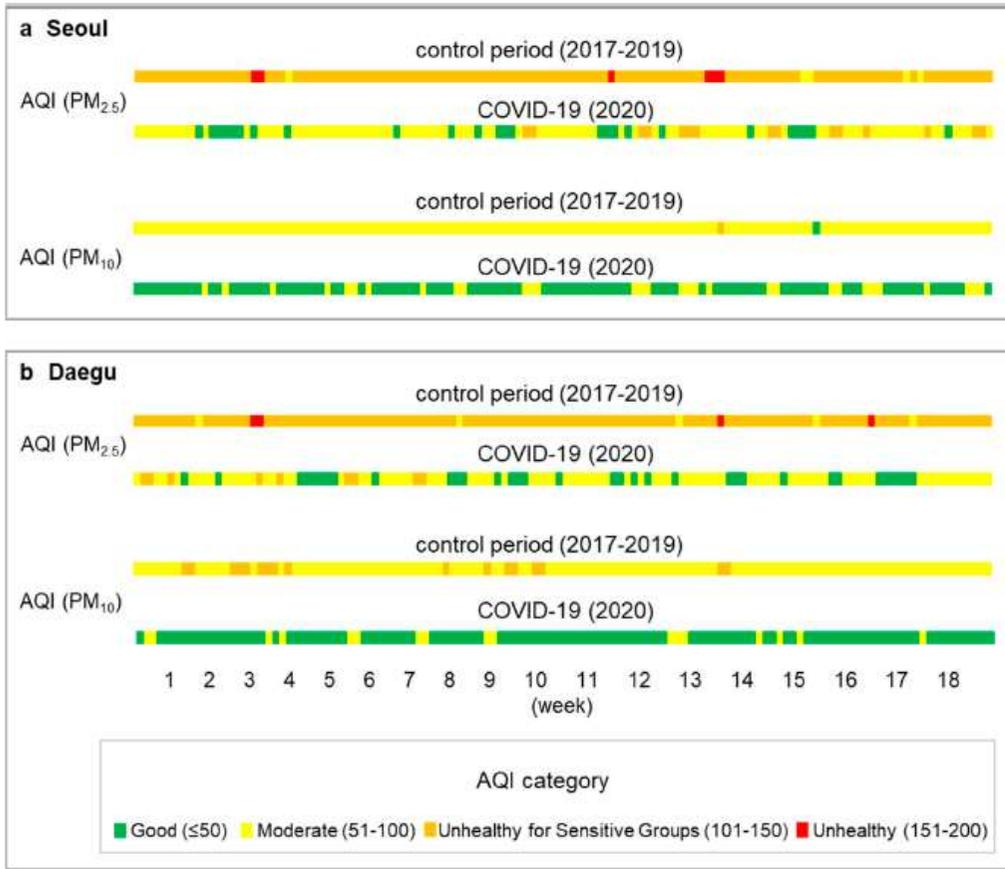


Figure 8. Comparison of daily AQI distribution of PM_{2.5} and PM₁₀. Each AQI color indicates a different level of health concern. ((a): Seoul and (b): Daegu)

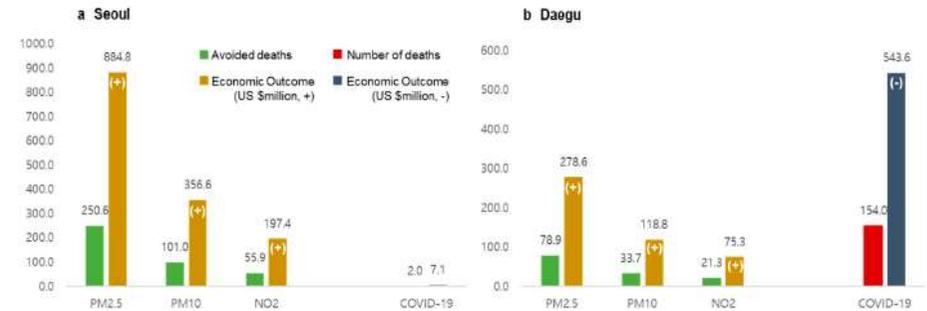


Figure 9. Avoided deaths from PM_{2.5}, PM₁₀, and NO₂ reductions over 18 weeks, and associated economic outcomes (+). The economic outcome from COVID-19 deaths was evaluated as (-). ((a): Seoul and (b): Daegu)

- PM으로 본 2020년 AQI가 크게 향상
- 대기질 개선에 의한 사망 예상 수 감소
→ 건강 편익(health benefit) 이득
- COVID-19로 인한 건강 편익 손실이 더 큼
- 기상상황을 반영한 더 정확한 대기질 분석 필요

기상·기후정보를 접목한 대기환경 연구 사례

곽 경 환

강원대학교 환경융합학부

충남연구원 서해안기후환경연구소, 2022.04.20(수)

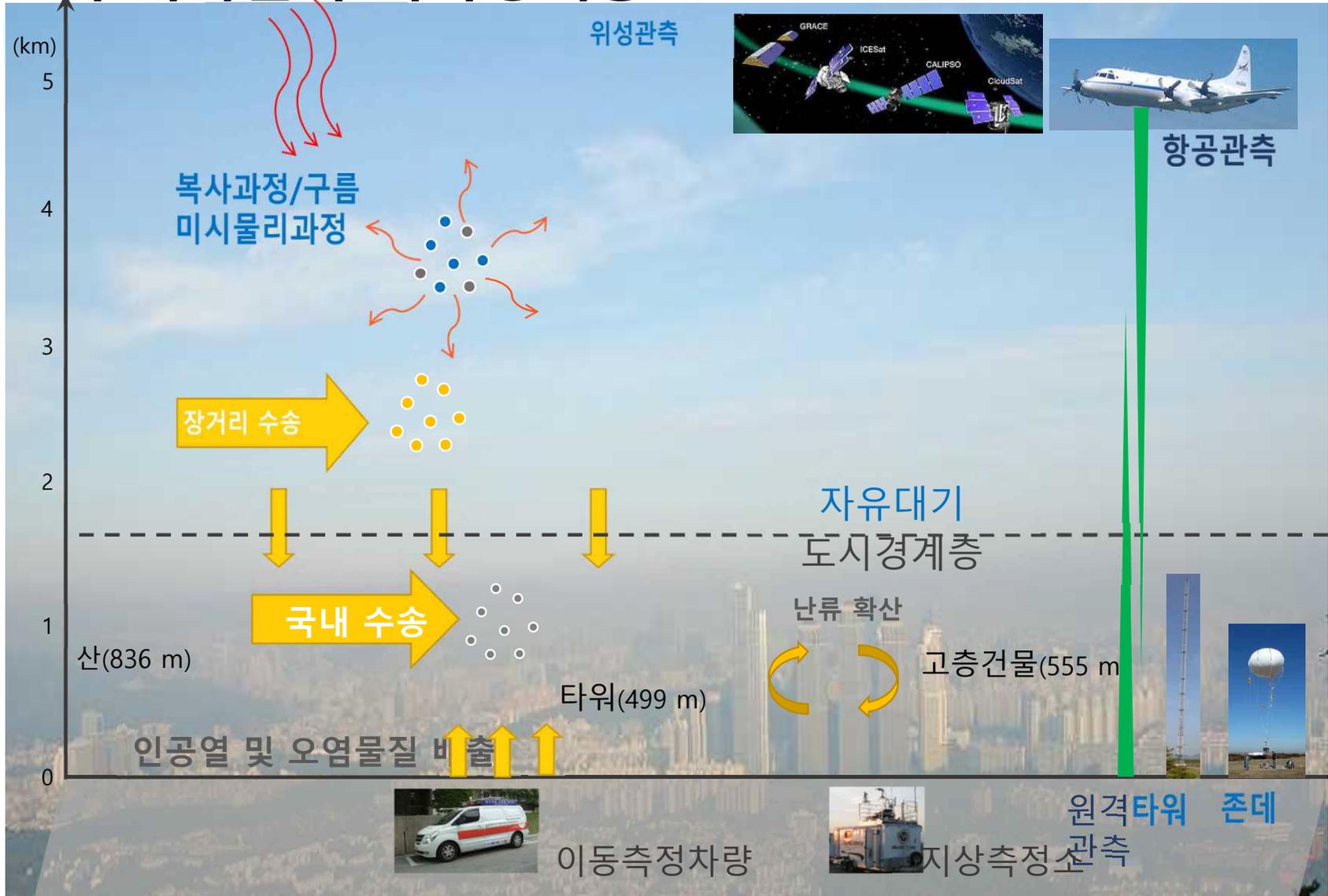
도시 대기질과 대기경계층



자유대기
도시경계층

@ Istanbul, 23 Sep
2019

도시 대기질과 대기경계층



강원대 대기질예측연구실 연구 동향

1. 고해상도 기상-대기질 모델링 시스템 구축 연구
2. 대기 순환 및 확산 지표를 이용한 고농도 PM_{2.5} 사례 연구
(+) 고층과 지상의 농도 시계열 비교: 외부 유입 사례
3. 기상과 대기질의 연직 분포로 지역 내 배출량 추정
4. 드론을 이용한 기상과 대기질 모니터링

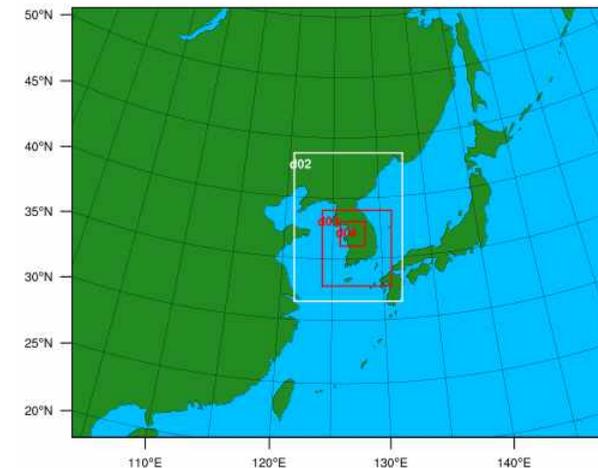
고해상도 기상-대기질 모델링 시스템 구축 연구

❖ WRF v3.9.1을 이용한 WRF-UCM 모델링

→ 중부권(수도권, 영서일부, 충청일부) 대상 1km 영역 설정

Model version	WRF v4.2 / WPS v4.3 WRF v3.9.1 / WPS v4.3			
Domain	D01	D02	D03	D04
Horizontal grid size	27 km	9 km	3 km	1 km
Dimension	181×143×39	109×148×39	208×226×39	220×220×39
IC/BC	FNL reanalysis data			
SST	OISST / FNL reanalysis data			
Land surface model	Noah LSM			
PBL parameterization	YSU scheme			
Urban canopy model	Single-Layer UCM			
LULC	USGS / MODIS / KME (2020 update version)			
Time step	60 s			

WPS Domain Configuration



- 모의 방법 : 96시간 모의(24시간 spin-up)
 - 모의 소요 시간 (4일 모의 시)
 - (3km 격자) 27 - 9 - 3 km : 약 2시간 30분 소요 (128 cores)
 - (1km 격자) 27 - 9 - 3 - 1 km : 약 8시간 30분 소요 (128 cores)
- 약 3.5배 증가

