



2023년도

기후 및 기후변화

감시·예측정보

응용 기술개발

사업 성과분석보고서



기상청

Korea Meteorological
Administration



한국기상산업기술원
Korea Meteorological Institute



Contents

제1장 기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발 소개

- 1.1. 사업개요 04
- 1.2. 사업 로드맵 07

제2장 2023년도 주요 연구개발성과

- 2.1. 기후예측 및 위험대응 강화연구 12
 - 2.1.1. 계절내~계절 예측기술 개발 13
 - 2.1.2. 가까운 미래 예측성 향상기술 개발 22
 - 2.1.3. 기후변동성 주요인자 예측기술 개발 30
- 2.2. 기후변화 대응 및 정보 생산·활용연구 32
 - 2.2.1. 상세 기후변화정보 생산 및 불확실성 평가기술 개발 33
 - 2.2.2. 기후변화 감시 등을 통한 영향분석 기술 개발 43

제3장 부록

- 2020년~2023년 과제별 연구개발 성과 60
 - 1. 기후예측 및 위험대응 강화연구 62
 - 2. 기후변화 대응 및 정보 생산·활용연구 74



제 1 장

기후 및 기후변화 감시 · 예측정보 응용 기술개발 소개

.....

1.1. 사업개요	04
1.2. 사업 로드맵	07



사업개요

● 기후분야 현업과 국가 기후변화 정책지원을 위해 기후예측 및 기후변화 감시 전망 기술 연구

● 사업기간 : 2020년 ~ 2026년(1단계: '20년 ~ '22년 / 2단계: '23년 ~ '26년)

● 사업목적

- 계절내~가까운 미래 기후예측성 향상기술과 기후응용정보 생산기술 개발을 통한 기후위기 및 위험 대응역량 강화
 - (1단계: '20~'22년) 기후 감시 및 예측기술 개발, 수요자 맞춤형 예측정보 생산기술 등 기후 예측정보의 다양화 및 전달체계 기반 마련
 - (2단계: '23~'26년) 기후 감시·예측 기술 고도화, 기후 예측정보의 다양화 및 전달 체계 구축

● 사업 추진근거

- 관련법령, 정부 국정과제, 제5차 과학기술기본계획, 제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획, 탄소중립 녹색성장 국가전략 및 국가 기본계획 등 상위 계획에 의거하여 추진

▼ 사업 추진근거

구분	기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발사업 반영사항
과학기술기본법	제11조 국가연구개발사업의 추진
기상법	제32조 기상업무에 관한 연구개발사업의 추진
기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률	제17조 기후·기후변화 감시 및 예측 기술의 연구·개발사업의 추진
자연재해대책법	제58조 방재기술의 연구·개발 및 방재산업의 육성
기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법	제10조 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획의 수립·시행 제37조 기후위기의 감시·예측 등
기후변화대응 기술개발 촉진법	제8조 기술개발사업의 촉진
제20대 정부 국정과제	(86) 과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환 (87) 기후위기에 강한 물 환경과 자연 생태계 조성
제5차 과학기술기본계획 (2023~2027)	과제 3-1. 탄소중립 선도 및 지속가능한 환경으로의 전환
제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획 (2023~2032)	과제 2-4. 과학기술기반 기후변화 감시·예측 및 영향평가
탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획(2023~2027)	과제 2-1. 과학기반 기후위기 감시·예측 및 적응정보 고도화

● 사업 예산

구분	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26
총액(백만원)	2,400	5,086	8,080	6,400	4,750	4,900	4,900
기후예측 및 위험 대응 강화 연구	1,600	2,926	3,910	2,730	1,530	1,400	1,400
기후변화 대응 및 정보 생산·활용연구	800	5,086	4,170	3,670	3,220	3,500	3,500



● 사업 추진내용

- ‘기후예측 및 위험 대응 강화 연구’와 ‘기후변화 대응 및 정보 생산·활용 연구’ 2개의 내역사업으로 구성하여 추진
 - (기후예측 및 위험 대응 강화 연구) 기후전망 신뢰도 향상 및 이상기후 예측을 통해 대응역량을 강화하는 기술 개발을 목적으로 계절내부터 가까운 미래까지 기후예측체계 구축, 이상기후 예측을 위한 감시·원인분석 기술 강화, 계절예측정보(3개월) 맞춤형 응용정보 생산 등을 지원하는 과제로 구성
 - (기후변화 대응 및 정보 생산·활용 연구) 신기후체제에 대비하고 기후변화 대응 기술력을 향상하는 기술개발을 목적으로 기후변화 영향조사를 위한 원인물질 관측 및 분석, IPCC 6차 평가보고서(AR6) 기반 기후변화 시나리오 및 응용정보 생산, 기후정보 전달체계 구축 등을 지원하는 과제로 구성

▼ 내역사업별 단계별 연계체계

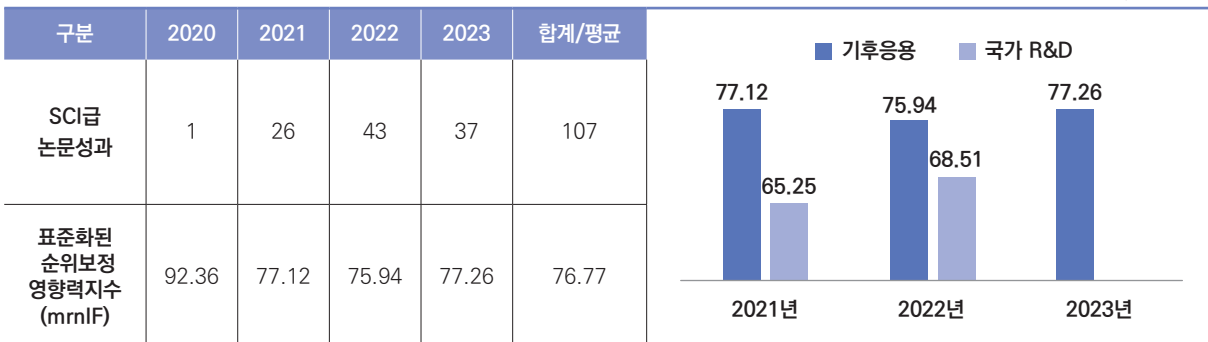
구분	1단계 ('20 ~ '22)	2단계 ('23 ~ '26)
기후예측 및 위험 대응 강화 연구	<ul style="list-style-type: none"> • 계절내~계절 예측기술 개발 • 계절내 규모 이상기후 예측성 평가 • 차세대 전산과학 기술접합 기반기술 개발 • 가까운 미래 기후변동성 분석 (투입예산) 8,436백만원	<ul style="list-style-type: none"> • 계절내~계절 예측기술 개선·고도화 • 가까운 미래 예측성 향상기술 개발·개선 • 기후변동성 주요인자 예측기술 개발 (투입예산) 7,060백만원
기후변화 대응 및 정보 생산·활용 연구	<ul style="list-style-type: none"> • WMO IG³S 이행사업 수행 • 온실가스 연속 추적 및 측정기술 개발 • 상세 기후변화정보 생산 기반기술 개발 • 해양 기후변화정보 생산기술 개발 • 기후자료 영향분석기술 개발 • 탄소중립 기후변화 메커니즘 및 온실가스 영향 탐지·진단기술 개발 (투입예산) 7,130백만원	<ul style="list-style-type: none"> • WMO IG³S 이행사업 기술 개선 • 온실가스 기원추적을 위한 연속추적기술 개발 • 상세 기후변화정보 다원화 기술 개발 • 상세 해양기후변화 시나리오 기반 해양기상 분석정보 개발 • 온실가스 감축실험을 이용한 한반도 극한기후 미래전망 분석 (투입예산) 13,890백만원

● 사업성과

- (논문성과) '20~'23년 동안 발생한 논문성과는 총 134건[SCI급 107건(79.9%), 비SCI급 27건(20.1%)]
 - 2020년 1건, 2021년 34건, 2022년 55건, 2023년 44건 수준
 - '20~'23년 SCI급 논문의 평균 질적수준은 mmlF 76.8

▼ 논문성과 질적수준('20 ~ '23)

(단위: 건, 점)



* 출처: 기상청 연구관리시스템, NTIS

• (소프트웨어 성과) '20~'23년 동안 발생한 소프트웨어 개발성과 총 68건

▼ 소프트웨어 개발성과('20 ~ '23)

(단위: 건)

구분	S/W 성과				
	2020	2021	2022	2023	합계
전체	19	14	21	14	68
• 기후예측 및 위험 대응 강화 연구	13	11	15	8	47
• 기후변화 대응 및 정보 생산·활용 연구	6	3	6	6	21

• (특허성과) '20~'23년 동안 발생한 특허성과 총 68건(출원 58건, 등록 10건)

▼ 특허성과('20 ~ '23)

(단위: 건)

구분	특허성과				
	2020	2021	2022	2023	합계
전체	1	20	24	23	68
• 기후예측 및 위험 대응 강화 연구	1	12	15	8	36
• 기후변화 대응 및 정보 생산·활용 연구	0	8	9	15	32
특허출원	1	19	22	16	58
특허등록	0	1	2	7	10

• (기술이전 성과) '20~'23년 동안 발생한 기술이전 성과 총 15건, 무상 기술이전으로 완료

▼ 기술이전 성과('20 ~ '23)

(단위: 건)

구분	사업화 성과				
	2020	2021	2022	2023	합계
전체	-	1	8	6	15
• 기후예측 및 위험 대응 강화 연구	-	-	1	1	2
• 기후변화 대응 및 정보 생산·활용 연구	-	1	7	5	13



사업 로드맵

내역사업	1단계(기후 예측·감시 기술개발)			2단계(수요자 특화 정보 생산)			
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
기후예측 및 위험대응 강화 연구	계절내~계절 예측기술 개발						
	계절내 예측성 향상기술 개발						
	계절내 규모 예측의 이상기후 잠재적 예측성 평가						
	계절내 규모 예측인자의 원격상관 진단 분석						
	기후예측시스템의 최적 결합 초기화기술 개발						
	차세대 전산과학 기술접합을 위한 기반기술 개발						
	동아시아지역 여름철 강수 변동성과 분석기술 개발						
	가까운 미래 예측성 향상기술 개발						
	가까운 미래 기후변동성 분석 및 원인규명						
	가까운 미래 예측시스템 구축을 위한 기반기술 개발						
	기후변동성 주요인자 예측기술 개발						
	기후예측시스템의 계절내 물리-역학 과정 향상기술 개발						
동아시아 대기순환 변조에 따른 이상 기상기후 발생진단 및 예측성 연구							
시를 활용한 극한기후 변동성 및 예측 연구							
기후변화 대응 및 정보 생산·활용 연구	상세 기후변화 정보 생산 및 불확실성 평가기술 개발						
	AR6기반 상세 기후변화 정보 생산 기반기술 개발						
	AR6 시나리오를 활용한 해양기후 변화 정보 생산기술 개발						
	기후변화 감시, 대응, 평가를 위한 기후자료 영향 분석기술 개발						
	탄소중립 기후변화 메커니즘 및 온실가스 영향 탐지·진단기술 개발						
	온실가스 감축실험을 이용한 한반도 극한기후 미래전망 분석						
	지역 기후변화 정보 다원화기술 개발						
	맞춤형 기후변화 응용정보 생산 및 전달체계 구축						
	상세 해양 기후변화 시나리오 산출기술 개발						
	기후변화 감시 등을 통한 영향 분석기술 개발						
	WMO IG3IS 이행			WMO IG3IS 이행사업 개선			
	온실가스 동위원소 유출입 감시를 위한 연속 추적기술 개발						
배경대기 농도수준 할로겐화 온실가스 연속 측정기술 개발			온실가스(동위원소, 할로겐화합물) 연속측정기술 고도화				
모바일 온실가스 관측자료 활용기술 연구			고밀도 온실가스 관측자료 활용기술 개발				
			온실가스 변동에 따른 복사강제력 산출기술 개발				

● 한눈에 보는 「기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발 사업」 주요 성과

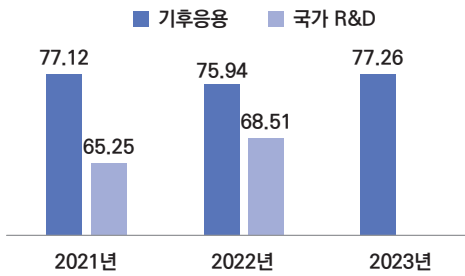
2023년도 국가연구개발사업 자체평가 결과 '우수'(88.3점)

국가R&D 평균 대비 높은 수준의 논문, 특허 성과 창출

과학적 성과

SCIE 논문의 질적 수준(mrnIF) 77.26

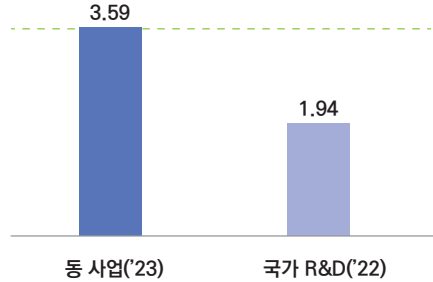
(*22년 국가R&D 평균 68.51)



기술적 성과

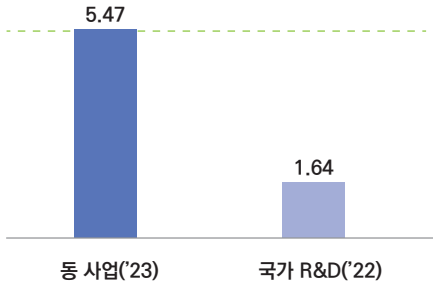
정부출연금 10억원 당 특허출원 3.59건

(*22년 국가R&D 평균 1.94건)



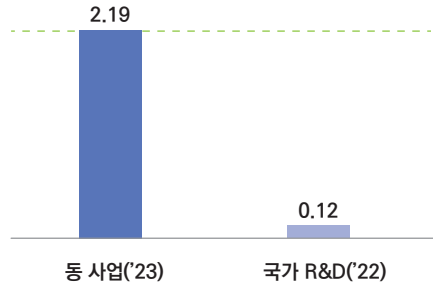
정부출연금 10억원 당 논문 성과 5.47건

(*22년 국가R&D 평균 1.64건)



정부출연금 10억원 당 소프트웨어 2.19건

(*22년 국가R&D 평균 0.12건)

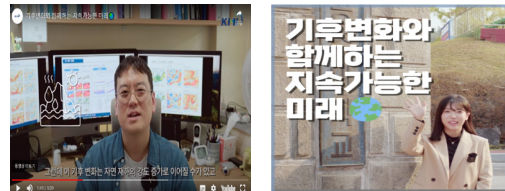


수혜자에게 신뢰도 높은 기후변화 응용정보 제공을 통해 기후위기 대응 역량 제고

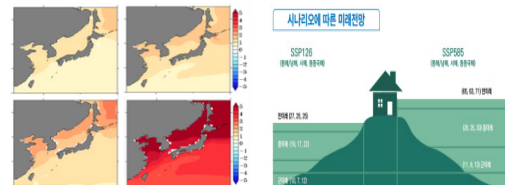
기상청 기후정보포털 및 동아시아지역 기후변화 국제자료센터(ESGF/CORDEX-EA)를 통한 기후전망 정보 국내·외 제공

- ① 기상청 기후정보포털 및 국제자료센터 5건 등록, 국가 기후변화 표준 시나리오 인증 3건
- ② 기상청 현업 활용(표준시나리오) 3건
- ③ '기후변화 시나리오' 생산·활용 법적 기반 마련 기여 ('기후·기후변화 감시·예측에 관한 법률' 제정(*23. 10.))

연구성과 공유 및 홍보를 통하여 기후위기에 대한 대국민 인식 확산



<기후정보포털에 제공되고 있는 해양기후변화 정보 예시>





2023년도 기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발 사업 성과분석보고서



2023년도
기후 및 기후변화 감시·예측정보
응용 기술개발 사업 성과분석보고서



제 2 장

2023년도 주요 연구개발성과

.....

2.1. 기후예측 및 위험대응 강화연구	12
2.2. 기후변화 대응 및 정보 생산·활용연구	32



기후예측 및 위험대응 강화연구

● 연구목표

기후전망 신뢰도를 제고하고 이상기후 예측을 통해 대응역량을 강화하는 기술개발

● 주요 내용

- (계절내 예측성 향상) 기상청 현업 기후예측시스템의 계절내 예측성 향상을 위한 모델 개발·개선 및 계절내 규모 예측기술의 개발
- (계절내 이상기후 예측) 현업 운영체계를 이용한 이상기후 잠재적 예측성 평가 및 계절내 규모 예측기술의 고도화
- (가까운 미래 예측시스템 구축) 1~10년 내 국가 물자원, 식량, 경제 및 재난 대응 정보 생산을 위한 가까운 미래 (1~10년)의 예측성 평가, 원인규명, 예측인자 개발, 예측 시스템의 도입·기반 구축
- (한반도 이상기후 진단) 한반도 이상기후 진단을 위한 객관적이고 정량적인 영향지표 개발

● 예산

▼ 연도별 투입예산('20 ~ '26)

(단위: 백만원)

구분	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	합계
기후 예측 및 위험 대응 강화 연구	1,600	2,926	3,910	2,730	1,530	1,400	1,400	15,496
계절내~계절 예측기술 개발	1,600	2,926	2,926	1,330	-	-	-	8,782
가까운 미래 예측성 향상기술 개발	-	-	984	1,000	680	-	-	2,664
기후변동성 주요인자 예측기술 개발	-	-	-	400	850	1,400	1,400	4,050

2.1.1. 계절내~계절 예측기술 개발



기후예측시스템 최적 결합 초기화기술 개발



연구책임자 이명인 (울산과학기술원)



총 연구기간 2021.04.01.~2023.12.31.



