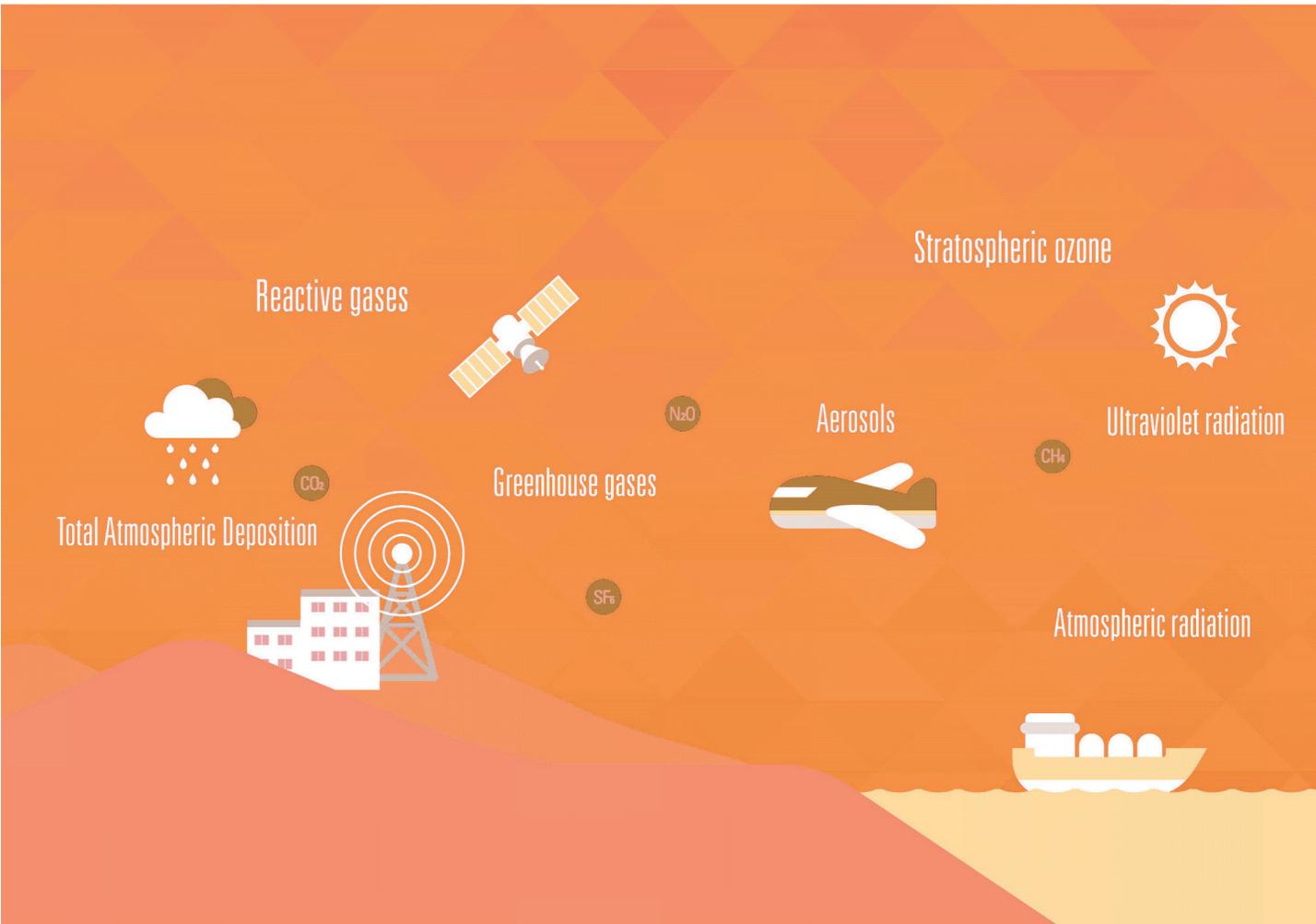


지구대기감시보고서 특별판

Report of Global Atmosphere Watch Special Edition



책임운영기관

국립기상과학원 책임·혁신·상생 전문



contents

지구대기감시

02

한눈에 보는 지구대기감시 역사

12

주요 뉴스

15

지구대기감시요소별 장기변동성 분석

45



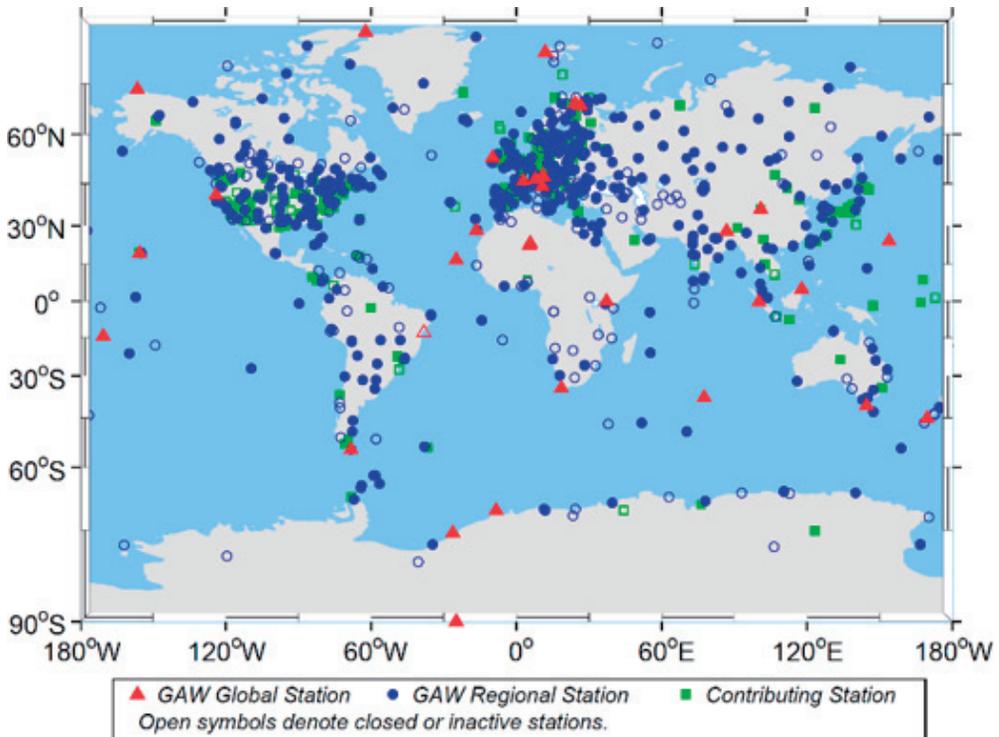
지구대기감시

관측 목적

- 지구대기 화학조성에 대한 과학적이고 신뢰할 수 있는 관측자료 제공
- 지구대기의 자연적·인위적 조성변화 정보 제공
- 대기, 해양, 생물간의 상호작용 과정에 대한 이해 향상

관측 요소

- 온실가스: 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 육불화황, 염화불화탄소류
- 반응가스: 지표오존, 일산화탄소, 질소산화물, 이산화황
- 에어로졸: 질량농도, 수농도, 광산란계수, 광흡수계수, 광학깊이, 화학성분, 연직분포
- 대기복사: 태양 상·하향 복사, 지구 상·하향 복사, 순복사 등
- 성층권오존/자외선: 성층권오존 연직분포, 오존전량, 자외선A, 자외선B
- 총대기침적: 산성도, 전기전도도, 강수이온성분



【세계기상기구 지구대기감시 프로그램 관측소】

한반도 기후변화감시망



안면도 기후변화감시소

온실가스

이산화탄소(CO₂)
메탄(CH₄)
아산화질소(N₂O)
육불화황(SF₆)
염화불화탄소류(CFC-11,12,113)

반응가스

일산화탄소(CO)
지표오존(O₃)
질소산화물(NO_x)
이산화황(SO₂)

성층권오존/자외선

오존전량
자외선A
자외선B

에어로졸

질량농도(β-Ray, PM10)
광학 PM1, PM2.5, PM10
0.01-1.0μm 크기별 수농도
0.5-20μm 크기별 수농도
연직분포(광학특성)
광산란계수
광흡수계수
광학깊이
이온성분
원소성분

총대기침적

산성도
전기전도도
강수이온성분

대기복사

직달일사
산란일사
태양 상하향복사
지구 상하향복사
순복사



울릉도독도 기후변화감시소

온실가스

이산화탄소(CO₂)
메탄(CH₄)
아산화질소(N₂O)
육불화황(SF₆)

반응가스

일산화탄소(CO)

자외선

자외선A
자외선B

에어로졸

질량농도(β-Ray, PM10)
광학 PM1, PM2.5, PM10
0.5-20μm 크기별 수농도
광학깊이

총대기침적

산성도
전기전도도
강수이온성분



독도 무인 기후변화 감시소

온실가스

이산화탄소(CO₂)
메탄(CH₄)



고산 기후변화감시소

온실가스

이산화탄소(CO₂)
메탄(CH₄)
아산화질소(N₂O)
육불화황(SF₆)

반응가스

일산화탄소(CO)
지표오존(O₃)
질소산화물(NO_x)
이산화황(SO₂)

에어로졸

질량농도(β-Ray, PM10)
광학 PM1, PM2.5, PM10
0.5-20μm 크기별 수농도
응결핵수농도
광학깊이

성층권오존/자외선

오존전량
자외선A
자외선B

대기복사

직달일사
산란일사
태양 상하향복사

총대기침적

산성도
전기전도도
강수이온성분



포항 기후변화감시소

오존연직분포
자외선B



지구대기감시요소

| 온실가스 |

- 지구 대기의 장파복사 성질을 변화시켜 지구온난화를 유발하는 대표적인 기체
- 한번 배출되면 대기 중 오래 체류하며, 직·간접적 복사강제력에 영향

이산화탄소 CO ₂	온실가스 중 가장 많은 양을 차지하며 온실효과에 첫 번째로 기여 대기 중 체류시간 200~300년
메탄 CH ₄	두 번째로 영향력이 큰 온실가스로 100년을 기준으로 CO ₂ 와 같은 농도로 가정할 시 CO ₂ 보다 약 28배 강한 온실효과, 대기 중 체류시간 약 9년
아산화질소 N ₂ O	온실가스 중 온실효과에 세 번째로 기여하며, 100년을 기준으로 CO ₂ 와 같은 농도로 가정할 시 CO ₂ 보다 약 265배 강한 온실효과, 대기 중 체류시간 약 114년
육불화황 SF ₆	대기 중 존재하는 양이 1조분의 1로 적으나, 100년을 기준으로 CO ₂ 와 같은 농도로 가정할 시 CO ₂ 보다 약 22500배 높음, 대기 중 체류시간 약 580~1400년
염화불화탄소 CFCs	몬트리올 의정서에 의해 대기 중 농도가 차츰 줄어들고 있으나 100년을 기준으로 CO ₂ 와 같은 농도로 가정할 시 CO ₂ 보다 약 4660~13900배 높은 온실효과 대기 중 체류시간 약 40~100년

| 반응가스 |

- 인위적 활동 혹은 자연적으로 대기 중에 배출
- 화학반응으로 대기중 체류 시간 짧지만 고농도일수록 사람 생물에 해로운 영향
- 대기화학반응을 통해 CO₂를 생성하고, CH₄의 소멸을 늦추거나(온실효과), 에어로졸 형성에 관여(냉각효과)

지표오존 O ₃	광화학 오염물질, 온실가스, OH 라디칼의 주요 생성원 성층권 오존의 유입 혹은 광화학 반응을 통한 생성 대기 중 체류시간 1주일~1개월
일산화탄소 CO	대기화학반응으로 온실가스(CO ₂ , CH ₄)의 대기수명에 영향 줌 탄소화합물(예: 화석연료), 불완전연소, 산불 등으로 생성 대기 중 체류시간 10일~1년
질소산화물 NO _x	질산 에어로졸의 전구체, 대기화학반응으로 O ₃ , CO ₂ , CH ₄ 농도 변화에 영향 줌 자동차 배기가스, 생체소각, 산불, 번개, 토양 등에서 발생 대기 중 체류시간 수 시간~1주일
이산화황 SO ₂	아황산가스, 황산 에어로졸의 전구체, 화석연료 연소, 산불, 화산 등에서 발생 OH 라디칼과 반응 혹은 액상 표면에 침적으로 소멸 대기 중 체류시간 1주일 이내

| 에어로졸 |

- 인위적 활동 및 자연적으로 대기 중에 배출되어 수 일 동안 체류
- 태양복사를 산란(냉각효과)·흡수(온실효과)하고 구름형성과정에 영향을 주며, 전 지구 평균적으로 음(-)의 복사강제력을 가짐

물리특성	PM10 질량농도, 크기별 수농도, 응결핵 수농도(총수농도) (에어로졸의 크기와 수농도 등 기본정보)
광학특성	광산란계수, 광흡수계수, 광학깊이 (에어로졸 복사강제력 이해를 위한 기본 관측 요소)
화학특성	수용성 이온성분 및 원소성분* (에어로졸 발생원 추적을 위한 기초 정보 제공)
연직분포	고도별 후방산란계수 및 비편광도 (에어로졸 유형(황사, 미세먼지 등), 구름 등의 고도별 정보 제공)

* 수용성 이온 성분: 9종(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, F⁻, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)

원소 성분: 20종(Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, S, Ti, Mn, Zn, Cu, V, Cr, Co, Ni, Sr, Co, Ba, Pb, Mo)

| 대기복사 |

- 지구 복사 평형을 유지하고 온난화에 대응하기 위해 필수적인 감시요소

태양상향복사	지표로부터 반사되거나 구름 및 에어로졸에 의해 산란되어 방출되는 일사
태양하향복사 (전천일사)	태양으로부터 지표에 도달하는 모든 일사
직달일사	태양으로부터 직접 지표에 도달하는 일사
산란일사	공기입자 및 구름 등에 의해 산란되어 지표에 도달하는 일사
지구상향복사	지표에서 대기로 방출되는 적외복사
지구하향복사	구름이나 대기에서 지표로 방출되는 적외복사
순복사	태양 및 지구복사의 입사량과 방출량의 차이

|성층권오존|

- 태양으로부터 입사되는 유해자외선으로부터 생태계를 보호
- 태양에너지를 흡수하여 전지구 기후변화에 영향(성층권오존은 냉각효과/대류권오존은 온실효과)

오존전량	단위면적 상공 대기층 전체에 분포하는 오존의 누적 총량 오존전량의 90% 가량이 성층권에 분포되어 성층권오존 변화감시의 지표
연직오존	오존농도의 연직적인 분포

|자외선|

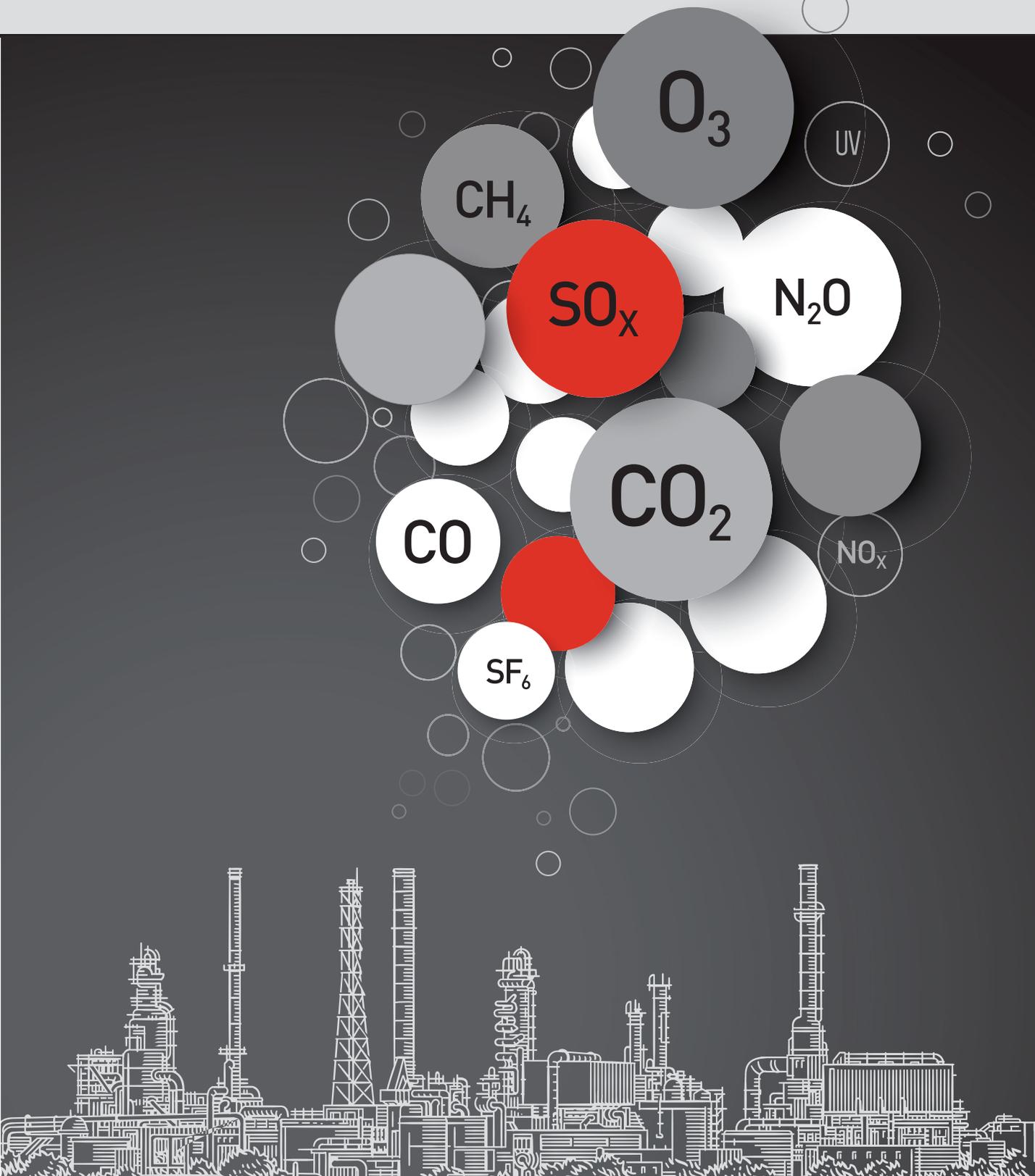
- 태양광 중 가시광선보다 짧은 파장 영역의 복사광
- 인체에 유해할 뿐만 아니라 가축, 농작물의 생육에도 악영향

자외선A (320~400 nm)	피부 노화와 같은 장기적인 피부손상을 일으키며 노출 지속시간에 따라 손상이 커지기 때문에 일 누적값으로 분석
자외선B (280~320 nm)	피부암, 백내장 등을 유발하며 높은 자외선 값일수록 발병확률이 높아지기 때문에 일 최댓값으로 분석

|총대기침적|

- 대기 중 인위적 및 자연적 발생된 가스와 입자들이 대기로부터 제거되는 중요한 과정

건성침적	대기 중 가스상·입자상 물질이 중력에 의해 지면에 도달하는 과정 * 분석성분: pH(산성도), 전기전도도, 수용성 이온 성분: 9종 (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , F ⁻ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺)
습성침적	대기 중 가스상·입자상 물질이 강수(비, 눈, 우박 등)에 의해 제거되는 과정 * 건성침적과 동일한 요소를 분석함





한반도 지구대기감시 현황

한반도에서 지구대기감시는 1987년 1월에 충북 단양군 단양읍에 위치한 소백산기상관측소에서 출발하였다. 이곳에서 대기질, 산성비, 대기복사 등이 관측되었다. 1990년부터 국립기상과학원은 고산에서 플라스크 샘플링 방법으로 온실가스를 관측하였다. 이후에 기후변화 유발물질의 감시 필요성이 대두되면서 1992년부터 무안기상대에서 온실가스를 관측하기 시작하였고, 1994년부터 포항기상대에서 성층권 오존과 자외선 관측도 시작했다.