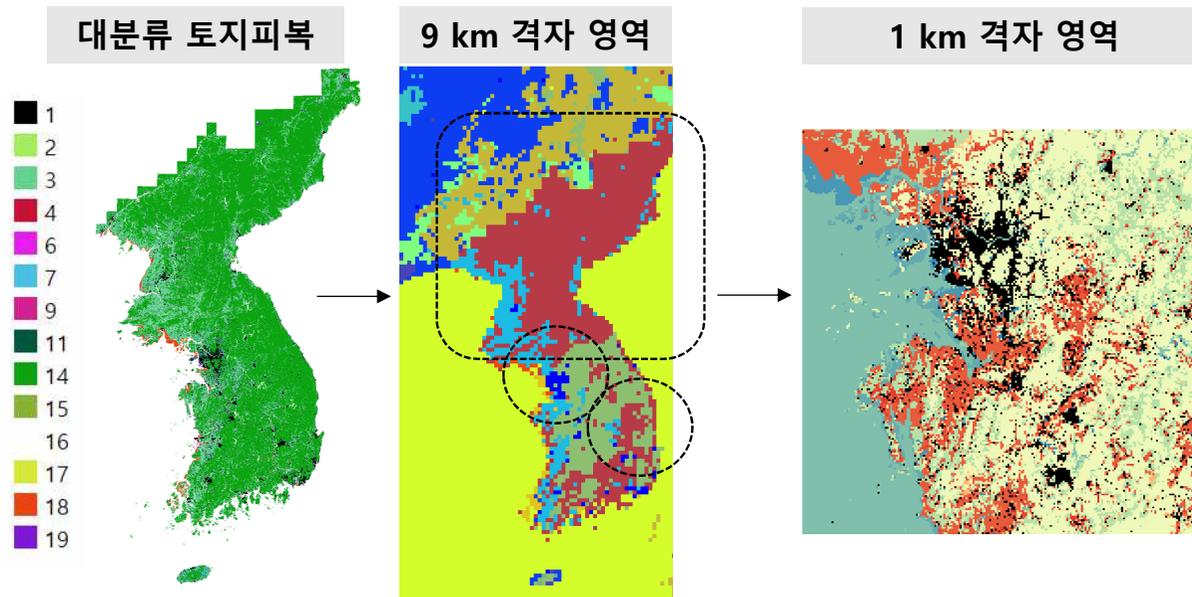
고해상도 기상-대기질 모델링 시스템 구축 연구

❖ WRF v3.9.1을 이용한 WRF-UCM 모델링

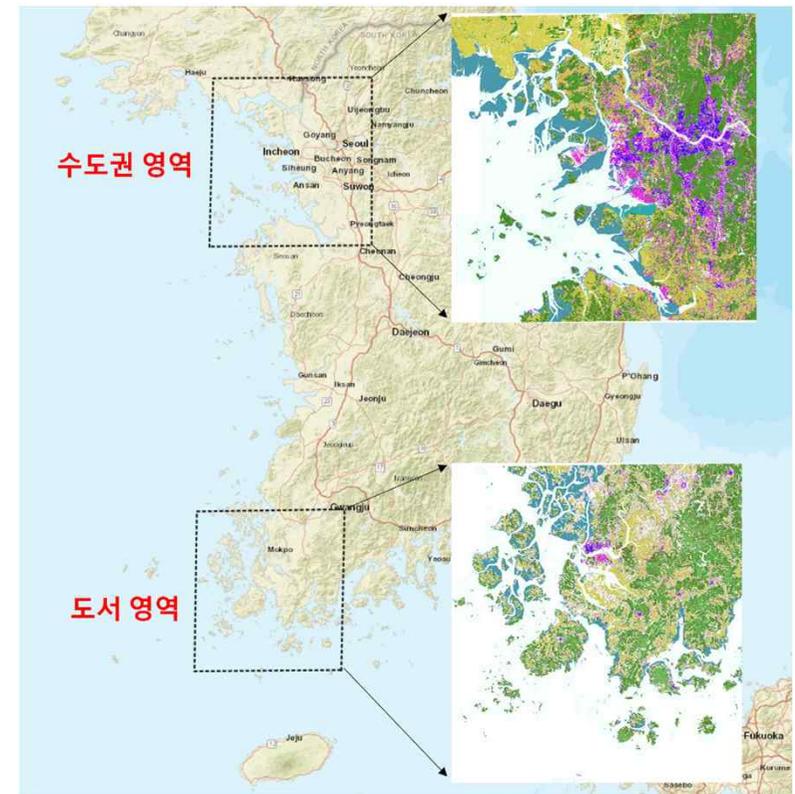
→ 중부권(수도권, 영서일부, 충청일부) 대상 1km 영역 설정

• 환경부 대분류 및 중분류(접경지역+남한), 세분류 토지피복 자료 재분류

- 대분류 : 북한지역 토지피복 재분류
- 중분류 : 접경지역 + 남한지역 토지피복 재분류
- 세분류 : 2020년 기준 수도권 지역의 도시 타입 재분류



- 대상영역의 WPS 내삽 옵션에 따른 타입분류
- WPS 내삽 옵션 : Four_pt, Four_pt + Nearest_neighbor

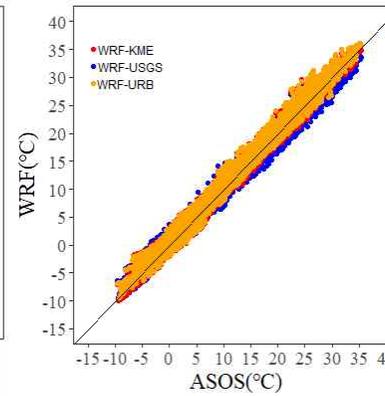
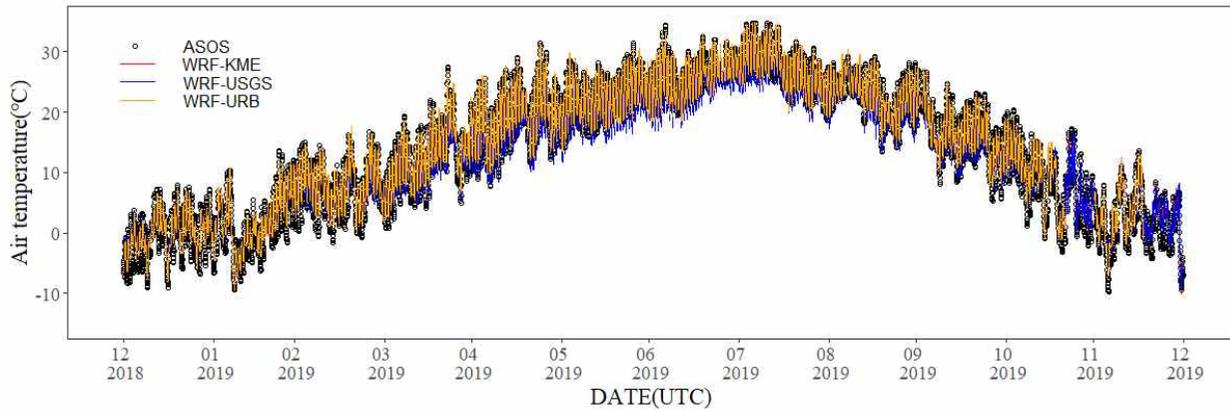


내삽 옵션을 적용한 수도권 및 도시 영역의 토지피복 분류

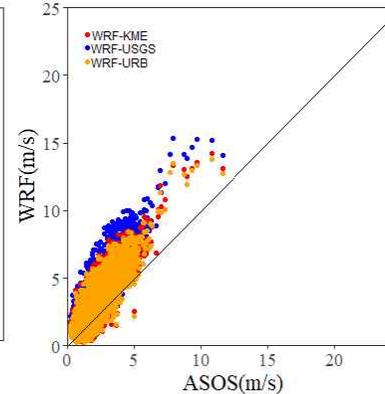
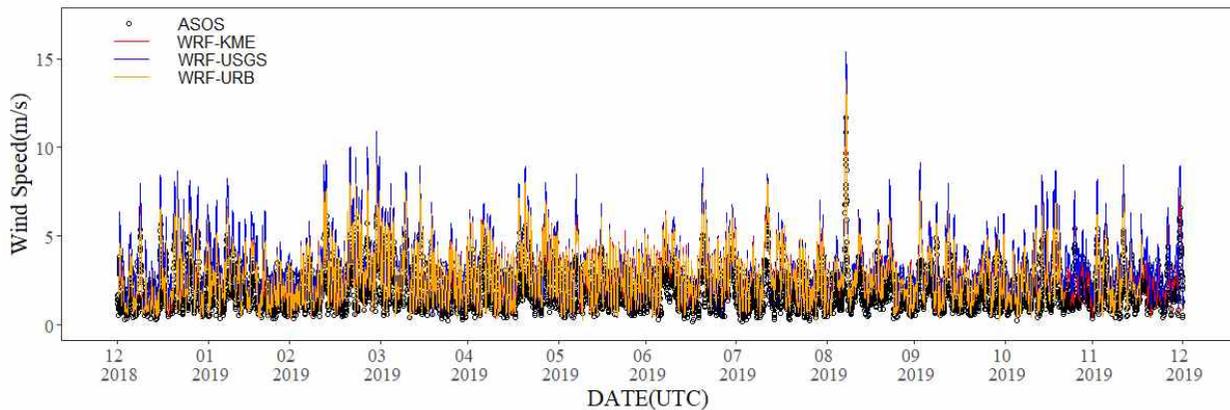
고해상도 기상-대기질 모델링 시스템 구축 연구

❖ WRF의 모의 정확도 비교: KME vs. USGS vs. URB

대도시



구분	2 m 기온		
	KME	USGS	URB
RMSE(°C)	1.28	1.49	1.29
MBE(°C)	0.41	-0.44	0.57

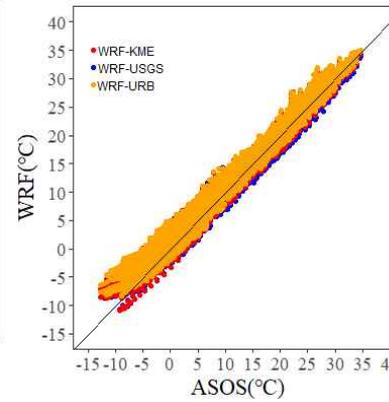
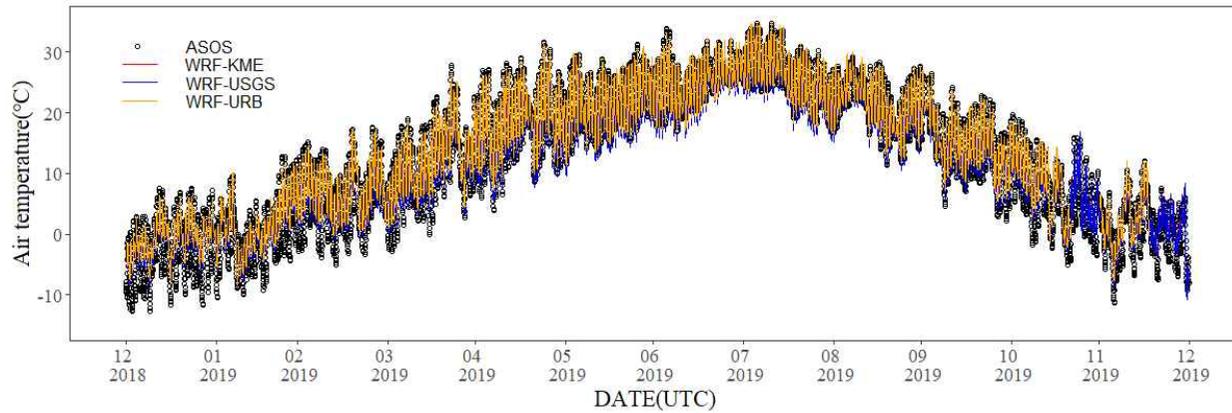


구분	10 m 풍속		
	KME	USGS	URB
RMSE(m/s)	1.28	1.71	1.11
MBE(m/s)	0.85	1.29	0.68

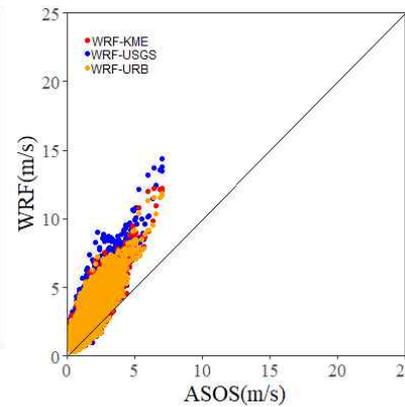
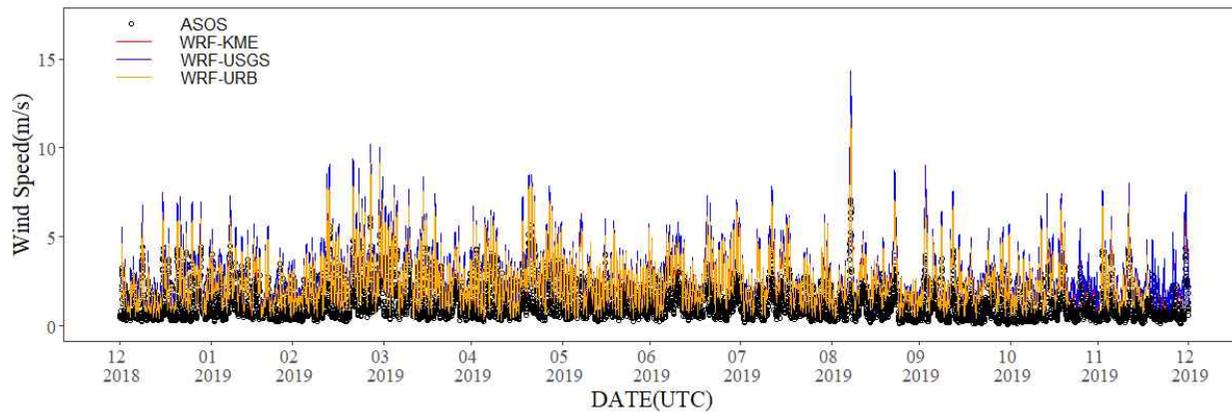
고해상도 기상-대기질 모델링 시스템 구축 연구