연구배경 및 필요성

- 현재 대다수의 결합초기화 기법은 대기-해양 결합에 집중되어 있어 지면, 해빙의 영향을 포함하는 고도화 기법의 개발이 필요
 - 대기-해양 결합 초기화의 효과는 주로 열대지역에서 나타나 중위도 예측 성능 향상을 위해 토양수분 등의 중위도 지면 초기화 방안의 고도화는 필수적
- 결합 초기화 기법의 계절 예측에 대한 기여를 과학적 측면에서 이해, 분석 필요



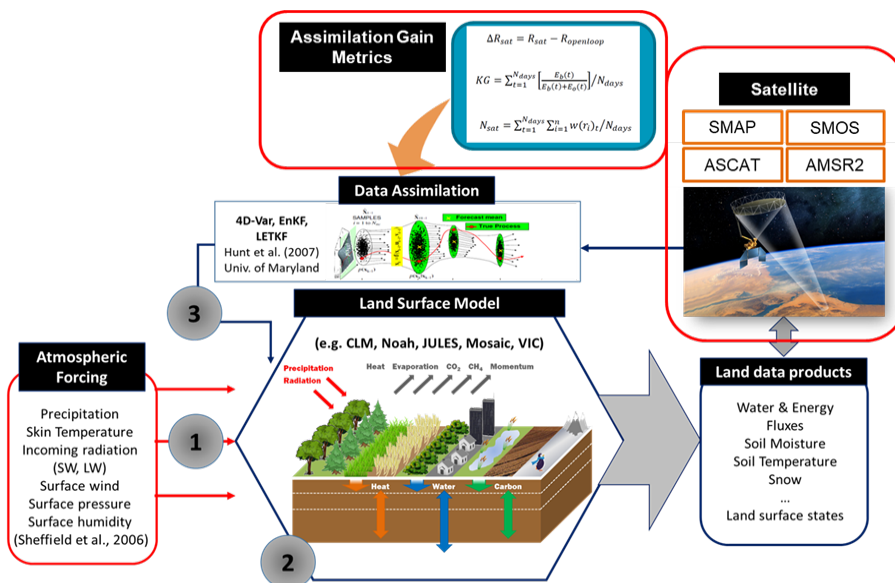
과제목표

- 다중위성 기반의 지면자료동화 시스템 개발
- 계절내-계절 예측을 위한 대기-지면-해양 결합 초기화 기술 개발
- 계절내-계절 예측 성능 향상을 위한 결합 초기화 기술 개발
- 해양-해빙 결합 모델 구축 및 해양-해빙 변수 균형 강도 정량 평가 기법 개발



성과 주요내용

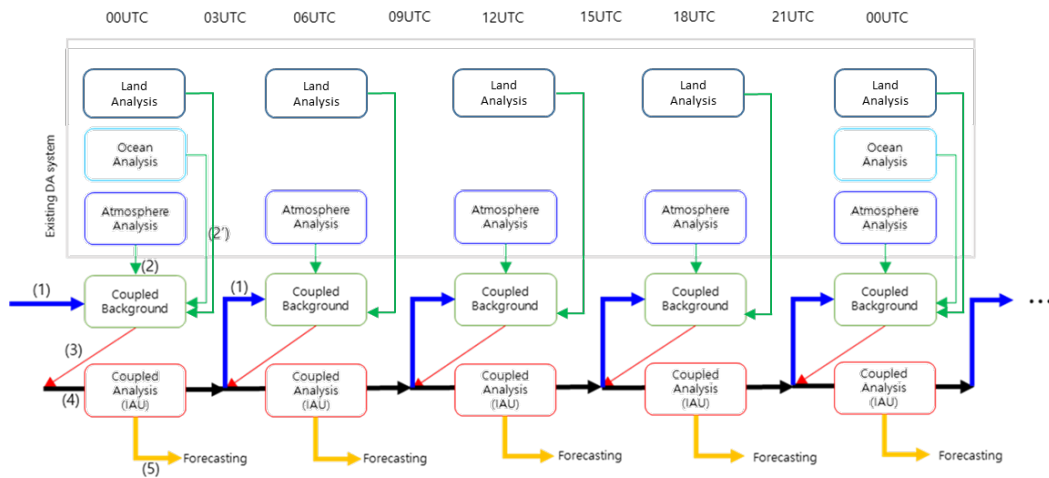
- 국내 최고 수준의 앙상블 기법(EnKF) 기반의 다중위성 지면자료동화 시스템 기반 구축 및 성능 평가
 - 현업 계절 예측시스템의 지면 성분 모델(JULES)을 활용하여 4개 위성자료 기반의 앙상블 지면자료동화 기법 개발
 - 생산된 토양수분 자료 품질 개선



▲ 다중위성 기반 지면 자료동화 기법 구축

• 대기-지면-해양 결합초기화 기법 구축 및 계절내 예측성 영향 평가

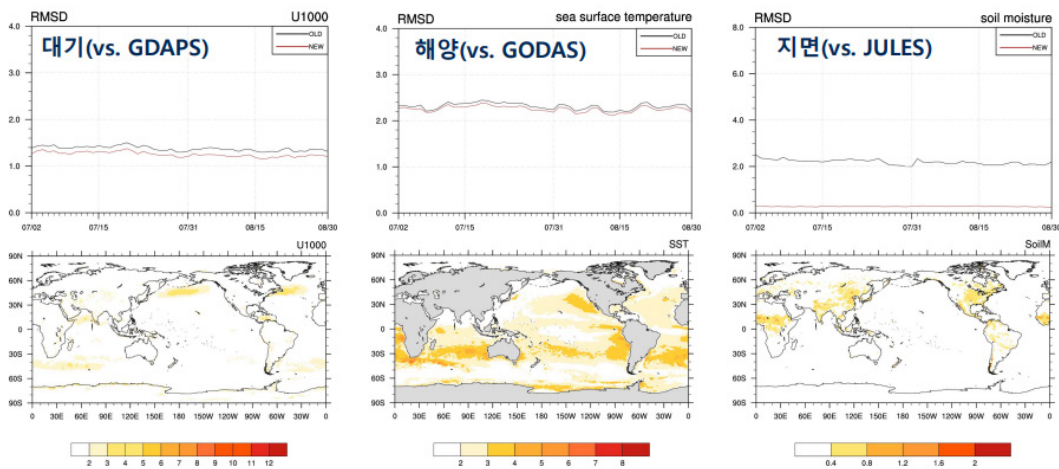
- 현업 계절 예측시스템을 활용한 대기-지면-해양 결합 초기화 시스템 안정적 구축 완료



▲ 결합 초기화 기법 구축

- '대기-지면-해양' 결합모델을 이용한 전 지구 재분석 자료 생산 및 품질 검증

※ IAU(Incremental Analysis Update) 질량장과 토양수분자료 보정 추가, 대기 IAU 계산오류 보정 등으로 평균제곱근편차 (RMSD) 감소 개선 효과



▲ 재분석자료 검증

- 구축된 대기-지면-해양 결합초기화 기법을 활용하여 계절내 예측성 영향평가 수행

➔ 2018년 폭염 사례를 선정하여 전 지구와 한반도에서의 모의 성능을 검증, 기상청 현업 초기화 기법의 결과와 대조한 결과 개선 확인

- 해빙 성분 모델을 활용한 해빙 면적 및 두께 위성 관측 자료동화 시스템 개발
 - 해빙 면적 위성 관측 자료를 계절 예측 시스템 해빙 성분 모델에 동화하는 시스템을 개발하여 개선된 해빙 초기 조건을 산출하는 성과 창출
 - 현업 계절 예측 시스템의 해빙 성분 모델 CICE5를 활용하여 해빙 면적과 두께 위성 관측 자료를 자료동화 하는 시스템을 개발
 - 해빙 면적 변수가 유의미한 수준으로 개선
 - 해빙 두께 변수의 자료동화가 해빙 면적 변수 개선에 미치는 긍정적인 영향 평가, 관련된 물리적 메커니즘 규명



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 결합 초기화 기법 고도화를 통한 현업 계절·기후 예측시스템 예측 성능 향상
- 대기-지면-해양 결합초기화를 통한 특이 기상 예측 성능 향상
- 해양 물리 변수 자료동화의 극 지역으로의 지역적 확장을 통한 해빙 변수 및 기후 예측성 향상
 - 계절내-계절 예측성능 향상을 위한 해빙 모델 초기화는 전 세계적으로 중요성이 알려져 활발한 연구를 수행 중이나 해빙 초기화의 이해도는 상당히 낮은 수준이며, 특히 해빙 두께 초기화를 적용하고 있는 기관이 없는 실정
 - 본 연구에서 해빙 면적뿐만 아니라 두께 변수의 자료동화를 통하여 해빙 초기화 기술을 확보
 - 계절 예측 시스템의 해빙 초기화 체계 구축은 계절내-계절 예측성능 수준을 향상시킬 수 있는 선진기술



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 19편, 비SCIE 1편
- 특허 : 등록 1건, 출원 1건
- 소프트웨어 : 2건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 기후연구부 이조한
- 참여기관 : 울산과학기술원, 전남대학교, 부경대학교, University of Washington



차세대 전산과학 기술접합을 위한 기반 기술 개발



연구책임자 류성현 ((주)미래기후)



총 연구기간 2021.04.01.~2023.12.31.



연구배경 및 필요성

- 계절내(Sub-seasonal) 규모 예측을 위해서는 다양한 경계조건 계산 등 일기 예측에 비해 상대적으로 많은 계산량 필요
 - 방대한 계산이 필요한 예보자료를 실시간으로 생산하기 위해서는 빠른 연산처리가 가능한 병렬 컴퓨터를 효과적으로 활용할 수 있는 최적화 방안 마련이 필수
- 기후 모델링 기술은 단일 기관이 아닌 여러 기관의 공동 연구를 통해 지구시스템 모델로 발전
 - 공동 연구를 위해서는 다양한 컴퓨팅 기술이 통합되어 클라우드 환경에서 운용되는 협업 시스템 필요
 - 기후 모델 공동 연구에 최적화된 협업 클라우드 시스템 설계 및 기술 개발을 통해 협력 기관 연구자들의 원활한 공동연구 환경을 구축하기 위한 기반 마련 필요



과제목표

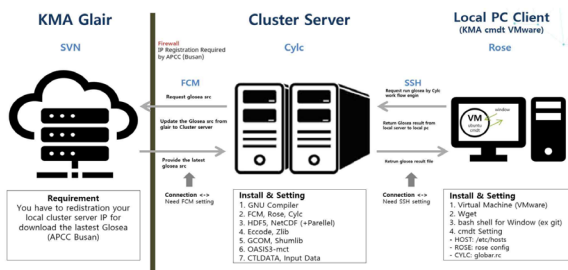
- 계절 내-계절 예측체계의 기술적 고도화를 위한 차세대 전산과학 기술 개발



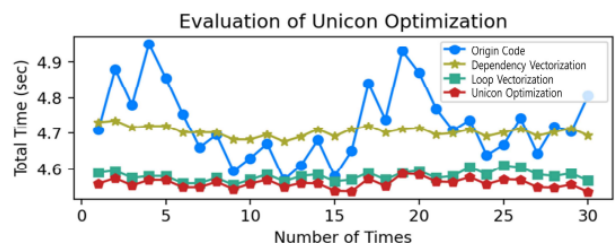
성과 주요내용

- 계절예측모델(GloSea) 간소화 버전을 이용한 다양한 계산 플랫폼 활용기술 연구
 - 다양한 운영체제* 및 아키텍처 환경에서 GloSea6의 호환성, 범용성, 이식성 연구 및 검증, GloSea6 설치 매뉴얼 작성 및 배포체계 구축
 - * 운영체제: Ubuntu, CentOS, Fedora, 컴파일러: GNU, PGI, Intel 등
 - GloSea6 및 통합 적응모수화 계산 성능 향상을 위하여 LAPACK*, BLAS 라이브러리 적용 연구(0.853% 계산 성능 향상)

* LAPACK: Linear Algebra PACKage, BLAS: Basic Linear Algebra Subprograms: 계산 성능 향상을 위한 범용 선형 대수 라이브러리

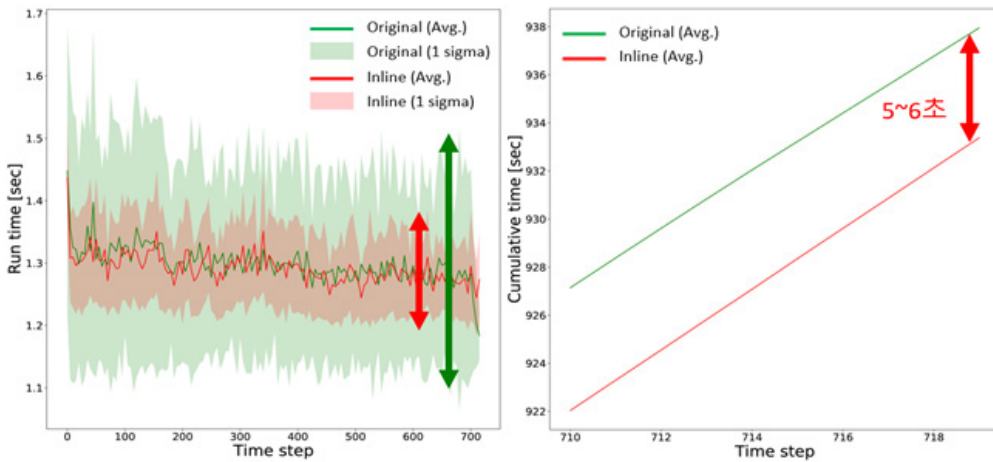


▲ 계절예측모델(GloSea6) 간소화버전 수행 환경



▲ 성능 향상 알고리즘 적용 결과

- 모델 입출력 효율화를 위한 HW/SW 연계 고속 I/O 기술 개발
 - 기후모델의 높은 입출력(I/O) 부담을 줄이기 위한 머신 러닝 기반 파라미터 최적화 방법의 실험 및 검증
 - 기후모델의 자료관리 효율화를 위한 손실 허용 압축 기법에 대한 연구 수행 및 변수 특성에 따른 손실 허용 압축 기법 적용으로 기후모델의 I/O 성능 향상
- 계절예측모델 적용을 위한 Auto Coding 기술개발
 - PSyclone* 기능 분석, 계절예측모델(GloSea)의 대기(UM), 해양(NEMO)모델의 소스코드 구조 파악 및 성능 프로파일링 수행을 통해 Auto Coding 적용 기반 마련
 - * PSyclone: 영국기상청(Met Office)에서 개발한 Auto Coding 도구
 - 대기(UM), 해양(NEMO) 모델에 적용 가능한 PSyclone API 기반 Auto Coding 도구개발 및 적용



▲ Inline을 적용한 UM 서버루틴의 평균 수행시간(실선) 및 표준편차(음영) 감소

- 많은 계산량을 요구하는 계절예측모델에 최적화된 Auto Coing 도구를 개발, 해당 도구는 여러 기관이 공동으로 협업 연구 진행 시 각 기관의 연구자들이 다양한 컴퓨팅 환경에서 최적화된 모델을 활용할 수 있도록 지원

fcm make 매뉴얼

FCM: User Guide: Annex: FCM Configuration File

System

FCM User Guide: FCM Make

Introduction

FCM Make Concept

FCM Make Concept Command Line Interface

FCM Make (PSyclone) [PSyclone Make]

FCM Make 사용법

UM/NEMO 도구 수정 예시(병렬 연산 지시문 자동 삽입 도구)

<수정 전> INSERT_PARA_DIRECTIVES.py

사전작업 (전처리)	PSyclone	사후작업 (후처리)
1. 전처리 구문 삭제 2. 중복 CONTAINS 삭제 3. 중복 서버루틴명 수정 4. 선언 안 된 전역 변수 선언	NEMO API OpenACC 지시문 삽입	1. 전처리 구문 추가 2. 중복 CONTAINS 복원 3. 중복 서버루틴명 복원 4. 전역 변수 선언 삭제

↓

<수정 후> INSERT_PARA_DIRECTIVES.py

사전작업 (전처리)	PSyclone	사후작업 (후처리)
1. 전처리 구문 삭제 2. 중복 CONTAINS 삭제 3. 중복 서버루틴명 수정 4. 선언 안 된 전역 변수 선언	NEMO API OpenACC 지시문 삽입	1. 전처리 구문 추가 2. 중복 CONTAINS 복원 3. 중복 서버루틴명 복원 4. 전역 변수 선언 삭제

Auto Coding 도구 사용자 매뉴얼

Auto Coding 도구(PSyclone) 사용자 매뉴얼

본 매뉴얼은 PSyclone을 사용하여 코드를 생성하는 방법을 설명합니다.

2023. 05. 15. | 제2장 2023년도 주요 연구개발성과

▲ Auto Coding 도구의 GloSea6 내 적용 및 테스트(매뉴얼 마련 등)

- 협업클라우드 설계 및 협업 최적화 기술 개발
 - (형상관리) 버전 관리 저장소(과학원↔협업클라우드) 동기화 방안 도출
 - (자료교환) 모델 결과 자료 고속 압축 알고리즘(Zstd 등) 적용으로 전송 파일 용량 최적화, 모델 결과 자료 검색 및 다운로드, 변수 영역 추출 및 저장 기능 개발
 - (공동개발) JupyterHub 기반 모델 결과 자료 검색, 결과 분석 및 표출 기능 개발
 - (시스템관리) 오픈소스 기반 협업클라우드 모니터링, 사용자 관리 및 인증 기능 개발



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 계절내-계절 연속 예측체계 운영에 필요한 핵심 전산과학 기술 개발
- 국립기상과학원 및 협력 그룹의 계절내-계절 연속 예측 체계구축 및 현업시스템 개선에 기여
- 본 연구를 통해 개발한 Auto Coding, 입출력 최적화 및 자료 크기 축소 기술은 향후 현업 기후예측시스템 및 새로운 기후모델 개발에도 활용 가능
- 공동 개발을 위한 현업 시스템의 간소화 버전 및 배포 체계, 형상 관리, 자료 교환 최적화, 공동 분석 기술 개발로 향후에도 지속적으로 활용 가능



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 6편, 비SCIE 6편
- 특허 : 출원 6건
- 소프트웨어 : 2건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 기후연구부 이조한
- 참여기관 : (주)미래기후, 창원대학교, 홍익대학교



동아시아지역 여름철 강수변동성과 분석기술 개발



연구책임자 서경환 (부산대학교)



총 연구기간 2021.04.01.~2023.12.31.



연구배경 및 필요성

- 2021년 최근 30년(1991년~2020년) 기후평년 기준이 개정됨에 따라 최신 관측자료와 모델 자료를 바탕으로 한 새로운 장마백서 발간 및 개정 필요
 - 지난 10년 간의 동향 분석을 통해 보다 현실성 있는 새 장마 시종 기준 제시 필요
 - 새로운 기후 시나리오와 모델을 바탕으로 미래 강수 변화와 최근 새롭게 대두된 장마 관련 용어 정리 등 필요
- 지구온난화에 따른 장마의 장주기 변동성의 특징을 파악해 계절 예측을 비롯한 장기예보 성능 향상에 기여
- 한반도의 장마를 포함한 동아시아 여름철 몬순의 발생 메커니즘에 대한 이해를 바탕으로 여름철 강수에 대한 심층적인 이해 가능



과제목표

- 아시아지역 여름철 강수변동성과 분석기술 개발
 - 동아시아 여름철 강수 변동 분석기술 개발
 - 동아시아 여름철 이상기후 장기 변동성 분석
 - 동아시아 여름철 몬순 형성 메커니즘 분석 기술 개발



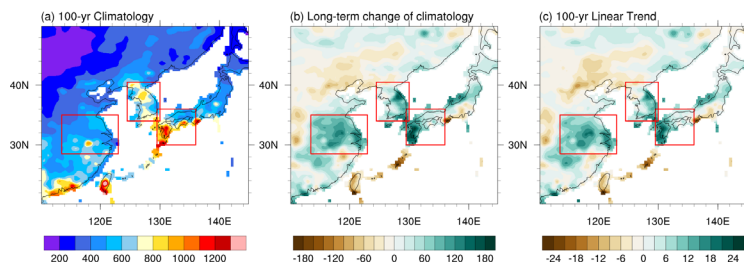
성과 주요내용

- 동아시아 여름철 강수 변동 분석기술 개발
 - 한반도 여름철 강수 및 기온 변화 특성 분석
 - 동아시아 여름철 강수 모의 성능 및 미래 변화 분석
- 동아시아 여름철 이상기후 장기 변동성 분석
 - 「장마백서 2022」 최종본 발간
 - 동아시아 여름철 이상기후 장기 변동성 분석
 - 한반도 강수 장기 변동성 분석
 - 동아시아 여름철 이상기후 사례 분석 및 메커니즘 규명



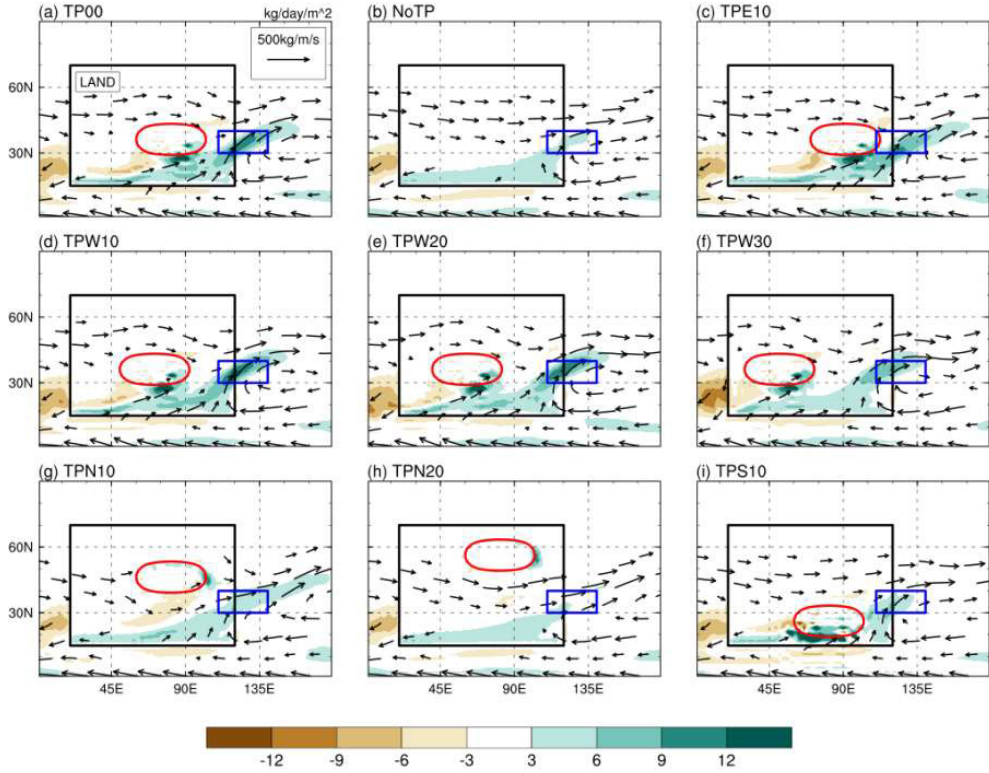
▲ 장마백서 2022

JJA GPCP Precipitation in East Asia



▲ 1920~2019년의 기간 동안 여름철(6~8월) 누적 강수량의 (a)100년 장기평균, (b)기간 중 첫 20년 평균과 끝 20년 평균의 차이, (c)100년 동안의 선형 추세