기후변화가 세계적인 관심사로 떠오르면서 1995년 12월에 소백산기상관측소를 배경대기관측소로 개편하고 1996년 9월에 현재의 안면도 기후변화감시소 위치로 배경대기관측소를 이전하였다. 또한, 효율적인 배경대기감시를 위하여 1998년부터 무안기상대의 온실가스 관측을 배경대기관측소로 통합·운영하게 되었다.

1998년에 안면도 기후변화감시소는 WMO/GAW에 지역급 관측소로 등록되었고, 2000년 8월 지구대기감시관측소로, 2007년 3월 지구대기감시센터로 명칭이 변경되었다. 2008년 3월에는 명칭을 기후변화감시센터로 변경하고, 소속은 국립기상과학원에서 기상청으로 변경되었다.

이후 한반도에서 기후변화 유발물질의 유입을 감시하기 위하여 우리나라 중부 서해안의 안면도 기후변화감시소를 GAW 관측지침에 맞게 관측환경을 구축하는 한편, 2011년 남부 서해안지역인 제주도에 고산 기후변화감시소를 설립하였다. 유출 지역을 감시하기 위하여 2011년 한반도의 최동단인 독도에서 온실가스 관측을 시작하였으며, 2013년 울릉도에 울릉도독도 기후변화감시소를 신설하였다. 이로써 기후변화감시소는 한반도를 삼각형으로 감시하는 관측망으로 구축되었다. 이 중 고산은 안면도와 마찬가지로 2013년 GAW에 지역급 관측소로 등록되었다. 또한, 대학 및 유관기관에서 운영하는 7개의 위탁관측소도 함께 포함하고 있다.

2015년부터 국립기상과학원이 기후변화감시 업무를 맡게 되면서 감시분야별로 개선된 GAW 관측지침에 따라 관측환경을 정비하였고, 자료의 품질관리 체계와 WMO 세계자료센터에 공유할 자료양식을 표준화하였다.

한반도 지구대기감시 정보

지점명	위·경도	해발고도(m)	관측분야(관측시작연도)	비고
안면도	36.53°N 126.32°E	47.0	온실가스(1999), 반응가스(1998) 에어로졸(1999), 총대기침적(1997) 성층권오존(1994), 자외선(1999) 대기복사(1999)	WMO/GAW 지역급 관측소 (1998, AMY)
고산	33.30°N 126.21°E	52.0	온실가스(2009), 에어로졸(2009) 총대기침적(2012), 성층권오존(2009) 자외선(1999), 대기복사(2008)	WMO/GAW 지역급 관측소 (2013, JGS)
	33.29°N 126.16°E	71.0	온실가스(2012), 반응가스(2012) 에어로졸(2014), 총대기침적(1998)	
울릉도독도	37.48°N 130.90°E(울릉도)	220.9	온실가스(2012), 반응가스(2015) 에어로졸(2012), 총대기침적(1997) 자외선(2012)	
	37.23°N 131.86°E(독도)	24.0	온실가스(2011)	
포항	36.02°N 129.37°E	2.5	성층권오존(1994), 자외선(1999)	WMO/GAW 지역급 관측소 (1994, POH)

위탁관측소 운영 현황

위탁기관명	위·경도	관측요소	위탁지정일	비고
연세대학교	37.57°N 126.95°E(서울)	성층권오존, 자외선	2004. 11. 6.	WMO/GAW 지역급 관측소
광주과학기술원	35.22°N 126.83°E(광주)	에어로졸 광학깊이, 연직분포	2007. 1. 1.	
서울대학교	37.75°N 127.15°E(광릉수목원)	산림 이산화탄소	2008. 11. 5.	
극지연구소	62.22°S 58.78°W (남극세종과학기지)	이산화탄소	2010. 10. 26.	WMO/GAW 지역급 관측소
	74.62°S 164.23°E (남극장보고과학기지)	이산화탄소, 성층권오존	2017. 10. 1.	
제주대학교	33.29°N 126.16°E(제주 고산)	라돈	2012. 4. 1.	
숙명여자대학교	37.54°N 126.97°E(서울)	중층대기 수증기, 성층권오존	2015. 4. 1.	

기후변화감시소 관측장비 현황

구분	장비명	설치지점	관측방법(관측요소)
온실가스	공동감쇠 분광기 	안면도, 고산 울릉도, 독도	단일레이저다이오드로 공동(Cavity) 안에 빛을 쏘아 온실가스가 빛을 흡수하는 성질을 이용하여 이산화탄소(CO ₂)와 메탄(CH ₄) 농도 관측
	공진출력 분광기 	안면도	단일레이저다이오드로 공동(Cavity) 안에 빛을 쏘아 온실가스가 빛을 흡수하는 성질을 이용하여 이산화탄소(CO)와 아산화질소(N ₂ O) 농도 관측
	가스크로마토그래피 	안면도, 고산 울릉도	대기시료가 분리관(컬럼)을 통과하면서 관측 요소(N ₂ O, SF ₆ , CFCs)를 분리하여 농도 관측
반응가스	일산화탄소 분석기	안면도, 고산	대기 중의 가스상 오염물질 관측으로 비분산적외선법으로 일산화탄소(CO) 관측
	오존 분석기 	안면도, 고산	대기 중의 가스상 오염물질 관측으로 자외선흡수법으로 지표오존(O ₃) 관측
	이산화황 분석기 	안면도, 고산	대기 중의 가스상 오염물질 관측으로 자외선형광법으로 이산화황(SO ₂) 관측
질소산화물 분석기	안면도, 고산	대기 중의 가스상 오염물질 관측으로 화학발광법으로 질소산화물(NO _x) 관측	
에어로졸	부유분진 측정기 	안면도, 고산 울릉도	부유분진측정기를 통해 대기 중 크기가 10μm 이하인 입자의 질량을 연속적으로 관측
	광학입자 계수기 	안면도, 고산 울릉도	직경 10μm, 2.5μm, 1.0μm 이하 입자의 질량농도를 관측하여 μg/m ³ 로 표출
	공기역학 입자 계수기 	안면도, 고산 울릉도	0.3~20μm 사이 입경별 수농도 관측
	전자기유도입자 계수기 	안면도	0.01~1.0μm 사이 입경별 수농도 관측
	응결핵 계수기 	안면도	0.01~3.0μm 사이의 입자 총수농도 관측
	광산란계수 측정기 	안면도	에어로졸 광산란계수 관측(가시광선 3파장)
	광흡수계수 측정기 	안면도	에어로졸 광흡수계수 관측(자외선~근적외선 사이 7파장)

구분	장비명	설치지점	관측방법(관측요소)
에어로졸	태양광도계	 안면도	파장별 일사량을 8개 채널(340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020, 1064nm)로 관측하고 파장별 에어로졸광학두께(AOD) 및 옹스트롬 지수 산출
	정밀필터 복사계	 안면도, 고산 울릉도	파장별 일사량을 4개 채널(862, 500, 412, 368nm)로 관측하고 에어로졸광학두께(AOD) 및 옹스트롬 지수 산출
	에어로졸 라이더	 안면도	에어로졸의 연직분포를 관측
	저용량 미세먼지 채취기	 안면도	PM10 또는 PM2.5를 필터에 포집하여 사후 분석을 통해 질량농도 산출 및 화학성분 분석
성층권 오존 / 자외선	오존 분광광도계	 안면도, 고산	286.5~363.0nm 영역 파장 중 6개 파장의 차등 흡수를 이용하여 오존전량 관측
	오존존데	 포항	오존 연직분포 관측
	자외선 측정기	 안면도, 고산 울릉도, 포항	자외선A(320~400nm) 및 자외선B(280~320nm) 복사량 관측
대기 복사	전천일사계	 안면도, 고산	태양으로부터 직접 도달하는 직달일사량과 대기로부터 산란 또는 반사되어 나오는 산란일사량의 합을 관측
	직달일사계	 안면도, 고산	태양을 추적하면서 태양으로부터 직접 도달하는 직달일사량 관측
	지구복사계	 안면도	지표나 대기에서 방출하는 적외선 장파복사(지구복사) 관측
	순복사계	 안면도	순복사량 관측
총 대기 침 적	산성도 측정기	 안면도, 고산, 울릉도	채취된 빗물의 pH 측정
	전기전도도 측정기	 안면도, 고산, 울릉도	채취된 먼지와 빗물의 전기전도도 측정
	이온크로마토그래피	 안면도	채취된 먼지와 빗물의 음이온, 양이온성분 측정 ※ 이온성분(9개): Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , F ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻

한눈에 보는 지구대기 감시역사

1980s

- 1987.1.** [소백산기상관측소]
배경대기오염상시관측시작



1990s

- 1990.8.** [제주고산]
온실가스플라스크 관측

- 1992.5.** [무안기상대]
온실가스 관측

- 1994.3.** [포항기상대]
성층권오존(전량),
자외선 관측



- 1995.12.** [소백산기상관측소]
배경대기관측소로 개편



- 1996** 안면도로 배경대기관측소 이전(9월)
[무안기상대, 안면도 배경대기관측소,
제주고층레이더기상대,
강원지방기상청] 자외선 관측

- 1997** [울릉도기상대]
산성비 관측
목포기상대 자외선관측



- 1998** [울진기상대, 고산기상대]
산성비 관측
[안면도 배경대기관측소]
반응가스 관측시작(4월)

2000s

2000.8. [안면도 지구대기감시관측소] 지구대기감시소로 명칭변경



2003.1. [안면도 지구대기감시관측소] 40m 관측탑 설치(1월)



2004.11. [연세대학교] 위탁관측소 지정

2007.1. [광주과학기술원] 위탁관측소 지정

2007.3. [안면도 지구대기감시센터] 명칭변경

2007.11. [고산 기후변화감시소] 신설



2008.3. [기상청 기후변화감시센터] 소속, 명칭 변경

2008.11. [서울대학교(광릉)] 위탁관측소 지정

2010s

2010.10. [남극세종과학기지] 위탁관측소 지정

2011. [울릉도] 지구대기감시업무 시작 [독도] 온실가스 관측 시작(10월) [제주고산] 온실가스업무 고산기상대 이전(12월)

2012.4. [제주대학교] 위탁관측소 지정

2012.10. [WMO 육불화황 세계표준센터] 지정



2013.7. [고산 기후변화감시소] WMO 지역급 관측소 등록

2013.12. [울릉도독도 기후변화감시소] 신설



2014.4. [울릉도독도 기후변화감시소] 운영 시작

2014.8. [전지구 탄소전량관측망(TCCON)] 지정



2015.3. 한반도 에어로졸 라이이다 관측망 (KALION) 업무협약



2015.4. [숙명여자대학교] 위탁관측소 지정

2015.7. 기후변화감시업무 국립기상과학원 이관

2016.5. 고산 기후변화 통합합동 운영협약의 업무협약



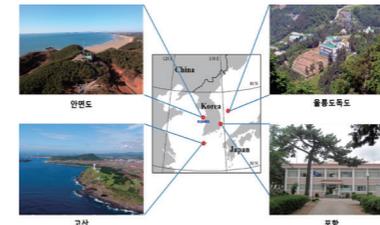
2020s

2014~2020 기후변화감시자료 품질관리 및 모니터링 체계 강화 웹기반 실시간 모니터링 시스템, 실시간 품질관리체계, 통계값 생산체계, 웹기반 통합관리체계 구축 장비 이력관리 솔루션 개발



2017.10. [남극장보고과학기지] 위탁관측소 지정

2018.12. 기후변화감시망 조정 (기본3, 보조3 → 기본4)



2020.12. [국립기상과학원] 온실가스 중앙실험실 구축



2021.5. WMO 통합전자온실가스 과학정보시스템(GIS) 사업 승인



주요 뉴스

1987. 1. 기상연구소 산하 소백산기상관측소 배경대기오염 상시관측 시작

청정지역인 소백산(해발 1,340 m)에 배경대기관측소를 설립하고 강수성분 분석, 부유분진 측정, 대기혼탁도 및 기상관측을 수행하기 시작하였다. 이를 통해 세계기상기구 산하의 배경대기오염관측망(BAPMoN; Background Air Pollution Monitoring Network)에 참여하였다. 강수성분 분석은 산성비를 관측하기 위한 것으로 소백산에서 강수를 채취하여 산성도와 전기전도도를 측정하였고, 일부 샘플은 기상연구소 분석실로 송부하여 이온분석과 미량원소분석을 수행하였다. 강수성분 분석기는 1989년 11월말에 도입하였으며, 부유분진채취기에 PM10을 설치하여, 부유분진 중 입경 10 μ m 이하의 분진 총량을 측정하였다. 이 때 부유분진이 포집된 필터는 증성자를 쪼여서 감마선 스펙트럼 분석을 하여 분진의 성분(미량원소)을 분석하였다.



↳ 소백산기상관측소 전경



↳ 소백산기상관측소 표석



↳ 부유분진채취기



↳ 안개포집기



↳ 강수 시료 분석



↳ 소백산기상관측소 노장

1990.8.

기상연구소 제주 고산 온실가스 관측 플라스크 샘플링

과학기술부 특정연구과제와 환경부 연구과제를 통해 제주 고산에서 플라스크 샘플링 방법에 의한 이산화탄소 관측 등 온실가스 관측을 수행하였다. 공기 샘플 채취는 매주 1회 정도 수행되었으며, 1쌍으로 채취된 플라스크 내의 공기 샘플은 서울대학교에 설치된 농도 분석기기와 미국 스크립스 해양연구소의 분석실에 보내져 분석 결과를 얻었다. 이 분석 시스템을 이용하여 공기 샘플링 시료로부터 이산화탄소 외에도 1994년부터 아산화질소, 염화불화탄소의 농도 분석과 1995년부터 메탄 농도 분석을 실시하였다.

1992.5.

무안기상대 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O, CFCs) 관측 시작

1992년 5월 기상청의 기후변화감시체계 구축이 개시되었으며, 한·일 과학기술공동사업의 일환으로 동북아 기후변화감시체계구축 사업과 병행하여 추진되었다. 1992년 무안에 기상대를 신설하여 종관기상관측업무 외에 온실가스 등을 관측하는 업무를 부여하여 대기 중 온실가스 농도의 현지 연속관측업무를 최초로 시작하였다.

1994.3.

포항기상대 성층권 오존(오존전량), 자외선 관측 시작

1994년부터 포항에서 성층권 오존층의 변화를 감시하기 위해 오존전량과 오존연직분포 및 지표부근의 유해자외선량을 측정하기 시작하였다.



L, 오존존데 관측



L, 오존 브루어

1995.12.

소백산기상관측소를 배경대기관측소로 개편

1996.9.

안면도로 배경대기관측소 이전

1996년 9월 대지면적 10,200 m², 연면적 498.18 m²의 배경대기관측소 청사를 안면도에 신축하여 좀 더 개선된 환경에서 관측자료를 생산할 수 있게 되었으며, 세계기상기구/지구대기감시 계획상의 다양한 관측요소를 생산하여 관련기관에 제공하였다.



ㄴ, 안면도 배경대기관측소 신축(1996)



ㄴ, 배경대기관측소 이전기념 개소식(1996)



ㄴ, 무사기원 고사



ㄴ, 안면도 배경대기관측소

1996~1998 자외선 및 산성비 관측 확대

1996년에는 무안기상대, 안면도 배경대기관측소, 제주고층레이더기상대, 강원지방기상청에서 자외선 관측을 시작하였고, 1997년에는 울릉도기상대에서 산성비 관측, 목포기상대에서 자외선 관측을 시작하였다. 또한, 1998년에는 울진기상대와 고산기상대에 산성비 관측이 추가로 시작되었다.

1998.5. 안면도 배경대기관측소 세계기상기구 지역급 지구대기감시관측소로 등록

효율적인 배경대기감시를 위해 1998년 4월부터 무안기상대의 온실가스 관측을 배경대기관측소로 통합·운영하게 되었고, 1998년 5월에 안면도 배경대기관측소는 세계기상기구에 지역급 지구대기감시관측소로 등록되었다.



ㄴ, 한반도 기후 변화 감시 기술 개발 워크숍



ㄴ, 안면도 관사신축

2000.8.

안면도 지구대기감시관측소로 명칭 변경



L, 지구대기감시관측소 현판



L, 안면도 지구대기감시관측소 직원



L, 21세기 대기오염연구회 워크샵

2001

지구대기감시보고서 발간 시작

2001년부터 GAW 프로그램에서 생산되는 온실가스, 반응가스, 대기복사, 에어로졸, 오존 및 자외선 그리고 강수화학 등 우리나라 상공의 대기조성변화 상황에 대한 종합적인 분석보고서인 「지구대기감시보고서」를 매년 발간하였으며, 2002년 12월에는 한글판 지구대기감시보고서를 요약한 지구대기감시보고서 영문판을 최초로 발간하기도 하였다.

2001.12.

안면도 오존라이다 도입을 통한 오존연직분포 관측

한반도 상공의 오존감시 능력을 보강하고 포항기상대의 오존 관측자료와 비교함으로써 관측자료의 질적 향상을 도모하기 위하여 2001년 12월, 성층권 오존관측용 라이다를 지구대기감시관측소에 설치하였다. 오존라이다(모델: StraZon3070)는 레이저빔을 이용하여 오존의 연직분포를 관측함으로써 성층권 오존분포를 손쉽게 관측할 수 있는 장점이 있다. 관측 방식은 두 개(308 nm, 353 nm)의 다른 파장대 레이저빔을 대기 중으로 발사한 후, 되돌아오는 신호를 감지하여 연직 오존 농도 분포를 측정하는 차등흡수라이다(DIAL; Differential Absorption Lidar) 방식이며, 지상으로부터 약 12 km~60 km 사이의 성층권 오존을 관측할 수 있다. 아울러 노후된 기후감시장비를 교체하고 관측의 정밀도가 높은 신장비로 보강하는 사업을 지속적으로 추진하였다.

2001~2005

온실가스, 에어로졸 관측 확대, 국제비교실험 참가 시작

온실가스의 측정을 위하여 가장 중요한 수분제거용 제습장치, 대기 중 입경 $10\mu\text{m}$ 이하의 에어로졸 측정이 가능한 PM10장비 등을 도입하였다. 2004년과 2005년에는 에어로졸 관측 능력을 보강하기 위하여 $0.5\mu\text{m}$ 이하의 입경별 에어로졸 수농도 측정이 가능한 전자기유도입자계수기(SMPS; Scanning Mobility Particle Sizer)와 $0.5\sim 20\mu\text{m}$ 사이의 입경별 수농도 분포 측정이 가능한 공기역학입자계수기(APS; Aerodynamic Particle Sizer)를 통합하였다. 국제적으로 관측 및 분석기술 능력을 시험하기 위한 WMO 국제비교실험에도 적극적으로 참여하였다. 강수화학분야에서는 WMO의 강수화학자료센터(WDCPC; World Data Center for Precipitation Chemistry)에서 매년 주관하는 강수시료 국제비교를 수행하고 있으며, 온실가스 분야 또한 미국 기후감시진단연구소(CMDL)에서 주관하는 CO_2 표준가스 국제 비교실험과 일본기상청이 주관 하는 CH_4 표준가스 국제비교 실험에 참여하였다. CH_4 국제 비교실험은 한·중·일 기상청이 메탄 관측 장비의 정밀도를 진단하고 개선하기 위한 목적으로 2001년과 2005년에 각각 약 7개월간에 걸쳐 실시하였다.



L, 메탄 국제비교실험 장면 (2001년)



L, 안연도 NDIR

2002~2006

온실가스 관측용 국제표준가스 국산화 기술개발

국제환경규범인 기후변화협약 등에 효과적으로 대응하기 위한 기초자료의 생산 및 온실가스농도의 정확한 관측을 위하여 2002년부터 「온실가스측정용 국제표준가스 국산화 기술개발」 사업을 추진하였다. 국가표준가스(National Standard Gases)의 제조기술보유는 온실가스 관측 및 분석 기술 수준을 가늠할 수 있는 척도로 인식되고 있어 매우 중요한 사업이며, 이산화탄소(CO_2)는 대기 중에 미량(약 0.03%)으로 존재하므로, 표준가스 제조 및 농도 분석 시 고도의 기술을 필요로 한다. 이 사업은 한국표준과학연구원에서 주관하였으며, 이산화탄소 WMO(1차) 표준가스와 같은 수준의 갖는 CO_2 국가표준가스를 개발하는 데 성공하였다. 이 사업을 수행한 결과, 기술적 측면에서는 표준가스(실린더, 가스의 재료 포함) 무게의 정밀한 계측, 표준가스의 정확한 측정, 보급형 표준가스 제조 기술 개발 등의 핵심 기술력을 확보하였고, 경제적 측면에서는 국내에서 표준가스를 자체 제작함으로써 수입 대체 효과와 수출에도 기여할 수 있게 되었다.