❖ WRF의 모의 정확도 비교: KME vs. USGS vs. URB

중부내륙



구분	2 m 기온		
	KME	USGS	URB
RMSE(°C)	1.61	1.65	1.77
MBE(°C)	0.41	0.02	0.85

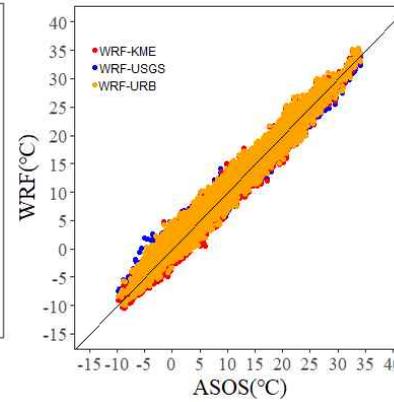
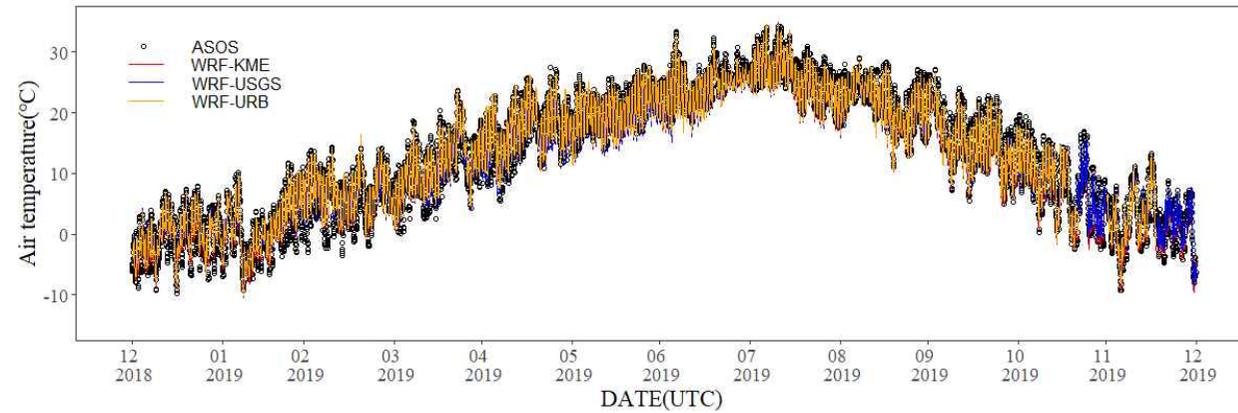


구분	10 m 풍속		
	KME	USGS	URB
RMSE(m/s)	1.36	1.66	1.31
MBE(m/s)	1.14	1.40	1.08

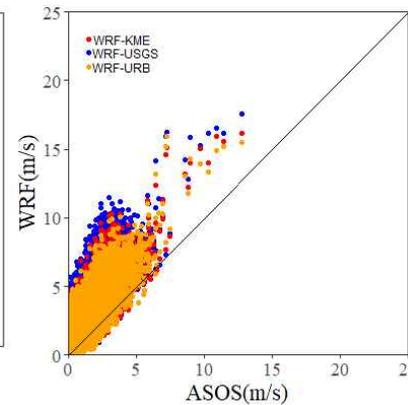
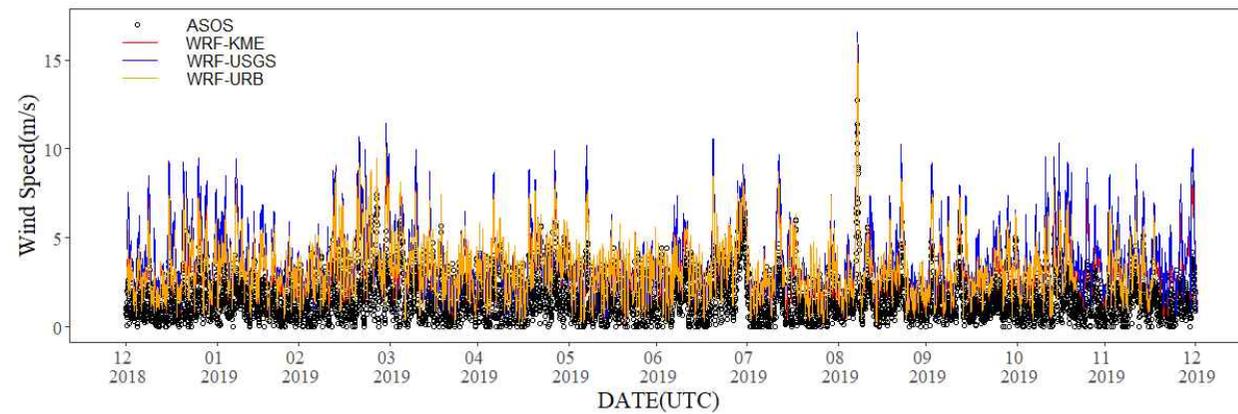
고해상도 기상-대기질 모델링 시스템 구축 연구

❖ WRF의 모의 정확도 비교: KME vs. USGS vs. URB

서해안



구분	2 m 기온		
	KME	USGS	URB
RMSE(°C)	1.96	2.48	1.89
MBE(°C)	1.60	2.02	1.56



구분	10 m 풍속		
	KME	USGS	URB
RMSE(m/s)	1.47	1.51	1.46
MBE(m/s)	-0.32	-0.38	0.03

고해상도 기상-대기질 모델링 시스템 구축 연구

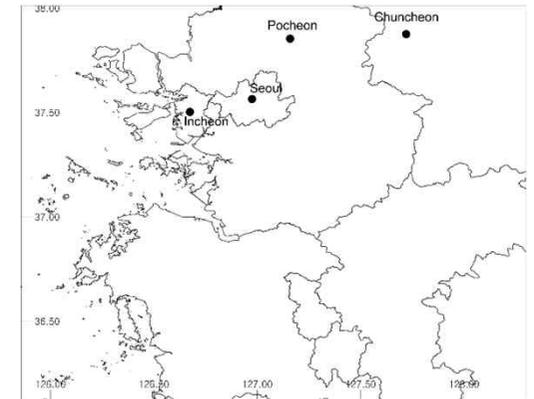
❖ CMAQ-KME(3km), CMAQ-URB(1km)의 모의 정확도 비교

PM _{2.5}	지점	RMSE($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		R		MBE($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		KME	URB	KME	URB	KME	URB
KME < URB	서울	23.09	19.58	0.66	0.70	3.50	-2.94
	춘천	23.53	22.82	0.67	0.60	-13.68	-6.33
	포천	29.50	27.58	0.63	0.66	-14.74	-11.83
	인천	24.63	19.14	0.67	0.68	7.52	-0.83

O ₃	지점	RMSE(ppm)		R		MBE(ppm)	
		KME	URB	KME	URB	KME	URB
KME ~ URB	서울	0.016	0.015	0.652	0.671	-0.008	-0.007
	춘천	0.015	0.016	0.646	0.631	0.005	-0.008
	포천	0.017	0.014	0.622	0.646	0.009	-0.005
	인천	0.014	0.015	0.697	0.674	-0.006	-0.008

NO ₂	지점	RMSE(ppm)		R		MBE(ppm)	
		KME	URB	KME	URB	KME	URB
KME ~ URB	서울	0.022	0.016	0.633	0.677	0.006	0.001
	춘천	0.014	0.026	0.508	0.437	-0.005	0.018
	포천	0.014	0.023	0.556	0.596	-0.006	0.016
	인천	0.026	0.024	0.648	0.664	0.016	0.019

* 2019년 1-3월, 1시간 자료



	위도	경도
인천 서구	37°30'9.72"N	126°40'28.56"E
서울 중구	37°33'51.48"N	126°58'28.92"E
경기 포천	37°51'12.60"N	127° 9'33.12"E
강원 춘천	37°52'32.16"N	127°43'13.80"E

→ 1) 고해상도(1km) 모의와 2) 토지피복 자료 개선이 함께 대기질 모사 결과를 개선함.

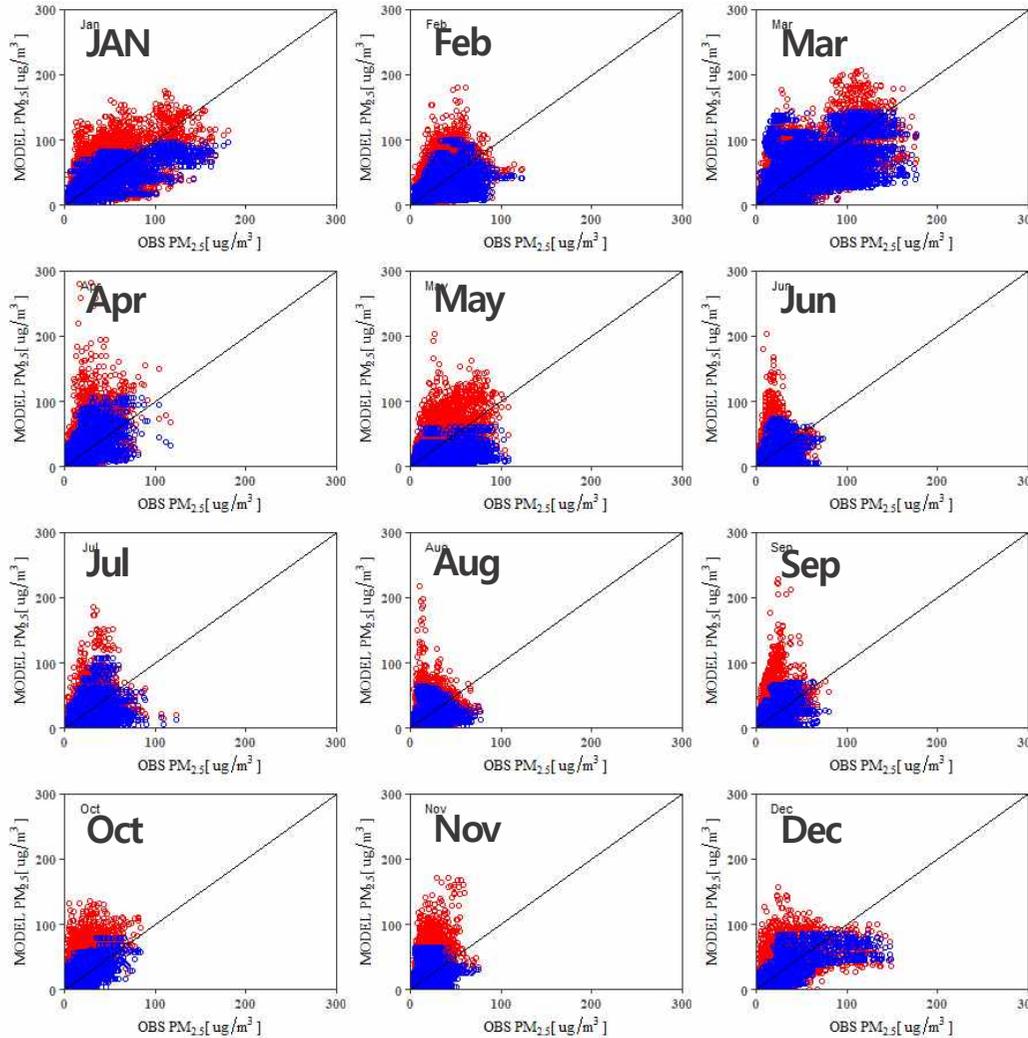
고해상도 기상-대기질 모델링 시스템 구축 연구

❖ CMAQ-KME(3km), CMAQ-URB(1km)의 모의 정확도 비교

1km 영역 내
AQMS 지점: PM_{2.5}

CMAQ-KME

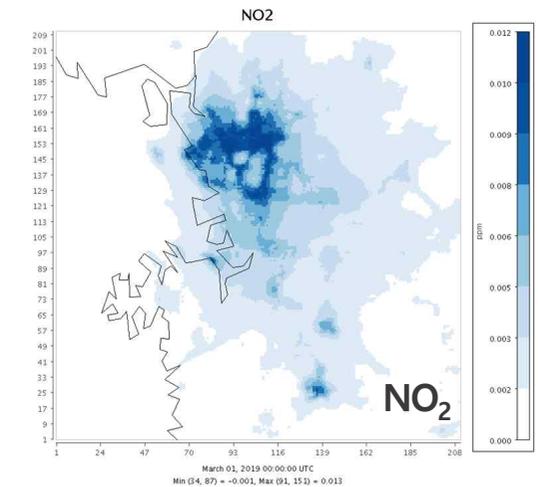
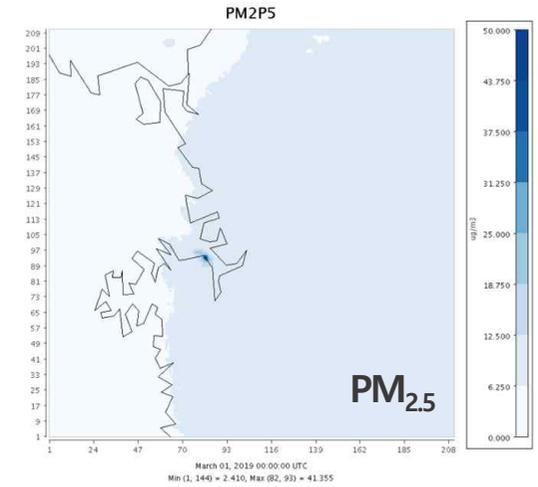
CMAQ-URB