- 동아시아 여름철 몬순 형성 메커니즘 분석 기술개발
 - 지구대순환 모델을 이용한 동아시아 여름철 몬순 형성 기제 기술개발
 - 민감도 모델 실험을 통한 여름철 몬순 강수의 형성 역학 분석
 - 동아시아 몬순 형성 기제와 관련된 중장기 변동성 분석



▲ 티벳산맥 위치에 따른 민감도 분석

- 장마의 시작 시기 결정 기술 개선
 - 여름철 수증기 유입과 강수 발생 등을 동반한 현상들을 개념적으로 도입하여 새로운 장마 시작 기술 창안
 - 대기의 운동과 관련있는 역학적 변수와 온도 및 습도와 관련 있는 열역학적 변수, 구름 및 강수 관련 변수가 직접적인 모니터링 대상이 되어 보다 포괄적이고 객관적으로 장마 시작 여부를 결정할 수 있도록 기여

변수	영역 및 정의방법
Z500	122.5°~135°E 평균 5820 gpm 선이 30.0°N보다 북상해 3일 지속
v850	125°~130°E 평균 남풍(850 hPa)이 32.5°N에서 전날 대비 90% 이상 2일 지속
RH1000	125°~130°E, 30°~35°N 영역 평균 상대습도(1000 hPa)가 70% 이상 2일 지속
MSE850y	125°~130°E 평균 습윤정적에너지(MSE, 850hPa)의 남북 경도 최솟값이 당일에 32.5°~40°N에 위치
OLR	125°~130°E, 30°~35°N 영역 평균 상향 장파 복사(OLR)가 당일에 230 W/m² 이하

▲ 본 연구에서 사용된 5가지 대기 변수와 영역 및 정의 방법(Z500: 500hPa 지위고도, v850: 850hPa 남북 방향 바람 (남풍이 양의 값을 가짐), RH1000: 1000hPa 상대습도, MSE850y: 850hPa 습윤정적에너지의 남북 방향 기울기, OLR: 상향 장파 복사)



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 「장마백서 2022」 발간을 통해 기상 및 기후 기술에 대한 최신 정보 분석
- 동아시아 여름철 몬순 형성 기제 기술개발 및 형성 메커니즘 분석기술 개발로 우리나라 여름철 기후에 대한 이해 증진
- 각종 기상·기후 변수로부터 장마 시작일을 추정하여 장마 시작과 관련된 여름철 강수 변동성을 이전보다 정확하게 파악 가능
 - 기존에는 상당온위의 경도가 큰 지역을 기단의 경계, 즉 장마 전선의 대체적인 위치를 암시하는 것으로 고려하였으나 최근 장마 시작시기에 발생하는 기상현상은 종관 규모의 기단의 불연속면만으로는 시작을 결정짓는 데에 한계 발생
 - 단순히 강수의 유무가 아닌 주변의 기상 상황으로부터 장마 시작을 결정하는 과학적인 방법의 적용이 본 연구에서 최초로 진행, 더욱 정확한 장마 시작일 판단 정보를 전달하여 더 나은 기상서비스 제공에 기여
- 장기적인 에너지 정책 마련에 도움 및 기상재해로부터 인명을 보호하고 사회·경제적 재산 피해 경감에 기여



정량적 연구개발성과

- 간행물 : 장마백서 2022
- 논문 : SCIE 2편
- 특허 : 등록 1건
- 소프트웨어 : 2건



연구진

- 과제담당관 : 기후과학국 기후변화감시과 박영주
- 참여기관 : 부산대학교

2.1.2. 가까운 미래 예측성 향상 기술개발



가까운 미래 기후변동성 분석 및 원인규명



연구책임자 김기영 ((주)포디솔루션)



총 연구기간 2022.04.01.~2024.12.31.



연구배경 및 필요성

- 전 세계적으로 가까운 미래(1년~10년) 예측 연구에 대한 필요성이 증대
 - 우리나라에서는 계절규모 이상의 가까운 미래 예측을 목표로 하는 시스템이 부재한 상황으로 현 기후 예측 기술력을 확장해 계절내~가까운 미래를 아우르는 예측 체계의 개발 필요
- 기후변화에 따른 기상재해 급증으로 한반도에 막대한 피해를 가져오는 극한 기후 현상을 사전에 대비할 수 있는 실용적 수준의 중장기 예측기술 확보 필요



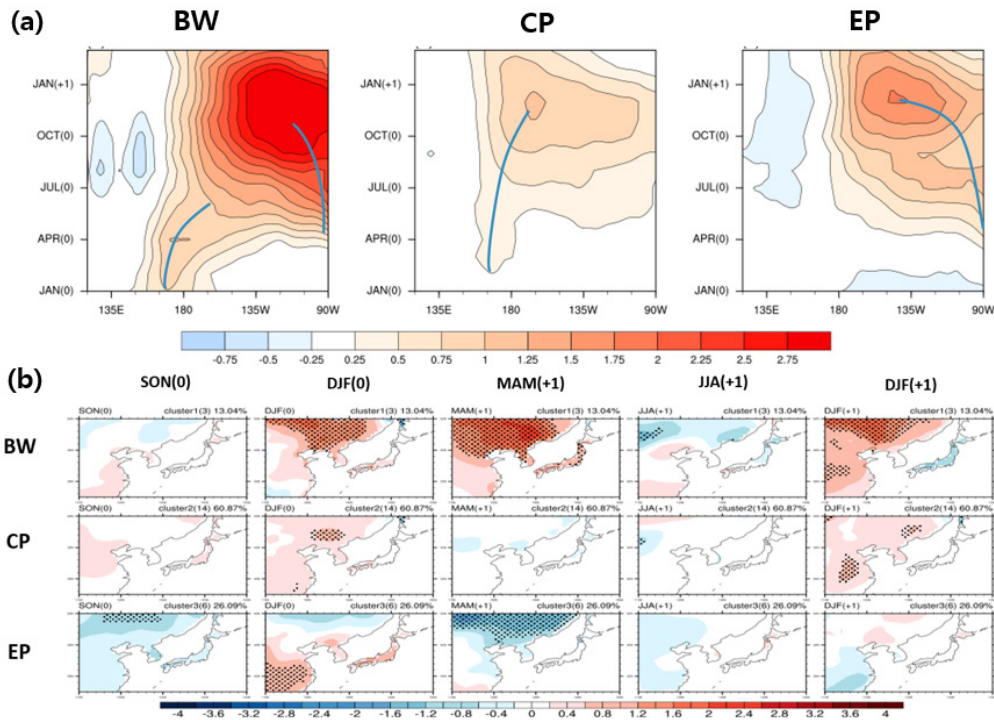
과제목표

- 가까운 미래 예측을 위한 기후변동성 원인 규명 및 가까운 미래 예측을 위한 신뢰도 평가 기술개발



성과 주요내용

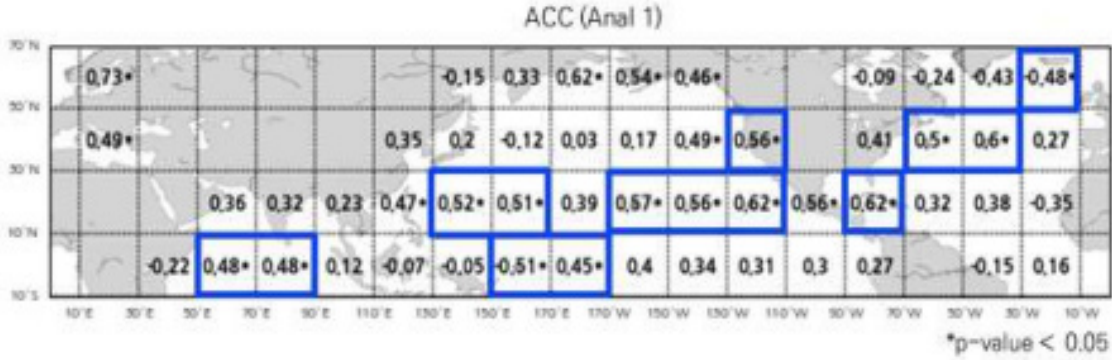
- 가까운 미래 예측을 위한 적도태평양 기후변동성 분석
 - K-means 클러스터 방법을 이용한 엘리뇨 유형별 동아시아 기온 영향 분석



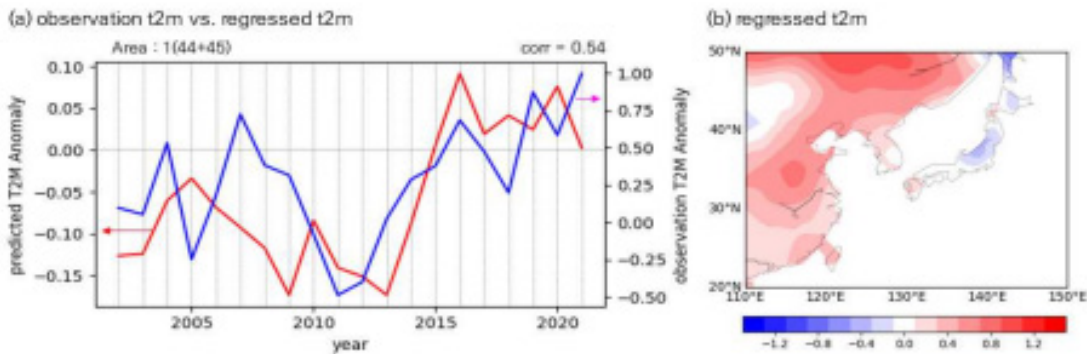
▲ K-means 클러스터의 엘리뇨 유형 별 (a) 적도지역(-5°S-5°N) SST 아노말리, (b) 계절 평균 지상기온 합성장

- 지역별 해수면 온도를 이용한 근미래 남한지역 기온 예측

- * 가까운 미래(~1년) 예측을 위한 태평양/대서양 원격 상호작용 및 기후변동선 분석 결과를 바탕으로 남한 영역의 1년 기온 예측 통계모델을 설계, 해당 통계 모델을 활용해 남한 영역 2m 기온 예측
- * 1년 예측 자료를 활용해 기후변화에 대한 정부 또는 기업의 의사결정 지원 가능



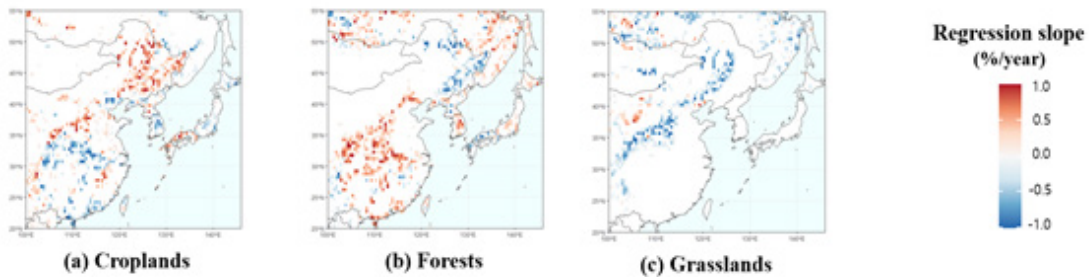
▲ 재분석 자료의 1948~2000년 데이터의 회귀식을 통한 2001~2020년의 예측 자료와 관측과의 상관계수



▲ 2m 기온 재분석 자료와 예측자료 시계열 및 회귀식에 따른 1년 예측 아노말리 공간분포

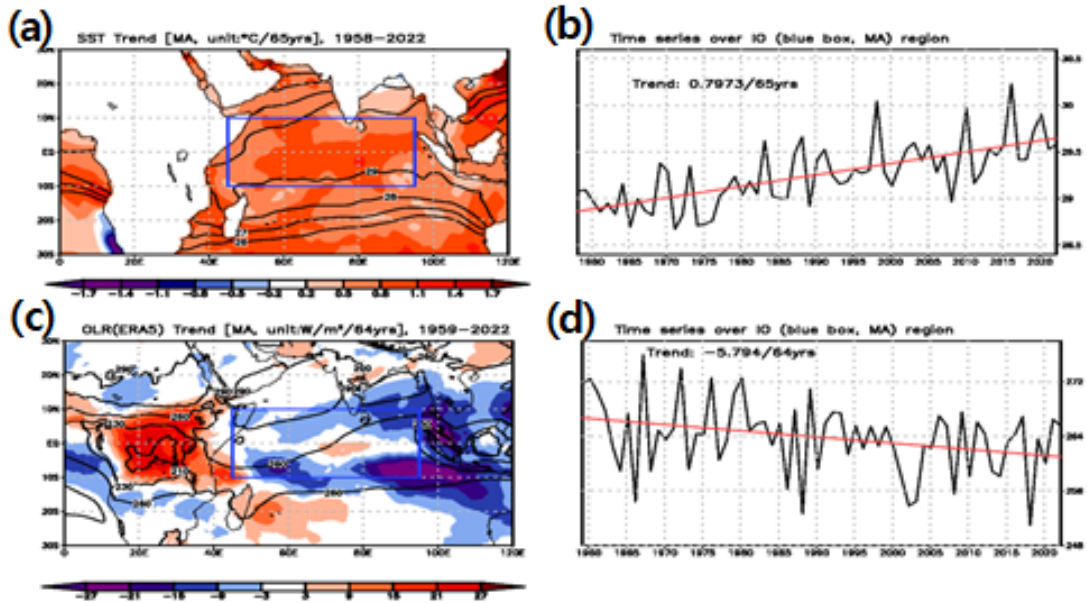
• 가까운 미래 기후변동성 예측을 위한 토지피복인자 개발

- 최근 34년(1982~2015)에 걸친 연속적인 동아시아 토지피복인자(삼림, 농경지, 초지) 정량적 지도 구축 및 식생 간 전이 분석



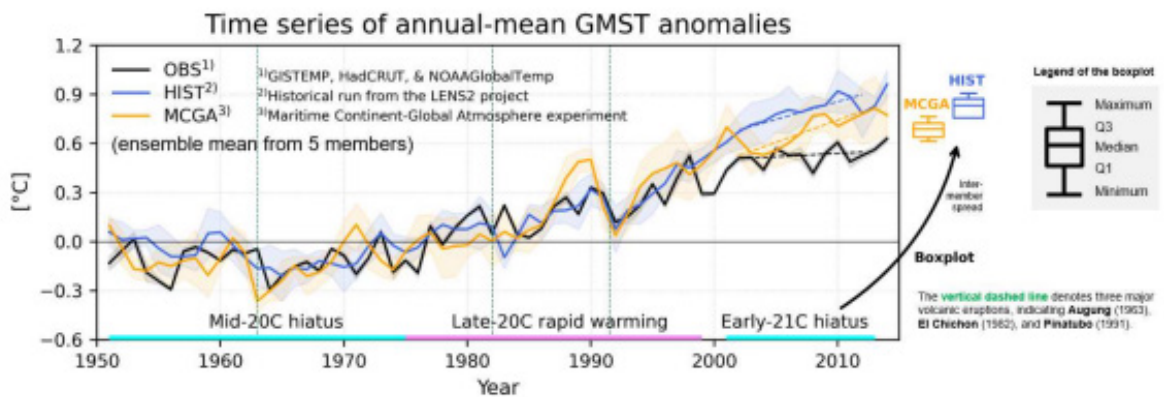
▲ 1982~2015년 기간의 (a) 농경지, (b) 삼림, (c) 초지의 선형 회귀 추세

- 대기 및 해양의 장주기(1년~수십년) 변동으로 인한 원격상관 과정의 과학적 기작 규명
 - 인도양의 장주기 변동성과 관련한 온난화 휴지기 메커니즘 파악



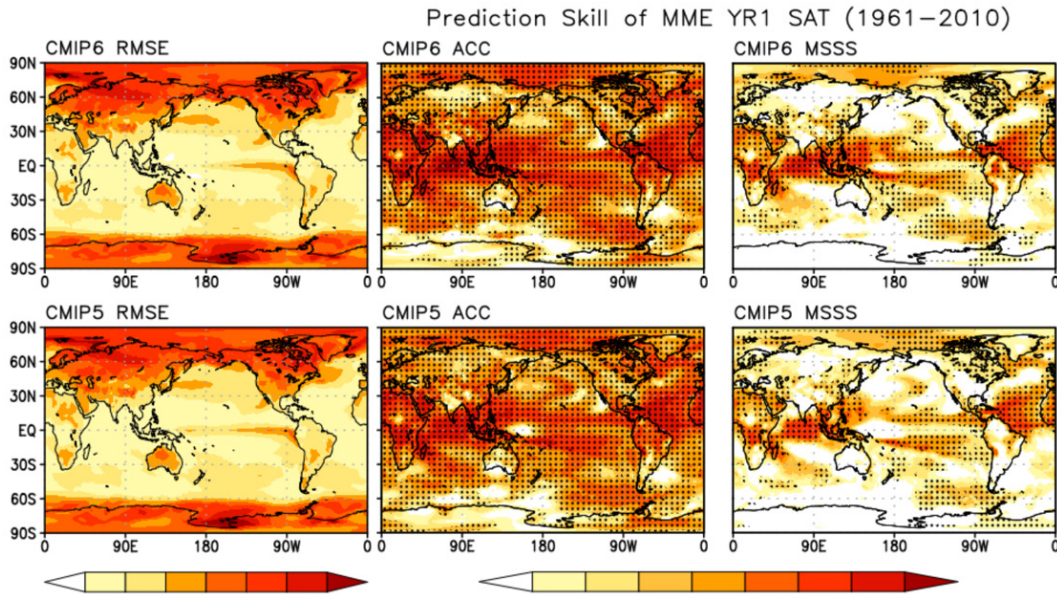
▲ 인도양 지역의 (a), (c) 봄철(3~4월) 평균된 SST, OLR의 추세 분포(shadings)와 기후값(contours). (b), (d) 인도양 지역에 대한 평균 시계열

- 해양성군도(Maritime Continent) 영역의 로컬 수온 변화가 전 지구 기온 변화에 미치는 영향 분석
 - * 대기 대순환부터 해수면 온도, 북극진동 등 다양한 기후 요소들을 통합적으로 분석해 기존 연구에서 다루지 못한 복잡한 기후변화 규명



▲ 전 지구 평균 기온의 시계열과 휴지기 기간 평균에 대한 박스 플롯

- 가까운 미래 기후 예측을 위한 검증 및 평가기술 개발
 - 과거 예측자료 CMIP5, CMIP6 decadal hindcast의 예측성능 검증



▲ CMIP6 앙상블 평균(10개 모델, 총 98개 멤버)과 (아래) CMIP5 앙상블 평균(6개 모델, 총 49개 멤버)의 2m 대기온도 1년 예측성능 검증. (왼쪽) RMSE, (가운데) ACC, (오른쪽) MSSS



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 근미래 예측성 향상으로 국가 기후 정책, 의사결정의 기초자료로 활용 가능
- 기후변동성에 대한 새로운 과학 지식 제공으로 관련 분야 연구 활성화 및 대국민 이해에 기여, 극한기상 현상에 따른 사회경제적 피해 저감
- **(우수성)** 대기 및 해양 장주기 변동성 과학적 기작 규명
- **(혁신성)** 가까운 미래 예측체계 개발을 위한 물리기작 규명과 신뢰도 평가 기술 개발
- **(차별성)** 계절 규모 이상의 가까운 미래(1년~10년, Near-Future) 규모 예측 연구



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 3편, 비SCIE 1편
- 특허 : 등록 1건, 출원 2건
- 소프트웨어 : 4건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 기후연구부 현유경
- 참여기관 : (주)포디솔루션, 경희대학교, 부경대학교, 서울대학교



가까운 미래 예측 시스템 구축을 위한 기반기술 개발



연구책임자 노준우 ((주)위즈아이)



총 연구기간 2022.04.01.~2024.12.31.