2003년에는 온실가스 중 지구온난화 기여도가 두 번째로 큰 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O)의 국가표준가스를 독자 생산할 기술개발을 추진하였으며, 2003년부터는 지구대기감시관측소도 공동연구기관으로 참여하여 표준가스를 온실가스 관측장비에 적용하는 역할을 담당하였다. 2004년도에는 대기 중 농도가 매우 희박하여, 측정이 아주 힘든 염화불화탄소(CFCs) 농도측정을 위한 표준가스 개발 사업을, 2005년도에는 극미량 온실가스인 과불화탄소(PFCs) 농도 측정기술을 개발하였고, 2006년도에는 PFCs 표준가스 개발과 지구대기감시관측소에 상시 관측시스템을 구축하기에 이르렀다.

2003.1. 안면도 40 m 관측탑 설치

2003년에는 안면도 지구대기감시관측소의 주변지역의 환경 변화 등 인위적인 영향에 효율적으로 대처하고 온실가스 관측의 자료 질 향상을 위하여, 온실가스 시료채취용 관측탑(높이 40 m)을 설치하였다. 이 높이는 지표면의 직접적인 영향이 적고 시료채취 효율성을 감안하여 결정하였다. 관측탑의 20 m와 40 m에 각각 온실가스자료 분석에 중요한 요소인 풍향 및 풍속을 측정하기 위하여 풍향계와 풍속계 2조를 설치하였고, 또한 두 지점(20 m, 40 m)에 온실가스 채취구를 각각 설치하여 높이에 따른 온실가스 농도 특성을 알 수 있도록 구성하였다.



↳ 관측탑 설치



↳ 지구대기감시관측소 항공사진 (2003년)

2004.11. 연세대학교 위탁관측소 지정

오래전부터 지구대기감시를 수행해오거나 최신감시기술로 관측을 수행하고 있는 대학이나 연구기관과 연계하여 지구대기감시관측망을 보강하기 위하여 위탁관측소를 지정·운영하였다. 2004년 11월에는 연세대학교를 위탁관측소로 지정하고, 성층권오존 및 자외선 관측 자료를 공유하기 시작하였다. 연세대학교는 1984년부터 돕슨(Dobson) 분광광도계를 이용하여 한반도 상공의 오존층 변화를 감시해 왔으며, 세계기상기구 지구대기감시 프로그램에 전지구오존관측망(GO3OS)에 등록되어 있었다. 또한 1997년부터 서울지역의 오존전량과 자외선도 관측하기 시작하였다.



↳ 연세대 위탁관측소



↳ 연세대 위탁관측소

2005.9. 안면도 지구대기감시관측소 연구동 신축

2005년도에는 관측시설의 증대 및 지구대기감시의 통합적 역할 기능을 강화하기 위하여 연구동을 신축하였다.



ㄴ, 연구동 증축 공사 장면 (2005년)



ㄴ, 연구동 증축 공사 장면 (2005년)



ㄴ, 연구동 개소식 (2005.9.27)



ㄴ, 연구동 개소식 기념 식수 (2005.9.27)



ㄴ, 지구대기감시관측소 전경(2005)

2007.1. 광주과학기술원 위탁관측소 지정

2006년 12월 21일 광주과학기술원 신기술모니터링센터를 위탁관측소로 지정하고, 2007년 1월 1일부터 업무를 개시하였다. 위탁관측 요소는 대류권 에어로졸 연직분포(다파장 라만 라이더)와 에어로졸 광학깊이(선포토미터)였으며, 2007년 1월 23일 현판식을 개최하였다.



↳, 광주과학기술원 위탁관측소 현판식(2007.1.23.)

2007.3. 지구대기감시센터로 명칭 변경

2007년은 지구대기감시센터 개소 20주년이 되는 해로서 지구대기감시관측소에서 지구대기감시센터로 명칭이 변경(2007. 3.)되었고, 2007년 11월에는 정부의 기후변화관련 부처와 학계의 원로들을 초청하여 지구대기감시센터 20주년 기념식과 기후변화감시워크숍을 개최하였다.



↳, 지구대기감시센터 현판식



↳, 지구대기감시센터 항공사진 (2008년)

2008.3. 기상청 기후변화감시센터로 소속·명칭 변경

2008년 3월에는 직제가 개편되면서 기후변화감시 업무의 영역을 확대하는 차원에서 기후변화감시 센터로 명칭 변경과 함께 국립기상연구소에서 기상청 기후국으로 소속이 개편되었다. 명칭이 센터로 변경된 이 시기에는 기상청 산성비 관측망, 자외선관측망에 폭넓은 기술 지원과 함께 본격적으로 중앙분석센터의 기능을 수행하기 시작하였다. 기상청 현업을 지원하는데 중점을 두었으며, 현업 지원의 일환으로 자외선관측망에서 관측된 자외선 지수자료를 실시간으로 제공하기 시작하였고, 에어로졸 관측자료를 활용하여 황사판별기법을 개발하여 2008년부터 에어로졸 관측자료를 실시간으로 종합기상정보시스템(COMIS-3)에 표출함으로써 예보관들이 황사를 예보하는데 도움을 주었다.

2008.11. 서울대(광릉) 위탁관측소 지정

연세대학교와 광주과학기술원에 이어 2008년 11월 5 일에는 서울대학교 국가농림센터를 위탁관측소로 추가 지정하였다. 서울대학교는 2008년부터 광릉수목원에 탄소플렉스 측정시스템을 설치하여 산림생태계의 이산화탄소와 수분플렉스를 관측하기 시작하였다.



나, 서울대 위탁관측소

2008.11. 고산 기후변화감시소 신설

빠른 속도의 기후변화로 지구 온난화가 사회·경제적인 이슈가 되면서 한반도에서 기후변화 유발물질의 유출입을 감시하기 위한 지구대기감시관측망의 확대가 추진되었다. 한반도에서 기후변화 유발물질의 유입 지역에 해당하는 남부 서해안(제주특별자치도 제주시 한경면)에 고산기후변화감시소가 2008년 11월 신설되었다.



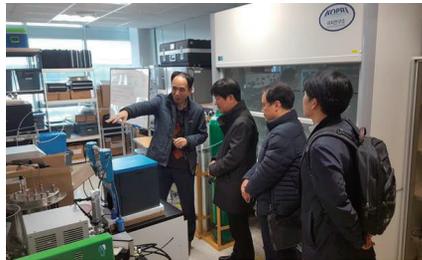
↳, 고산기후변화감시소 전경

2010.10. 남극세종과학기지 위탁관측소 지정

2010년 10월 26일 극지연구소의 남극세종과학기지를 위탁관측소로 추가 지정하였다. 남극 킹조지(King George) 섬에 위치한 남극세종과학기지에서는 2010년부터 온실가스를 관측하기 시작하였고, 2010년에 세계기상기구 지구대기감시 프로그램의 지역급 관측소로 등록되었다. 남극세종과학기지에서는 공동감쇠분광기(CRDS)로 이산화탄소(CO₂)와 메탄(CH₄)을 관측하고, 기상상태, 자외선, 성층권오존, 일산화탄소(CO)를 관측하고 있다.



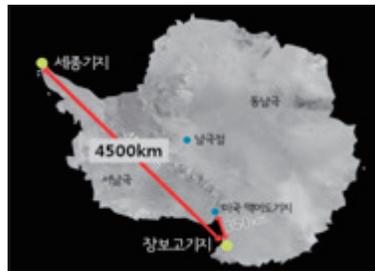
↳, 극지연구소 위탁관측소



↳, 극지연구소 위탁관측소



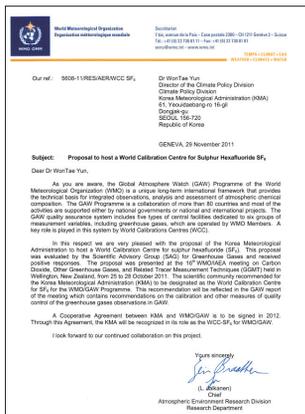
↳, 극지연구소 관측장비



↳, 세종기지 및 장보고기지 위치

2012.10. 세계기상기구 육불화황 세계표준센터 지정

세계기상기구 지구대기감시 프로그램은 육불화황(SF₆)을 체계적으로 감시해야하는 필요성을 인식하고 1990년대 후반부터 육불화황을 측정하기 시작하였다. 우리 기상청도 2007년 1월부터 육불화황을 측정해 왔다. 2011년 11월에는 세계기상기구 지구감시프로그램으로부터 세계기상기구 육불화황 세계표준센터(WMO WCC-SF₆; World Calibration Centre for Sulphur Hexafluoride)의 한국기상청 유치 제안서가 인가되었고, 2012년 10월에 기상청과 세계기상기구(WMO) 간의 협력합의서가 체결되었다.



☞ 육불화황 세계표준센터 유치 인가 서한 (2011.11.)



☞ 육불화황 세계표준센터 협력합의서 서한 (2012.10.)



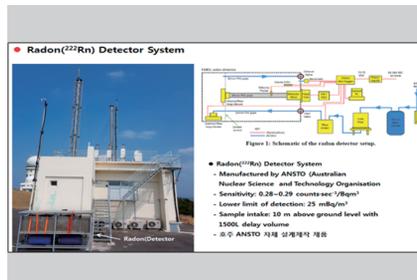
☞ 세계기상기구 육불화황 세계표준센터 현판

2012.4. 제주대학교 위탁관측소 지정

제주대학교는 2001년부터 고산기상대에 호주핵과학기술기구(ANSTO)에서 제작한 라돈(²²²Rn) 검출기(D1500)를 설치하여 라돈 농도를 측정해 왔다. 이에 2012년 4월 제주대학교의 고산 라돈관측소를 위탁관측소로 추가 지정하였다.



☞ 고산 라돈 관측소 현장



☞ 라돈 관측시스템

2013.7. 고산기후변화감시소 세계기상기구 지구대기감시 지역급 관측소 등록

고산기후변화감시소에서는 신설 당시 6개 분야 19종의 감시요소를 측정하였다. 2011년 12월에 온실가스, 반응가스 관측, 2013년 12월에 공기역학입자계수기(APS)와 응결핵계수기(CPC)를 고산기상대로 이전하였고, 고산기후변화감시소는 오존, 자외선, 에어로졸 광학깊이(AOD), 강수화학 등 4개 요소에 대하여 2013년 7월 세계기상기구 지구대기감시 지역급 관측소로 등록되었다.

2013.12. 울릉도독도 기후변화감시소 신설

한반도 동쪽 기후변화 원인물질의 유출입 감시를 위해 기후변화감시소 신설이 추진되었다. 2011년부터 울릉도 기상대에서 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 에어로졸 광학깊이, 자외선, 강수 이온성분, 산성도, 전기전도도 관측을 시작하였고, 같은 해 10월 한반도 최동단인 독도에 독도 무인기후변화감시소를 설립하고 온실가스 관측을 시작하였다. 울릉도에 2013년 12월에 울릉도독도 기후변화감시소를 신설하였고, 2014년 5월 본격적인 기후변화감시소 운영을 시작하였다. 이로써 한반도를 삼각형으로 감시하는 지구대기감시관측망이 구축되었다.



2014.8. 안면도 기후변화감시소 전지구 탄소전량 관측망(TCCON) 지정

2014년 8월에는 안면도 기후변화감시소 고분해 태양흡수분광간섭계 관측시설이 전지구 탄소전량 관측망(TCCON; Total Carbon Column Observing Network)으로 지정(전지구 27개 관측소 중 21번째)되었다. 안면도 TCCON 관측소는 대기, 육지 및 해양 사이의 탄소 흐름(또는 플럭스)을 포함하여 온실가스 관측·분석·연구를 수행하고 있다.



↳ TCCON 관측소 전경

↳ TCCON 관측소 내외부 이미지

2015.3. 한반도 에어로졸 라이다 관측망(KALION) 업무협약

한반도로 유입되는 에어로졸의 상시 공동 관측체계를 구성하고, 관측자료 공유, 품질관리기술 통합, 관측자료 통합관리시스템 구축 및 운영, 에어로졸의 기후효과 공동연구 추진을 위하여 기상청과 강릉원주대학교, 광주과학기술원, 국립환경과학원, 목원대학교, 서울대학교, 서울시 보건환경연구원, 울산과학기술원, 한밭대학교와 함께 2015년 3월에 「한반도 에어로졸라이다 관측망(KALION)」 업무협약을 체결하였다.

한반도 에어로졸 라이다 관측자료 통합 활용 협약서

기상청과 강릉원주대학교, 광주과학기술원, 국립환경과학원, 목원대학교, 서울대학교, 서울과학기술대학교, 울산과학기술대학교, 한밭대학교(이하 "합약 당사 기관" 이라 함)는 한반도 에어로졸 라이다 관측망 운영 및 발전을 위하여 상호 협력 및 교류를 하고자 아래와 같이 합의한 바를 확인한다.

제1조(목적) 이 합의서는 합약 당사 기관이, 라이다 관측 운영 관련 자료들을 공유하여 관측체계를 통합하여, 한반도 에어로졸 관측망 구축을 목적으로, 에어로졸 관측·분석·평가 관련 기술에 공동 연구개발을 하는 목적을 가진다.

제2조(협약목적) 합약 당사 기관은 다음 사항을 합의하여 협력할 수 있도록 상호 합의한다.

1. 한반도 운영되는 라이다의 자료 공유 및 운영
2. 한반도 에어로졸 상시 공동 관측망 구축
3. 에어로졸 라이다 관측자료 분석 및 통합관리 기술의 개발
4. 에어로졸 라이다 관측자료 통합관리시스템 구축·운영
5. 기타 본 업무협약에 포함되는 사항

제3조(자료공유) 본 합의서 권리와 의무는 서면 상 상호 합의 되어 제3자에게 인지도 않도록 처리할 수 있다.

제4조(공동연구개발 및 운영) 이 합의서에 규정된 협력 분야의 주요 연구 수업을 위하여 공동연구개발을 공동으로 할 수 있다.

제5조(합약의 개정 및 운영에 관한 사항) 상호 합의하여 합의한다.

제6조(비밀유지) 합의사항을 위해 요구되는 자료는 상호 비밀유지 관계로, 관리한다.

제7조(비밀유지) 이 업무협약 관련 기밀은 합약당사자가 합의한 목적을 달성한 후에도 3년간 유지한다.

제8조(합약의 효력) 이 합의서에 명시된 사항이 합의 당사자 합의한 사항에 해당하지 않는 경우 합의 당사자 합의한 사항에 우선한다.

제9조(합약의 효력) 이 합의서에 명시된 사항이 합의 당사자 합의한 사항에 해당하지 않는 경우 합의 당사자 합의한 사항에 우선한다.

본 합의서는 상호 합의하여 체결하고 약 1부의 효력을 가진다.

2015년 3월 31일

기 상 청 김민희
 강릉원주대학교 김민희
 광주과학기술원 김민희
 국립환경과학원 김민희
 목원대학교 김민희
 서울대학교 김민희
 서울시보건환경연구원 김민희
 울산과학기술원 김민희
 한밭대학교 김민희

2015.4. 숙명여자대학교 위탁관측소 지정

숙명여자대학교 지구환경연구소는 NOAA 국제대기감시네트워크에 등록된 관측소로서, 2006년부터 중층대기(성층권, 중간권) 고도별 수증기자료(수증기 라디오미터)를, 2008년부터 성층권 고도별 오존 농도자료 관측(오존 라디오미터)을 수행해 왔다. 이에 2015년 4월 숙명여자대학교를 위탁관측소로 추가 지정하였다.



ㄴ, 오존 라디오미터(SORAS)



ㄴ, 수증기 라디오미터(SWARA)

2015.7. 기후변화감시 관련 정책과 관측·분석 업무 이원화

기후변화에 따른 위험기상 대응 및 기상기후서비스 강화를 위하여 기상지청을 신설하는 내용으로 기상청과 그 소속기관 직제 개편을 통해 본청에서는 기후변화감시 관련 정책업무를 담당하고 국립기상과학원에서는 기후변화 관측·분석 및 연구업무를 담당하게 되었다.

2016.5. 고산기후변화감시 통합·합동 운영협의회 업무협약 체결

2016년 5월 26일 제주 고산 기후변화감시소에서는 기상청, 경북대, 고려대, 서울대, 연세대, 제주대가 참석한 가운데 제주도 고산 기후변화감시 관측 협력, 관측자료 중복 최소화, 국내외 대표 관측장비 및 자료 지정 등 관측자료 공동활용을 위한 고산기후변화감시 통합·합동 운영협의회 업무협약을 체결하였다.



↳, 고산 기후변화감시 통합·합동 운영 업무협약식(2016.5.26)

2017.10. 남극장보고과학기지 위탁관측소 지정

2017년 10월 이산화탄소와 성층권 오존을 관측하는 극지연구소의 남극장보고과학기지를 위탁관측소로 추가 지정하였다.



↳, 남극장보고과학기지 전경 및 관측장비



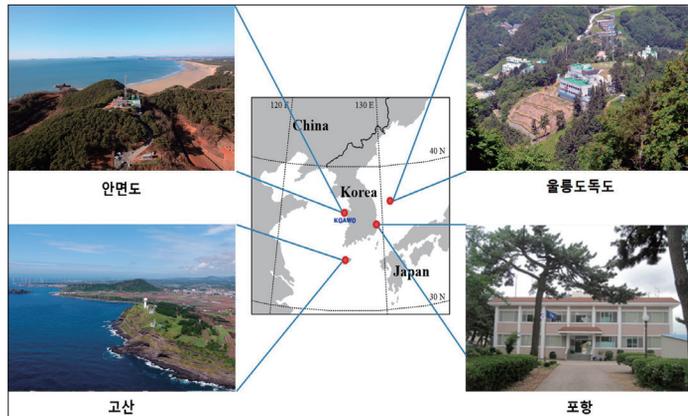
↳, 오존존데 비양

2018.12. 기후변화감시망 조정(기본3, 보조3 → 기본감시소 4)

WMO 지구대기감시 프로그램을 위한 기후변화감시망과 대국민 자외선지수 서비스 관측망을 분리·효율적 운영을 위하여 자외선 등 단일요소를 관측 중인 관측소(강릉, 목포)를 제외하고, 안면도, 고산, 울릉도독도, 포항 등 4개 기후변화감시소와 7개의 위탁관측소로 기후변화감시망을 조정하였다.



ㄴ, 기후변화감시소 현황(2019.1.)



ㄴ, 한반도 기후변화감시망 구성

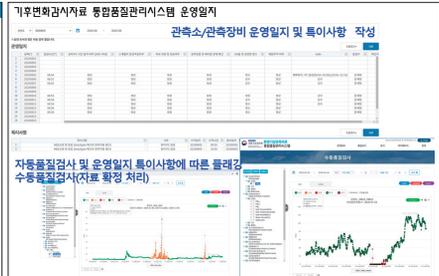
2016~2020

기후변화감시자료 품질관리 및 모니터링 체계 구축

2015년 기후변화감시업무가 국립기상과학원으로 이관된 이후 기후변화감시자료의 품질관리 및 모니터링 체계 구축을 통해 관측자료의 품질향상을 위해 노력하였다. 2016년에는 기후변화감시자료 DB를 설계하고 원시자료 실시간 수집체계를 구축하였으며, 2017년에는 웹기반 관측자료 실시간 모니터링 시스템을 구축하였다. 또한 2018년에는 기후변화감시자료 실시간 품질관리체계를 구축함으로써, 자동품질검사와 감시소 관측요원의 수동품질관리 체계를 반영하였고, 2019년에는 기후변화감시자료 통계값 생산체계를 구축함으로써, 분석자 2차 수동품질검사를 통한 품질확정시 통계값이 자동생산되는 체계를 구현하였다. 2020년에는 웹기반 기후변화감시자료 통합관리 체계를 구축함으로써 수동 품질검사체계를 통합하였다. 또한, 100여종에 이르는 기후변화감시 장비들의 효율적 관리를 위하여 기후변화감시 장비 이력관리 솔루션을 개발하여 활용하기 시작하였다.