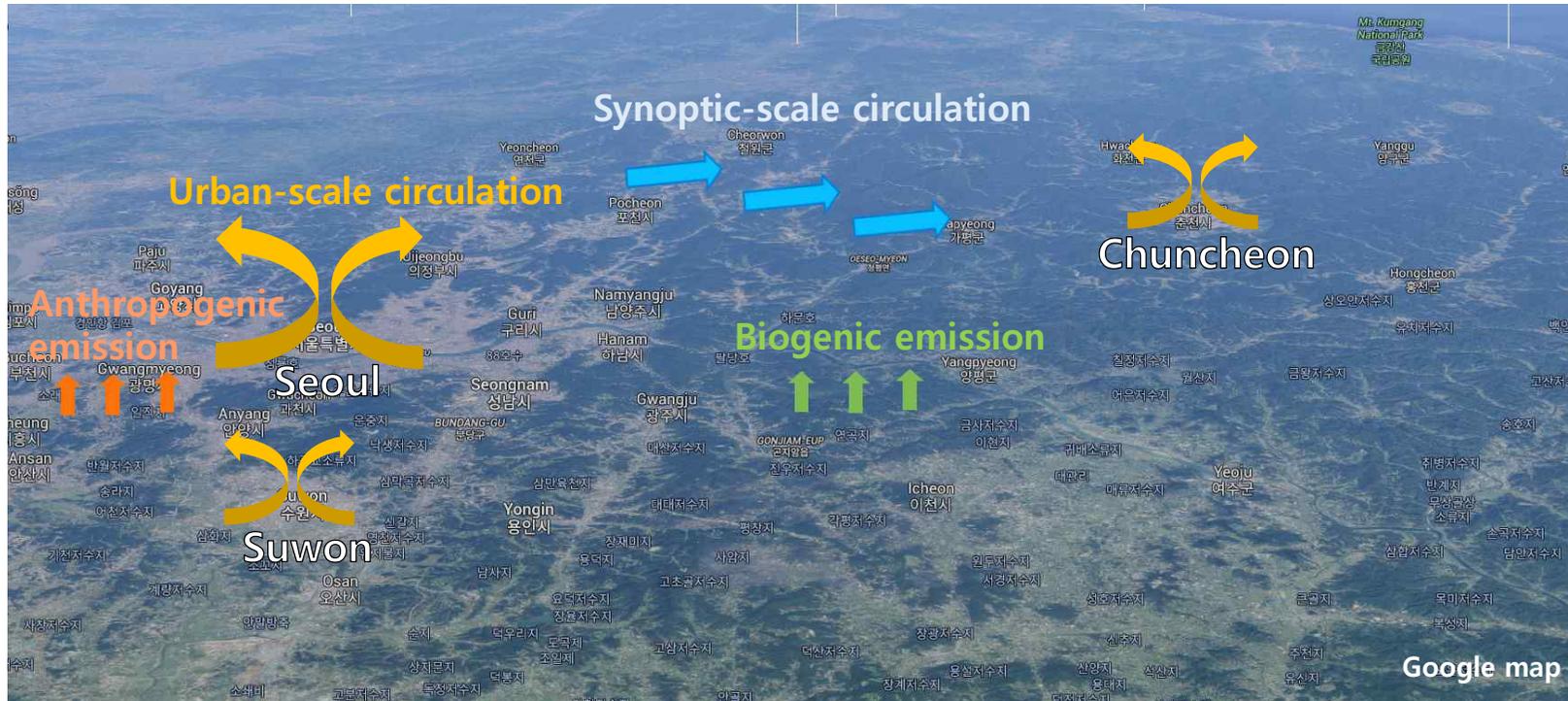
1) 대형 점오염원 주변
확산 개선

2) 도시지역 풍속 개선

* 2019년 3월 평균 농도 편차



대기 순환 및 확산 지표를 이용한 고농도 PM_{2.5} 사례 연구



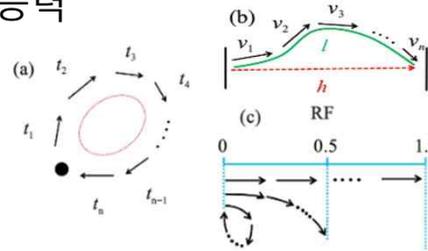
1. 수도권 → 강원권 인구 이동(주말/공휴일 효과): 강원권 오염물질 배출량 증가
2. 수도권 전구물질의 수송 : 강원권 2차 생성 오염물질 증가
3. 수도권 배출/생성 오염물질의 수송 : 강원권 오염물질 유입량 증가

대기 순환 및 확산 지표를 이용한 고농도 PM_{2.5} 사례 연구

■ 대기 확산 및 재순환 지표(Allwine and Whiteman, 1994; Li et al., 2018; Meng et al., 2020; Pasch et al., 2011; Kim et al., 1996;)

- 재순환 계수(Recirculation factor, RF) – 수평 수송 능력

$$RF = \frac{h}{l} = \sqrt{\frac{(\Delta T \sum_{t_s}^{t_e} u_i)^2 + (\Delta T \sum_{t_s}^{t_e} v_i)^2}{\Delta T \sum_{t_s}^{t_e} \sqrt{u_t^2 + v_t^2}}}$$

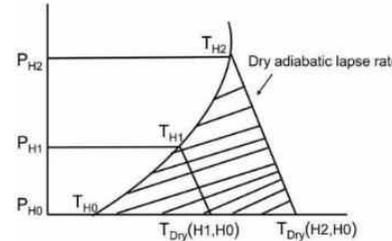


h : t_s 와 t_e 간의 직선 거리[km]
 l : 바람 실제 이동 거리[km] = Wind run
 ΔT : 데이터 간격 시간[s]
 t_s : 데이터 시작 = 1
 t_e : 데이터 종료
 u_i : i 번 데이터의 동,서 바람 성분 [m/s]
 v_i : i 번 데이터의 남,북 바람 성분 [m/s]

- 안정도 에너지(Stable energy, SE) [J/cm²] – 연직 수송 능력

$$SE = \frac{C_p}{g} \int_{P_H}^{P_{H0}} (T_{Dry} - T) dP$$

$$T_{DRY} = T_H + r_d \times (H - h)$$



C_p : 정압비열[J/(K·kg)]
 g : 중력가속도[m/sec²]
 r_d : 건조단열감율[°C/m]
 T_{dry} : 건조 단열 기온[°C]
 T : H 고도 기온[°C]
 H : 상층 기압 지위 고도[m]
 h : 하층 기압 지위 고도[m]
 P_{H0} : 지상 지위 고도 기압[hPa]
 P_H : 상층 지위 고도 기압[hPa]

- 확산 지수(Ventilation index, VI) [m²/s] – 수평 수송 능력

$$VI = \sum_{i=10}^{i=PBL} (h_i - h_{i-1}) \times v_i$$

v_i : 풍속[m/s]
 h_i : 지위 고도[m]

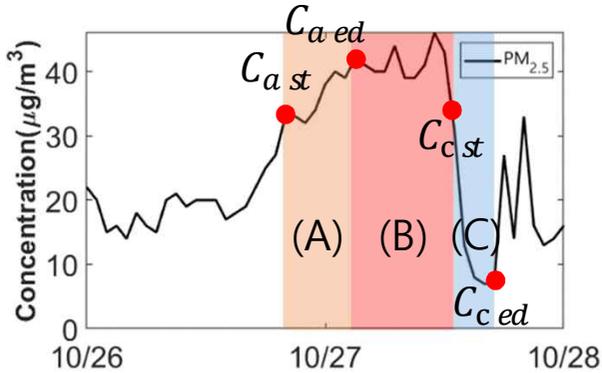
- 벌크 리차드슨 수(Bulk Richardson number) – 대기 안정도 능력

$$Rb = \frac{g}{T} \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta z} \right) Z^2$$

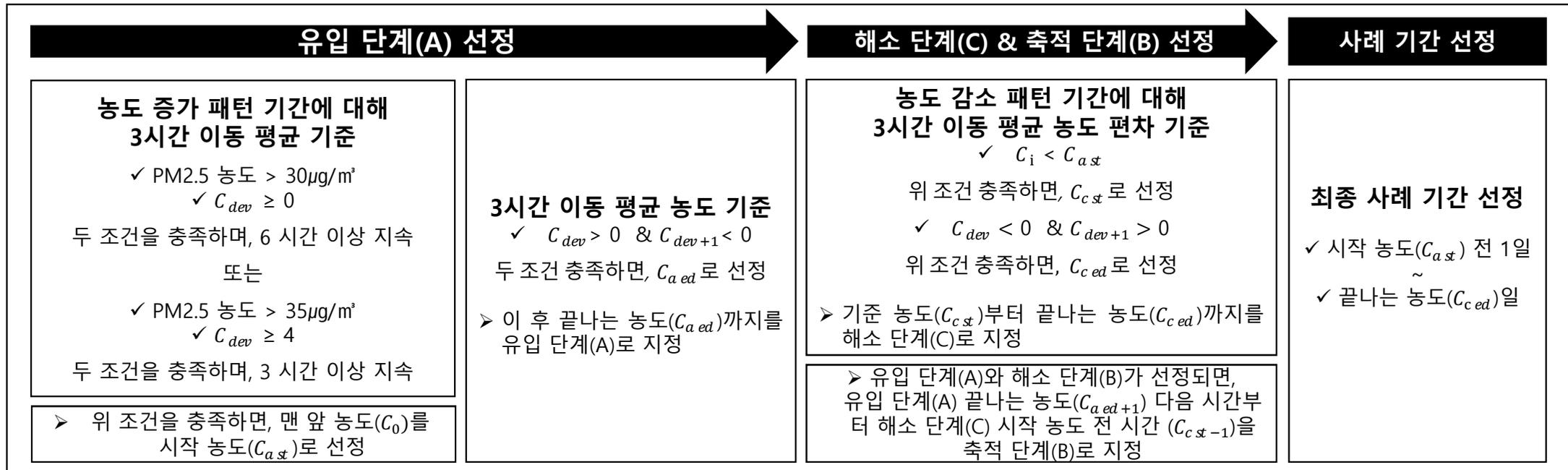
Rib	< -1.0	-0.1 ~ -0.01	0	+0.1 ~ +0.01	> +1.0
대기 운동	자유 대류	자유 대류 증가	강제 대류	강제 대류 감소	대류 없음
안정도	불안정		중립	안정	

g : 중력 가속도[m/s²]
 T : 상층과 하층 평균 기온[K]
 $\Delta\theta$: 상층과 하층 온도 차[K]
 Δz : 상층과 하층 고도 차[m]
 U : 상층 풍속[m/s]
 Z : 상층 고도[m]

대기 순환 및 확산 지표를 이용한 고농도 PM_{2.5} 사례 연구



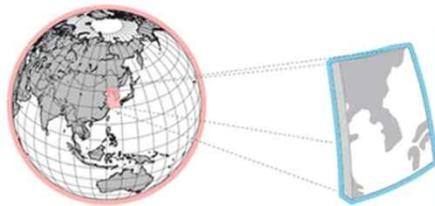
- ✓ 유입 단계(A) : 시작 농도(C_{ast})부터 끝나는 농도(C_{aed})까지 구간
 - ✓ 축적 단계(B) : 끝나는 농도 다음 시간(C_{aed+1})부터 시작 농도 전 시간(C_{ced-1}) 구간
 - ✓ 해소 단계(C) : 시작 농도(C_{cst})부터 끝나는 농도(C_{ced})까지 구간
- $\diamond C_{dev}(\mu\text{g}/\text{m}^3) = C_i - C_{i-1}$ $i = \text{현재 시간}, i-1 = \text{현재보다 한 시간 전 시간}, i+1 = \text{현재보다 한 시간 후 시간}$
 $\diamond C_{3h\text{ m o v a v e}}(\mu\text{g}/\text{m}^3) = (C_{i-1} + C_i + C_{i+1})/3$ $st = \text{시작 시간}, ed = \text{끝나는 시간}$



대기 순환 및 확산 지표를 이용한 고농도 PM_{2.5} 사례 연구

2021년 10-11월 집중 측정 사례

- 강원권 대기환경연구소 자료
2021-10-18 01KST ~ 2021-11-30 23KST
- LDAPS 자료(등압면, 단일면)
2021-10-01 00UTC ~ 2021-11-30 21UTC
- 분석 일기도 자료(850 hpa)
2021-10-01 00UTC ~ 2021-11-30 18UTC



자료 : 기상청

UM기반 국지예보모델

- 현업, 2018. 1. ~
- 수평 1.5km 분해능
- 연직 70층 (40km)
- 36시간 예측
- 3차원 변분자료동화
- 격자
:1,188X1,148X70
=95,467,680

LDAPS 추출 지점 정보

AQMS : 강원권 대기환경연구소



- 00 ~ 21UTC (h000) 3시간 간격
- 등압면(1000 ~ 650 hPa) 자료
→ U, V, 기온, 고도 변수 추출
- 단일면 자료
→ PBL(대기 경계층 높이), U10, V10, t2m(기온) 변수 추출