연구배경 및 필요성

- 최근 급격한 기후변화에 따른 기상/기후 재해(폭염/가뭄/집중호우/한파 등) 예측 정보 가치 급증으로 가까운 미래 예측 및 기반기술 연구 필요
 - 전 세계적으로 가까운 미래(1~10년) 예측 및 기반기술 연구 필요성이 증대되고 있음. 우리나라는 계절 규모 이상의 가까운 미래 예측을 목표로 하는 예측 체계와 기반기술이 부재
 - 가까운 미래, 한반도의 극한기후 현상 예측 기술 확보를 위해 기후모델링, 역학적 상세화, 통계적 상세화, 후처리 기술 등 연구가 필요
- 가까운 미래 예측 체계 구축 기반기술을 통해 재난 대응, 에너지, 물, 식량 등 계획뿐만 아니라 안보, 사회·경제적 분야에 필요한 매우 중요한 기후예측 정보 생산이 필요



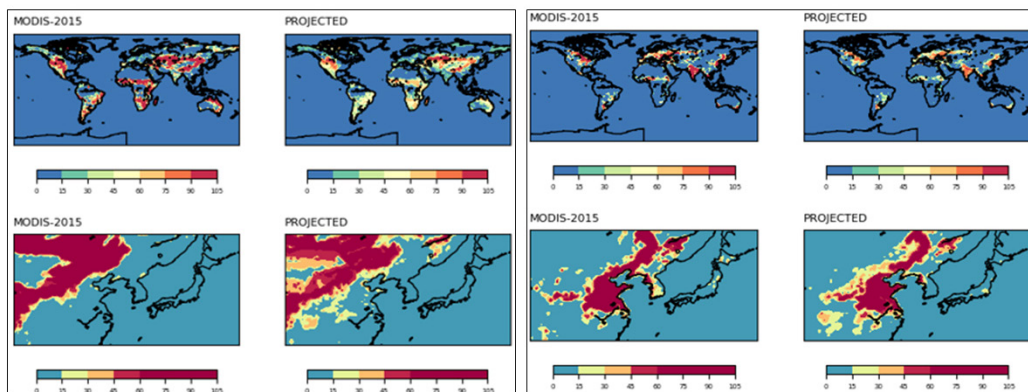
과제목표

- 가까운 미래 예측 체계 구축을 위한 기반기술 개발
- 가까운 미래 예측체계 구축을 위한 주요 기술개발 및 후처리 체계 설계



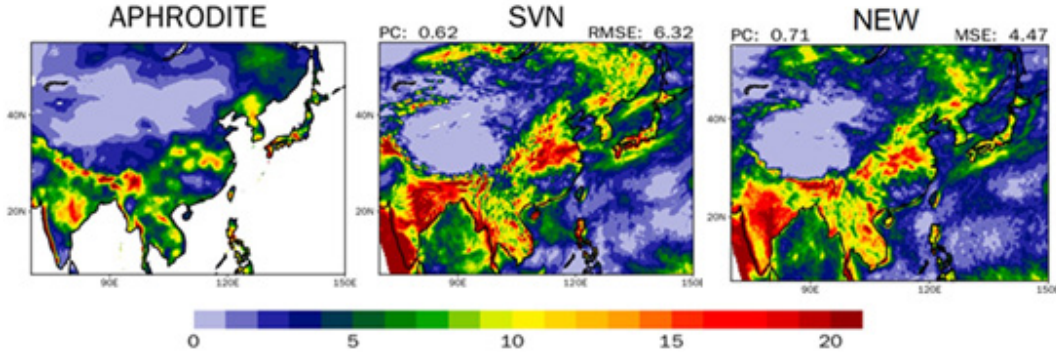
성과 주요내용

- 가까운 미래 예측체계 원형 도입 및 구축
 - DePreSys4(Met Office decadal prediction system; 1~10년 예측시스템)와 모델체계가 유사한 현업 예측시스템 GloSea(Global Seasonal forecasting system version)을 기반으로 가까운 미래 예측 시스템(Near Future Prediction System, NFPS) 구축
 - 1년 예측을 위한 가까운 미래예측시스템 모의 자료(11.1. 초기시간, 16개월 예측)를 생산하고 현업 결과와의 정합성 확인
 - CMIP6의 식생, MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 자료를 심층학습하여 LUH2(Land-Use Harmonization)자료를 MODIS-IGBP로 구축, 입력 변환 체계 개발



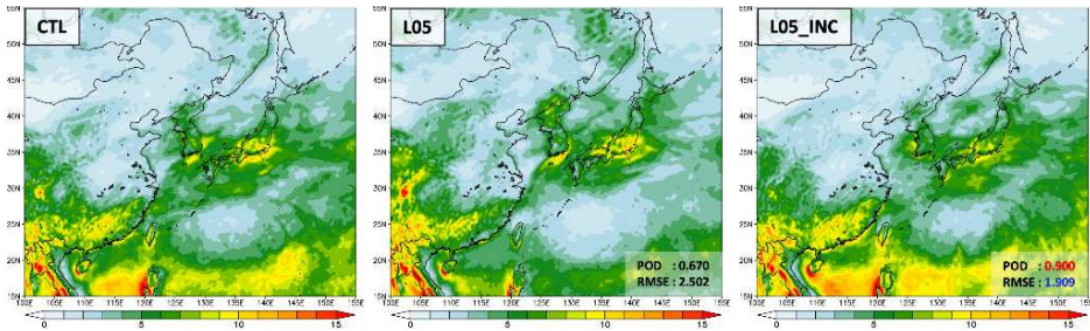
▲ 심층학습을 이용한 Grasslands(좌), Cropland(우) 기후강제력 자료(식생) 변환 결과

- 전구 미래 예측모델 결과의 지역 기후모델 입력자료 변환기법 개발
 - 상세 지역 미래 예측 모델로 GRIMs의 RMP(Regional Model Program)을 사용하기 위하여 전구 결합 모델의 결과를 spectral coefficient 형태로 변환하는 입력 전처리 시스템을 구축
 - ※ GRIMs: Global/Regional Integrated Model system. 전구/지역 통합 모델 시스템
 - 모델 체계 개선을 통해 RMP 모델에서 나타나는 한반도 주변의 강수 잡음과 경계 부근의 이상 강수 모의를 개선함



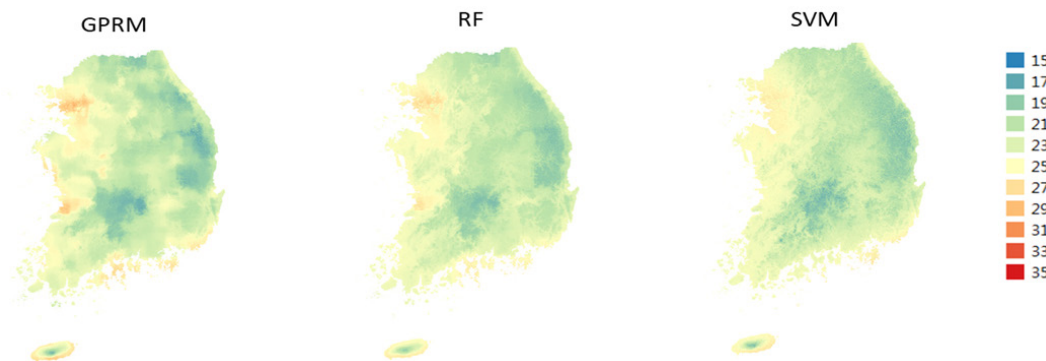
▲ 2010년 7월 평균된 관측(APHRODITE) 강수, 기존 모델의 강수 모의 결과(SVN), 개선된 모델의 강수 모의 결과(NEW)

- 전구 예측 자료의 저장 공간 문제를 극복할 수 있는 직접적인 기술개발로 제한된 연직층의 입력자료만으로도 전체 정보를 사용하는 것과 유사한 품질의 지역 상세 예측(~25km) 정보 생산



▲ 전구모델 예측자료의 전체 층을 사용한 기준실험(CTL), 5개 연직층만을 사용한 실험(L05), 5개 연직층만을 사용하여 연직 증분 내삽법으로 입력자료의 연직정보를 재생산한 실험(L05_INC)의 평년(2004년)에 해당하는 여름철(June-July-August) 강수량(mm d-1)

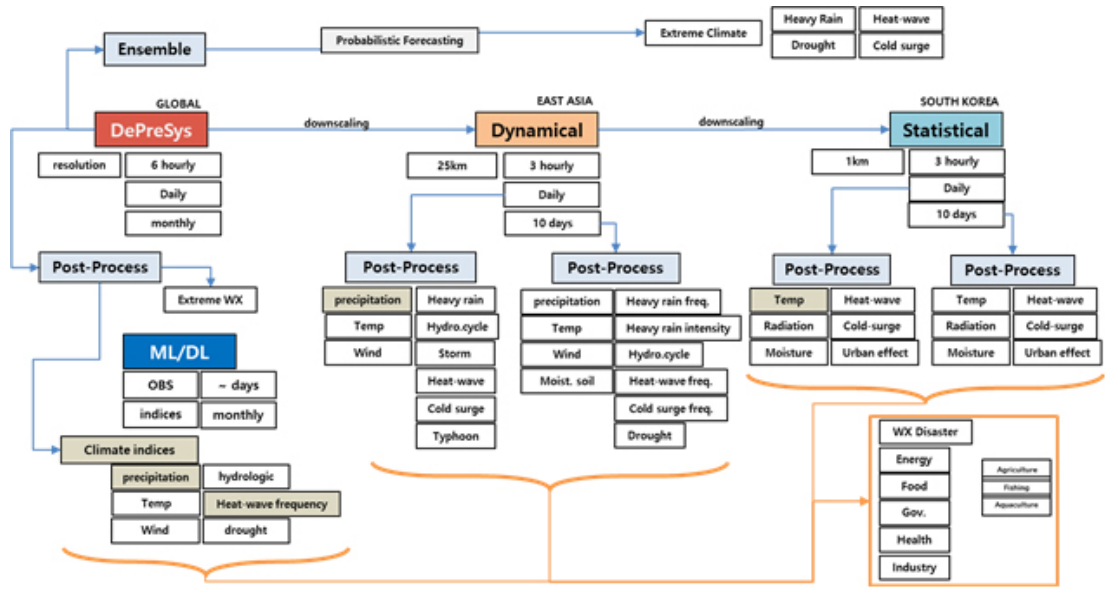
- 남한지역 지표면모델 구축과 통계적 상세화 원형모델 제시
 - 지표 대기에서의 열 및 바람과 관련된 기후예측 영향인자를 도출, 기후예측자료의 통계적 상세화를 위한 학습자료로 구성하여 기법별 평가를 수행하고 상세화 원형모델을 제시



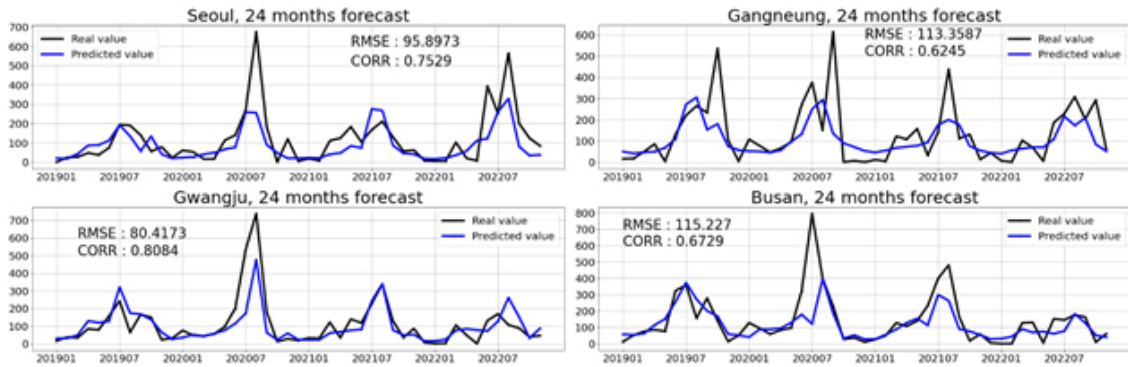
▲ 2018년 8월 1일 일 최고기온 통계기법별 상세화 결과 예시

• 가까운 미래 기후예측 후처리 활용 체계 설계

- DePreSys, 역학적 상세화, 통계적 상세화, 최신기술(기계학습 및 딥러닝 등)기반 가까운 미래 예측 자료와 후처리 활용 체계 원형을 설계함
- 가까운 미래 예측시스템을 위한 최신기술(기계학습 및 딥러닝 등)을 기반으로 후처리 활용의 대표적인 예측 변수인 월 강수, 폭염 빈도에 대한 예측 기술 원형을 구축함
- 예측 월 강수량 기반 남한 주요 강 수위 예측 기술 원형 개발로 우리나라 미래 물관리 등을 지원할 수 있는 기반 마련



▲ 가까운 미래 기후예측 후처리 체계 설계



▲ 월 강수 24개월 후 예측 결과 및 검증, 위에서부터 서울, 광주, 강릉, 부산 지역 월 강수 예측값 시계열(파란선)과 관측값 시계열(검은선)



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 급변하는 기후변화로 인해 인문, 사회, 경제 등 기후위기 대응을 위한 1년~10년에 해당하는 가까운 미래 예측 체계 구축 및 역학적 상세화, 통계적 상세화, 인공지능 기반 후처리 기술 개발
- 통계적 상세화 관련 연구에서, 지형과 다양한 공간 자료들을 추가하여 활용하는 Co-kriging, PRISM 기법을 적용. 다양한 지형변수 고려가 가능한 SVM, RF, GPRM 기법을 적용하고 토지피복을 포함한 20개의 지형변수들이 활용되어 지표면의 국지성 반영
- 가까운 미래 예측 시스템의 해상도 한계를 넘어 상세 지역 예측 정보를 생산, 이 과정에서 발생하는 계산 시간 및 대용량 저장 장치의 제약 극복
- 최신기술(인공지능)을 기반으로 가까운 미래 예측자료 후처리 기술, 활용을 위한 체계 설계 및 기반기술 원형 개발



정량적 연구개발성과

- 특허 : 출원 1건
- 소프트웨어 : 3건
- 기술이전 : 1건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 기후연구부 이정림
- 참여기관 : (주)위즈아이, (주)환경예측연구소, 공주대학교, 한국외국어대학교

2.1.3. 기후변동성 주요인자 예측기술 개발



기후예측시스템의 계절내 물리-역학 과정 향상기술 개발



연구책임자 박성수(서울대학교)



총 연구기간 2023.03.01.~2026.12.31.



연구배경 및 필요성

- 계절 내 규모 예측은 일기예측과 기후예측의 중간 영역으로 현재 예측 성능이 가장 낮은 시간 구역
 - 재난 대응과 사회 경제적 정책 결정에 매우 중요하고 시급한 기술로 부각되고 있으나 기술발전 정도가 전 세계적으로 매우 낮은 실정
- 규모적응 적운 모수화, 대기화학-에어로졸, 지면 식생 초기화 및 변동성 모의가 가능한 기후예측시스템 개발과 태풍 모의 진단, 해양 물리 역학과정 개선 등을 통해 기후예측시스템의 계절내 규모 예측기술 향상 필요
 - ※ (에어로졸) 대기에 존재하는 다양한 에어로졸은 복사 균형, 구름 미세물리과정 등에 직·간접적으로 영향을 미치는데 특히 동아시아 지역은 중국, 한국, 일본을 중심으로 급격한 산업발전이 이루어져 인위적인 배출량 증가가 두드러짐
 - ※ (해수면온도) 전 세계 평균을 뛰어넘는 한반도 인근 해역의 기온 및 수온 상승은 태풍의 빈도 및 강도에 큰 영향



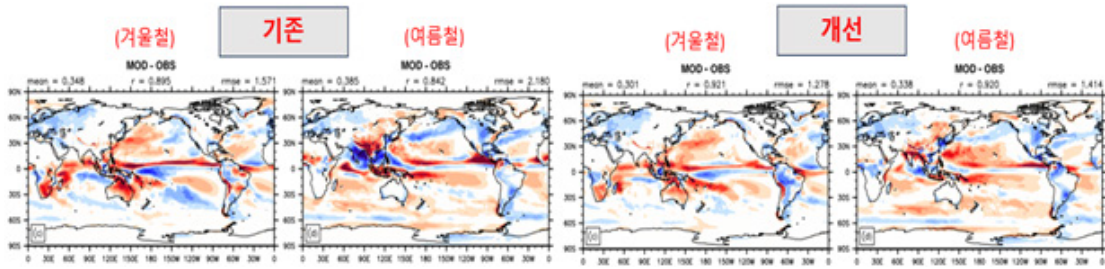
과제목표

- 규모 적응 적운모수화의 기후예측시스템에 대한 적용 확대
- 동아시아 계절내 예측성 향상을 위한 UKCA 연동 기후예측시스템(GloSea) 평가 및 활용
- 기후예측시스템의 지면과정 모의성능 진단 및 지면 식생 초기화를 통한 기후예측시스템의 변동성 모의 개선
- GloSea 계절내 태풍 예측 성능 평가 및 개선 방안 제시
- 기후예측시스템의 해양열파 계절내 예측성 평가



성과 주요내용

- MJO* 예측 개선을 위한 해양대륙 건조편차 개선
 - * MJO(매든-줄리안 변동): 인도양 서쪽에서 발생된 적운이 동쪽으로 이동하면서 발달했다가 상대적으로 차가운 동태평양에 이르면 소멸하는 현상
 - MJO는 2주~2개월 내의 계절내 예측성을 대표하는 현상으로 대부분의 기후모델에서 MJO 주기가 짧아지는 사항을 개선(관측 30일~60일 주기, 기후모델 30일 미만)
 - 현업기후예측시스템 GloSea6-UNICON의 총수분량이 계산되는 전 과정을 검토하여 특히 여름철 해양대륙 지역의 건조편차 및 강수의 일 변동 개선



▲ MJO 예측 개선을 위한 해양대륙 건조편차 개선



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 독자적으로 개발된 규모적응 적운모수화(UNICON)의 GloSea6로의 적용 확대를 통해 선진국에 대한 기술 종속 탈피
- 강수일변동부터 계절내 규모인 MJO, 계절간 규모인 엘니뇨까지 기후예측성능 향상에 기여
- 향상된 기후예측성능으로 대국민 기후서비스의 향상 및 중장기 정책 수립에 중요한 자료 제공
- 일반 대중들의 기후예측에 대한 인식 개선으로 사전 재난 대응 제고



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 기후연구부 이조한
- 참여기관 : 서울대학교, 충북대학교, 부경대학교, 울산과학기술원



기후변화 대응 및 정보 생산·활용연구

● 연구목표

신기후체제에 대비하고 기후변화 대응 기술력을 향상하는 기술개발

● 주요 내용

- **(지역 상세 기후변화 정보)** 동아시아와 한반도 영역의 지역 상세 기후변화 정보제공을 위한 AR6기반의 상세 기후 변화 시나리오 정보 생산
- **(탄소중립 기후변화 메커니즘)** 탄소중립에 따른 극한기후의 변화 메커니즘 및 주요 이상기후 현상에 대한 인위적 영향 정보제공을 위한 분석 및 탐지기술 개발
- **(WMO IG3IS)** WMO IG3IS 이행사업의 일환으로 역모델링을 이용하여 온실가스 기원추적모델 개발
- **(온실가스 관측)** 대기 중 탄소동위원소, 할로겐화 온실가스 등의 측정·분석 기술개발 및 지상원격(FTS) 등 다양한 관측자료를 이용한 온실가스 시공간 분포 산출기술 개발

● 예산

▼ 연도별 투입예산 ('20~'26)

(단위: 백만원)

구분	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	합계
기후변화 대응 및 정보 생산·활용 연구	800	2,160	4,170	3,670	3,220	3,500	3,500	21,020
상세 기후변화정보 생산 및 불확실성 평가기술 개발	800	1,400	2,150	1,350	1,170	1,300	1,300	9,470
맞춤형 기후변화 응용정보 생산 및 전달체계 구축	-	-	-	-	400	400	400	1,200
기후변화 감시 등을 통한 영향 분석기술 개발	-	760	2,020	2,320	1,650	1,800	1,800	10,350

2.2.1. 상세 기후변화정보 생산 및 불확실성 평가 기술개발



AR6 시나리오를 활용한 해양기후 변화 정보 생산기술 개발



연구책임자 장찬주(한국해양과학기술원)



총 연구기간 2021.04.01.~2023.12.31.