ㄴ, 기후변화감시 관측현황 통합모니터링 시스템



ㄴ, 기후변화감시자료 품질관리시스템

연도	연차	장비	위치	유형	상태	비고	처리
1	1998	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2000	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2002	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2004	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2006	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2008	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2010	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2012	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2014	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2016	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2018	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상
1	2020	기후변화감시자료 수집기	서울특별시 관악구	기후변화감시자료 수집기	정상		정상

ㄴ, 기후변화감시 장비 이력관리 솔루션

2020.12.

국립기상과학원 내 온실가스 중앙실험실 구축

2020년에는 안면도와 고산 기후변화감시소에서 각각 운영되어오던 시스템을 본원으로 이전하여, 국립기상과학원 연구실험동에 표준시스템과 최신 설비를 갖춘 온실가스 중앙실험실을 구축하였다.



국립기상과학원 실험동 전경



온실가스 중앙실험실 장비들 (SF₆ 전처리장치, SF₆ 분석기, N₂O/CO 분석기, CO₂/CH₄ 분석기 기준)



온실가스 중앙실험실 장비들 (WMO/CCL3차 표준가스 및 표준가스주입시스템)

2021.5.

세계기상기구 통합지구온실가스과학정보시스템(IG³IS) 사업 승인

2021년 5월 국립기상과학원은 그동안 축적된 기후감시에 대한 과학적 역량을 인정받아, 추진 중인 고분해능 온실가스 기원추적 시스템(IN-VERSE-KOREA; INverse modeling for Validation and Evaluation of the Reduction of Sectoral greenhouse gas Emissions in Korea) 사업을 세계기상기구 IG³IS(Integrated Global Greenhouse Gas Information System) 공식 사업으로 승인받았다. 이는 아시아에서는 처음이고, 세계에서는 다섯 번째이다.



■ 사진 모음

소백산기상관측소 유관기관 체육대회



KBS 인터뷰(2001)



한중 지구대기감시 전문가 회의(2001)



라이더를 이용한 황사 감시 워크숍(2001)



KBS 환경스페셜(2003)



MBC 뉴스(2003)



KBS 생로병사의 비밀(2003)



라이다 공동관측 장면



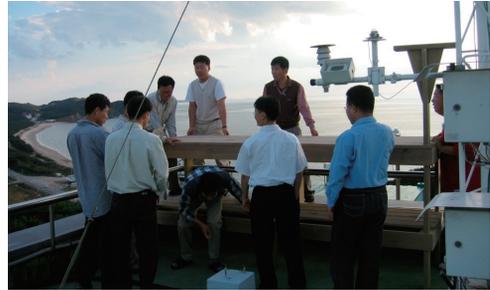
지구대기감시 관계관회의(2003)



안면도 복사계 및 대용량 부유분진체취기



안면도 대기복사 센서 이전



에어로졸 세계표준센터(WCCAP) 적합성 평가(2004)



기후감시 외국전문가 세미나(2004)



안면도 무지개



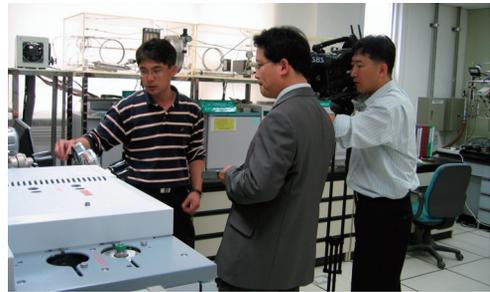
안면도 소방훈련(2005)



아리랑TV인터뷰(2005)



SBS뉴스(2006)



제1회 지구대기감시 전문가 워크숍(2006.11.)



안면도 적설



안면도 자체세미나(2006)



지구대기감시 관계관 회의 및 워크숍(2007)



지구대기감시센터 개소 20주년 기념식 및 워크숍 (2007.11.)



안면도 소방훈련(2008)



인제대학교 학생 연수(2008)



황사업무 발전전략 수립 연찬회(2008)



KBS 좋은나라 운동본부(2008)



과학소년(2009)



태풍 곤파스로 인한 관측장비 피해(좌:피해 전, 우:피해 후)(2010)



안면도 전입자 교육(2010)



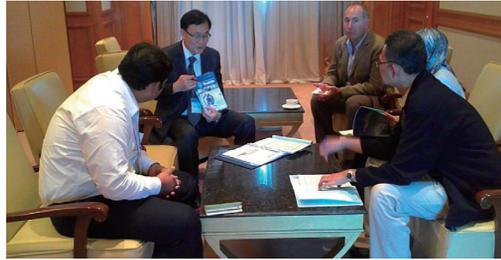
한국국제협력단(KOICA) 국외 방재공무원 교육과정(2011)



기후변화감시 학·연·관 합동워크숍 및 지구대기감시 관계관 회의(2011)



제4차 아시아 기후변화감시 국제워크숍 및 아시아 온실가스 실무그룹(GGWG) 회의(2012)



2012년 기후변화감시 관계관 회의 및 학·연·관 워크숍



제4차 아시아 기후변화감시 국제워크숍(2012)



제5차 아시아-태평양 기후변화감시 워크숍(2013)



2013년 기후변화감시 관계관 회의 및 학·연·관 워크숍



제6차 아시아-태평양 기후변화감시 워크숍(2014)



KBS 뉴스-독도 온실가스 관측(2014)



SBS 뉴스-초강력온실가스 육불화황 한반도 급증(2014)



육불화황 교육훈련(2014)



안면도 기후변화감시소 대기복사 장비



2014년 KALION 정기 워크숍



2015년 기후변화감시 주요사업 발굴 워크숍(2014)



2015년 KALION 정기 워크숍



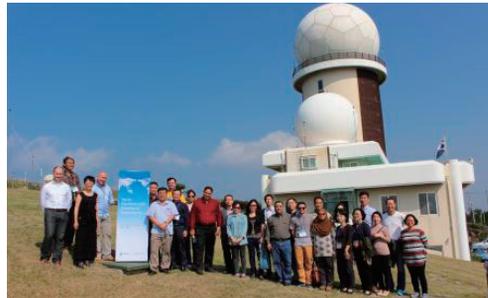
안면도 기후변화감시소 관사



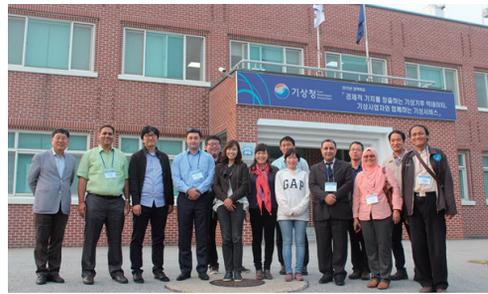
제7차 아시아-태평양 기후변화감시 국제워크숍(2015)



인도 IITM 방문(2015)



온실가스 교육훈련(2015)



2016년 KALION 정기 워크숍



기후변화감시 관계부서 합동 워크숍(2016)



고산 온실가스 관측탑(6m→12m)(2017)



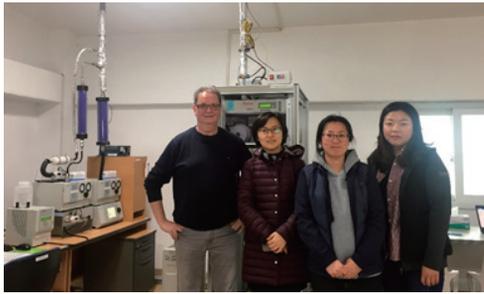
2017년 KALION 정기 워크숍



고산 기후변화감시 통합·합동 운영협의회 및 데이터 활용 워크숍(2017)



에어로졸 세계표준센터(WCCAP) 적합성 평가(2018)



안면도 연구동 침수(2018)



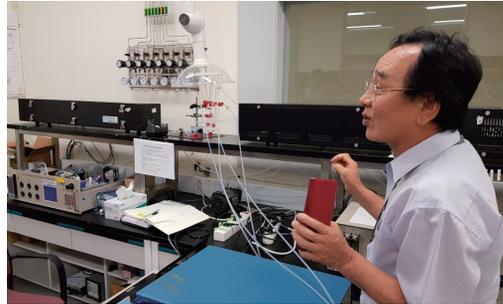
제9차 아시아-태평양 기후변화감시 국제워크숍(2018)



제4차 육불화황 교육훈련과정(2018)



기후변화감시분야 장비운영 교육(2019)



제5차 육불화황 교육훈련과정(2019)



KBS다큐세상-인류의 한계온도 1.5도씨(2019)



기후변화감시 관계관 회의 및 학연관 워크숍(2019)



제20차 WMO/IAEA GGMT 회의(2019)



안면도 태풍대비 조치(2020)



KBS 뉴스(2020)



KBS 뉴스(2020)



기후변화감시 학연관 워크숍(2020)



2020년 서해상 대기질 입체관측(YES-AQ) 워크숍



2020년 고산 기후변화감시 통합·합동 운영 협의회



지구대기 감시요소별 장기변동성 분석

- I. 온실가스
- II. 반응가스
- III. 에어로졸
- IV. 대기복사
- V. 성층권오존
- VI. 자외선
- VII. 총대기침적

I. 온실가스

○ 이산화탄소(CO₂)

- 한반도에서 가장 긴 온실가스 관측 역사를 가진 안면도의 이산화탄소(CO₂) 농도 최대값 경신, 증가율도 가속화
- 안면도: 산업화이전 (278 ppm) 대비 1.5배, 1999년 최초관측 (369.2 ppm) 대비 1.14배 증가한 420.4 ppm으로 최고 기록 경신
- ※ 2012년 안면도 연평균이 처음으로 400 ppm을 넘었고, 2016년부터는 여름철에도 400 ppm이상으로 관측
- ※ 2015/16년 엘니뇨로 인해 안면도 3.7 ppm (전지구 3.4 ppm) 증가로 평균 10년 증가율보다 1 ppm 더 높았음
- ※ 2020년 코로나19기간 전세계 7% 정도 배출이 감소되었으나, 대기 중 농도는 최대치로 관측됨
- ※ 증가율 가속화: 2020년 2.7 ppm/year, 관측전체 기간(1999~2019년)은 2.4 ppm/year
- 전지구: 412.5 ppm (2020년 증가율: 2.4 ppm/year, 2000년대: 1.9 ppm/year, 1980년대: 1.5 ppm/year)
- CO₂는 대기로 배출되면 50%는 자연(생태와 해양)이 흡수하나 자연의 흡수량이 포화되고 대기로 배출되는 양은 줄지 않아 증가율은 지속적으로 가속화될 전망

○ 메탄(CH₄)

- 1999~2006년까지 증가가 거의 없었으나, 2006년 이후로 안면도를 포함한 모든 관측소에서 증가
- 2019년 전 세계 평균기온이 2번째로 높아 고온으로 인해 지표 배출이 강화, 한반도 모든 관측소에서 2~3배 높은 증가율을 보임

○ 아산화질소(N₂O), 육불화황 (SF₆) 누적 증가, 몬트리올 의정서로 제한하고 있는 염화불화탄소류 (CFCs)감소

표 I-1. 2020년 관측 평균자료와 최근 및 전체(장)기간 평균 비교

지점 측정요소	안면도		고산		울릉도	
	2020년 농도 (증가율)	최근 10년 증가율* 전체기간 증가율 (관측 기간)	2020년 농도 (증가율)	최근 5년 증가율* 전체기간 증가율 (관측 기간)	2020년 농도 (증가율)	최근 5년 증가율* 전체기간 증가율 (관측 기간)
CO ₂ (ppm)	420.4 (2.7)	2.7	418.9 (2.5)	2.7	417.6 (2.3)	2.5
		2.4 (1999~2019)		2.5 (2012~2019)		2.5 (2014~2019)
CH ₄ (ppb)	1998 (7)	9	1973 (6)	7.6	1973 (16)	-
		7 (1999~2019)		8 (2014~2019)		17 (2018~2019)
N ₂ O (ppb)	335 (1)	1	334.7 (1)	1	334.5 (1.5)	-
		0.8 (1999~2019)		0.9 (2012~2019)		1.5 (2019~2020)
SF ₆ (ppt)	10.5 (0.2)	0.3	10.5 (0.2)	-	10.5 (0.2)	-
		0.3 (2007~2019)		0.4 (2017~2019)		0.4 (2017~2019)
CFC-11 (ppt)	224 (-5.1)	-1.4				
		-1.5 (1999~2019)				
CFC-12 (ppt)	496.8 (-1)	-5.1				
		-1.5 (1999~2019)				
CFC-113 (ppt)	68.9 (-1)	-0.5				
		-0.6 (2007~2019)				

* 최근 10년: 2010~2019년, CFCs 최근 5년: 2015~2019년, 최근 5년: 2015~2019년
 * 증가율 단위: 각 측정요소 (단위/year)
 * 안면도 CFCs는 최근 5년(2015~2019년), SF₆는 최근 3년(2017~2019년)

○ 이산화탄소(CO₂)

- 한반도에서 가장 긴 실시간 온실가스 관측자료를 보유한 안면도 기후변화감시소의 2020년 평균 CO₂값이 420.4 ppm을 나타내 1999년 최초 관측(369.2 ppm) 이후로 1.14배 증가, 산업화 이전(278 ppm) 대비 1.51배 증가하였음

- 2012년, 안면도 연평균 CO₂는 처음으로 400 ppm을 넘었음

* 중기지질시대(약 330~300만년전) 대기 중 CO₂ 농도가 360~400 ppm을 나타냈으며, 이 때 기온은 산업혁명 이전 보다 2~3°C 높고, 해수면은 15-25 m 높았음 [IPCC 5차 보고서]

* 400 ppm은 과거 지구 평균온도가 오랫동안 높게 지속되었던 기간과 같은 수준으로 진입했음을 의미함

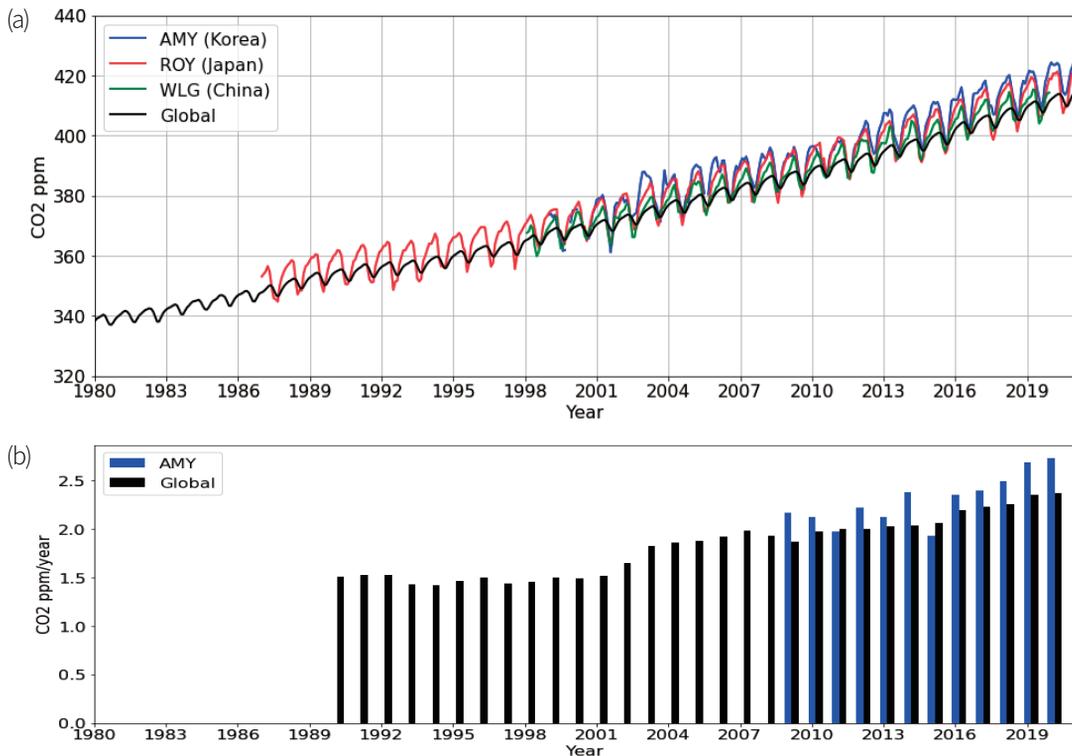


그림 I-1. (a) 안면도(AMY), 로리(ROY), 완리구완(WLG)와 전지구(Global)의 CO₂ 배경농도

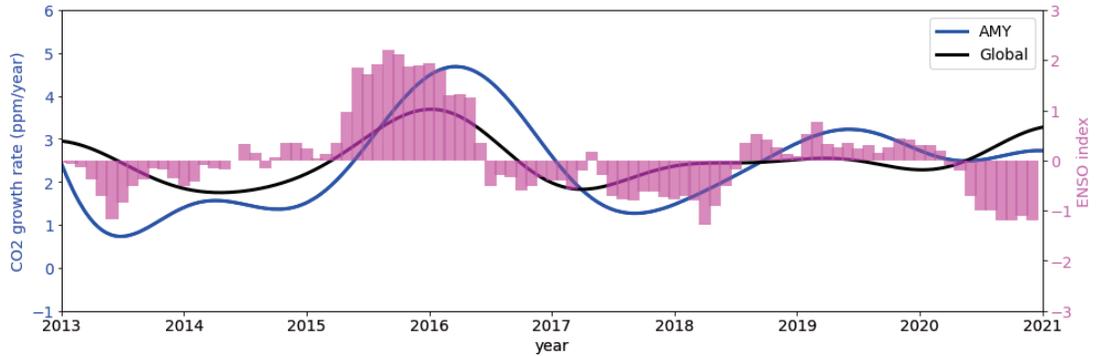
(b) 안면도(AMY)와 전지구(Global)의 매 10년간 증가값(ΔCO₂)의 평균

- 2020년, 코로나 19기간 CO₂ 농도는 전년대비 2.7 ppm 증가하였음

* 2월 본격화된 봉쇄조치로 인해 전세계 CO₂ 배출량이 25% 정도 감소하면, 3월부터 대기 중 CO₂ 농도가 ~0.2 ppm의 감소를 확인할 수 있을 것으로 예상하였으나,

* 실제 7% 감소하였고, CO₂의 배출량을 줄이지 않은 기간에도 자연변동폭(±2 ppm)이 크게 나타나기 때문에 실제 감소를 확인하기 어려움 [본문 4.7]

* 따라서 대기 중 CO₂의 농도 감소를 위해서는 자연변동을 넘어서는 더욱 파격적이고 지속적인 배출량 감소가 이루어져야 함



* ENSO 지수: ENSO는 El Niño-Southern Oscillation (엘니뇨-남방진동)의 약어. 해수면 기압, 해수면 온도 등 6가지 항목으로 ENSO 현상을 나타내는 지수. 전세계 지수편차가 +1 이상은 평년대비 따뜻한 시기, -1 이하는 추운 시기로 판단