대기 순환 및 확산 지표를 이용한 고농도 PM_{2.5} 사례 연구

일기도

사례 기간 선정

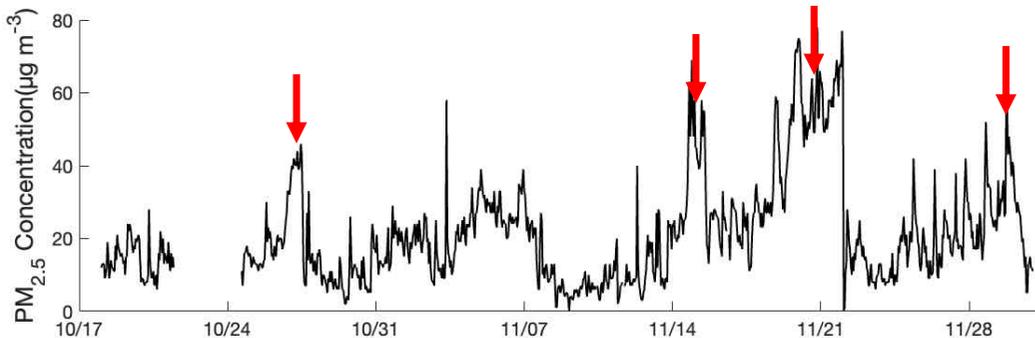
➤ 조건에 충족하는 사례 기간 선정

Index	유입 단계(A)	축적 단계(B)	해소 단계(C)	최종 사례 기간
Case 1	2021-10-26 20 KST	2021-10-27 05 KST	2021-10-27 13 KST	2021-10-25
	~	~	~	~
Case 2	2021-10-27 04 KST	2021-10-27 12 KST	2021-10-27 16 KST	2021-10-27
	~	~	~	~
Case 3	2021-11-14 17 KST	2021-11-14 23 KST	2021-11-15 14 KST	2021-11-13
	~	~	~	~
Case 4	2021-11-14 22 KST	2021-11-15 13 KST	2021-11-15 16 KST	2021-11-15
	~	~	~	~
Case 5	2021-11-18 18 KST	2021-11-18 23 KST	2021-11-22 02 KST	2021-11-18
	~	~	~	~
Case 6	2021-11-18 22 KST	2021-11-22 01 KST	2021-11-22 03 KST	2021-11-23
	~	~	~	~
Case 7	2021-11-29 17 KST	2021-11-29 20 KST	2021-11-30 03 KST	2021-11-28
	~	~	~	~
Case 8	2021-11-29 19 KST	2021-11-30 02 KST	2021-11-30 18 KST	2021-11-30
	~	~	~	~

←27일 강수

←22일 강수

10-11월 강원권 대기환경연구소 측정 자료(PM_{2.5})



2021.10.26 21KST,850hPa



2021.10.27 15KST,850hPa



2021.11.14 21KST,850hPa



2021.11.15 21KST,850hPa



2021.11.19 09KST,850hPa



2021.11.20 15KST,850hPa



1일 후

2021.11.28 15KST,850hPa

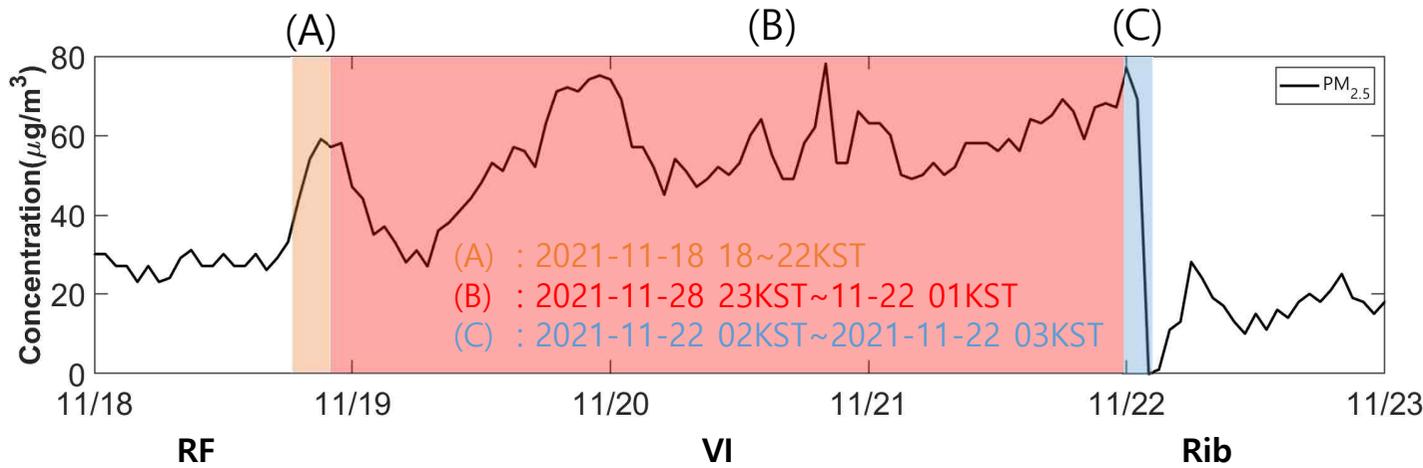


2021.11.29 15KST,850hPa

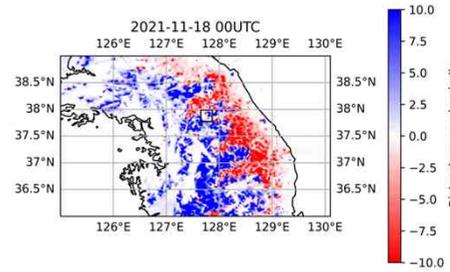
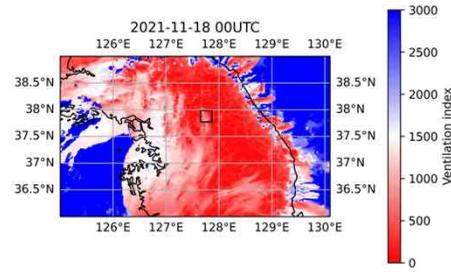
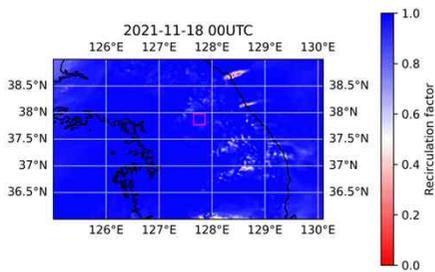
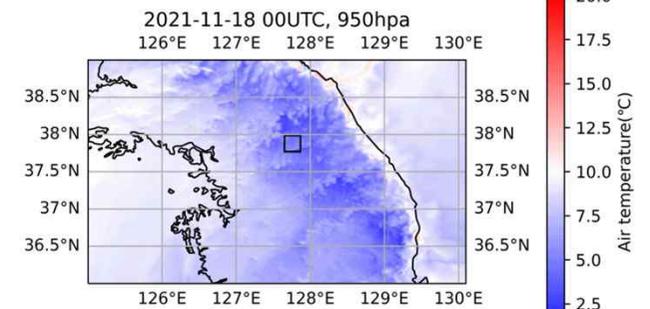


대기 순환 및 확산 지표를 이용한 고농도 PM_{2.5} 사례 연구

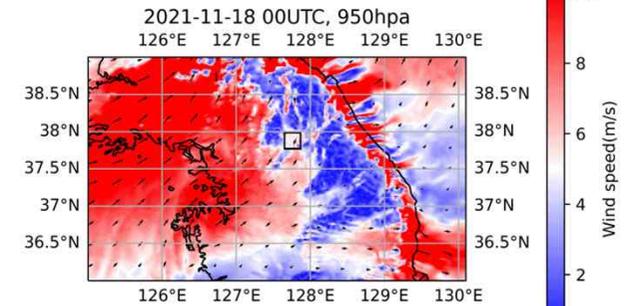
Case 3(21.11.18-11.23) 결과



Air Temperature



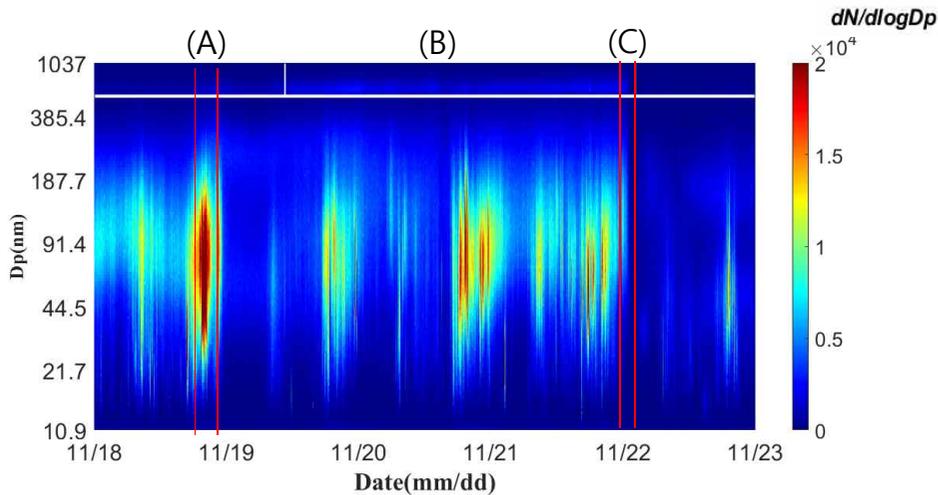
Wind Speed



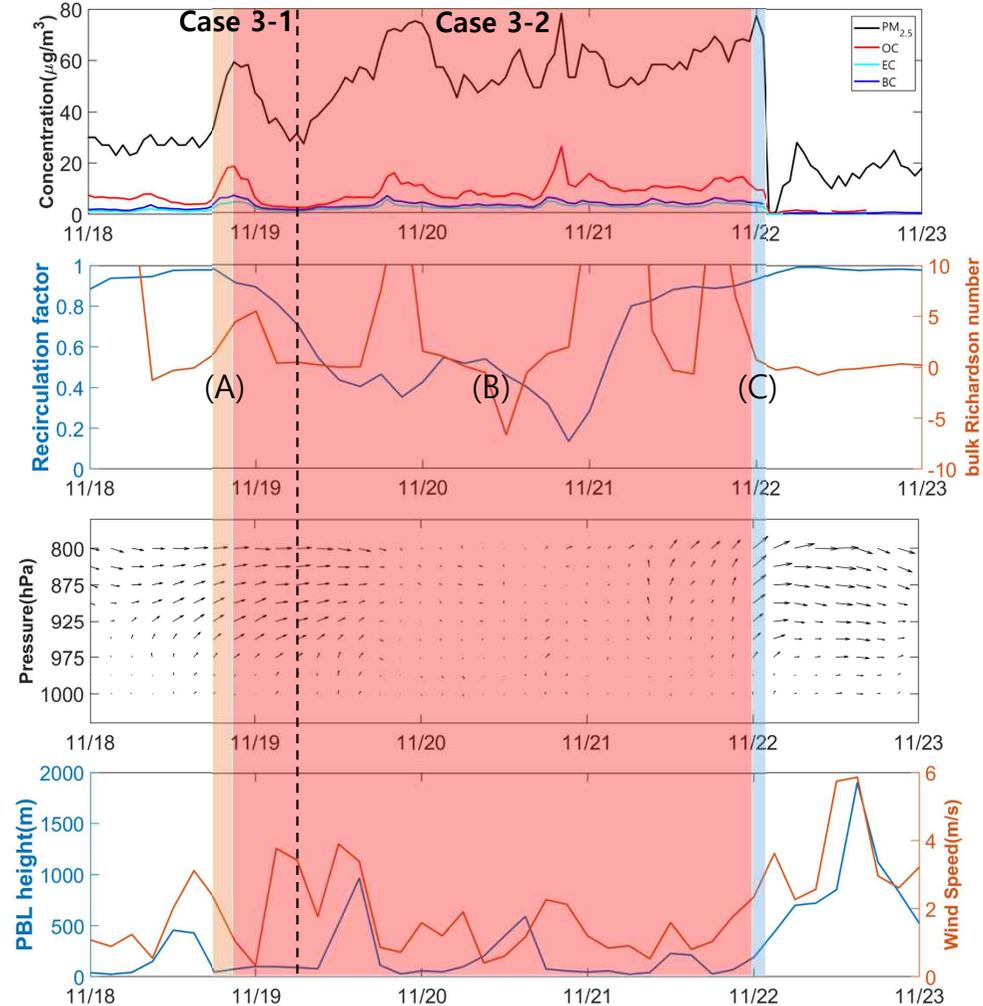
- (A) 기간 : 강한 서풍 바람, 국외 PM_{2.5} 유입
- (B) 기간 : 풍속 약함, 대기 정체, PM_{2.5} 농도 고농도 유지
- (C) 기간 : 약한 북서풍, PM_{2.5} 농도 감소

✓ Wind vector(LDAPS, 950hPa)

대기 순환 및 확산 지표를 이용한 고농도 PM_{2.5} 사례 연구



- 유입 단계(A) : 11월 18일 18시 ~ 22시**
 서풍 계열과 RF 감소
 → PM_{2.5} 농도 유입, 대기 수평 확산 능력 ↓ → PM_{2.5} 농도 증가
- 축적 단계(B) : 11월 18일 23시 ~ 11월 22일 01시**
 RF의 감소, 낮은 VI, Rib 증가
 → 대기 수평 확산 능력 ↓, 대기 안정 → PM_{2.5} 농도 고농도
- 해소 단계(C) : 11월 22일 02시 ~ 22일 03시**
 RF 증가 & 세정 효과 작용함
 → 대기 수평 확산 능력 ↑ → PM_{2.5} 농도 감소



대룡산과 지상 지점 측정 비교: 2022년 2-3월

: 비고농도
 : 고농도(일평균 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과) ✓ 중앙로 AQMS 기준