연구배경 및 필요성

- 지구온난화의 영향으로 전 지구 해면수온이 증가함에 따라 해양극한기후(해양열파, 폭풍해일 등)의 발생빈도와 세기도 최근 전 해역에서 증가하는 추세
 - 특히 동아시아는 지역현상(장강담수, 쿠로시오 해류 등)과 더불어 원격상관(태평양순년진동(PDO), 엘니뇨 - 남방진동(ENSO) 등)의 영향 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 해양극한기후가 발생하는 해역으로 복합적인 해양극한 기후 발생기작 연구가 필요
 - 그러나 동아시아에 초점을 맞춘 해양극한기후 미래전망 연구는 상대적으로 부족한 실정
- 해양기후는 온난화 시나리오에 따라 다양하게 변화할 가능성이 높아 해양극한기후의 특성 및 발생 분석도 온난화 정도에 따라 각각으로 분석·대응 필요
- IPCC의 제6차보고서(AR6) 시나리오에 기반한 동아시아 극한기후 변화 이해, 발생 전망 등을 분석하여 해양극한기후 변화에 효과적으로 대응 필요



과제목표

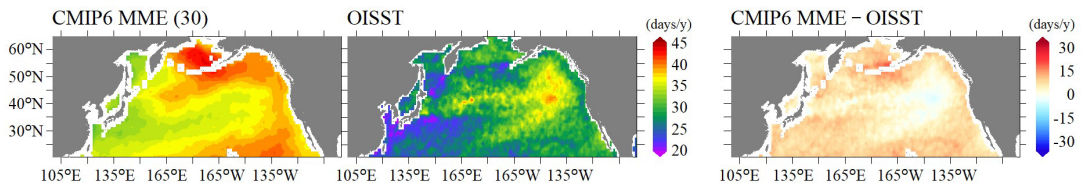
- SSP 기반의 동아시아 해역 해양기후 상세변화 시나리오 산출과 기후변화에 따른 해양변화 기작 분석



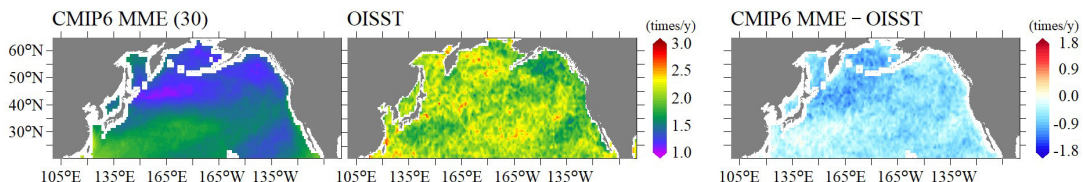
성과 주요내용

- AR6 시나리오 자료의 해양기후 활용 적합성 평가 및 동아시아 해양기후/극한기후 발생 기작 분석
 - AR6 모델 해면수온 일자료 수집 및 동아시아 해양극한기후(해양열파) 특성 이해
 - ※ 해양열파 특성의 미래변화, 해류속도·위치가 해양열파 평균세기 및 공간분포에 미치는 영향 등 분석
 - AR6 모델 해양극한기후 특성별 품위평가를 통한 우수모델 선정

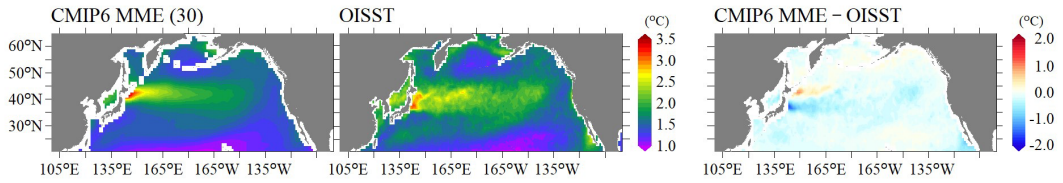
(a) Total days



(b) Frequency



(c) Mean intensity

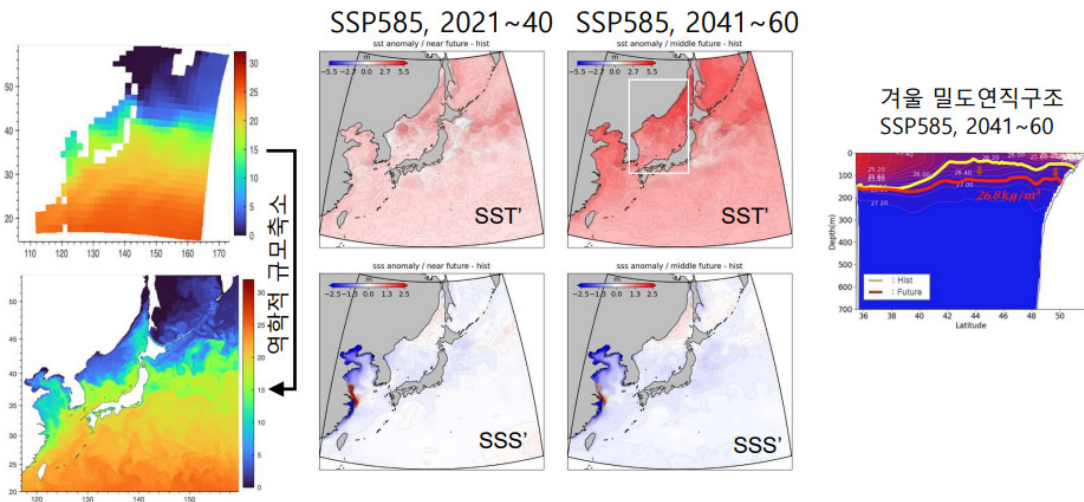


▲ 북태평양 해양열파 특성 분석

- AR6 시나리오 기반 동아시아 해양기후 미래전망 역학적 상세화 시스템 구축
 - 동아시아 해양순환모델 구축
 - CMIP6 기반 과거재현과 모델개선 실험 및 역학적 상세화를 위한 입력장 생성
- AR6 시나리오 다중모델 결과를 활용한 신뢰도 있는 미래 해양 및 대기 기후변화정보 생산 및 해양극한기후 발생 변화 기작 이해
 - CMIP6 동아시아 대기변수 모사 성능 평가, 관측과의 비교 분석
 - CMIP6를 활용한 동아시아, 서해, 동중국해, 동해의 극한기후 변화 분석

➔ 한국 연안역을 대상으로 파랑과 폭풍해일로 인해 초래될 수 있는 재해 위험성 평가, 국가규모의 공간스케일에서 발생하는 해양기상 모의 시 큰 영향을 미치는 주요 대기 기상 변수 규명

- AR6 시나리오 기반 동아시아 상세 해양기상 시나리오 산출
 - 해양기상모델의 입력자료로 활용하기 위한 기후예측실험자료 전처리 프로세스 마련
 - 역학적상세화를 활용한 동아시아 및 한반도 영역 해양기상 과거 재현실험
 - CMIP6를 활용한 동아시아 및 한반도 연안에서의 해양기상 미래 시나리오 산출



▲ 동아시아 미래 상세 전망(SSP-8.5 시나리오(~2060년))



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 동아시아 극한기후 특성과 발생기작 분석 기법 개발
- 동아시아 해양열파의 다양한 지수(발생일수, 지속시간, 발생횟수, 평균세기, 최대세기) 산출, 이를 활용한 동아시아 해양열파의 미래전망 특성 분석 기반 마련
- AR6 시나리오 기반 미래 예측 테스트에 적합한 자료 추출 및 초기입력자료 생산으로 고해상도/초고해상도 미래 동아시아 해양기후 상세 예측을 위한 발판 마련
- 동아시아 상세 해양기후 시나리오 제시로 지자체 기후변화 대책 및 국내외 해양기후관련 보고서(UNRP, 한국기후 변화보고서 등) 등 다양한 정책 자료로 활용 가능



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 10편
- 특허 : 출원 3건
- 소프트웨어 : 4건
- 기술이전 : 1건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 기후변화예측연구팀 정주용
- 참여기관 : 한국해양과학기술원, 연세대학교, 전남대학교, 고려대학교



기후변화 감시, 대응, 평가를 위한 기후자료 영향분석 기술개발



연구책임자 최영은 (건국대학교)



총 연구기간 2021.04.01.~2023.12.31.



연구배경 및 필요성

- 선제적인 기후변화 영향평가 및 대응 대책 마련 지원을 위해서는 새로운 기후자료의 다양화, 영향분석·평가가 필요
 - 특히 폭염, 홍수, 가뭄 등 극한 기상현상의 빈번한 발생으로 보건 및 수자원 관리를 포함한 방재 부문에 대한 미래 기후자료의 영향분석이 시급
 - 기후로 인해 인명과 재산 손실에 직간접적인 영향을 받을 수 있는 보건과 방재 부문 내 기후 지수 개발과 관련한 기후정보 제공이 제한적
- 또 우리나라는 상세 지역 간 기후 차이가 크고 특성이 다양해 새로운 기후자료를 이용한 기후 특성 파악을 위한 상세한 기후 지역 구분 필요
 - 최근 주목되고 있는 한반도의 아열대 특성의 분석을 위해서는 기온만을 대상으로 한 방법 외에 우리나라의 자연환경과 주민 생활이 함께 고려된 종합적이고 상세한 기후구 구분이 요구



과제목표

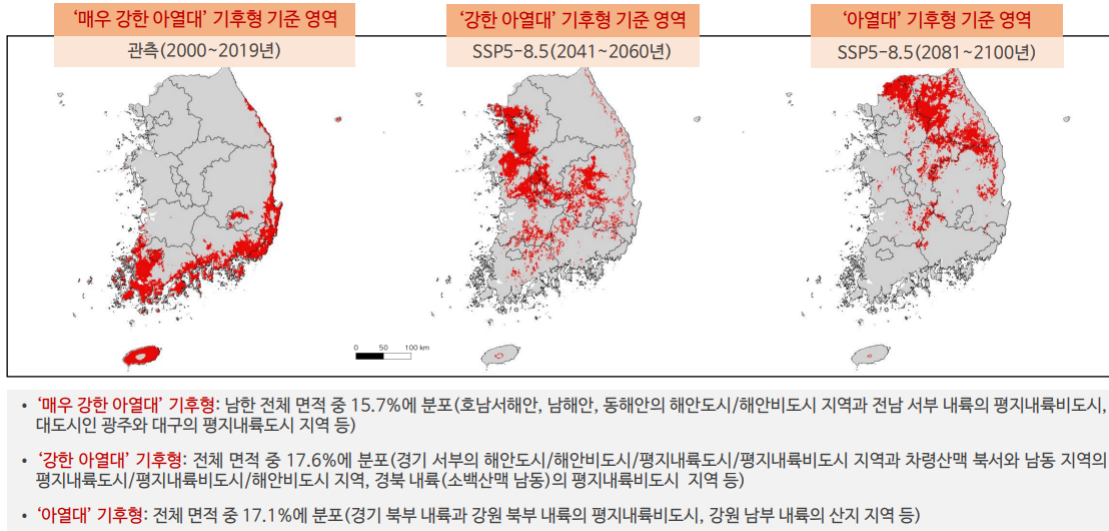
- 신기후값(1991~2020년)에 기반한 한반도 기후와 기후변화 특성 평가와 영향분석
- AR6 SSP-RCP 시나리오 기반 보건정보 산출 및 미래 불확실성 평가
- AR6 SSP-RCP 시나리오 기반 방재정보 산출 및 미래 불확실성 평가



성과 주요내용

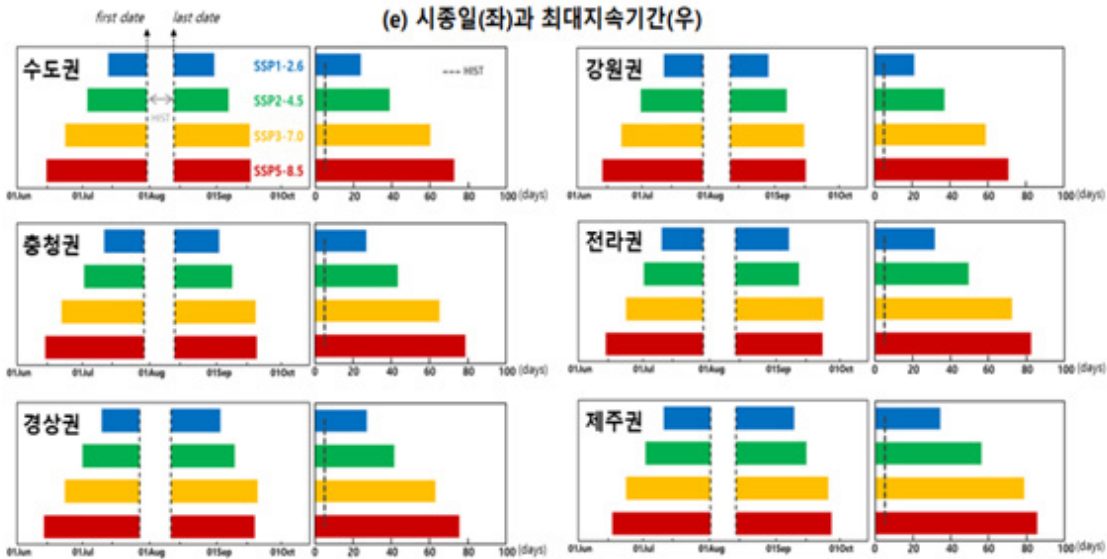
- 신기후값(1991~2020년)에 기반한 한반도 기후와 기후변화 특성 평가와 영향분석
 - 새로운 한반도 기후값(기온, 강수, 상대습도, 풍속 등 기후요소) 분석 및 평가
 - 신기후값(1991~2020년)과 구기후값(1981~2010년)을 비교한 기후변화 강도와 특성 분석
 - 종관패턴 분류를 적용한 우리나라 계절 정의 및 고온/저온의 지리적 범위와 지속시간을 고려한 우리나라 극한 기후 특성 분석
 - 지역별 보건과 방재에 필요한 핵심 기후정보 분석(지리적 분포, 필요 응용정보 유형 선정)
 - 한반도 기후구 구분을 위한 기술조사 및 기준 선정을 통한 한반도 상세 기후구 구분

➔ 새로운 아열대 기후형 기준 선정 및 새로운 기준을 적용한 우리나라 아열대 기후형 영역 선정, 미래 아열대 기후형 분포 전망 도출



▲ 새로운 아열대 기후형의 미래 강도별 아열대 기후형 기준 영역

- AR6 SSP-RCP 시나리오 기반 보건정보 산출 및 미래 불확실성 평가
 - QDM(Quartile Delta Mapping) 방법으로 보정된 열스트레스(WBGT; WetBulb Globe Temperature) 지수 산출 및 열스트레스 미래전망 민감도 분석
 - 동아시아 및 한반도를 포함한 세부 분석영역별 열스트레스 미래 변화 상세 분석
- ➔ 6개 세부 권역(수도권, 강원권, 충청권, 전라권, 경상권, 제주권) 권역별 극한 열스트레스일 전망(강도 증가 및 공간 범위 확대, 지속기간 증가 등)
- 미래 열스트레스 시공간 발생 특성의 미래변화에 대한 모델 및 시나리오간 차이 분석

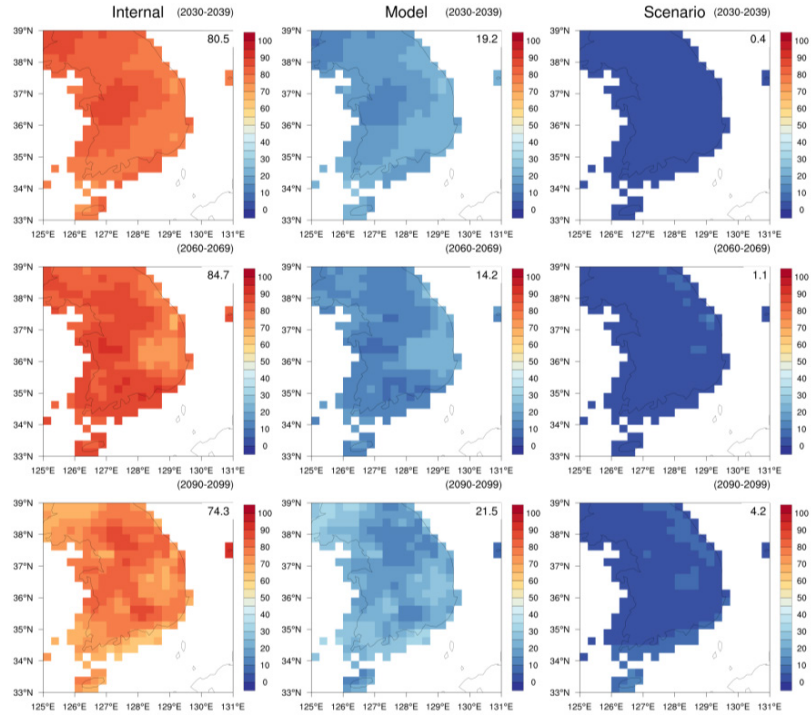


▲ 21세기 후반기(2081~2100년 권역별 극한 열스트레스일 전망

- AR6 SSP-RCP 시나리오 기반 방재정보 산출 및 미래 불확실성 평가
 - 다중 지역기후모델의 미래 기후변화 시나리오 자료에 대한 편의보정
 - 편의보정이 적용된 지역기후모델의 미래 시나리오 자료를 이용한 미래 한반도 홍수와 가뭄 정보 산출 및 분석

➔ 여름철 일평균 강수량 분석(21세기 중반 이후 동남부 지역을 중심으로 시나리오 불확실성 증가)

- 기후변화에 따른 홍수와 가뭄 특성(강도와 영향범위 등)의 변화 분석 및 원인 조사



▲ QDM 편의보정된 RCMs에 대한 미래 기간별 우리나라 여름철 일평균강수량의 충분산에 대한 불확실성 요인 비율의 공간분포



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 기후변화 감시와 보건, 방재 등 사회경제시스템의 효율적인 계획·관리 기준 수립 지원을 위해 신기후값을 반영한 우리나라 현재 기후 특성 정보 제공
- 보건과 방재에 활용할 수 있는 기후자료 영향정보 제공을 통한 대응정책과 취약성 평가에 필요한 기초자료 제공
- 우리나라의 상세한 지리와 기후 특성을 반영한 기후형(기후구)의 선정 기준과 분류 정보 제공



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 8편, 비SCIE 3편
- 특허 : 출원 6건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 기후변화예측연구팀 정주용
- 참여기관 : 건국대학교, 포항공과대학교, 울산과학기술원



탄소중립 기후변화 메커니즘 및 온실가스 영향탐지·진단기술 개발



연구책임자 김맹기 (공주대학교)



총 연구기간 2022.04.01.~2024.12.31.



연구배경 및 필요성

- 급격한 지구온난화의 진행으로 인해 한반도 및 동아시아 지역에서 발생하는 폭염/한파는 과거의 사례와 다른 메커니즘으로 발생하는 경우가 빈번
 - 최근 연구 결과 고위도 및 북극의 기후인자의 변화로 인한 원격 상관 패턴이 동아시아 및 한반도 폭염과 관련이 있을 수 있다는 가능성이 제시되고 있으나 정확한 메커니즘에 대해서는 불확실한 실정
 - 특히 온실가스 감축에 따라 동아시아/한반도 한파의 강도가 얼마나 회복될지에 대한 연구는 거의 전무한 실정
- 과거와 상이한 메커니즘으로 발달하는 최근 폭염/한파 발생의 메커니즘에 대해 체계적이고 면밀한 분석이 필요
 - 동아시아 및 한반도의 폭염 메커니즘은 다양한 기후요소와 관련되어 있으며, CO2 강제력에 의해 급격히 변화하는 기후요소로 인해 폭염 역시 비가역적으로 변화 가능
 - 한파 메커니즘은 특히 열대 해수온도패턴(ENSO, PDO 등)에 영향을 받을 가능성이 크지만 이에 대한 기초 연구가 아직 시작 단계에 있는 실정



과제목표

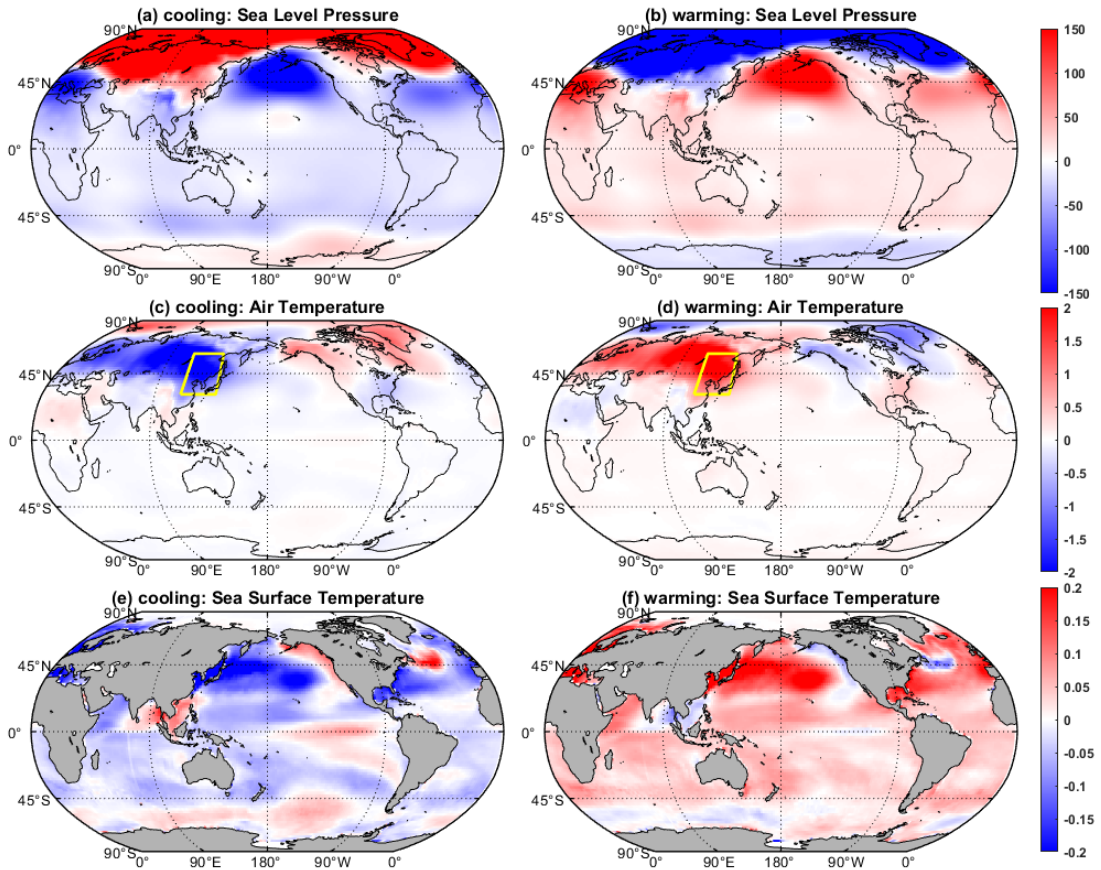
- 탄소중립 온실가스 감축실험에 기반한 한반도 폭염/한파 변화 메커니즘 분석 및 진단기술 개발
- 탄소중립 온실가스 감축실험에 기반하여 한반도 및 동아시아 태풍/극한강수(문순) 기후 진단지수를 산출하고, 미래변화 전망 및 메커니즘, 재현주기/불확실성 등 특성 분석
- 이상기후 현상의 인위적 영향탐지 실험체계를 설계·구축하고 모의성능 진단