그림 I-2. 2020년 관측 평균자료와 최근 및 전체(장)기간 평균 비교

- **안면도 증가율은** 관측 전체기간(1999~2019년) 평균 2.4 ppm/year에서 최근 10년 2.7 ppm/year로 증가하여 **점차 가속화** 되고 있음을 보임 [요약 그림 I-1]
- * 다른 동아시아 관측소(료리, 완리구완)과 비슷한 증가율을 보임. 농도가 다른 것은 관측소의 높이 차이에 의함
- * 증가율의 가속화는 전세계적으로 유사하며 **전 세계 최초로 CO₂ 관측을 시작했던 마우나로아의 초기 10년 증가율 (1958~1967년)은 0.8 ppm/year이었으나 최근 10년 2.4 ppm/year로 증가함.** 전지구 최근 10년도 2.4 ppm/year임
- * 이산화탄소가 한번 대기로 배출되면, 식생과 해양에서 50% 정도를 흡수하고 남은 양이 대기에 남음. 그러나 CO₂의 배출량은 줄지 않고, 식생과 해양의 흡수는 포화상태에 이르러 CO₂ 증가율이 가속화 됨
- **2015/16년 엘니뇨** 시기에 **안면도와 전 지구 모두** 증가율이 각각 3.7 ppm/year, 3.4 ppm/year으로 **평균 1 ppm 이상 더 증가**했음
- * 특히 엘니뇨 시기에 식생의 흡수율은 약화되고 기온의 증가로 인해 오히려 영구동토층, 해양의 배출 등이 강화되어 그 증가율이 높아짐 [그림 I-2]

○ CH₄ 농도 변화 특성

- 2020년 안면도 CH₄ 평균값은 1998 ppb로 관측초기 1999년 (1861 ppb) 비교하여 1.1배, 산업화 이전 농도 (722 ppb)에 비교하여 2.8배 증가하였으며, 전지구 평균보다 119 ppb 높음
- 1999~2006년의 증가율은 전세계적으로 낮고 변화가 없었으며, 2007년부터 급격히 재증가하기 시작하였으며, 한반도는 2019년에 가장 높은 증가율을 보임
- 2019년의 높은 증가율 (안면도 17 ppb, 고산 20 ppb, 울릉도 16 ppb) [그림 I-3의 화색 그늘]은 전세계적 고온현상으로 인한 높은 지표온도와 수분의 영향으로 자연 배출이 높아졌기 때문으로 판단함 [Kenea et al., 2021, 그림 I-4]

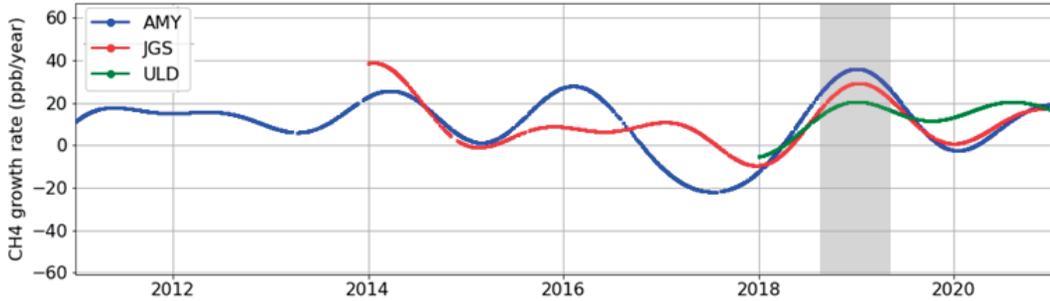


그림 I-3. 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD)의 최근 10년 CH₄ 증가율

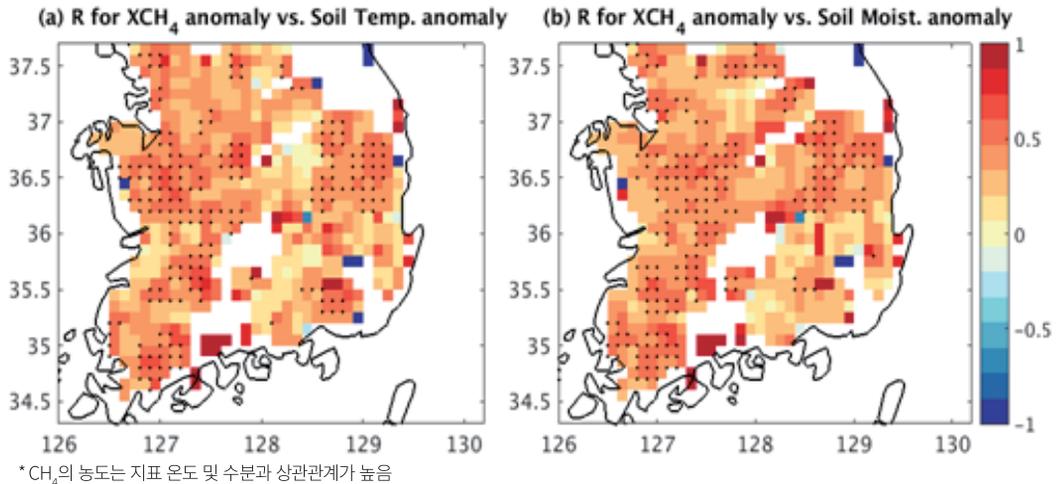


그림 I-4. 2018~2020년 CH₄와 지표온도(a) 및 지표수분(b)의 상관관계

○ 아산화질소(N₂O), 육불화황(SF₆)과 염화불화탄소류(CFCs)

- 2020년 안면도 N₂O는 1999년 관측 초기농도 (315.2 ppb)에 비해 1.1배 증가하였으며, 산업화 이전 (270 ppb)에 비해 1.2배 증가함. 관측 전체기간의 증가율에 비해 최근 10년 그 증가율이 높아짐 [요약표 I-1]
- SF₆는 지표에 배출만 있고 소멸기작이 없어 지속적으로 증가하며 안면도 관측초기 2007년(6.5 ppt)에 비해 2020년(10.5 ppt) 1.6배 증가했음
- 몬트리올 의정서로 제한하고 있는 염화불화탄소류 중 CFC-11은 관측초기(1999년)에 비해 0.8배, CFC-12는 0.9배, CFC-113은 2007년에 비해 0.8배 감소하였음

II. 반응가스

- 지표오존(O₃): 안면도와 고산에서 비슷한 수준이며, 증감 추세 뚜렷하지 않음
- 일산화탄소(CO): 안면도에서 과거보다 농도 감소
(1998~2003년 : 303 ppb / 2007~2013년 : 270 ppb / 2018~2020년 : 270 ppb)
- 질소산화물(NO_x): 안면도에서 월별 최댓값이 2003년 이후 점차 감소
- 이산화황(SO₂): 안면도에서 고농도사례 점차 감소, 고산 관측이래 연평균 1 ppb 이하 유지

표 II-1. 2020년 관측 평균자료와 최근 및 전체(장)기간 평균 비교

지점 측정요소	안면도		고산		울릉도	
	2020년	최근 10년 (변화율) 전체기간 (변화율) (관측 기간)	2020년	최근 8년 (변화율) 전체기간 (변화율) (관측 기간)	2020년	최근 5년 (변화율) 전체기간 (변화율) (관측 기간)
O ₃ (ppb)	40.9	42.2 (-3.1%) 42.2 (-3.1%) (1998 ~ 2019)	41.8	- 43.2 (-3.2%) (2012 ~ 2019)		
CO (ppb)	257.9	282.3 (-8.6%) 280.9 (-8.2%) (1998 ~ 2019)	187.6	- 202.9 (-7.5%) (2012 ~ 2019)	166.9	- 181.5 (-8.0%) (2015 ~ 2019)
NO _x (ppb)	5.4	6.8 (-20.6%) 7.1 (-23.9%) (1998 ~ 2019)	4.5	- 3.8 (+18.4%) (2012 ~ 2019)		
SO ₂ (ppb)	0.8	2.1 (-61.9%) 2.1 (-61.9%) (1998 ~ 2019)	0.8	- 0.6 (+25%) (2012 ~ 2019)		

* 최근 10년: 2010~2019년(2014.1~2017.2 안면도 관측환경 변화에 따른 무효처리)

* 안면도 연구동 신설 후 장비 이전 기간 2004~2006년 무효처리, 그 외 2020년 지구대기감시보고서 통계표 참조

○ 지표오존(O₃)

- 안면도와 고산에서 농도분포 비슷한 수준이며, 증감 추세는 보이지 않음 [그림 II-1]
- 지표O₃ 농도는 봄에 가장 높고, 안면도에서 겨울에, 고산에서 여름에 가장 낮음 [그림 II-2]

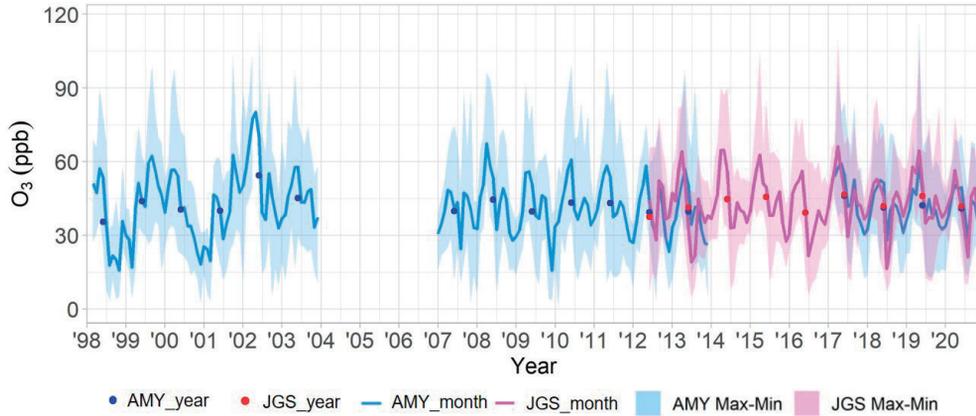


그림 II-1. 안면도(AMY), 고산(JGS) 지표O₃의 연변화

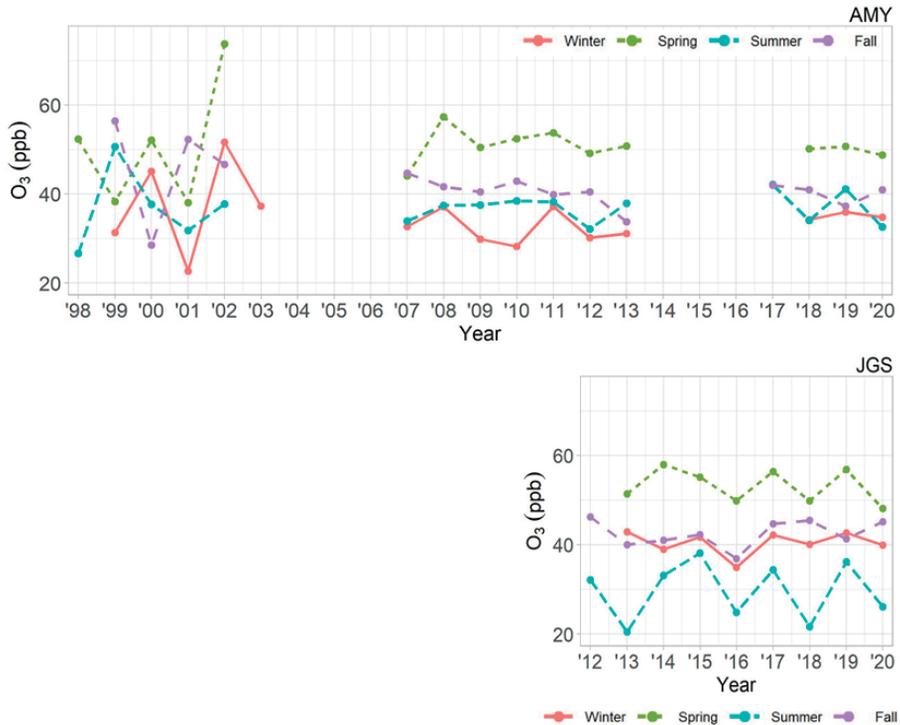


그림 II-2. 안면도(AMY), 고산(JGS) 지표O₃의 계절평균 연변화

* 겨울(지난해 12월, 당해 1,2월), 봄(3,4,5,6월), 여름(7,8월), 가을(9,10,11월)로 구분함

○ 일산화탄소(CO)

- 안면도, 고산, 울릉도의 순서로 내륙에서 멀어질수록 연평균이 낮음 [그림 II-3]
- 내륙에서 가장 먼 울릉도의 변동폭이 가장 적음
- CO 농도는 세 감시소에서 겨울에 높고 여름에 낮음 [그림 II-4]
- 최근일수록 안면도, 고산, 울릉도 연평균 CO 점차 감소

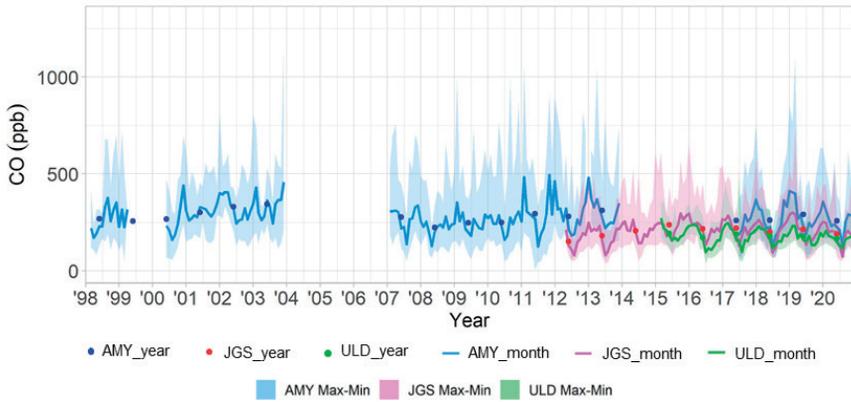


그림 II-3. 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD) CO의 연변화

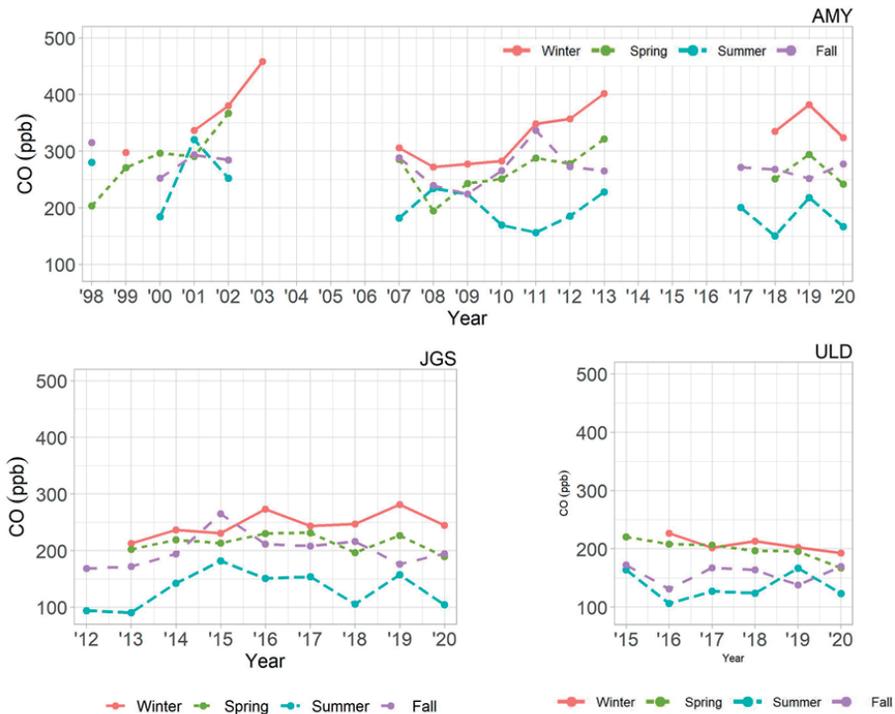


그림 II-4. 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD) CO의 계절평균 연변화

* 겨울(지난해 12월, 당해 1,2월), 봄(3,4,5,6월), 여름(7,8월), 가을(9,10,11월)로 구분함

○ 질소화합물(NO_x)

- 안면도에서 월별 최댓값은 2003년 이후 점차 감소 [그림 II-5]
- 고산에서 관측시작 이후 비슷한 수준 유지, 안면도에 비해 고농도 사례 없음
- 2001년 서해안 고속도로 개통(안면도 방문차량 증가) 후 NO_x 농도 증가하다 최근 감소
- NO_x 농도는 안면도에서 겨울에 높고 고산에서 봄, 가을에 높음 [그림 II-6]

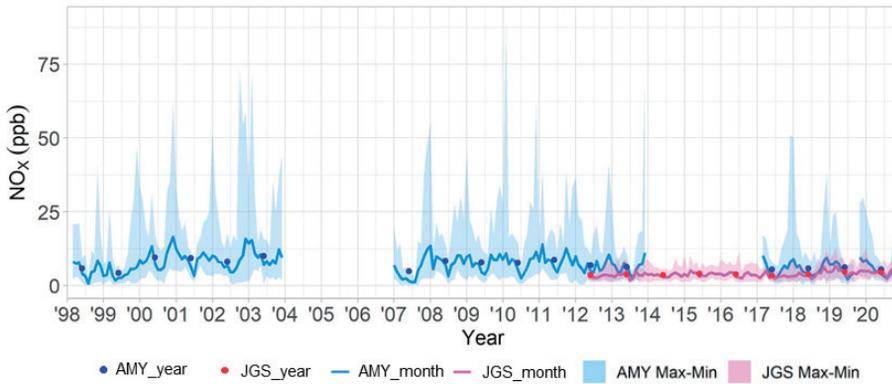


그림 II-5. 안면도(AMY), 고산(JGS) NO_x의 연변화

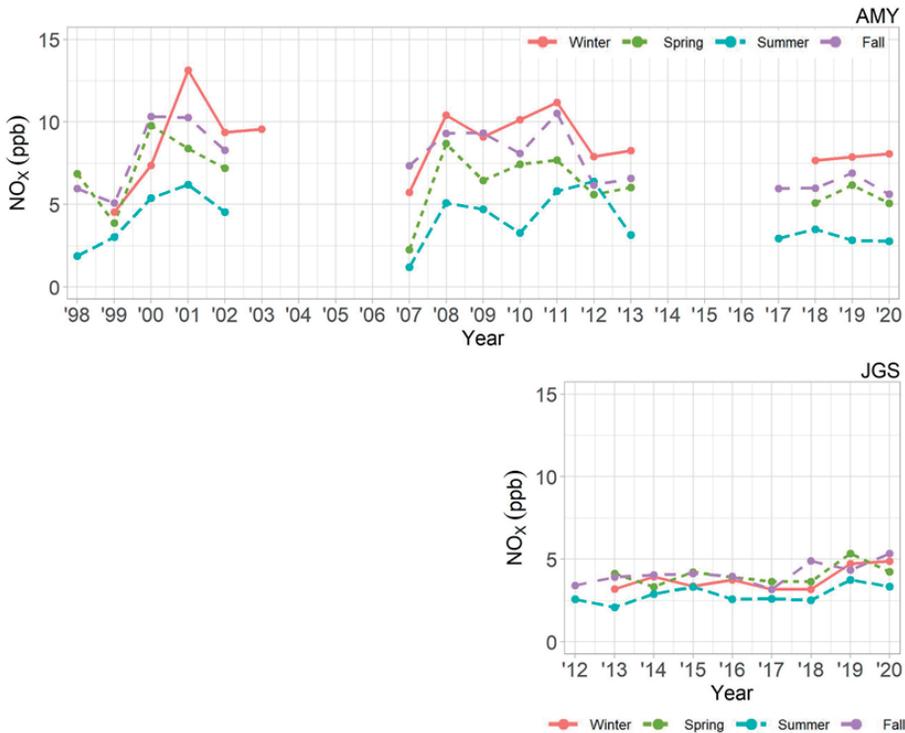


그림 II-6. 안면도(AMY), 고산(JGS) NO_x의 계절평균 연변화

* 겨울(지난해 12월, 당해 1,2월), 봄(3,4,5,6월), 여름(7,8월), 가을(9,10,11월)로 구분함

○ 이산화황(SO₂)

- 안면도에서 연평균과 고농도사례가 점차 감소[그림 II-7]
- 고산에서 연평균 1 ppb 이하 유지, 2019년 이후 안면도와 비슷한 수준의 고농도 사례 관측
- SO₂ 농도는 겨울에 높고 여름에 낮으며 안면도는 계절별 농도차 뚜렷함[그림 II-8]
- 중국 SO₂ 배출량이 점차 증가하다 2005년 최대, 이후 저감정책 효과로 감소한 추세와 SO₂ 장기추세가 유사하게 나타남