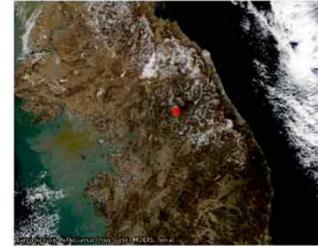


월	화	수	목	금
2월 21일 (약한 눈)	2월 22일	2월 23일	2월 24일	2월 25일
2월 28일	3월 1일	3월 2일	3월 3일	3월 4일 (약한 강수, 고기 구운 흔적)
미측정				
3월 7일	3월 8일(차량 이동 많음)	3월 9일(패러글라이딩)	3월 10일	3월 11일

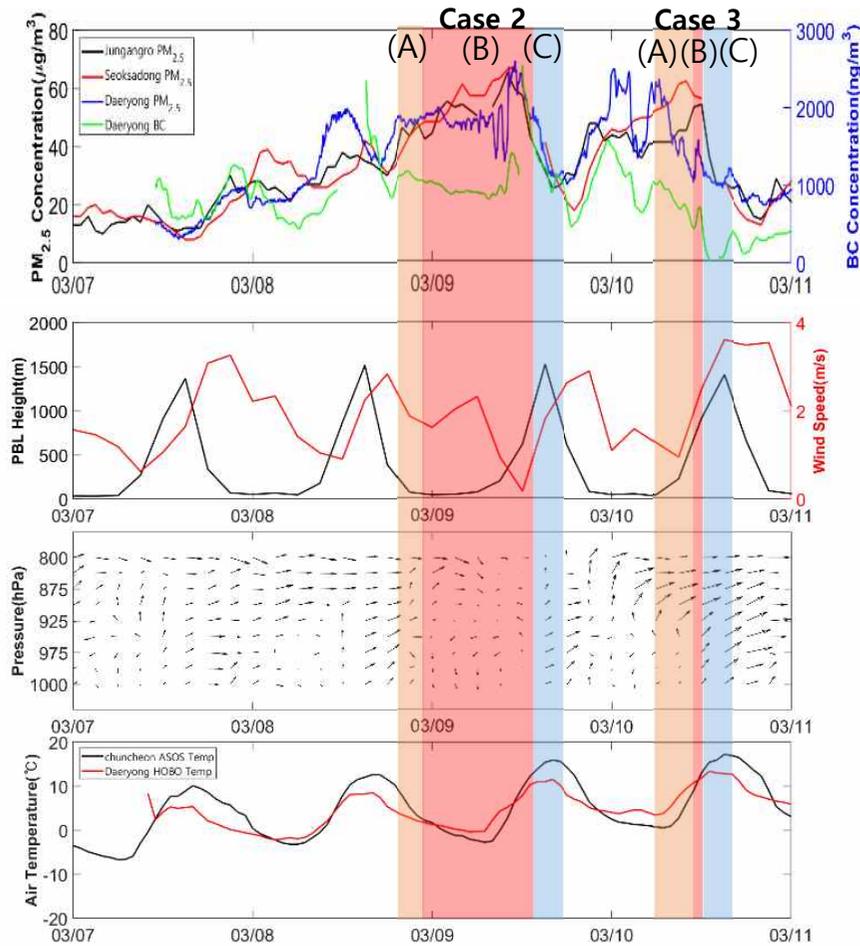
대룡산과 지상 지점 측정 비교: 2022년 2-3월

✓ Wind vector(LDAPS, 950hPa)

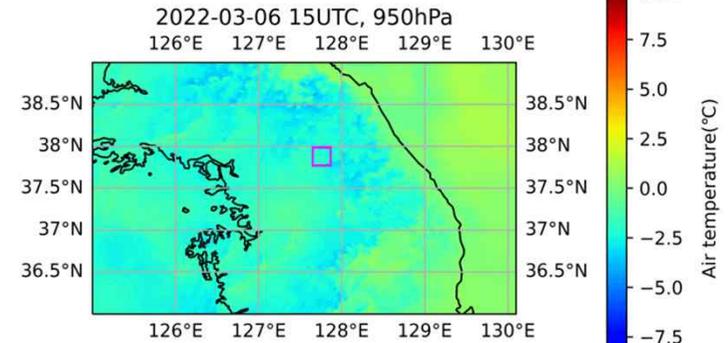
TOPO



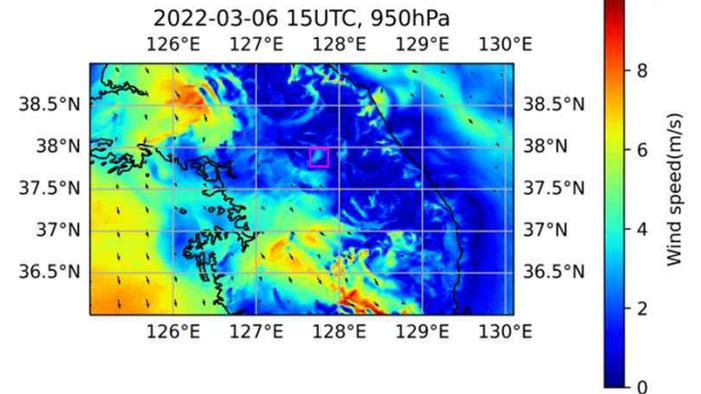
Case 2 & 3(22.03.07~10) 결과



Air Temperature



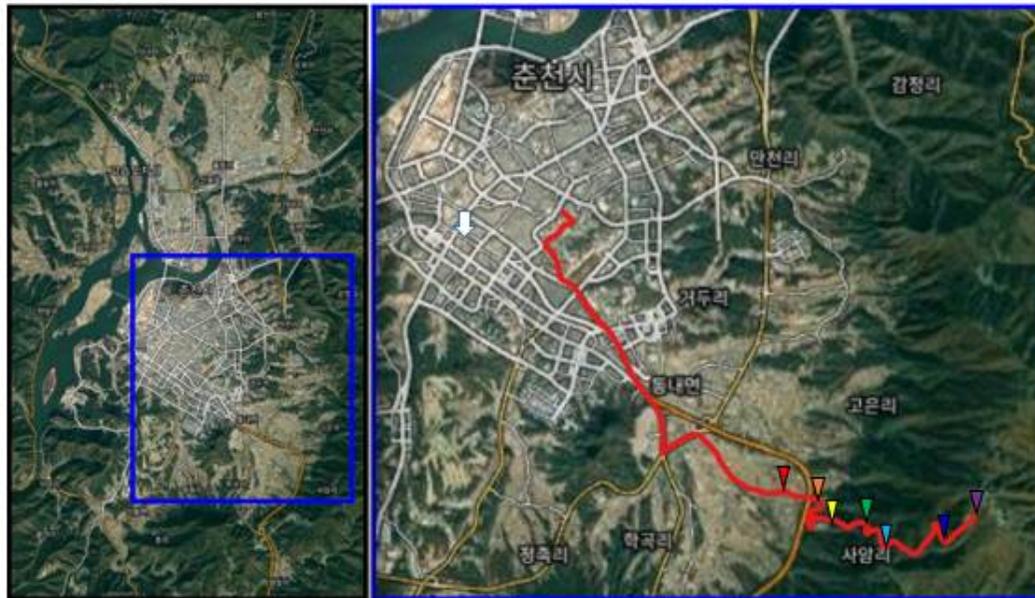
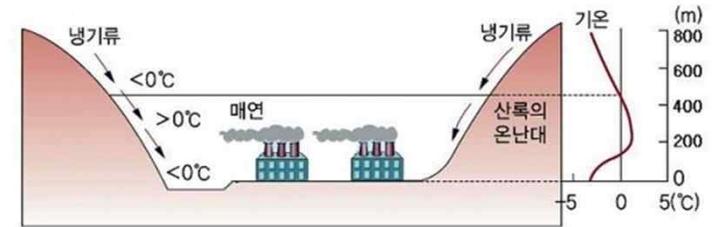
Wind Speed



기상과 대기질의 연직 분포로 지역 내 배출량 추정

일시: 2021년 1월 - 2월 중 10일

장소: 강원 춘천시 대룡산 인근(약 고도 800 m)



▼ 130m ▼ 200m ▼ 300m ▼ 400m ▼ 500m ▼ 650m ▼ 800m

- 대상 지역: 강원도 춘천시 분지 지형 내
- 측정 경로
 - 강원대학교 춘천캠퍼스 → 사암3리 → 대룡산
- 측정 코스 길이: 왕복 약 28.7km
- 측정 속도: 평균 23 km/h 주행
- 대룡산 측정 코스
 - 출발 지점: 해발고도 약 130m
 - 도착 지점: 해발고도 약 800m
- HOBO_onset 설치 고도
 - 130, 200, 300, 400, 500, 650, 800 (m)

기상과 대기질의 연직 분포로 지역 내 배출량 추정

일시: 2021년 1월 - 2월 중 10일

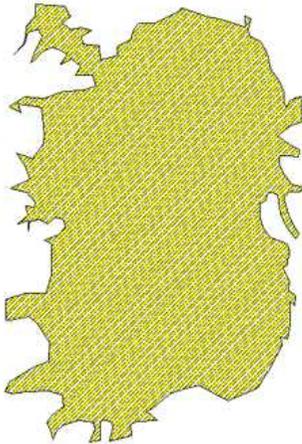
장소: 강원 춘천시 대룡산 인근(약 고도 800 m)

❖ 춘천시 각 고도별 단면적 산정

- ✓ Arc GIS에서의 춘천시 지도 활용
- ✓ 고도 55m ~ 300m 자료
- ✓ 고도 20m 단위로 단면적 산정



Ex. 200m



[고도 20m 단위로 데이터 정리]

중간단면적법을 활용하여 고도 55~300m 의
춘천시 분지 지형 내부피 산정

$$\text{대기오염물질 농도(kg/m}^3\text{)} * \text{춘천시 부피(m}^3\text{)} \\ = \text{배출량(kg)}$$

고도 55 ~ 300m 내에서의 대기오염물질
 배출량 산정

※ 중간단면적법

기준선이 소구간의 중앙에 있도록 하여 소구간을 분할하는 방법

	Sensor	Time interval (s)	Substance
(a)	OPC	6	PM2.5
(b)	MA200	1	Black Carbon
(c)	Aeroqual	60	NO2
(d)	Imet-XQ2	1	Air temperature humidity pressure
(e)	AscenKorea	1	GPS
(f)	HOBO_onse t	60	Air temperature humidity



(a)

(b)



(c)

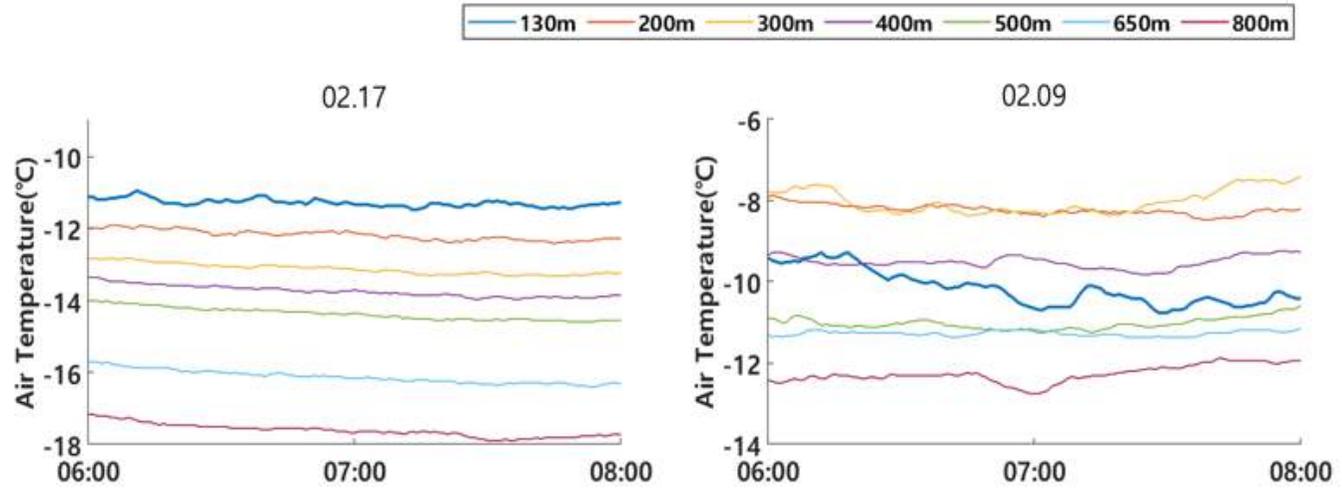
(d)

기상과 대기질의 연직 분포로 지역 내 배출량 추정

일시: 2021년 1월 - 2월 중 10일

장소: 강원 춘천시 대릉산 인근(약 고도 800 m)

- HOBO Onset 기온 자료
- 오전 06~09시 자료 활용
- 기온역전현상 발생 횟수
 - 발생 : 5일
 - 미발생 : 5일
- 기온역전층 존재 고도
 - 약 300m