성과 주요내용

- 탄소중립 온실가스 감축실험에 기반한 한반도 폭염/한파 변화 메커니즘 분석 및 진단기술 개발
 - 한반도 폭염 관련 고위도-동아시아 원격상관 메커니즘 분석
 - NIMS 탄소중립 감축실험 자료를 이용한 한반도 폭염의 원격상관 패턴 변화 분석
 - 한반도 한파 관련 원격상관 메커니즘 분석
 - NIMS 탄소중립 감축실험 자료를 이용한 한반도 한파 강도/빈도 변화 분석

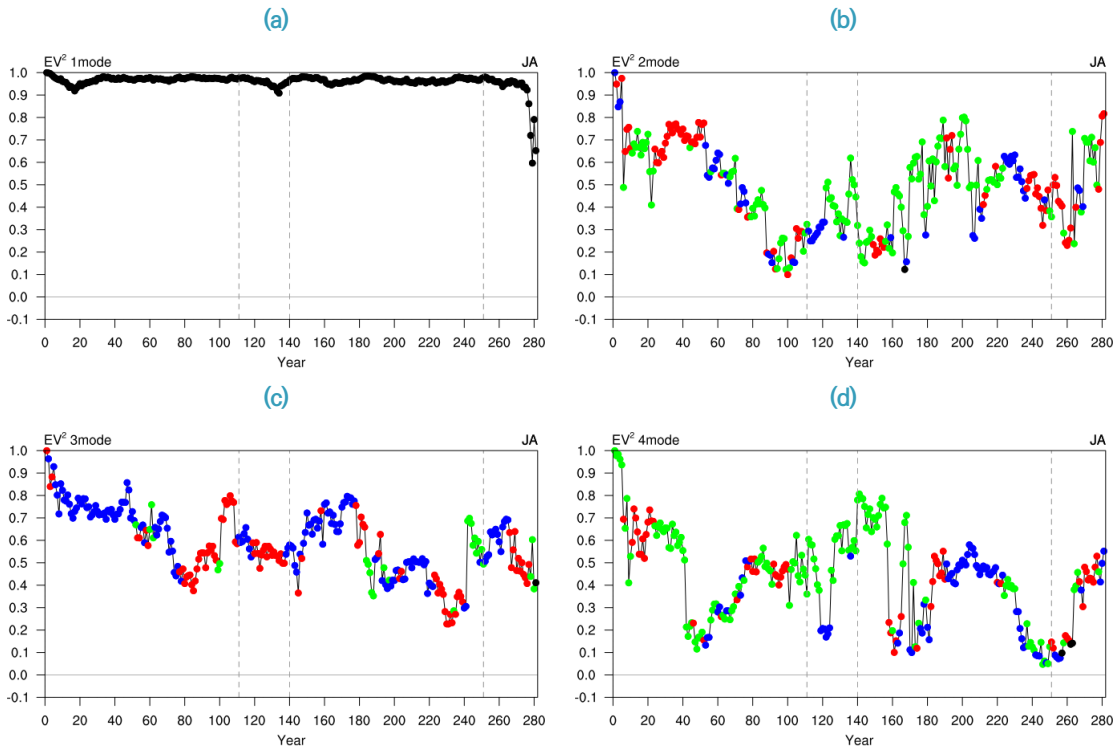
[DJF] SLP & TAS & TOS Anomaly



▲ CMIP6 historical 시뮬레이션 분석을 통한 동북아시아 겨울철 극한저온(a, c, e)과 극한고온(b, d, f) composite. (a, b) 해수면 기압, (c, d) 표면 대기 온도, (e, f) 해수면 온도

- CMIP6 온실가스 감축실험 자료를 기반으로 한반도 폭염과 연관된 원격상관 패턴을 분석, CO2 농도의 증감 따른 변화를 정량적으로 표현

- ➔ 한반도 폭염에 영향을 미치는 원격상관 패턴이 미래 CO2 강제력에 따라 어떻게 변화할지 확인 가능, 탄소중립 정책에 따른 CO2 농도 변화에 대한 이상적인 실험 결과를 통해 원격상관 모드의 변화 예측 가능
- ➔ CMIP6에 참여하는 모델들에 대하여 탄소중립 온실가스 감축실험을 기반으로 동아시아 지역의 극한 현상을 모의하는 성능을 객관적으로 평가할 수 있는 방법을 제시, CO2 강제력 변화에 따라 극한 현상의 메커니즘이 비가역적인 변화를 보이는 지에 대해 정량적 평가 방법 제공



▲ CMIP6 MME5에 대하여 EOF 모드의 처음 1-30년을 기준 패턴으로 계산한 EV2 시계열. (a), (b), (c), (d)는 각각 1~4모드에 대한 나타내며, 컬러는 기준 패턴에 대한 모드의 변화를 나타냄 (검은색 : 1모드, 파란색 : 2모드, 빨간색 : 3모드, 초록색 : 4모드)

- 탄소중립 온실가스 감축실험에 기반하여 한반도 및 동아시아 태풍/극한강수(문순) 기후 진단지수를 산출하고, 미래변화 전망 및 메커니즘, 재현주기/불확실성 등 특성 분석
 - 한반도 영향태풍 빈도수/강도 조절 메커니즘 분석 및 진단지수 산출
 - NIMS 및 CMIP6 탄소중립 감축실험 자료를 이용한 한반도 영향태풍 미래 전망 및 가역성 분석
 - 강도, 빈도, 지속시간에 대한 극한강수 모의 성능 평가
 - 탄소중립 감축실험에 따른 극한강수 미래변화 및 회복성 분석
- 이상기후 현상의 인위적 영향탐지 실험체계를 설계·구축하고 모의성능 진단
 - 이상기후 현상의 인위적 영향탐지기법 조사
 - 이상기후 현상의 인위적 영향탐지기법 실험체계 설계



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 국제표준 온실감축 실험인 CDRMIP(Carbon Dioxide Reduction Model Intercomparison Project) 시나리오와 이를 응용한 감축실험 결과를 활용하여, 탄소중립 기후변화 메커니즘 및 온실가스 영향탐지·진단 기술 개발
- 탄소중립 온실가스 감축시 한반도 폭염/한파, 태풍/극한문순 등의 미래변화전망 및 메커니즘 분석
- 동아시아 폭염에 영향에 중요한 북극/유라시아 기원의 ASP 원격상관 기작 제시: 동아시아 폭염에 영향을 주는 북극/시베리아 기원의 강제력의 기원과 관련 기작이 알려져 있지 않았으나 이 연구를 통해서 새로운 Arctic/Siberian Plain (ASP) 원격상관 기작을 제시. 특히, ASP 원격상관에서는 ASP에서 발생하는 열돔이 중요하며, 열돔 형성과정과 열적고기압의 발달, 그로 인한 로스비 파동의 전파 등을 규명

▶ 기존 연구에서는 동아시아 폭염과 관련된 원격상관 패턴이 시간에 따라 어떻게 변화하는지를 체계적으로 조사한 연구는 거의 없으며, 개별적으로 특정 원격상관 패턴을 조사한 연구가 대부분. 본 연구에서는 CMIP 표준 실험 및 감축 실험 자료에 기반하여 동아시아 폭염과 연관된 원격상관 패턴들이 시간에 따라 약화되는지 강화되는지를 정량적으로 판단해 볼 수 있는 방법을 제시

- 중위도에 영향을 미치는 태풍활동은 기후모델에서 모사가 어려워 한반도 영향 태풍의 미래 변화에 대한 연구가 부족하였으나, 이를 극복하기 위해 통계적 다운스케일링을 통한 간접적 한반도 영향 태풍활동 추정 기술을 개발하고, 미래 변화를 전망함. 미래 변화에 대한 열역학적 및 역학적 원인 분석을 수행함으로써 통계적 다운스케일링 기반 미래 예측의 과학적 근거를 강화
- 극한강수의 강도, 빈도, 지속시간에 대한 지수를 산출하여 다양한 탄소감축 시나리오에서의 비가역성을 진단
- 이상기후 현상의 인위적 영향탐지를 위한 실험을 우리나라와 동아시아에 맞게 모델 실험을 설계하고, 인위적 강제력 영향에 대한 경계조건(해수면 온도와 해빙 면적)을 다양한 패턴을 처방하여 실험 수행



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 5편, 비SCIE 1편
- 특허 : 출원 3건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 기후변화예측연구팀 장필훈
- 참여기관 : 공주대학교, 경북대학교, 포항공과대학교

2.2.2. 기후변화 감시 등을 통한 영향분석 기술 개발



WMO IG³ IS 이행사업



연구책임자 홍진규 (연세대학교)



총 연구기간 2021.04.01.~2023.12.31



연구배경 및 필요성

- 기후변화 가속화에 따라 2015년 파리협정을 통해 전 세계적으로 탄소중립을 위한 노력 진행 중
 - 파리협정에서는 각 국가별로 5년 단위 국가 온실가스 감축 목표 및 국가별 기여 방안을 수립, 이행 합의
- 온실가스 감축 목표 수립을 위해서는 온실가스가 현재 얼마만큼 배출되는지 정확히 파악하는 것이 무엇보다 중요, 우리나라 온실가스 배출량을 구할 수 있는 새로운 기술을 개발 필요



과제목표

- 신속하고 투명한 온실가스 배출량 검증을 위한 고해상도 하향식 온실가스 배출량 검증 시스템 개발



성과 주요내용

- 국내 최초 고해상도 하향식 온실가스 배출량 감시시스템 구축 및 최적화

[참고] 하향식 온실가스 배출량 산정 방법이란?

▮ 일반적으로 온실가스 배출량을 구하기 위해 많이 사용하는 방법은 상향식(Bottom-up) 방법

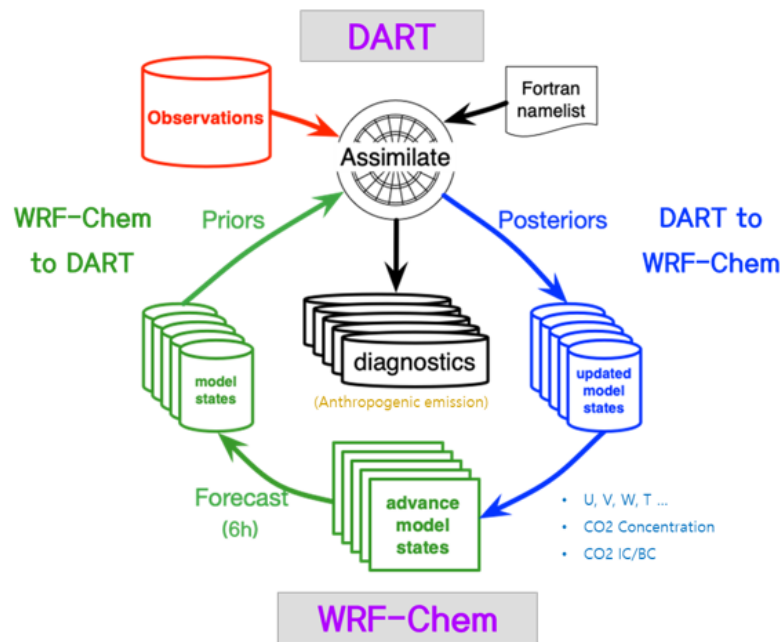
- 상향식 방법은 통계적인 방법으로 주거, 산업, 교통 등 각 항목에서 얼마만큼의 활동이 이뤄지는지를 구하고 배출계수(각 활동에서 단위 활동 당 배출되는 온실가스의 양)를 곱하여 온실가스 배출량을 산출
- 해당 방식으로 구한 온실가스 배출량은 근본적으로 표본 조사의 불확실성에 따른 한계 발생(실제 조사한 표본이 전체를 대표할 수 있는지, 온실가스가 배출되는 원인 전면 파악 불가 등)

☞ 이에 따라 기존의 상향식 방법을 보완할 수 있는 하향식 온실가스 배출량 산출 필요

▮ 하향식 방법은 대기 수송 및 화학 모델을 이용해 대기 중에서 관측된 온실가스 농도를 역으로 추적하여 배출량을 산출하는 방식

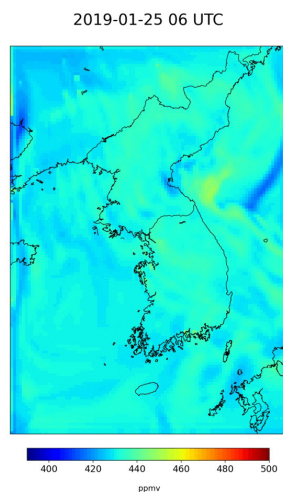
- ☞ 온실가스 농도를 역으로 추적하는 과정에서 기상장 정보를 이용하기 때문에 대기 이동 경로상의 모든 배출원과 흡수원 탐지 가능, 가뭄이나 화재, 코로나19 등 예측 불가능하고 급작스러운 세계 이슈나 위기 상황에 따른 온실가스 배출량의 변동성 파악 가능

- 기상 및 온실가스 자료 동화시스템 구축
- 온실가스 농도 및 경계조건 자료처리 기술개발
- 바이오매스 연소 배출량 자료처리 기술개발
- 새로운 지표층 모수화 기반의 온실가스 배출량 감시 시스템 성능 개선
- 육상생태계 및 해양 탄소 흡수량 산정 기술개발
- 동아시아 하향식 배출량 산출로 기존의 배출정보와 위성, 역모델 기반 하향식 배출량 평가

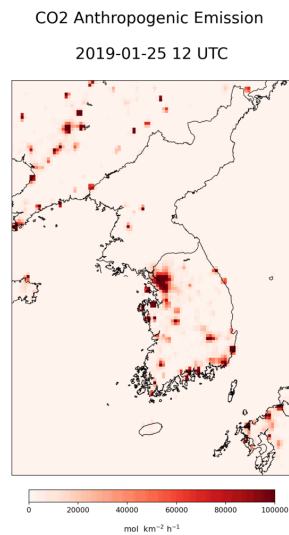


▲ WRF-Chem GHG에서의 자료동화 모식도

- 중해상도 이산화탄소 하향식 배출량 산출 및 분석 시스템 구축
 - 다중 위성, 모델, 딥러닝을 활용한 Top-down 배출량 산출 시스템 구축
 - 제한된 위성자료 기반의 동아시아 이산화탄소 추정기법 개발
 - Offline 기반의 유연한 이산화탄소 역추적 모델링 시스템 개발

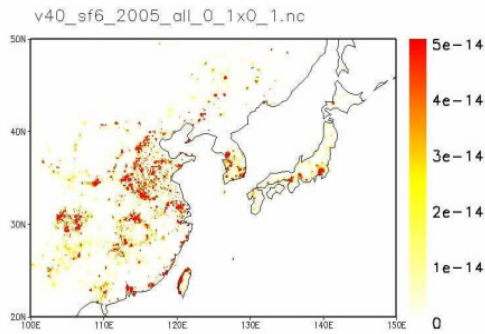


▲ 하향식 온실가스 배출량 감시시스템 구동 결과 (이산화탄소 농도)

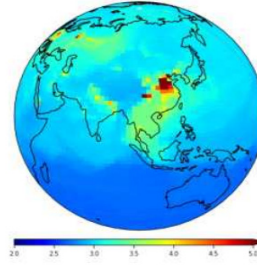


▲ 하향식 온실가스 배출량 감시시스템 구동 결과 (이산화탄소 배출량)

- 위성 관측 및 대기화학-수송 모델을 활용하여 중해상도 수준의 동아시아 이산화탄소 농도 감시 및 배출량 추정
 - 다중 위성(GOSAT, OCO2)을 활용한 동아시아 이산화탄소 배출량 재분석
 - 위성자료(TROPOMI) 등을 활용하여 동아시아 메탄 배출량 재분석
 - 재분석을 위한 육불화황(SF6)의 모의 체계 구축



▲ EDGAR 배출량 자료의 동아시아 SF6 배출량 분포
(단위, Kg/s)



▲ EDGAR 배출량 자료를 기반으로 한
GEOS-Chem의 삼차원 SF6 모의 결과

- 동아시아 메탄 국가차원의 농도 분포 파악 및 핫스팟에 대한 특징 분석
 - 위성 자료를 활용한 한반도 주변 메탄 관련 핫스팟 등의 배출 지역의 시공간 변동성 분석
 - 위성 자료 기반의 국내 메탄 고농도 지역의 특징과 원인분석을 통한 국가 메탄 배출의 시공간적 특성과 정책적 의미 도출



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- UN 차원의 온실가스 검증 체계에 기여할 수 있는 재분석 체계 구축
 - 우리나라 및 동아시아를 대상으로 활용 가능한 10km 미만 급 고해상도 하향식 온실가스 모니터링 시스템을 성공적으로 구축 완료
 - 우리나라의 다양한 온실가스의 하향식 감시와 평가 기법을 지원할 수 있는 방법론을 구축하여 지역 및 국가 차원의 과학적 정책 검증 방법 개발에 기여

➔ 우리나라 및 주변 지역의 환경과 배출 특성을 효과적으로 반영할 수 있도록 입력자료 및 모델링 과정 개선, 3가지 주요 온실가스인 이산화탄소, 메탄, 육불화황을 정확하게 추적 가능

- 이산화탄소 외 메탄, 육불화황 등 주요 온실가스에 대한 세분화한 공간정보 및 배출량 제공 시스템 기반 마련으로 전국 차원의 온실가스 분포·특징 파악, 지역별 저감 정책에 기여
 - 우리나라 온실가스 배출량의 정확도 및 신뢰도 향상, 배출량의 변동성 및 작은 규모의 배출량 파악 가능
 - 온실가스 배출량 감축 정책 수립 시 효율적인 방안 제시 가능(배출량 감축, 탄소세·배출권거래제의 효율 향상 등)
- 관련 분야(예: 관측 기술, 위성 자료 처리 기술, 중규모 모델링, 역추적 기술, 지면자료동화, 대기경계층 모델링)의 전문가 양성 및 국내 관련 기술의 비약적 발전
 - 본 연구의 원형기술은 온실가스 외 다른 화학종 및 대기오염물 등에 대한 배출량 파악 등 널리 활용 가능



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 4편
- 특허 : 등록 1건, 출원 1건
- 소프트웨어 : 3건
- 기술이전 : 1건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 지구대기감시연구과 김수민
- 참여기관 : 연세대학교, 한국환경연구원



온실가스 동위원소 유출입 감시를 위한 연속추적 기술 개발



연구책임자 임정식 (한국표준과학연구원)



총 연구기간 2021.04.01.~2023.12.31.