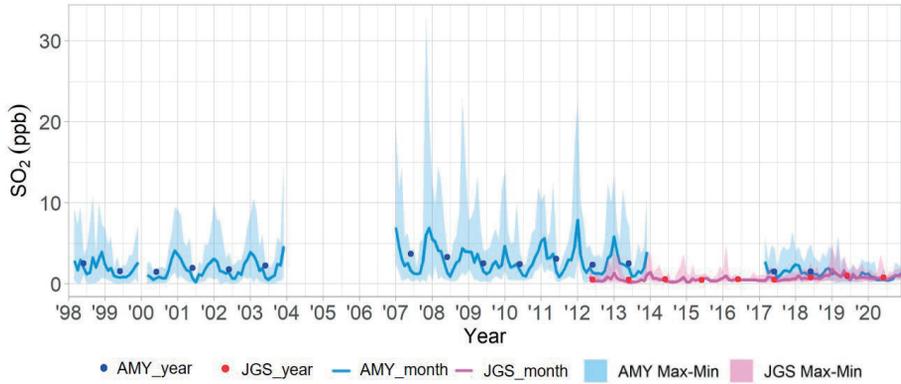


그림 II-7. 안면도(AMY), 고산(JGS) SO₂의 연변화

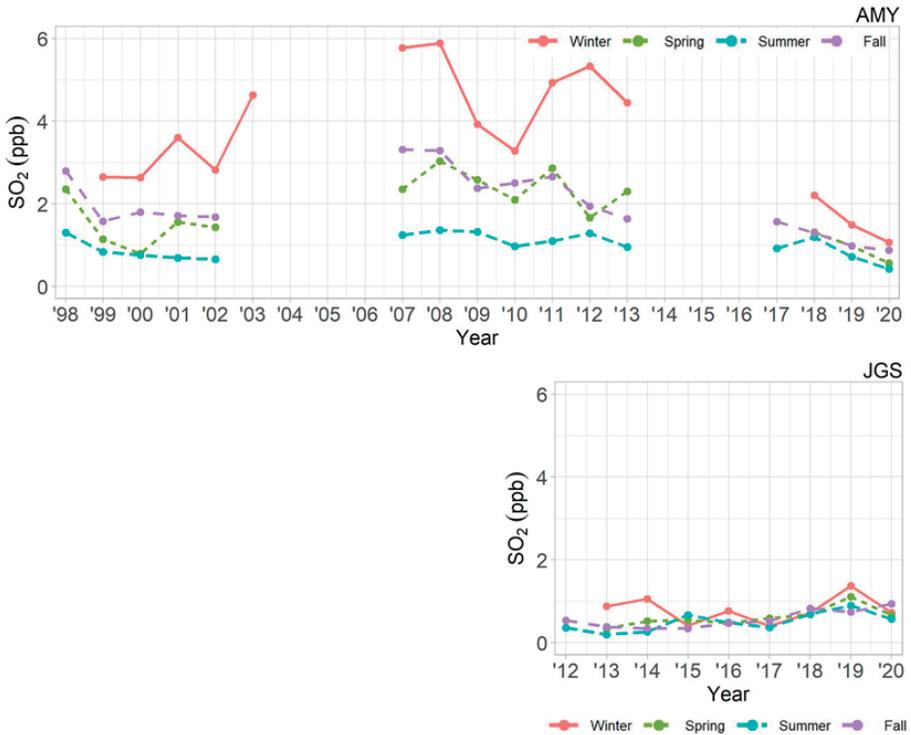


그림 II-8. 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD) SO₂의 계절평균 연변화

* 겨울(지난해 12월, 당해 1,2월), 봄(3,4,5,6월), 여름(7,8월), 가을(9,10,11월)로 구분함

III. 에어로졸

- **PM10** : 안면도는 감소 추세가 유의미하나, 고산은 증감 추세가 뚜렷하지 않음
 - 안면도 $-1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{year}$ (p-value<0.01) (2003~2020년)
 - 고산 $+0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{year}$ (p-value: 0.38) (2011~2020년)
- **총수농도** : 뚜렷한 증감 추세 없음
- 광산란계수 감소 추세가 유의미하나, 광흡수계수는 추세 뚜렷하지 않음
 - 검댕 농도는 지난 20년 간 약한 감소 추세로 분석되나, 2005년 이후로는 추세가 뚜렷하지 않음.
 - 광산란계수 $-5.5 \text{Mm}^{-1}/\text{year}$ (p-value<0.01) (2003~2020년)
 - 광흡수계수 $-0.14 \text{Mm}^{-1}/\text{year}$ (p-value: 0.24) (2010~2020년)
 - 검댕: $-0.031 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{year}$ (p-value<0.05) (2001~2020년)
- PM10 중 이온성분 총 농도는 유의미하게 감소 중이며, 그 중 질산염 감소가 가장 뚜렷(2008~2020년)
 - 2008~2019년 대비 2020년에는 인위적 발생원의 기여도는 감소하고, 자연적 발생원의 기여도는 증가

지점 측정요소	안면도		고산	
	2020년	최근 10년 (변화율) 전체기간 (변화율) (관측 기간)	2020년	최근 10년 (변화율) 전체기간 (변화율) (관측 기간)
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	27	36 (-25%) 40 (-33%) (2003 ~ 2019)	28	- 30 (-6.7%) (2011 ~ 2019)
총수농도 (#/cm ³)	4433	3935 (+12.6%) 3965 (+11.8%) (2005 ~ 2019)	3979	- 4047 (-1.7%) (2012 ~ 2019)
광산란계수 (Mm ⁻²)	74.4	101.2 (-26%) 120.3 (-62%) (2003 ~ 2019)		
광흡수계수 (Mm ⁻²)	8.6	- 8.0 (+6.9%) (2010 ~ 2019)		
검댕 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.1	1.0 (+7.5%) 1.2 (-5.7%) (2001 ~ 2019)		
수용성 이온성분 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16.5	20.6 (-19.9%) 21.1 (-21.8%) (2008 ~ 2019)		

* 최근10년: 2010~2019년

표 III-1. 2020년 관측 평균자료와 최근 및 전체(장)기간 평균 비교

○ PM10

- 안면도 : 2004년 이후로 감소하는 추세(-1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{year}$)이며, 2019년에는 2013년 이후 최댓값이 관측되었고, 2020년 평균은 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 관측 이래 최저
- 고산 : 2011년 최초 관측 이후 증가 또는 감소 추세가 관측되지 않으며, 2017년부터는 안면도와 유사하게 관측

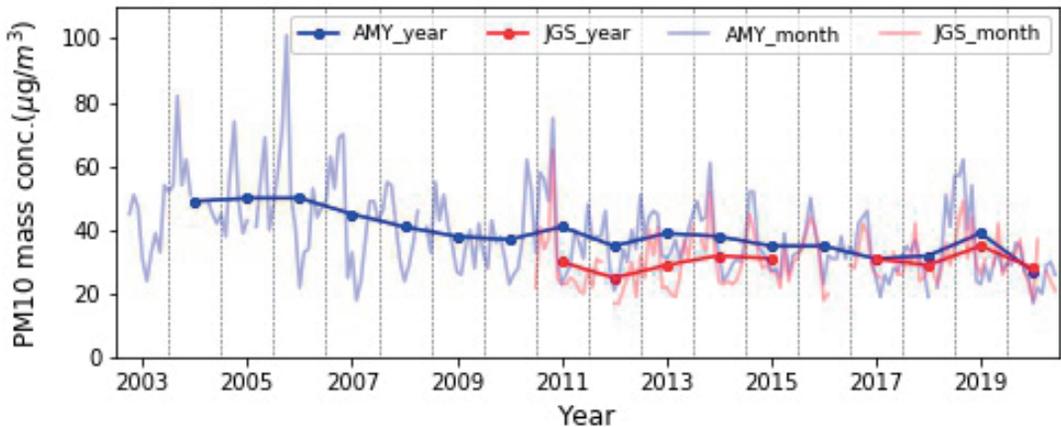


그림 Ⅲ-1. 안면도(AMY)와 고산(JGS) PM10 질량농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 연변화

○ 총수농도

- 안면도, 고산의 연평균 총수농도는 유사하며, 연 변동 경향이 뚜렷하지 않음

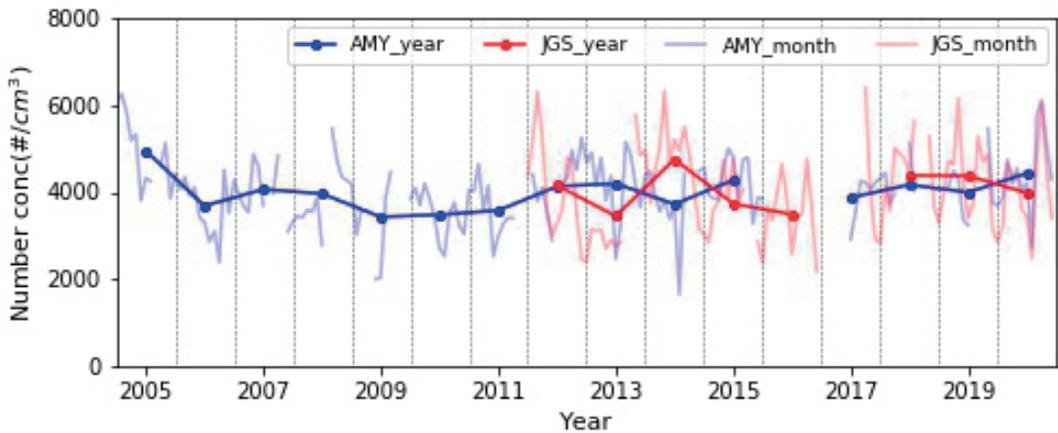


그림 Ⅲ-2. 안면도(AMY)와 고산(JGS) 총수농도($\#/ \text{cm}^3$)의 연변화

○ 광산란계수

- 2003년 이후 감소 추세(-5.5 Mm⁻¹/year), 2016년 이후로는 감소세가 뚜렷하지 않음
- 2020년 평균(74.4 Mm⁻¹)은 관측 이래 최저, 최근 10년(2010~2019년)보다 26%, 전체기간보다 62% 감소

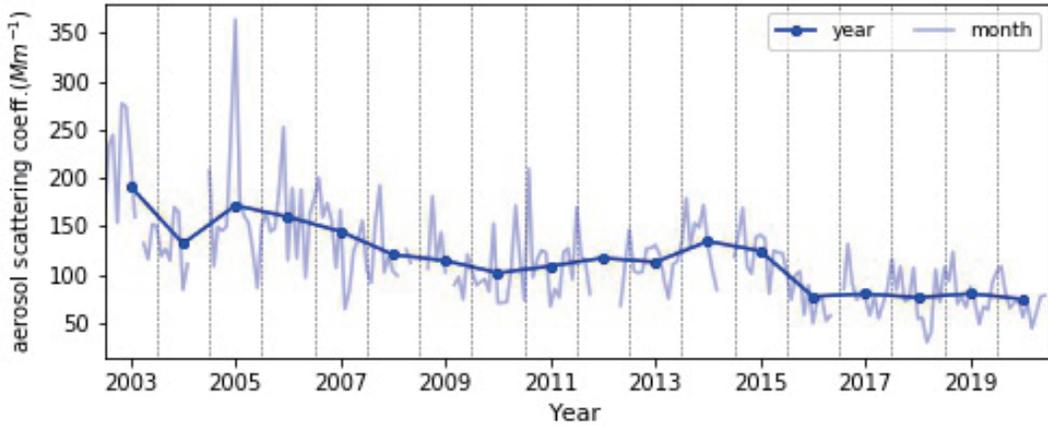


그림 Ⅲ-3. 안면도 에어로졸 광산란계수(550 nm, Mm⁻¹)의 연변화

○ 광흡수계수

- 2010년부터 관측된 에어로졸 광흡수계수(550 nm)의 연평균은 증감 추세가 뚜렷하지 않음
- 2012년에 가장 높았고(9.4 Mm⁻¹), 이후 점차 감소하다가 2019년에는 8.2 Mm⁻¹로 2016년 수준으로 다시 높아짐
- 2020년 평균은 8.6 Mm⁻¹로 최근 10년(2010~2019년, 평균 8.0±1.2)과 유사함

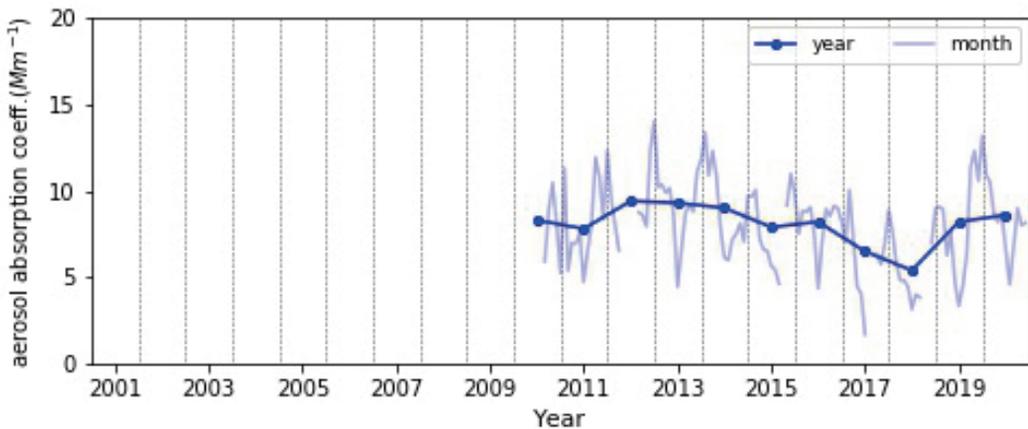


그림 Ⅲ-4. 안면도 에어로졸 광흡수계수(550 nm, Mm⁻¹)의 연변화

○ 검댕

- 관측 전 기간(2001~2020년)에 대해서는 감소 경향(-0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{year}$)이나, 2005년 이후로는 증감 추세는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석됨
- 2020년 평균은 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최근 10년(2010~2019년, 평균 1.0 \pm 0.16)과 유사함

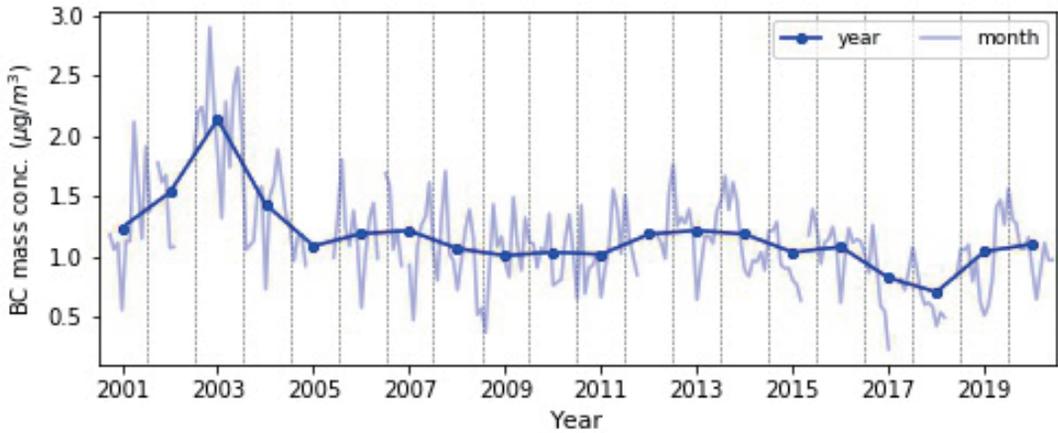


그림 Ⅲ-5. 안면도 검댕 질량농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 연변화

○ PM10 이온성분

- 관측 전 기간(2008~2020년) PM10 이온성분의 총합은 감소하고 있으며(-0.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{year}$), 특히 질산염(NO_3^-)의 감소가 가장 뚜렷함 [그림 Ⅲ-6]
- 2020년 이온성분 총합(16.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)은 최근 10년 평균(2010~2019년, 20.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 약 20% 감소함

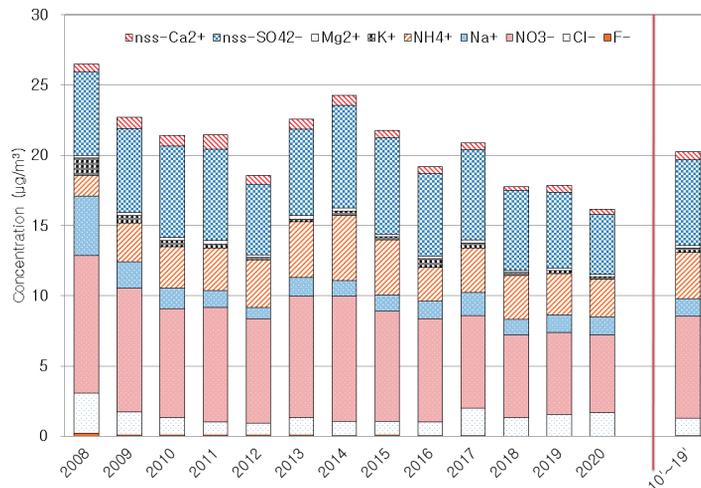


그림 Ⅲ-6. 안면도 PM10 이온성분 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 연변화

-2020년 관측된 PM10(이온성분)은 최근 12년(2008~2019년)에 비해 인위적 발생원의 기여도가 감소하고(43.1% → 39.9%), 자연적 발생원(45.4% → 56.5%)의 기여도는 증가 [그림 III-7]

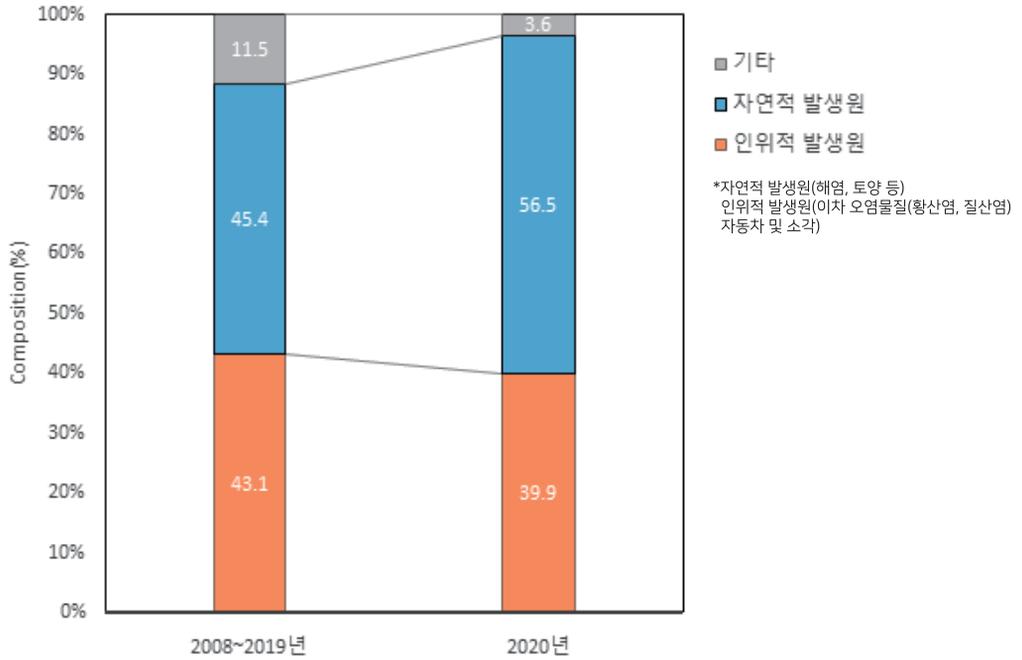


그림 III-7. 자연·인위적 발생원 기여도(최근 12년과 2020년)

IV. 대기복사

○ 일조시간의 증가와 함께 태양복사 요소들은 대부분 약하게 증가

○ 직달일사

- 안면도 $0.75 \pm 0.74\%/year$ (p-value: 0.07)의 약한 증가 추세 (1999~2020년)