- 최저 고도(130m)로부터 고도가 증가할수록 기온이 감소

→ 기온역전현상이 발생하지 않았다

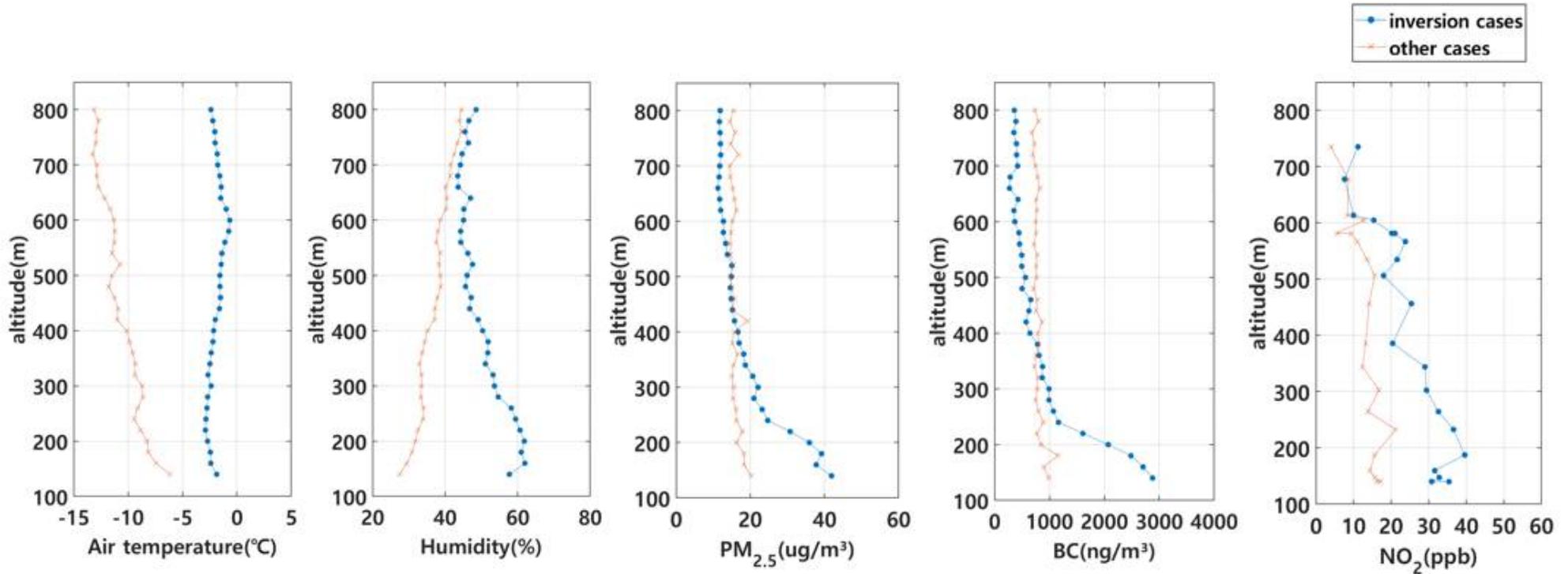
- 최저 고도(130m)로부터 고도가 증가할수록 기온이 증가하다가 특정 고도에서부터 기온이 감소

→ 기온역전현상이 발생하였다

기상과 대기질의 연직 분포로 지역 내 배출량 추정

일시: 2021년 1월 - 2월 중 10일

장소: 강원 춘천시 대릉산 인근(약 고도 800 m)



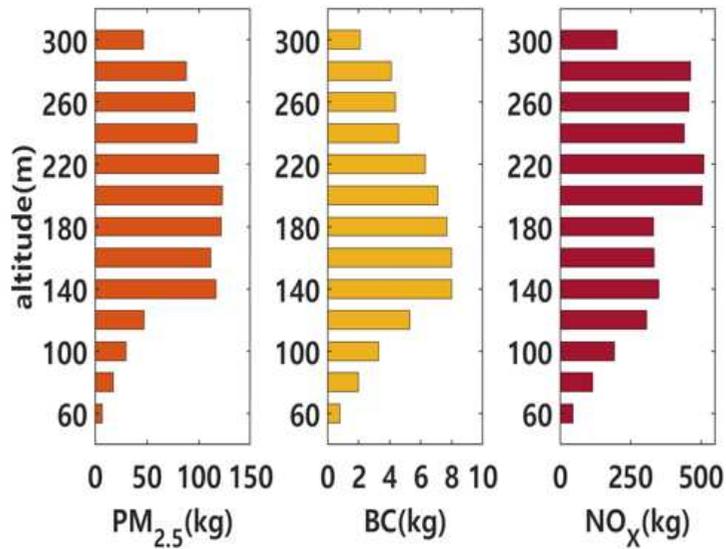
- 차량 이동 측정 데이터 (고도 130 ~ 800m)
- 고도 600m 이상에서의 대기오염물질 농도를 평균한 값을 배경농도로 선정
- 고도 300m 이하에서의 대기오염물질 농도를 배경농도 + 배출 오염물질 농도로 선정

기상과 대기질의 연직 분포로 지역 내 배출량 추정

일시: 2021년 1월 - 2월 중 10일

장소: 강원 춘천시 대릉산 인근(약 고도 800 m)

❖ 대기오염물질 연직 배출량



❖ 1일 배출량 산정

Total	Estimated Emissions (kg/day)		
	PM _{2.5}	BC	NO _x
measurement	1022.3	74.4	4249.6

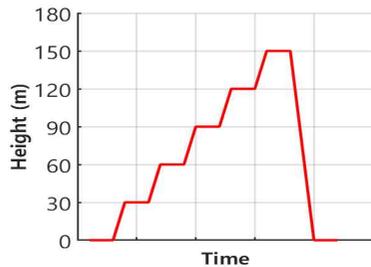
❖ CAPSS(2017) 자료와 비교

Total	Estimated Emissions (kg/day)		
	PM _{2.5}	BC	NO _x
Measurement	1022.3	74.4	4249.6
CAPSS	661.4	182.4	12632.3
measurement / CAPSS (%)	154.6	40.8	33.6

- **PM_{2.5}**
 - 측정 데이터에 2차 생성된 물질까지 포함되어 있다.
 - CAPSS 자료에서 수집하지 않은 배출량이 존재할 수 있다.
- **BC, NO_x**
 - 측정 데이터는 낮 시간에서의 배출량 비율이 적다.

드론을 이용한 기상과 대기질 모니터링

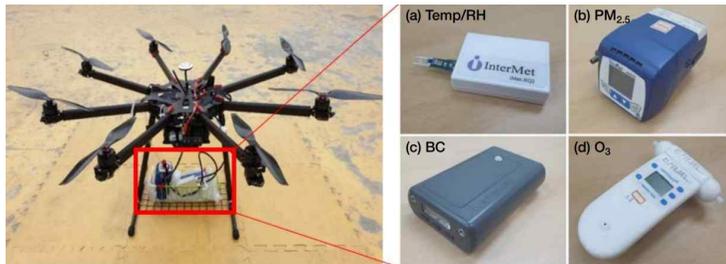
측정 개요



Width	105 cm
Height	50 cm
Capacity	2 kg
time	10 min

측정 센서

	Model	Accuracy
Temp.	Imet-XQ2	$\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$
O ₃	Aeroqual500	$\pm 0.01 \text{ ppm}$
BC	MA200	$*0.1 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$
PM _{2.5}	AM520	$*1 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$



아파트 단지 공원



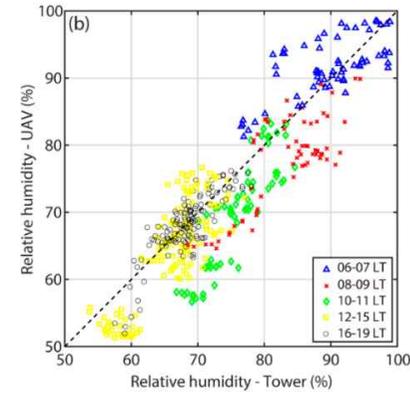
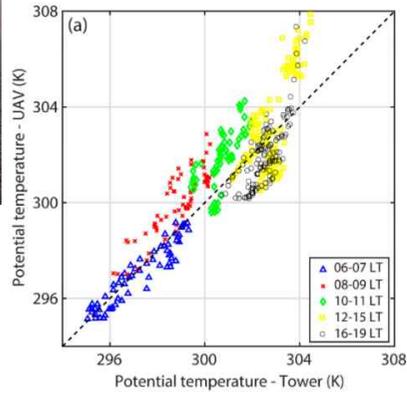
교외 지역 초등학교



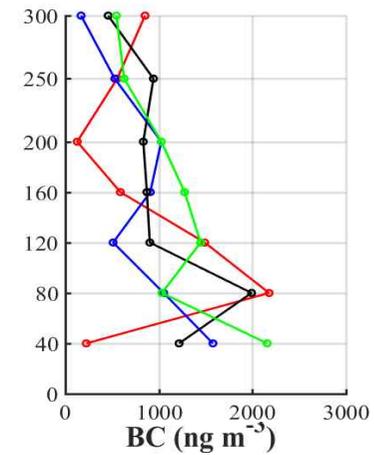
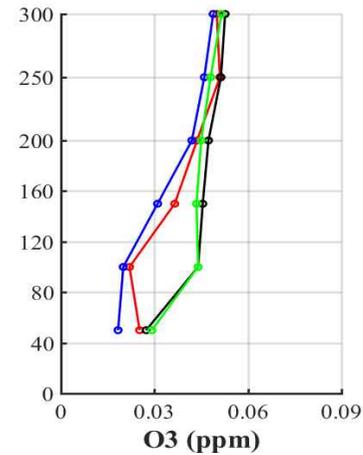
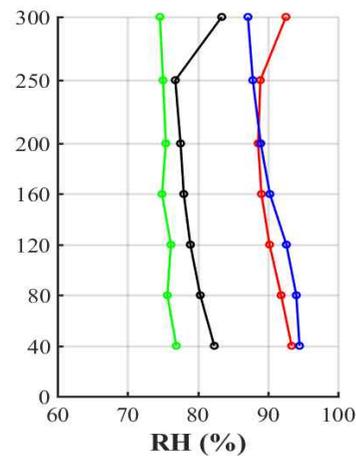
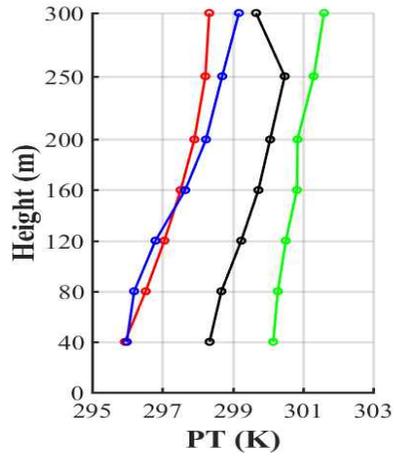
* 비행 제한 고도: 지상으로부터 150 m

드론을 이용한 기상과 대기질 모니터링

타워와 드론 관측 비교: 2017년 8월 16-18일

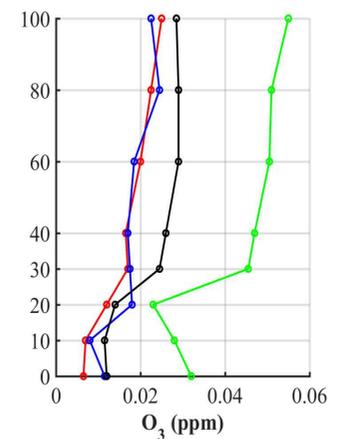
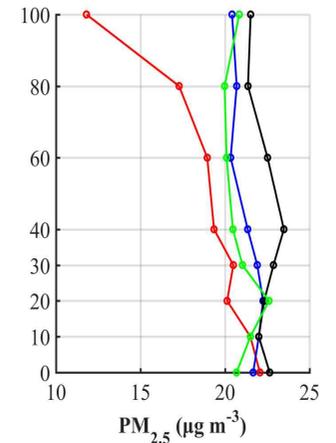
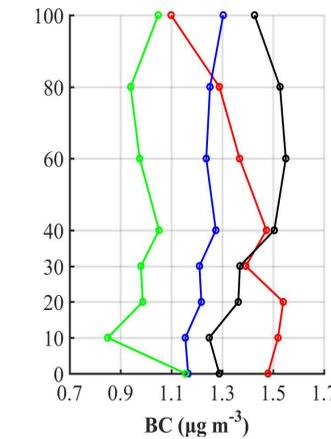
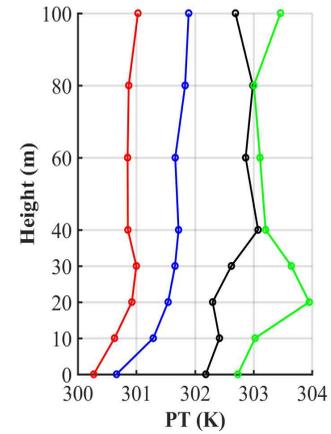
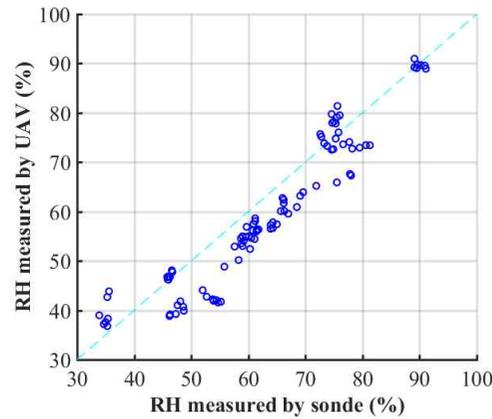
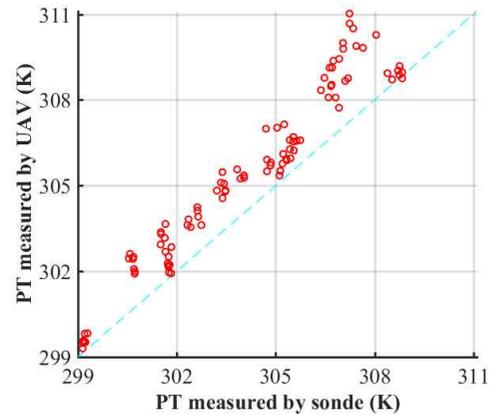