연구배경 및 필요성

- 이산화탄소의 동위원소비 관측데이터는 CO2 농도 및 온도의 지역분포 재구성과 탄소순환 연구에 매우 중요하나, 국내에서는 아직 신뢰성 있는 국가자료가 개발된 바 없음
- 대기 중에 미량으로 존재하며 기후 변환의 주요 온실가스인 탄소와 메탄의 유래원 추적 및 형성 과정을 밝히기 위한 안정동위원소 분석기법 개발이 필요



과제목표

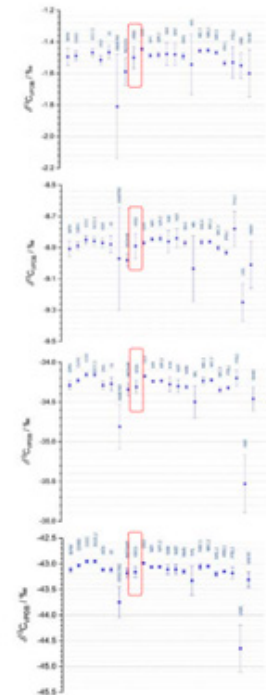
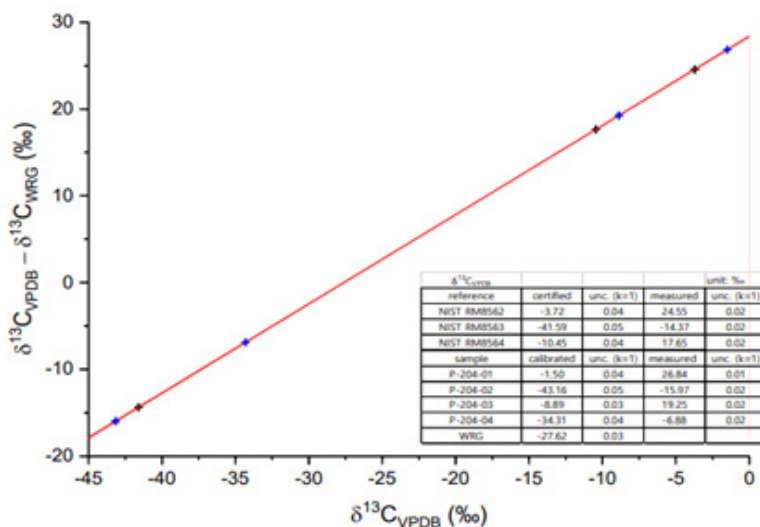
- CO2, CH4 동위원소비 연속측정법 및 표준물질 개발
- 항공시료 중 동위원소비 측정기술 개발



성과 주요내용

- 이산화탄소 안정동위원소비 연속측정을 위한 표준 개발
 - 이산화탄소 원료가스 수준(99.9%)의 동위원소비 표준물질 개발 및 국제비교를 통한 탄소동위원소비 국제동등성 확인(CCQM-P206)

- $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (99.99%)
- Participants
 - BIPM, CSIRO, ECCC, IAEA, IJS, INMETRO, INSTAAR, KRISS, LSCE, MPI-BGC, NIM, NIST, NMIJ, NPL, NRC, PTB.1, PTB.2, UME, VNIIM



▲ 99.99% CO2 동위원소비 표준물질 개발 및 국제동등성 확보

- 배경대기 농도 수준의 이산화탄소 동위원소비 표준물질 개발
- Precon-IRMS 및 Isotope CRDS를 이용한 배경대기 동위원소비 측정기술 개발



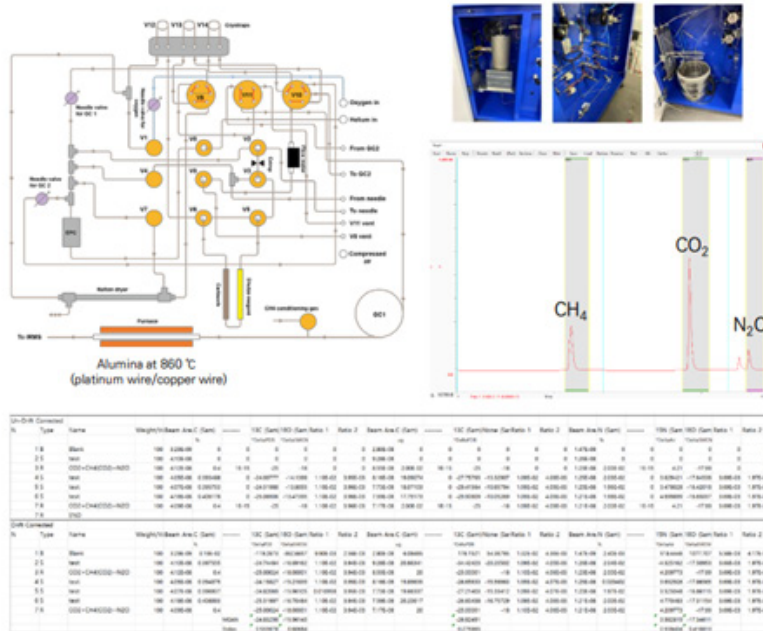
▲ 배경대기 농도수준 이산화탄소 안정동위원소비 표준가스

※ 400 ppm CO₂ in Air/Nominal δ¹³CVPDB= -4.1, -8.5, -10, -13‰

- 매탄 안정동위원소비 연속측정을 위한 표준 개발
 - Precon-IRMS를 이용한 배경대기 농도 수준 매탄 동위원소비 측정기술 개발
- 항공시료 중 온실가스 동위원소비 측정 기술 개발
 - CO₂, CH₄, N₂O 동위원소비 동시 측정을 위한 IRMS용 전처리 장치개발

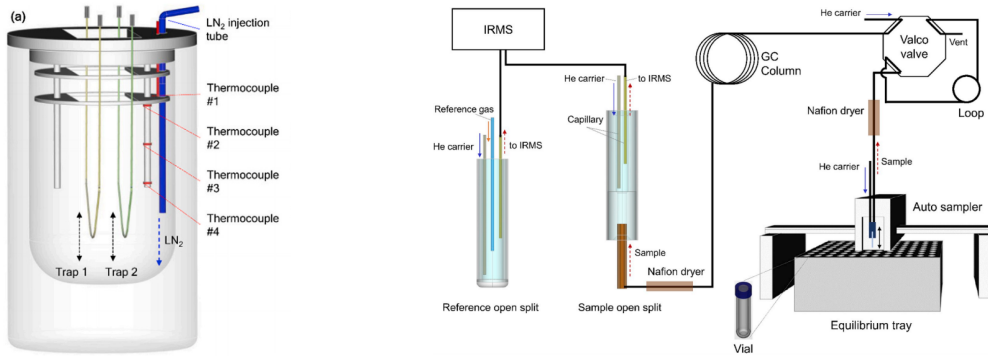
Features

- Sample amount : 200 mL
- CH₄ + CO₂/N₂O/Air at T1
- CH₄ → CO₂ (oxidative conversion)
- CO₂ + N₂O at GC1, GC2
- Air back-flushed removal
- Rt-Q-Bond capillary column
- Chemical trap: Ascarite (atmospheric CO₂ removal) + Mg(ClO₄)₄ (water removal)
- Preliminary trap: LN₂ (residual CO₂ removal)
- Combustion furnace : Oxidated Nickle wire 1000°C (CH₄ → CO₂ conversion)
- Preconcentration trap : LN₂ (Converted CO₂ preconcentration)



▲ CO₂, CH₄, N₂O 동위원소비 측정을 위한 전처리 장치

- 미세먼지 중 CNS 동위원소비 동시 표준 측정기술 개발



▲ Autosampler와 연동된 Precon-IRMS 장비 개요도



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 배경대기 농도수준 이산화탄소 동위원소비 표준물질 개발 및 연속관측기술 적용으로 향후 국내 측정수요에 대응 가능
 - 주요 국제 표준기관과 동위원소에 권위 있는 연구기관 등이 참여한 국제비교(CCQM-P206)를 통한 탄소 안정동위원소비 국내 측정기술의 국제적 동등성 확보
 - 배경대기 농도수준의 이산화탄소와 메탄 안정동위원소 표준가스의 측정소급성에 대한 명확성, 신뢰성 확보
 - 이산화탄소 탄소 안정동위원소비 연속 관측에 대한 국가자료 발표에 신뢰성 부여
- 미세먼지 중 CNS 표준 측정기술 개발
- 항공시료 중 온실가스 동위원소비 동시 측정기술 개발
 - 대기 모델의 검증에 위한 상보적 자료로 활용 가능



정량적 연구개발성과

- 특허 : 출원 3건, 등록 1건
- 기술이전 : 3건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 지구대기감시연구과 김수민
- 참여기관 : 한국표준과학연구원



배경대기 농도수준 할로겐화 온실가스 연속 측정기술 개발



연구책임자 권도현 (한국표준과학연구원)



총 연구기간 2022.04.01.~2024.12.31.



연구배경 및 필요성

- 온실가스 절대량을 감축하기 위해서 온실가스 정밀 측정, 경향 분석, 효율적인 전략 수립이 필요
 - 그러나 할로겐화 온실가스류, 특히 HFCs, CF4 등은 배경대기 중에서 pmol/mol (ppt) 수준으로 상용화 장비를 이용한 추적관찰과 측정에 한계
 - 현재 관측소에서는 온실가스 종별 전용 분석기를 활용하고 있고, 외산 장비 활용으로 유지/관리의 어려움을 겪는 중
- 할로겐화 온실가스의 동시 분석 장치(농축 장치-GC-MSD) 기술을 바탕으로 한 신뢰성 있는 분석장치/표준 분석 절차의 개발 필요



과제목표

- 할로겐화 온실가스 표준물질에 대한 검교정 기술 개발

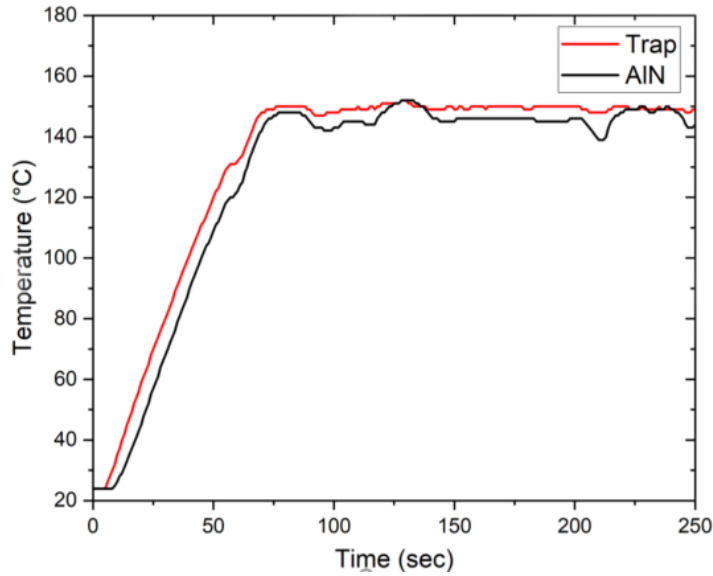


성과 주요내용

- 탈부착 극저온 농축장치 성능 고도화
 - 대기 중 극미량인 할로겐화합물 측정을 위해서는 극저온 농축 및 가열 탈착의 효율이 핵심
 - 기존 히터 시스템은 냉각에 상당 시간 소요, 본 과제 통해 개발한 고속 줄 히팅 시스템으로 냉각 소요 시간을 기존보다 10~20분 줄이도록 구현
 - 줄 히터 사용 시 농축관을 전기로 가열함. 농축관만 타겟팅하여 전기로 가열하고 그 외의 관은 절연하는 기술 개발, 농축 성능을 효율화시키고 결로를 방지하기 위한 진공시킨 이중관 트랩 구현



▲ 줄히팅 방식[고속(고전류)-냉각속도확보(열용량)]

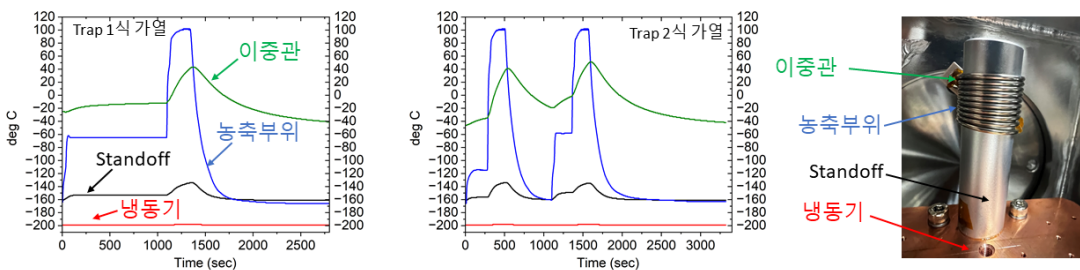


▲ 절연 소재 질화알루미늄 기반 고속 줄히팅 가열 테스트 결과

• 고정형 극저온/고온 농축 트랩 개발

- 배경대기 농도수준 할로겐화 온실가스 측정의 경우, 대기 중 ppt 수준의 매우 낮은 농도로 존재
- 이를 측정하기 위해서는 ppm 수준으로 농축할 수 있는 농축기가 필요하며, 가스의 끓는점 수준으로 온도를 낮추는 동시에 질소와 산소가 냉각하지 않는 수준으로만 냉각하는 정교한 온도 제어 기술이 필요

▶ 본 성과는 -160도 수준으로 냉각하여 질소와 산소에 의해 냉각부위가 손상받지 않으면서, 분석에 필요하지 않은 이산화탄소를 냉각 후 -60도 수준으로 가열하여 제거하고 할로겐화 온실가스만 농축 후 분석할 수 있는 시스템을 구성, 특히 냉동기에 고정된 채로 반복 운영 시에도 성능 유지 가능

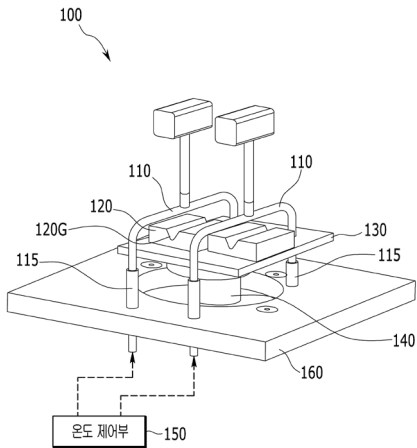


▲ 정해진 온도에 따라 가열이 가능함을 보여주는 결과(원하는 온도와 시간으로 유지 가능)

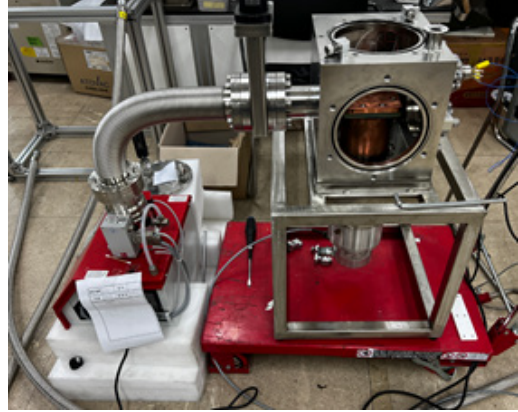


성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 고속 줄 히팅 시스템으로 열용량과 가열 속도 개선, 분석 속도 크게 개선
- 절연, 진공 가능한 이중관 트랩 구현으로 줄 히팅 시스템의 탈부착 과정 시 전기 절연, 진공 문제 동시 해결, 장시간 고온 가열이 가능함에 따라 오염물 탈착 성능 개선 가능
- ppt 수준의 온실가스를 측정하기 위해서 냉각/가열이 반복가능한 농축장치를 개발하는 것이 중요하며 본 연구 성과는 -160도 수준 냉각과 100도 수준 가열 및 단계별 가열/냉각이 가능함을 보여준 결과



▲ 개발한 극미량 온실가스 고속 측정을 위한 줄 히팅 기반 탈부착 트랩 장치



▲ 개발한 극저온(영하 200도) 냉동기 기반 가스 농축기와 진공챔버



정량적 연구개발성과

- 특허 : 출원 2건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 지구대기감시연구과 김수민
- 참여기관 : 한국표준과학연구원



모바일 관측장비를 이용한 고품질 온실가스 관측자료 생산연구



연구책임자 이정순 (한국표준과학연구원)



총 연구기간 2022.04.01.~2024.12.31.



연구배경 및 필요성

- 한반도 기후변화 원인물질 이해를 위해 신뢰성 있는 정밀한 상시 관측 시스템 필요
- 한국 대기 감시를 위한 위성 제작 및 탑재체 개발 등 대규모 사업이 검토 중인 단계로 이에 대비한 관측 기술과 관측 신호의 해석 등 핵심 기술의 국내 자립화가 필요
- 이동형 지상 원격관측 스펙트럼의 온실기체 산출기술 개발을 통한 기후변화 분석 역량 향상으로 한국형 온실가스 관측자료 처리기술 확보 필요

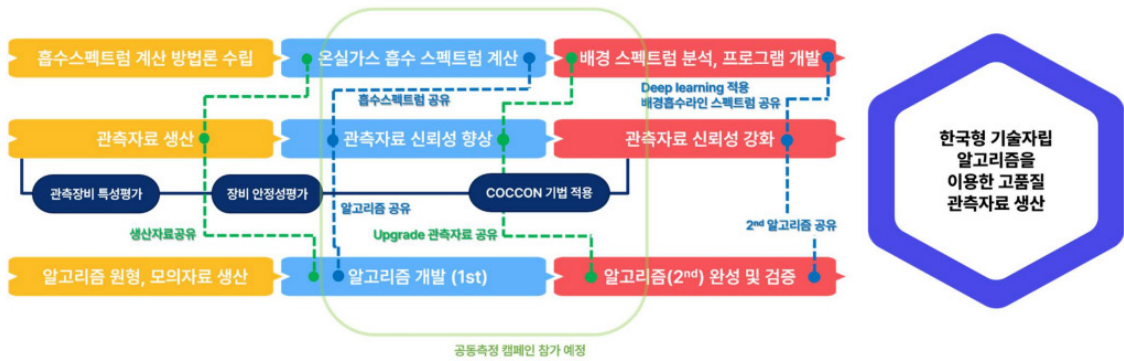


과제목표

- 온실가스의 고도별 강도 분석 및 정량화기술 개발
 - 온실가스 관측장비 특성평가 및 자료처리방법 고찰
 - 온실가스 시공간 분포 및 상대 강도 분석기술 연구
 - 기후변화 원인물질의 위치에 따른 상대 강도 분석 및 정량화 기술개발

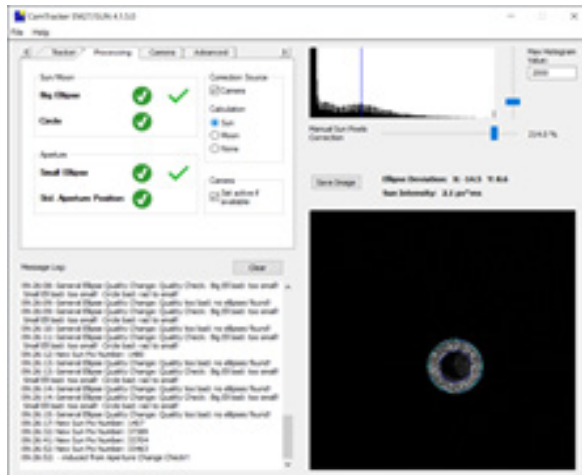


성과 주요내용

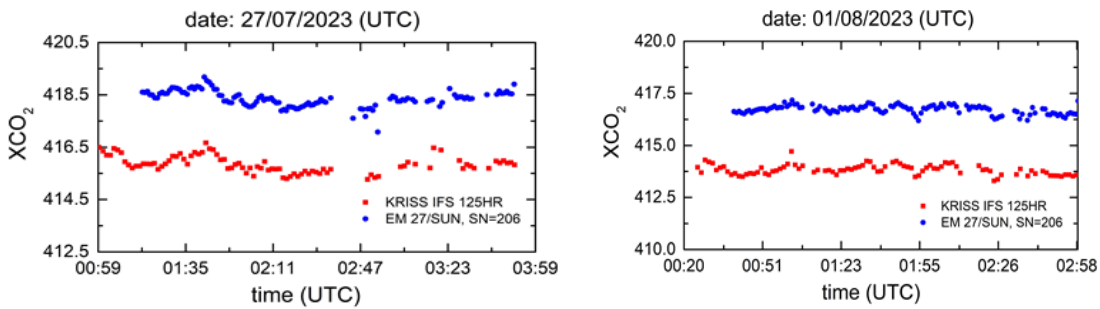


▲ 연구 추진 주요 내용

- 모바일 관측장비를 이용한 고품질 온실가스 관측자료 생산 연구
 - 온실가스 관측장비 특성 평가 및 자료 처리방법 고찰
 - 신뢰성 있는 온실가스 전량농도 산출을 위한 모바일 온실가스 관측장비의 안정성 평가
 - 모바일 관측장비를 이용한 고품질 온실가스 관측자료 생산
 - COCCON 관측사이트 등록



▲ 측정 장비(EM27/SUN observation)



▲ 관측 결과(EM27/SUN CO2 comparison between EM27/SUN(blue) and IFS120+HR (red) at two days (7/27, 8/1))

▶ 우리나라 최초로 저해상도의 FTIR(EM27/SUN)를 이용하여 인지도가 높은 국제 관측 네트워크(COCCON)에 가입, 대기중 온실가스 관측 자료 품질의 국제적 동등성 확보