- 고산 $1.10 \pm 1.49\%/year$ (p-value: 0.17)의 약한 증가 추세 (2009~2020년)

○ 태양상향복사

- 안면도 $0.86 \pm 0.58\%/year$ (p-value<0.05)의 약한 증가 추세 (1999~2020년)

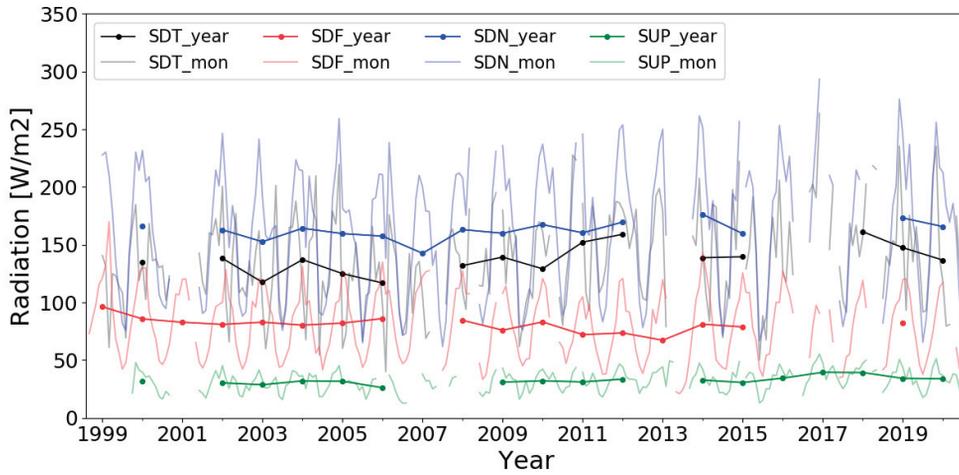
표 IV-1. 2020년 관측 평균자료와 최근 및 전체(장)기간 평균 비교

측정 요소 (W/m ²)	감시소	안면도		고산	
		2020년	최근 10년 (변화율)	2020년	최근 10년 (변화율)
			전체기간 (변화율) (1999~2019)		전체기간 (변화율) (2008~2019)
직달일사	136.7	152.8 (-10.6%)	124.8	119.7 (+4.2%)	
		139.2 (-1.8%)		119.3 (+4.6%)	
산란일사	-	78.3 (-)	84.1	85.3 (-1.5%)	
		81.7 (-)		85.2 (-1.3%)	
태양하향복사	165.8	167.7 (-1.2%)	-	160.6 (-)	
		164.6 (+0.7%)		160.5 (-)	
태양상향복사	33.9	34.3 (-1.4%)			
		33.1 (+2.3%)			
지구하향복사	320.0	299.2 (+6.9%)			
		312.8 (+2.3%)			
지구상향복사	377.2	369.9 (+2.0%)			
		376.0 (+0.3%)			
순복사	-	78.1 (-)			
		74.1 (-)			

* 최근 10년 : 2010 ~ 2019년

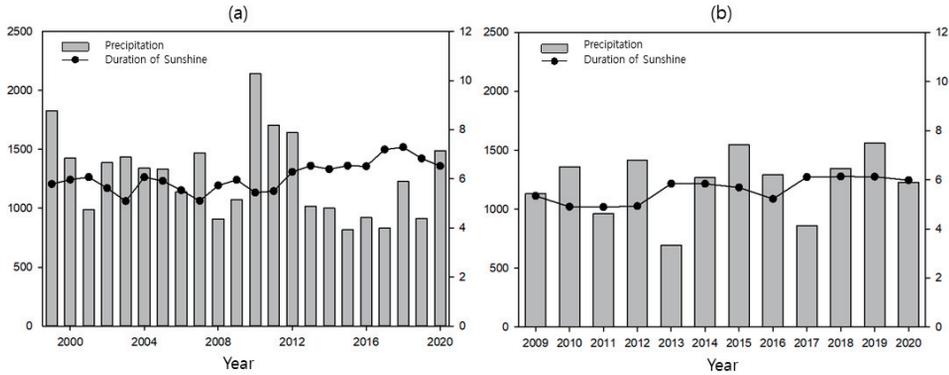
○ 태양복사

-태양복사는 요소들은 전체적으로 일조시간 증가와 함께 약하게 증가하는 특성 [그림 IV-1, 그림 IV-2]



*(SDT:직달일사, SDF:산란일사, SUP:태양상향복사, SDN:태양하향복사)

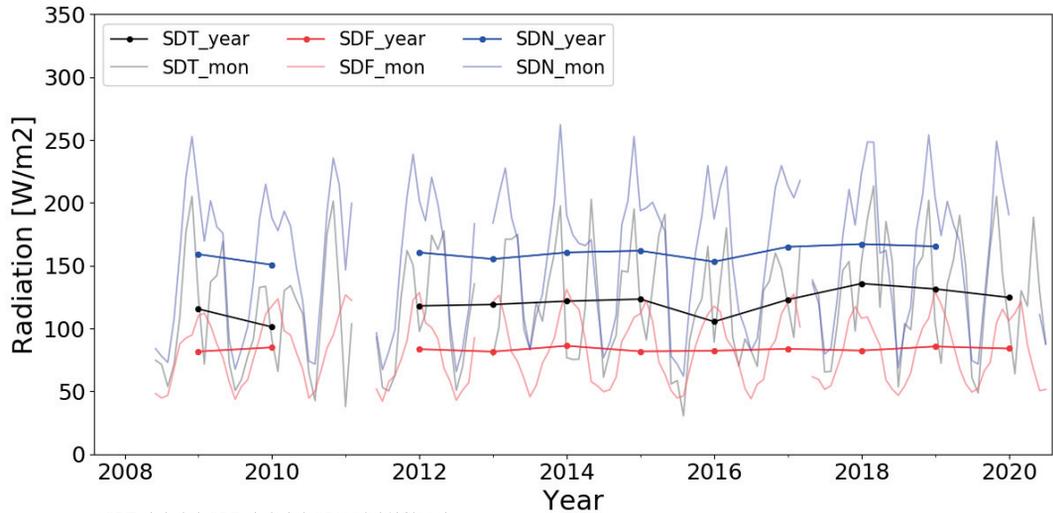
그림 IV-1. 대기복사 관측기간 동안의 안면도(AMY)의 태양복사요소 변화



* 일조자료의 활용을 위해 안면도와 인접한 서산종관기상관측소 자료를 활용

그림 IV-2. 대기복사 관측기간 동안 (a)안면도(서산)*, (b) 고산(JGS)의 연 강수량과 일평균 일조시간 변화

- 안면도에서는 태양복사요소들 중에서 태양상향복사가 $1.04 \pm 0.61\%/year$ ($p\text{-value} < 0.01$)로 가장 뚜렷하게 증가 [그림 IV-1]
- 안면도의 산란일사는 $-0.76 \pm 0.58\%/year$ ($p\text{-value} < 0.05$)로 태양복사요소들 중 유일하게 감소했으며 [그림 IV-1], 구름 및 대기입자들의 영향을 받는 산란특성이 다른 태양복사요소들과 차별화된 변화특성에 영향
- 고산은 직달일사가 $1.51 \pm 1.19\%/year$ ($p\text{-value} < 0.05$)로 상대적으로 높은 증가세를 보인 반면, 태양하향복사와 산란일사는 유의미한 추세를 보이지 않음 [그림 IV-3]



* SDT:직달일사, SDF:산란일사, SDN:태양하향복사

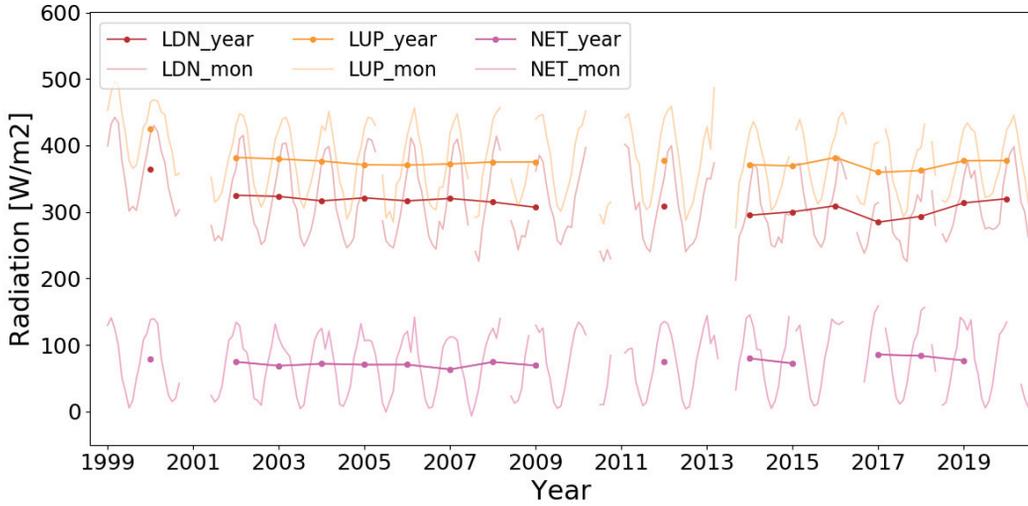
그림 IV-3. 대기복사 관측기간 동안의 고산(JGS)의 태양복사요소 변화

○ 지구복사

- 지구복사 요소들은 안면도에서 지구상향복사가 $0.28 \pm 0.25\%/year$ ($p\text{-value}: 0.039$), 지구하향복사가 $-0.58 \pm 0.32\%/year$ ($p\text{-value} < 0.01$)의 약한 경향성을 보이곤 있지만 변화폭이 크지 않고, 2001년 이전 자료의 불확실성이 큼 [그림 IV-4]
- 지구복사 요소들은 지면온도 또는 기온의 영향을 크게 받으며, 안면도의 경우 2011년부터 온도의 증가패턴이 뚜렷하게 나타나므로 지속적인 자료 확보와 분석이 중요

○ 순복사

-순복사 요소는 1999년에서 2020년까지 $0.67 \pm 0.61\%/year$ ($p\text{-value} < 0.05$)로 약한 증가세를 보이고 있으나 증가폭이 크지 않아 지속적인 자료확보가 중요 [그림 IV-4]



* SDT:직달일사, SDF:산란일사, SDN:태양하향복사

그림 IV-4. 대기복사 관측기간 동안의 고산(JGS)의 태양복사요소 변화

V. 성층권오존

- 오존전량은 몬트리올 의정서 이후 장기적으로 약하게 증가하는 경향을 보이며, 오존파괴물질의 감소로 인한 전지구적인 오존회복경향을 따름
 - 포함: 1.00±1.44%/decade의 약한 증가 추세 (다중회귀분석, 1997~2017년)
- 고도별로는 대류권오존의 증가세가 가장 뚜렷함

표 V-1. 2020년 관측 평균자료와 최근 및 전체(장)기간 평균 비교

측정요소 (DU)	안면도		고산	
	2020년	전체기간 (변화율) (2013~2019)	2020년	전체기간 (변화율) (2013~2019)
오존전량	324	323 (+0.5%)	308	302 (+2.0%)

○ 오존전량

- 한반도에서 관측된 오존전량은 전체적으로 위도 평균보다 높은 관측값을 나타냄 [그림 V-1]

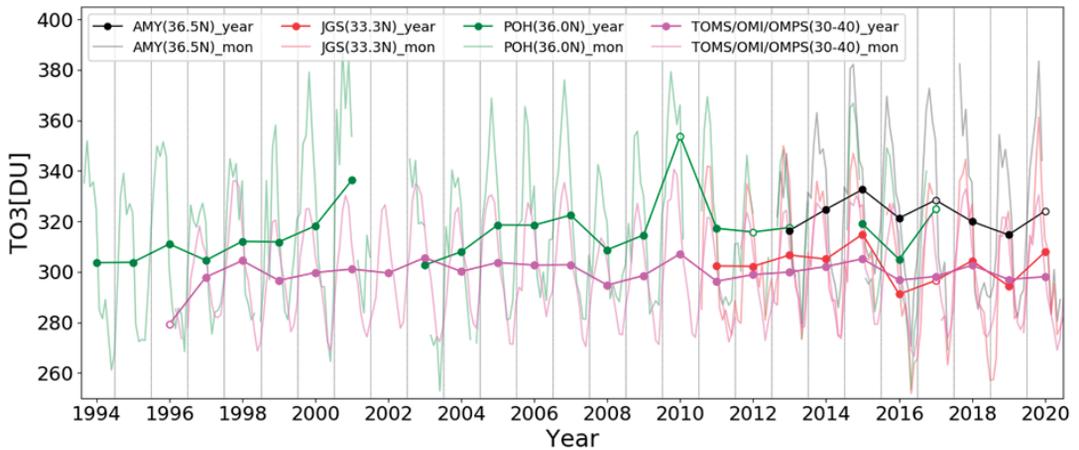


그림 V-1. 안면도(AMY), 고산(JGS), 포항(POH) 지점과 TOMS/EP-TOMS, OMI/Aura, OMPS/Suomi-NPP 위성에서 관측된 북위 30-40도 지역의 연평균 오존 시계열

- 다중선형회귀 분석을 통해 지점별 시계열 분석 결과 관측기간이 15년 이상인 포항 지점에서는 $1.00 \pm 1.44\%/decade$ 의 약한 증가세 [그림 V-2]
- 오존전량의 장기적인 추세는 태양활동주기, 적도 상층 바람의 준-경년변동, 성층권 에어로졸, 엘니뇨-남방진동 등의 자연변동성분주기를 예측변수로 사용하는 다중선형회귀분석으로 부터 계산
- 지오폠펜셀고도, 온도, 잠재와도를 예측변수로 추가하여 오존의 단기적인 변동성을 설명
- 안면도와 고산의 경우, 각각 $2.29 \pm 4.79\%/decade$ 와 $1.87 \pm 6.03\%/decade$ 로 성층권오존의 회복세가 나타나고 있지만 관측 기간이 짧아 추세의 불확실성이 큼 [그림 V-2]

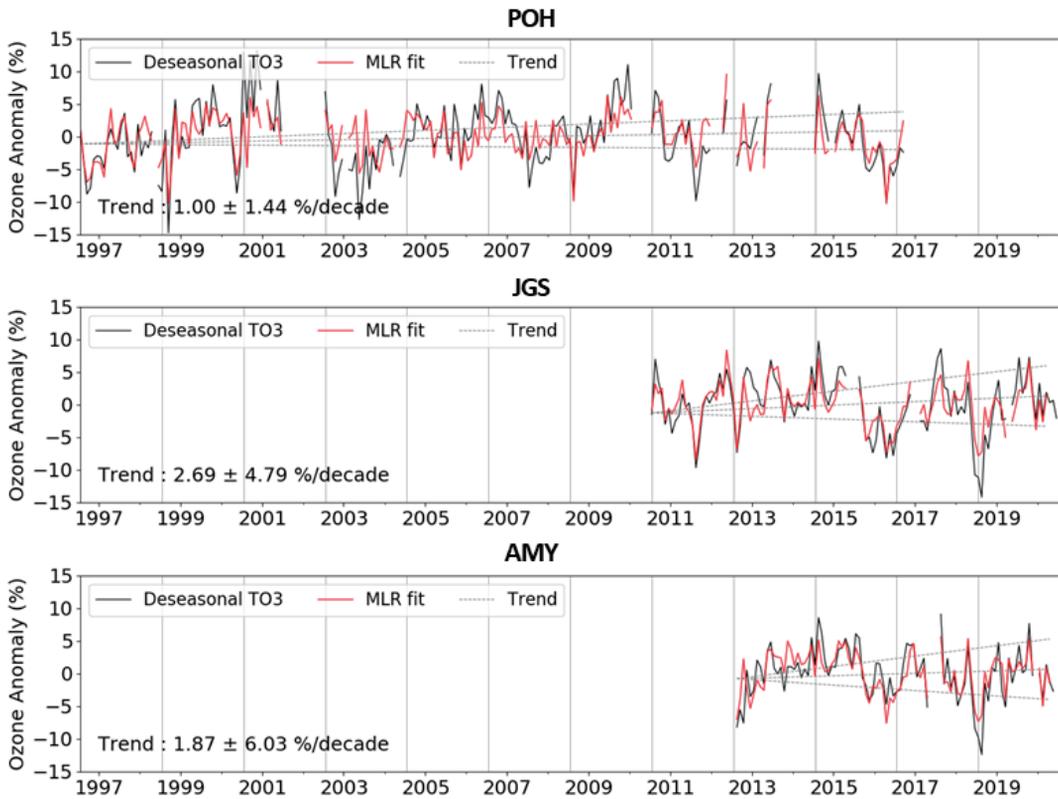


그림 V-2. 다중선형회귀 모형을 이용한 포항(POH), 안면도(AMY), 고산(JGS) 지점 오존전량 변화 추세

○ 연직오존

- 포항의 오존존데 자료를 통해 장기적인 연직오존변화를 살펴보면, 대류권의 농도증가가 뚜렷함 [그림 V-3]
- 연직적으로 오존은 주로 봄철 16~25 km 고도에서 피크가 나타나며, 같은 기간 9~16 km 고도에서 오존이차피크 발생

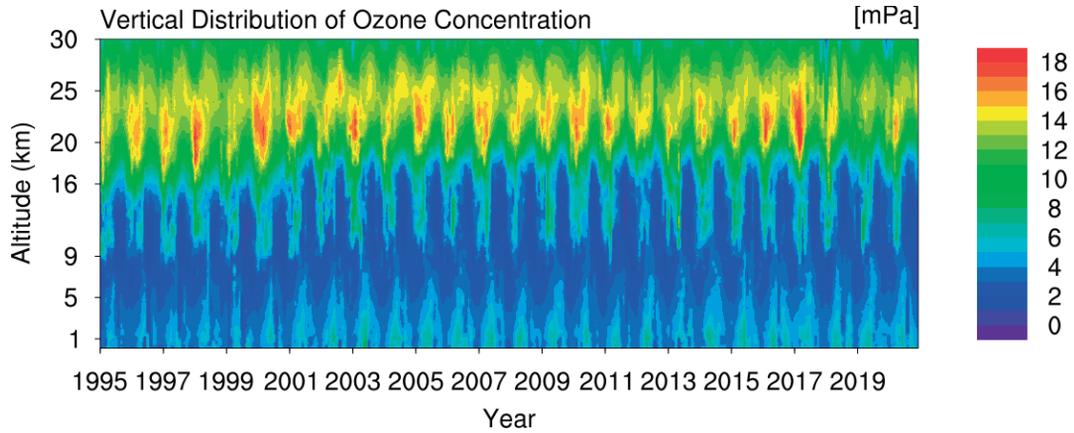


그림 V-3. 포항(POH) 지점에서 관측된 연직오존 시계열

VI. 자외선

- 자외선A 일누적 복사량은 일조시간 증가의 영향으로 고산, 울릉도, 포항에서 통계적으로 유의미한 증가 추세
 - 고산 2.90±1.51%/year (p-value<0.01)의 증가 추세 (2012~2020년)
 - 울릉도 2.53±1.21%/year (p-value<0.01)의 증가 추세 (2013~2020년)
 - 포항 1.83±1.14%/year (p-value<0.05)의 증가 추세 (2010~2020년)
- 자외선B 일최대 복사량은 오직 울릉도에서만 유의미한 증가 추세를 보임
 - 울릉도 2.08±1.03%/year (p-value< 0.01)의 증가 추세 (2012~2020년)