06:00 07:00 08:00 09:00



드론을 이용한 기상과 대기질 모니터링

존데와 드론 관측 비교: 2018년 7월 24-25일



드론을 이용한 기상과 대기질 모니터링

교외 지역 드론 관측



- 측정장소
 - 동춘천 산업단지 공터
 - > 산업시설, 열병합발전소, 고속도로, 주택
- 측정기간
 - 2018년 12월 과 2019년 2월 중 6 회 측정

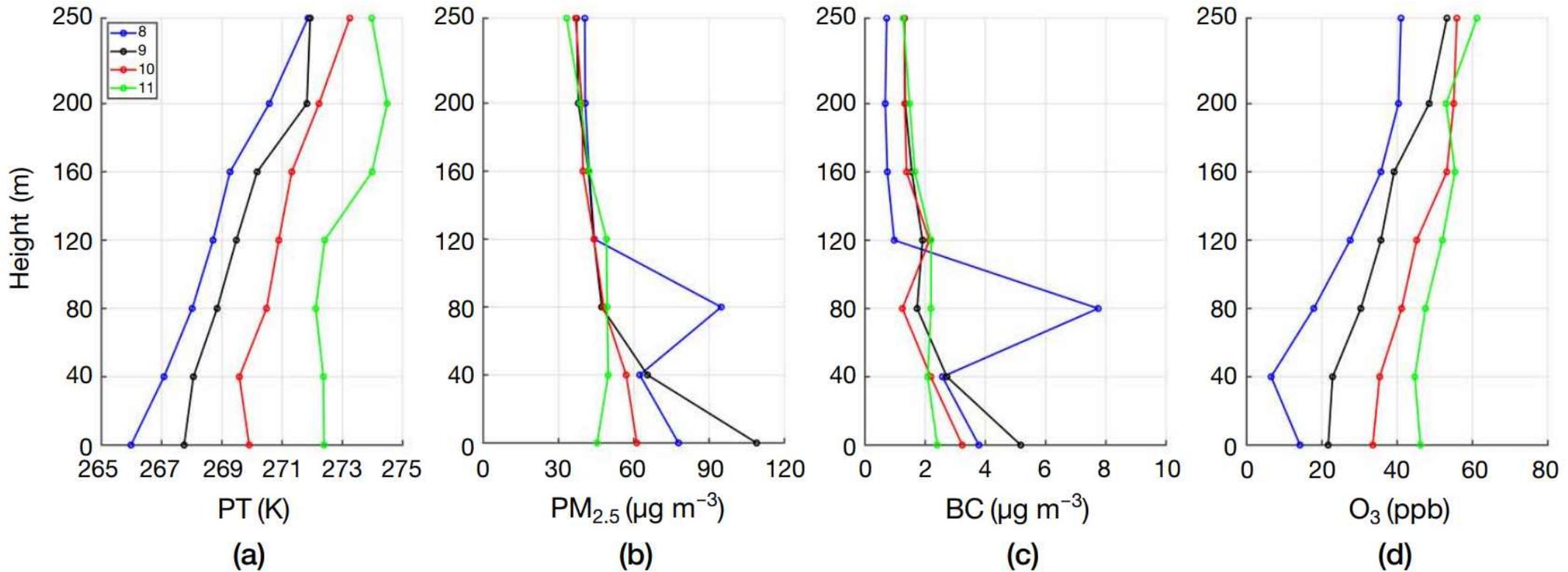


< 교외 지역 고농도 현상 측정 및 원인 파악 >



드론을 이용한 기상과 대기질 모니터링

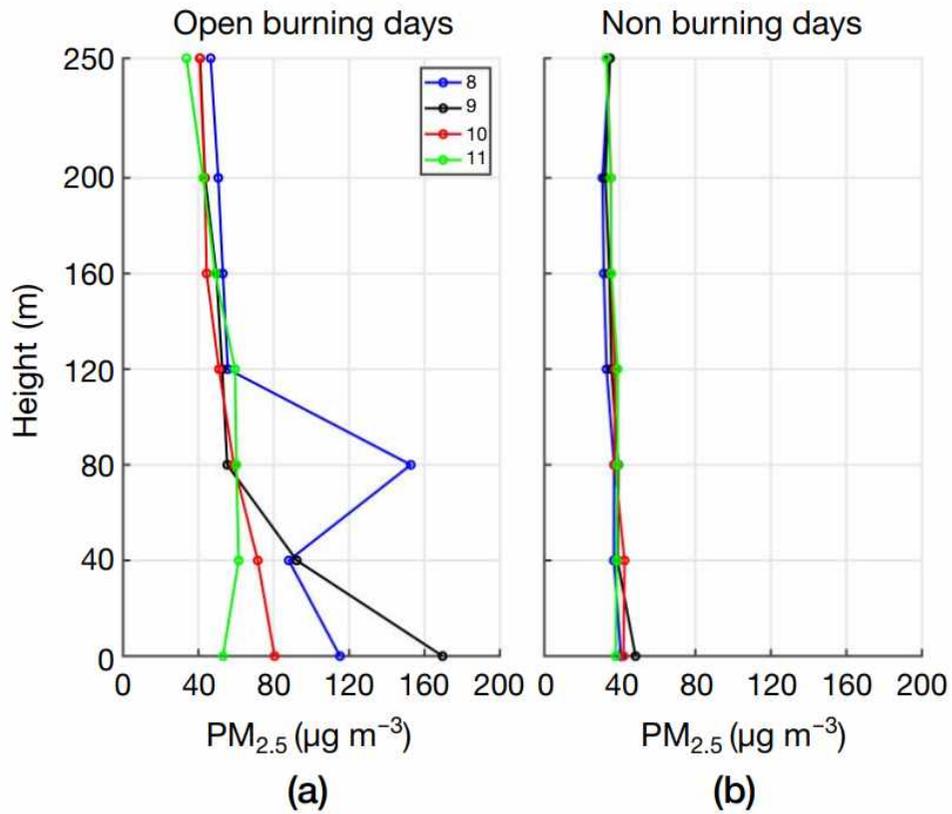
교외 지역 드론 관측



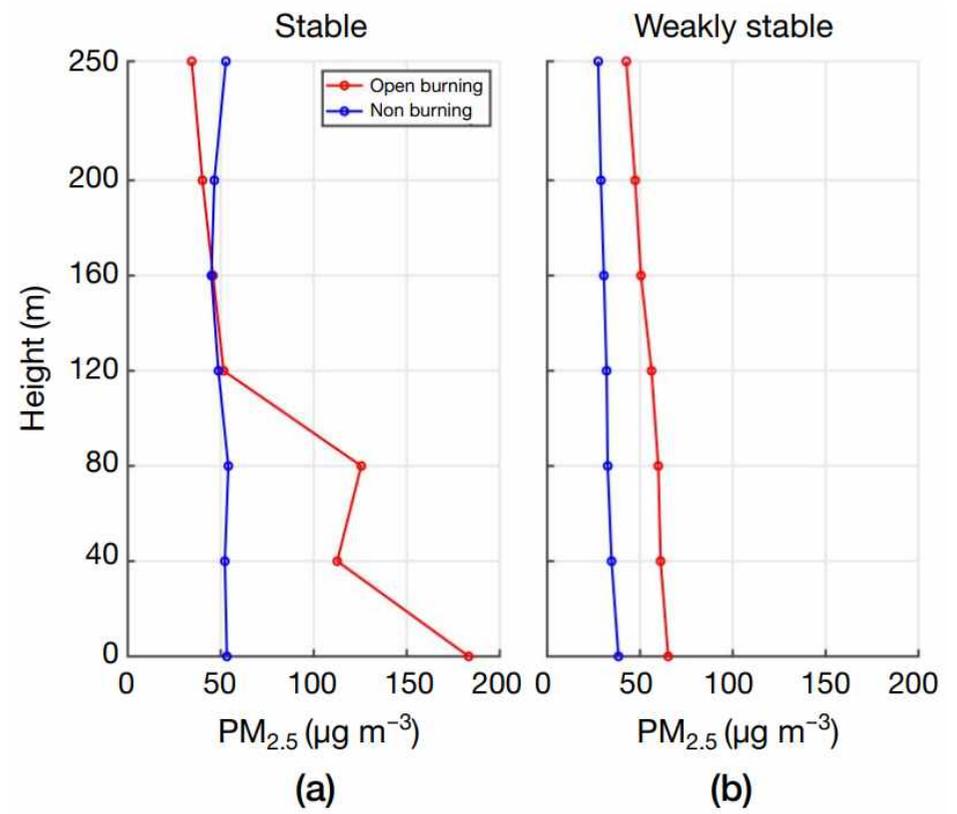
드론을 이용한 기상과 대기질 모니터링

교외 지역 드론 관측

소각 유무에 따른 비교



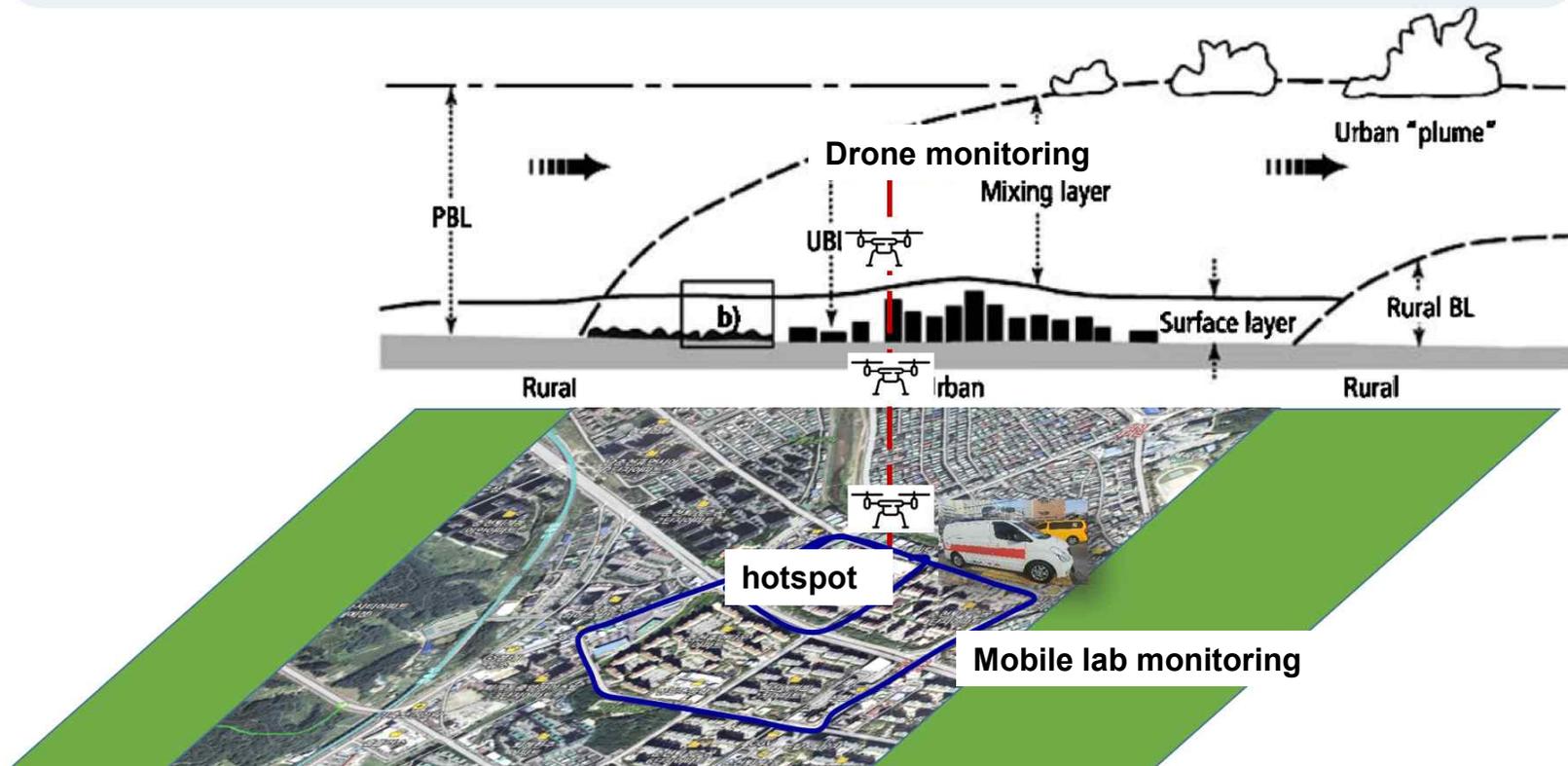
대기 안정도에 따른 비교



연구 수행 방향

Mobile lab monitoring + Drone monitoring + CFD modeling

→ 3차원 격자화된 지역규모 기상/대기질 자료 생산



연구동향 공유 세미나



감사합니다.