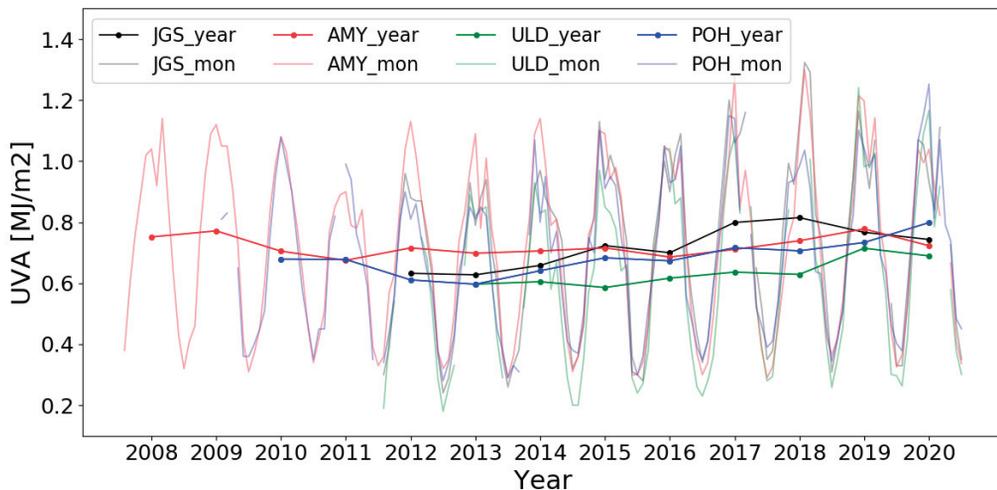
표 VI-1. 2020년 관측 평균자료와 최근 및 전체(장)기간 평균 비교

지점	안면도		고산		울릉도		포항	
	2020년	최근 10년(변화율) 전체기간 (변화율) (관측기간)	2020년	최근 10년(변화율) 전체기간 (변화율) (관측기간)	2020년	최근 10년(변화율) 전체기간 (변화율) (관측기간)	2020년	최근 10년(변화율) 전체기간 (변화율) (관측기간)
자외선A (MJ/m ²)	0.72	0.71 (+1.4%) 0.72 (+0.3%) (2008~2019)	0.74	- 0.72 (+3.9%) (2012~2019)	0.69	- 0.63 (+10.1%) (2012~2019)	0.80	- 0.67 (+18.9%) (2010~2019)
자외선B (W/m ²)	0.114	0.124 (-8.0%) 0.122 (-6.5%) (1999~2019)	0.113	- 0.138 (-18.1%) (2012~2019)	0.120	- 0.118 (+2.4%) (2012~2019)	0.126	0.120 (+5.3%) 0.119 (+5.5%) (2001~2019)

* 최근 10년: 안면도, 포항 (2010~2019년), 고산, 울릉도(2012~2019년)

○ 자외선A

- 자외선A는 저위도에 위치한 고산 지역에서 대체로 높은 관측값 [그림 VI-1]
- 일 누적값으로 분석하는 자외선A는 일조시간의 영향을 받아 전체적으로 뚜렷한 증가 추세를 보임 [그림 VI-1]



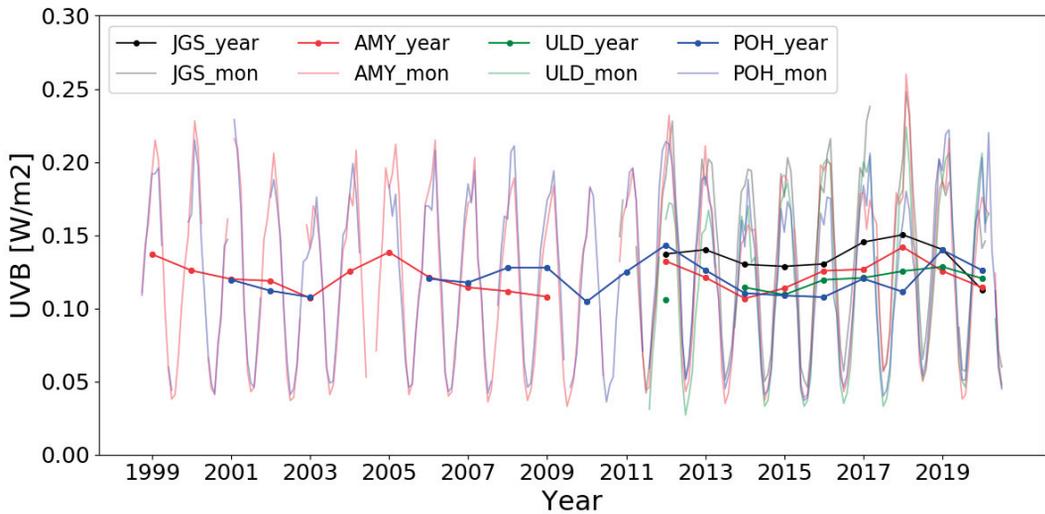
* AMY:안면도, JGS:고산, ULD:울릉도, POH:포항

그림 VI-1. 자외선A 월별/연별 관측값 변화

- 고산이 $2.90 \pm 1.51\%/year$ ($p\text{-value} < 0.01$), 울릉도가 $2.53 \pm 1.21\%/year$ ($p\text{-value} < 0.01$), 포항이 $1.83 \pm 1.14\%/year$ ($p\text{-value} < 0.05$)의 통계적으로 유의한 증가세
- 전 지점의 관측자료가 모두 존재하는 2013년 이후의 전 지점 평균 변화추세는 $2.44 \pm 0.55\%/year$ ($p\text{-value} < 0.01$)

○ 자외선B

- 자외선A와 마찬가지로 저위도에 위치한 지역에서 대체로 높은 관측값 [그림 VI-2]
- 자외선B는 울릉도를 제외한 모든 지역에서 유의미한 추세를 나타내지 않았으며, 이는 지표에 도달하는 에너지량이 적어 관측 환경 및 장비에 따른 관측값의 불확실성이 크다는 점에 기인한 것으로 판단됨
- 울릉도만이 유일하게 $2.08 \pm 1.03\%/year$ ($p\text{-value} < 0.01$)의 통계적으로 유의미한 증가세를 보임



* AMY:안면도, JGS:고산, ULD:울릉도, POH:포항

그림 VI-2. 자외선B 월별/연별 관측값 변화

VII. 총대기침적

- pH와 전기전도도는 유의미한 추세가 보이지 않음
- 습성침적 : 모든 지점의 약한 증가 추세를 보임
 - 안면도 73.9 mg/m³/year (p-value: 0.42) (1997~2020년)
 - 고 산 267.8 mg/m³/year (p-value: 0.08) (1998~2020년)
 - 울릉도 675.4 mg/m³/year (p-value < 0.05) (1997~2020년)

표 VII-1. 2020년 관측 평균자료와 최근 및 전체(장)기간 평균 비교

지점	안면도		고산		울릉도	
	2020년	최근 10년 (변화율) 전체기간 (변화율) (관측 기간)	2020년	최근 10년 (변화율) 전체기간 (변화율) (관측 기간)	2020년	최근 10년 (변화율) 전체기간 (변화율) (관측 기간)
강수량 (mm)	1211.0	940.4 (+28.8%) 757.7 (+59.8%) (1997~2019)	1492.5	1386.1 (+7.7%) 956.1 (+56.1%) (1998~2019)	1462.1	1084.3 (-34.8%) 1580.8 (-7.5%) (1997~2019)
pH	5.23	4.93 (+6.1%) 4.70 (+11.3%) (1997~2019)	5.07	4.93 (+2.8%) 4.88 (+3.9%) (1998~2019)	4.98	4.80 (+3.8%) 4.88 (+2.0%) (1997~2019)
전기전도도	14.5	25.4 (-42.9%) 26.7 (-45.7%) (1997~2019)	35.5	22.3 (+59.2%) 24.8 (+43.1%) (1998~2019)	37.3	49.8 (-25.1%) 46.1 (-19.1%) (1997~2019)
습성침적 (mg/m ³ /year)	5994.0	7606.1 (-21.2%) 7027.6 (-14.7%) (1997~2019)	17310.2	10625.9 (+62.9%) 9000.2 (+92.3%) (1998~2019)	17358.3	26378.0 (-34.2%) 19747.6 (-12.1%) (1997~2019)
건성침적 (mg/m ³ /year)	2881.0	3860.8 (-25.4%) 3992.4 (-27.8%) (2003~2019)				

* 최근 10년 : 2010 ~ 2019년

○ 강수량, pH, 전기전도도

- 2020년도 강수량은 안면도, 고산, 울릉도 모두 전체기간보다 약 25%~37% 정도 많은 강수량을 보임 [표 VII-1]
- pH와 전기전도도는 모든 감시소에서 유의미한 추세를 나타내지 않음
- 전체기간의 강수 pH보다 2020년도 감시소별 강수의 pH가 약 3%~10% 정도 증가함 [표 VII-1, 그림 VII-1(a)]
- 안면도의 전기전도도는 전체기간보다 약 84% 감소하였으나, 고산은 약 30% 증가하고 울릉도는 약 24% 정도 감소함 [표 VII-1, 그림 VII-1 (b)]
- 전체기간에서 강수에 대한 pH 구간별 발생빈도는 pH 4.5~5.0 구간에서 최대빈도를 보임 [그림 VII-2]

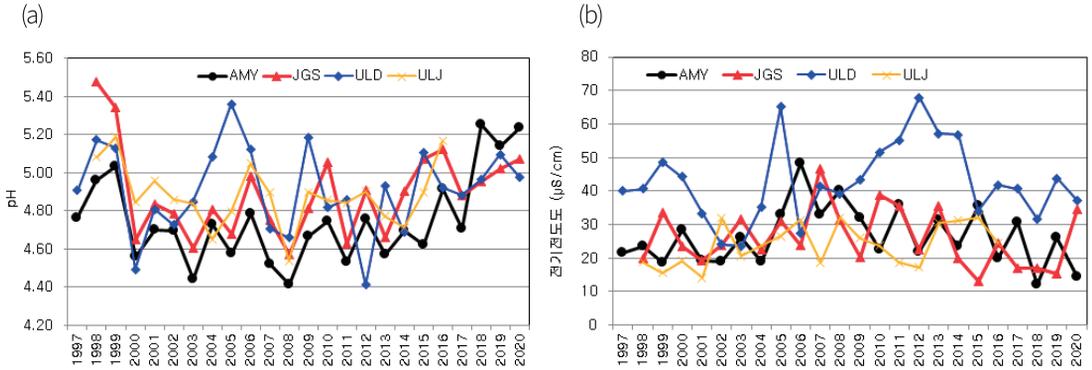


그림 VII-1. 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD), 울진(ULJ) pH와 전기전도도 연변화

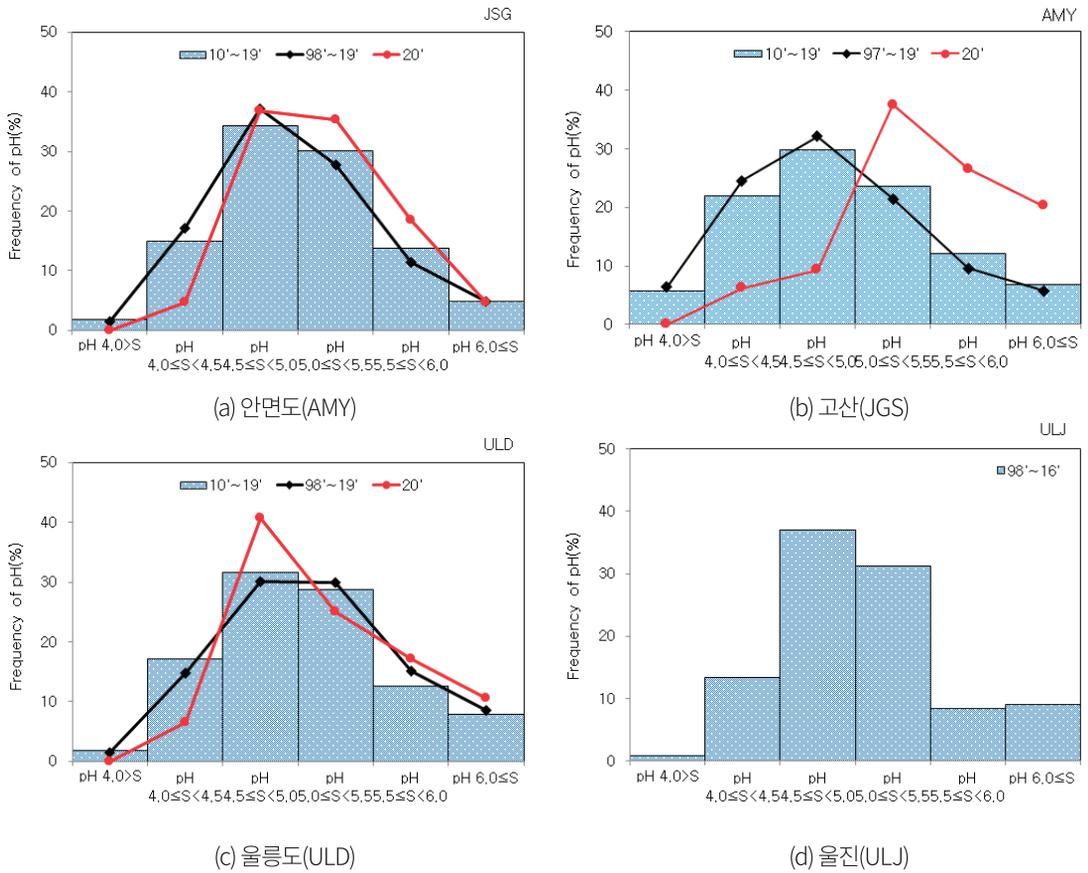


그림 VII-2. 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD), 울진(ULJ) 강수의 pH발생 빈도

○ 이온 성분농도(μeq/L)

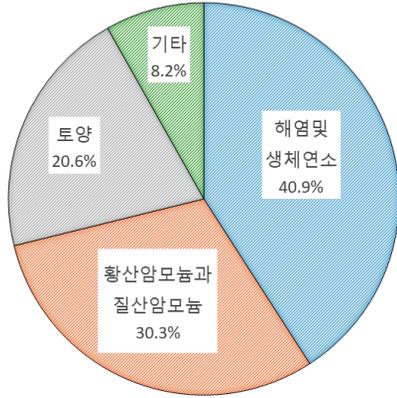
- 안면도 2020년 강수는 전체기간보다 이차반응물인 NO₃⁻, NH₄⁺, SO₄²⁻ 성분이 각각 약 51%, 38%, 62% 낮음 [표 VII-2]
- 고산 2020년 강수는 전체기간보다 이차반응물 중 NH₄⁺ 성분이 약 31% 높음 [표 VII-2]
- 울릉도 2020년 강수는 전체기간보다 이차반응물인 NO₃⁻, NH₄⁺, SO₄²⁻ 성분이 각각 약 50%, 56%, 32% 낮음. [표 VII-2]
- 습성침적은 안면도가 73.9 mg/m²/year (p-value: 0.42), 고산이 267.8 mg/m²/year (p-value: 0.08), 울릉도는 675.4 mg/m²/year (p-value < 0.05)로 특히, 울릉도 감시소는 통계적으로 유의한 증가세 보임.

표 VII-2. 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD) 강수의 부피가중평균 이온농도(μeq/L)

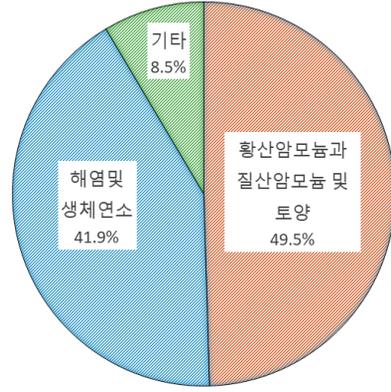
요소		F	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻ (nss-SO ₄ ²⁻)	Ca ²⁺ (nss-Ca ²⁺)
안면도	2020년	0.3	52.3	15.4	44.9	23.0	1.4	10.2	19.3 (13.9)	6.4 (4.4)
	1997~2019년	1.6	60.9	31.2	54.5	37.4	2.9	14.3	51.0 (44.4)	19.7 (17.3)
고산	2020년	0.3	188.9	16.2	162.8	21.6	4.2	34.6	37.1 (17.4)	12.3 (5.1)
	1998~2019년	0.7	97.0	18.8	87.7	16.5	3.6	20.4	36.3 (25.7)	15.2 (11.3)
울릉도	2020년	0.3	204.6	13.9	179.3	10.4	3.6	29.0	42.9 (21.2)	10.1 (2.2)
	1997~2019년	0.9	214.4	27.7	181.0	23.6	19.5	41.7	62.7 (40.8)	33.7 (25.7)

○ 발생원 분석

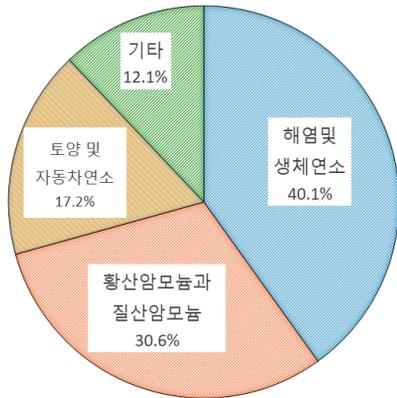
- 안면도 2020년 강수는 전체기간과 마찬가지로 황산암모늄과 질산암모늄 및 토양, 해염 및 생체연소에 대한 영향 비슷함 [그림 VII-3(a, b)]
- 고산 2020년 강수는 전체기간보다 황산암모늄과 질산암모늄이 증가 [그림 VII-3(c, d)]
- 울릉도 2020년 강수는 전체기간보다 해염의 영향이 증가, 인위적오염원에 대한 영향이 큼 [그림 VII-3(d, f)]



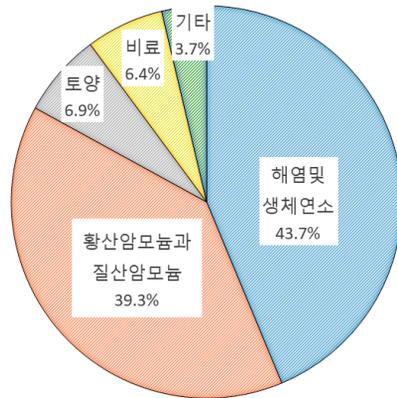
(a) 안면도 전체 기간(1997 ~ 2019년)



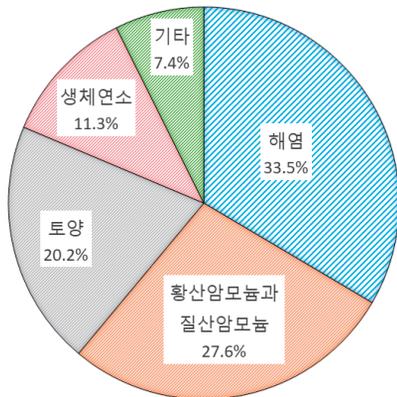
(b) 안면도 2020년



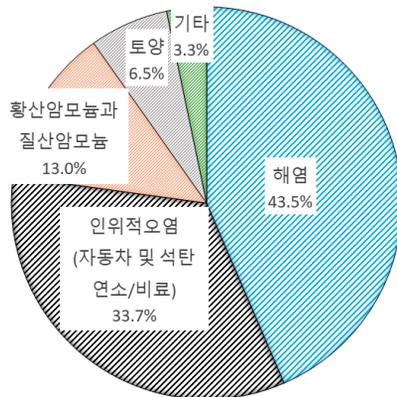
(c) 고산 전체 기간(1998 ~ 2019년)



(d) 고산 2020년



(e) 울릉도 전체 기간(1997 ~ 2019년)



(f) 울릉도 2020년

그림 VII-3. 안면도(AMY), 고산(JGS), 울릉도(ULD), 울진(ULJ) 강수성분의 발생원 분석

2020 지구대기감시 보고서

발 행 일 : 2021년 6월

발 행 처 : 국립기상과학원 미래기반연구부

63568 제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33

국립기상과학원

홈페이지 : 기후정보포털(www.climate.go.kr)

지구대기감시보고서 특별판

Report of Global Atmosphere Watch **Special Edition**

지구대기감시보고서는 기후정보포털(www.climate.go.kr)에서도 자료를 확인할 수 있습니다.
기후변화감시통계는 통계법 제17조 및 제18조에 따른 국가승인통계자료로서 국가통계포털(kosis.kr)을 통해 확인할 수 있습니다.



책임운영기관

국립기상과학원 책임|혁신|상생|전문

63568 제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33
기상청 기후정보포털 www.climate.go.kr