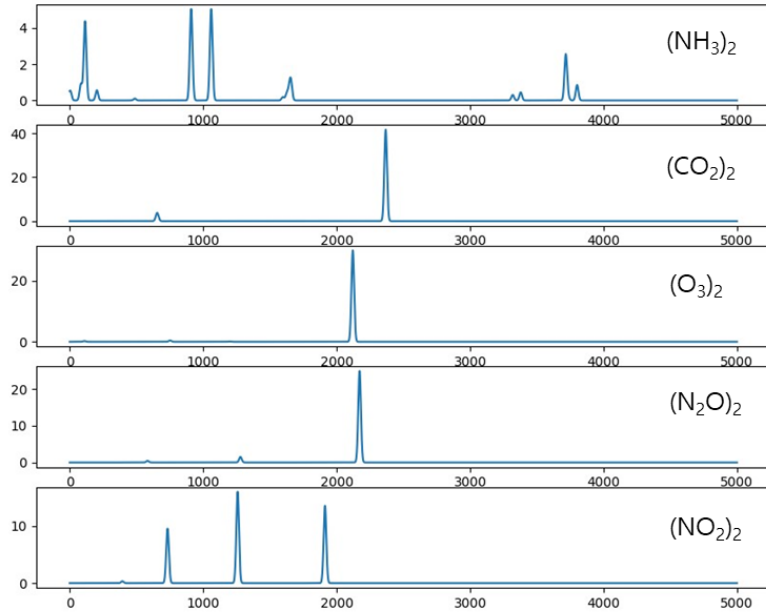


- 모바일 센서를 이용한 온실기체 농도산출 알고리즘 개발
 - 모의자료, 알고리즘 원형, 센서자료 특성 분석
 - 모바일 센서 자료 비교 특성 분석 및 센서자료 처리 알고리즘 개발

▶ 모바일 센서 온실기체 농도 산출 위하여 자체 개발한 알고리즘 확보를 통해 지속적인 알고리즘 성능 개선 및 추가적인 정보 생산 기반 마련

• 가스 흡수라인 및 배경 스펙트럼 개발

- 온실가스 특성과 실험과정의 조사를 통한 계산 방법론 수립



▲ 온실가스 분자들에 대한 물성 및 흡수 스펙트럼 계산

- 가스흡수 스펙트럼과 관측장비 결과의 비교를 통한 지역 배경 스펙트럼 분석 프로그램 개발



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 모바일 원격관측장비를 활용한 지점별 온실가스 전량농도 특성 기반 기술 개발
- 적외선 분광기로 관측하는 대기성분 자료 품질 국제적 동등성 확보
 - 소형분광기를 이용한 대기 중 가스 성분 관측 기술, 교정 기술, 자료처리 기술 수준 제고로 국내·외 온실가스 관측자료 배포 가능
- 한국 지역, 기상, 기후 특성을 반영한 온실가스 산출 알고리즘 개발의 환경 마련
 - 온실가스의 입체감시망(관측 분야)과 기상모델(모델 분야)을 융합하여 온실가스를 실시간으로 추적하는 시스템의 모의 결과 비교에 활용 가능
- 양자이론을 기반으로 한 온실가스 분자의 물성 및 흡수스펙트럼 정보 생산 기반 구축



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 1편
- 특허 : 출원 1건
- 소프트웨어 : 1건



연구진

- 과제담당관 : 국립기상과학원 지구대기감시연구과 김수민
- 참여기관 : 한국표준과학연구원, 이화여자대학교, 한국핵융합에너지연구원



전대기층 이산화탄소 감지 소자 기술 및 데이터 시각화 플랫폼 개발



연구책임자 이창기 (한국생산기술연구원)



총 연구기간 2022.04.01.~2024.12.31.



연구배경 및 필요성

- 도시권 상세 온실가스 배출/흡수원 변화 전망을 위해 전 대기층 온실가스 컬럼 농도를 조밀한 관측망으로 측정할 수 있는 기술 확보 필요
- 현재 국가 규모의 온실가스 농도 외 도시(지역)권 내 온실가스 생성, 소멸, 잔량의 순환을 확인할 수 있는 실측 기반 부족
 - 국소 지역의 조밀한 온실가스 분석은 기존 위성 관측 등의 방법이 적합하지 않음
 - 저가형 IoT 기반 온실가스 광전센서 개발 및 GPS 위치정보와 통합된 주문형(on-demand) 컬럼 농도 시각화 플랫폼의 개발로 차세대 온실가스 입체감시 분야 선도

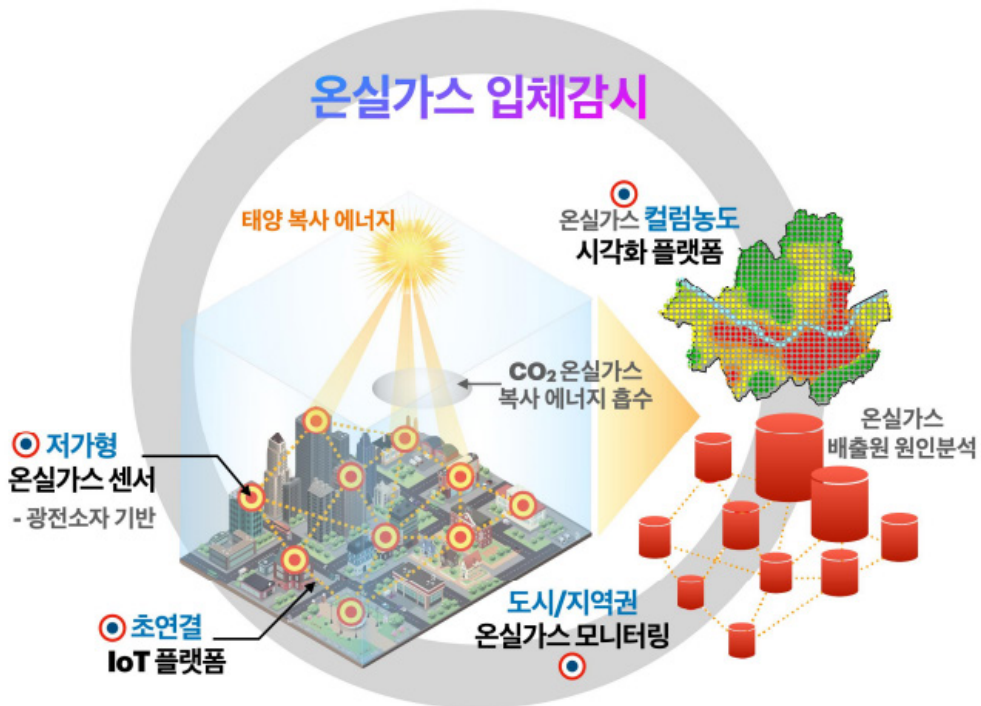


과제목표

- 도심권 내 조밀도 온실가스 입체감시를 위한 저가형 전 대기층 온실가스 컬럼 농도 감지 소자 기반기술 개발
- 여러 지역에서 동시에 측정되는 컬럼 농도 정보를 통합 시각화 하는 플랫폼 개발

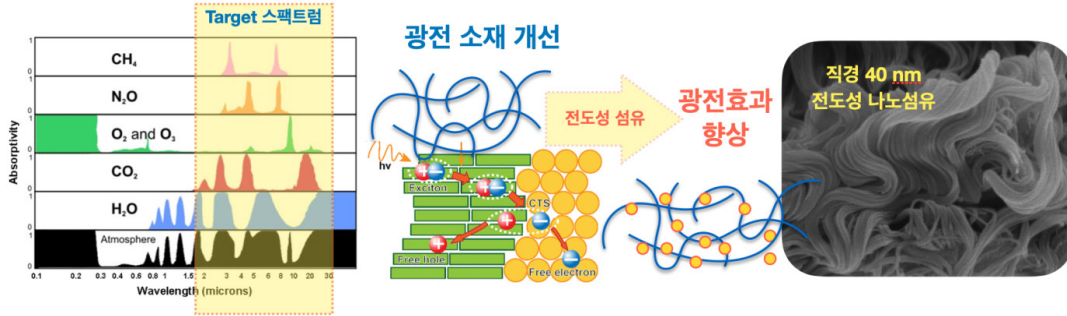


성과 주요내용

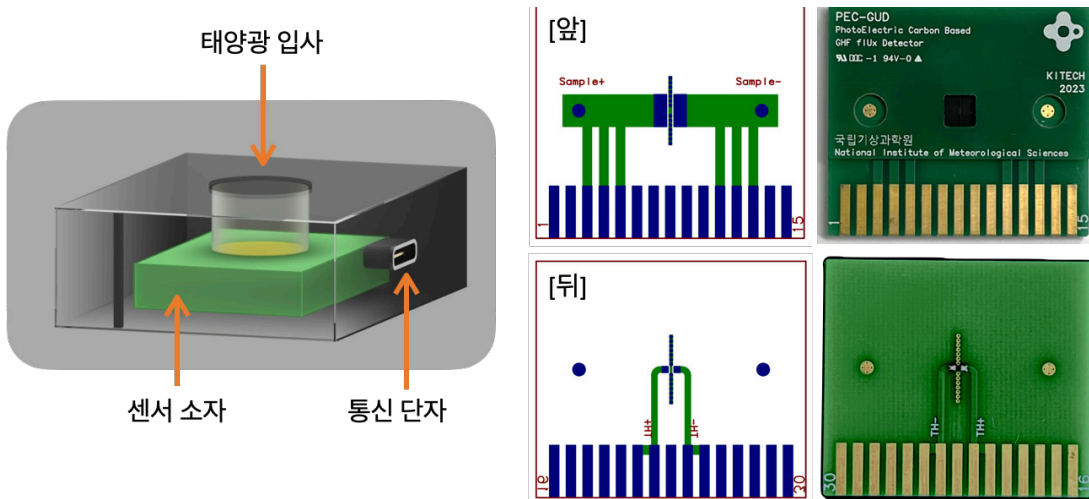


▲ 비접촉식 저가형 온실가스 IoT 센서 기반 도시권 입체감시 기술 개요

- 전대기층 온실가스 전량감지 저비용 센서용 소재 개발
 - 전 대기층 이산화탄소 전량 감지용 저가형 광전자 소재 기술 개발
 - 태양 입사 스펙트럼 감응도 향상을 위한 저가형 광전 나노소재 시스템 설계 및 최적화
 - 검토했던 광전 나노 소재의 태양 입사 스펙트럼 감응 특성 분석



▲ 전도성 나노점유를 이용한 광전소재 개발 방법



▲ 저가형 IoT 센서 디바이스 컨셉도 및 온실가스 센서 소자

▶ 전대기층 온실가스에 흡수되는 태양광 에너지를 효과적으로 전기 에너지로 전환 할 수 있는 탄소나노소재 기반의 검출소자 개발, 잉크형태로 제조되어 인쇄, 코팅, 필름 등의 방법으로 다양한 모양의 센서를 손쉽게 저비용으로 제조 가능

- 데이터 시각화
 - IoT 국제표준을 고려한 데이터 통신 프로토콜 기술 조사 및 적용(LPWAN, MQTT 등)
 - 실측 이산화탄소 전량 데이터 및 기상정보 수집체계(데이터 표준화, 프로토콜, I/F방안) 설계



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 전대기층의 온실가스 농도를 직접 측정할 수 있는 태양광의 광전효과를 이용한 탄소나노소재 센서 개발, 세계 최초로 탄소나노소재를 이용하여 광전효과로 온실가스 전량농도 검출 방법을 제안하고 실험적 근거를 제시
- 실시간 온실가스 농도 측정을 통해 '탄소중립 결과 = 가스 잔량 실측' 의미의 국지적/광역적 지역의 탄소중립 활동에 대한 검증 및 실증에 활용 가능
- 관측 네트워크를 통해 국가 규모의 대기 중 온실가스 농도를 직접 측정할 수 있어 국가 온실가스 배출량 추정치 개선 및 신뢰도 제고
- 온실가스 배출량의 시간에 따른 변화를 보다 자세히 확인하여 복사강제력에 대한 사회-경제 관계 파악 가능
- 인구통계, 경제발달, 복지, 생태계 요소, 자원, 제도 등을 고려하는 SSP 시나리오의 정확성을 높여 탄소중립 정책 활동의 중요한 지표로 활용 가능
- 광전소자의 원천기술을 바탕으로 자동차, 산업 플랜트 등에 직접 적용 가능한 고효율성의 가스 센서 개발이 가능하며 이를 통해 관련 기업에 기술이전 가능
- 실시간 온실가스 입체감시 정보의 시각화를 통해 온실가스 저감활동을 하는 국민의 의지를 고취하고 이해도를 향상시켜 탄소중립 정책 시행 효과성 제고 및 기상 재해 예방 효과 기대



정량적 연구개발성과

- 논문 : SCIE 1편
- 특허 : 출원 4건



연구진

- 참여기관 : 한국생산기술연구원, (주)온메이커스



조선시대 강수기록 종합복원·분석을 통한 한반도 장기기후변동 예측



연구책임자 김일권 (한국기상전문인협회)



총 연구기간 2022.04.01.~2024.12.31.



연구배경 및 필요성

- 조선시대 종합적 역사 기상자료 데이터 복원을 통한 한반도 기후변화 예측 자료로 활용
- 한문으로 작성된 역사자료의 한글 번역을 통해 기상 현상에 대한 다면적인 정보를 학계와 대중에게 직관적이고 이해하기 쉽게 제공



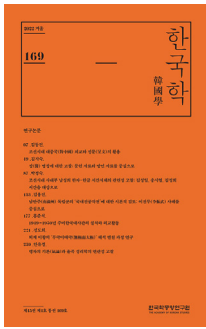
과제목표

- 조선시대 각 시기별 집중호우, 가뭄, 홍수 등 제반 강수기록 및 우량계측기록의 종합 분석을 통한 장기 기상 기후변동지표 분석
- 『승정원일기』의 제2단계 후반기 111년간(1800~1910) 한양과 8도의 전국 기상기록 전체에 대한 전면적 한글 번역과 제반 기상현황 분석

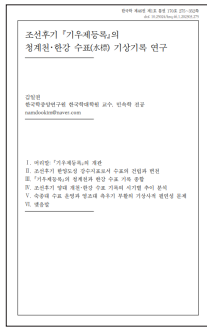


성과 주요내용

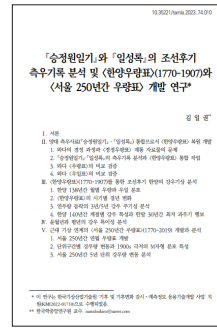
- 조선 후기 『기우제등록』의 청계천·한강 수표(水標) 기상기록 연구
 - 『기우제등록』(1636-1889, 254년간)에 수록된 수표(水標) 기록을 분석한 연구로, 수표 기록 내역과 계측치를 국내 처음으로 전면 자료화하고 시기별 변동 추세를 분석
 - 수표는 세종 23년(1441) 처음으로 유량(流量) 변화를 관측하기 위해 한강과 청계천에 설치하였던 강우지표
 - 수표 기록은 『기우제등록』과 『승정원일기』를 합쳐 총 775건에 이르며, 측우기 활용이 없던 시기에 참조할 수 있는 유일한 최대 강우 지표 기록
 - 영조의 측우기 도입은 오랜 수표 계측을 기반으로 재탄생한 필연의 기상과학사적 성취이며 수표 기록은 측우기의 전사(前史)로서 세계기상사적으로 의의를 가짐
- 『승정원일기』와 『일성록』의 조선후기 측우기록 분석 및 <한양우량표>(1770-1907)와 <서울 250년간 우량표> 개발 연구
 - 조선시대 양대 측우기록인 『승정원일기』와 『일성록』을 대조하여 통합하고, 이를 바탕으로 <한양우량표>(1770-1907)를 개발하여 조선후기 한양의 강우 상황을 복원
 - 138년간(1770-1907) 총 9,312건의 측우기록과 총 7,587일(연평균 55.0일)의 측우일 및 총 우량값 165,824mm(연평균 1,201.6mm)를 최종 도출 및 분석
 - 근대와 연계한 <서울 250년간 우량표>(1770-2019)를 추가 개발하여 250년 기간을 대상으로 강우 변동 측면을 고찰
 - 측우기록의 사료적 검증에 소홀했던 선행연구의 문제점을 밝히면서, 측우기록의 사료적 엄밀성을 기반으로 기록건수, 측우일, 우량값의 총량을 구체적 수치로 밝힌 국내 최초의 연구



▲ 2023.03. 한국학 계재



▲ 2023.11. 탐라문화 계재



성과의 우수성, 혁신성, 차별성

- 기상역사 연구는 기상학과 인문학이 융합하는 주제로 기존의 선행연구가 미흡, 본 연구는 축우기록의 사료적 엄밀성을 기반으로 기록건수, 축우일, 우량값의 총량을 구체적 수치로 밝힌 국내 최초의 연구
 - 『기우제등록』 수표 기록 연구는 조선 후기 한양 강우지표로서 수표 기록 내역과 계측치를 전면 자료화하고 시기별 변동 추세를 국내 최초로 분석
 - 축우기록 분석 논문에서는 와다유지가 처음 제시하였던 <경성우량표> 및 <경정우량표>(1914)는 실제 사료와는 크게 어긋나며, 특히 <경정우량표>는 『승정원일기』와 『일성록』에 비해 각기 141.2%, 152.9% 과다 계상된 잘못된 축우 자료물임을 밝힘
- 한반도 기상기후변동의 예측과 분석에 중요한 토대 데이터로 활용 가능
 - 한양의 역사기상 현황 자료를 제공함으로써 서울지역 기상 연구 활성화 기여.
 - 시기별 강수지도 개발을 통해 기상 역사의 입체화 기여
 - 추후 전국지역 자료와 연계함으로써 시기별/지역별 기상 특성 파악이 가능
 - 『각사등록』, 『조선왕조실록』 등 관련 자료와 연계하여 기상 역사의 다면적 구성 및 각 자료의 검증기준 마련 가능
 - 『승정원일기』 기상기록 번역자료의 경우 기존 한문 자료를 한글로 번역하여 자료 접근성을 높임으로써 심도 있는 후속 연구와 이에 따른 역사 기상학 분야의 전문성 증대 기대
- 국가 성장동력으로서 SMART 기상과학문화분야 기술개발 및 기상과학문화 콘텐츠산업 활성화 계기 확보
 - 기상박물관 및 기타 역사박물관 등에서 새로운 기상 콘텐츠로 활용 가능
 - 사극이나 드라마 등 우리 사회와 일반대중들의 역사기상지식정보 증대와 이를 직접적으로 활용하여 기상학에 관한 대중적 관심 제고



정량적 연구개발성과

- 논문 : 비SCIE 2편



연구진

- 참여기관 : 한국기상전문인협회

2023년도
기후 및 기후변화 감시·예측정보
응용 기술개발 사업 성과분석보고서



부 록

2020년 ~ 2023년 과제별 연구개발 성과

.....

1. 기후예측 및 위험대응 강화연구	62
2. 기후변화 대응 및 정보 생산·활용연구	74



기후예측 및 위험대응 강화연구



1.1. 계절내 ~ 계절 예측기술 개발



계절내 예측성 향상기술 개발



논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Communicating Arctic-midlatitude weather and ecosystem connections : direct observations and sources of intermittency	Environmental Research Letters	James E Overland	SCIE
2	Characteristics of High-Latitude Climate and Cloud Simulation in Community Atmospheric Model Version 6 (CAM6)	Atmosphere	Eun-Hyuk Baek	
3	Population ageing determines changes in heat vulnerability to future warming	Environmental Research Letters	Chang-Eui Park	
4	Population Exposure Projections to Intensified Summer Heat	Earth's Future	Chang-Eui Park	
5	Synoptic Features of August Heavy Rainfall Episodes Accompanied by a Quasi-Stationary Front over the Korean Peninsula and its Relationship with the Western Pacific Subtropical High	Frontiers in Earth Science	신우주	
6	Interdecadal change in the relationship between the western North Pacific subtropical high and the ENSO	Theoretical and Applied Climatology	김정은	
7	Anthropogenic Influence on the Antarctic Mesospheric Cooling Observed during the Southern Hemisphere Minor Sudden Stratospheric Warming	Atmosphere	Sunkara Eswaraiiah	
8	The Role of Summer Snowstorms on Seasonal Arctic Sea Ice Loss	Journal of Geophysical Research: Oceans	Won-Il Lim,	
9	Three western pacific typhoons strengthened fire weather in the recent northwest U.S.	Geophysical Research Letters	Jacob Stuienvolt Allen	
10	Evaluating NA-CORDEX historical performance and future change of western U.S. precipitation patterns and modes of variability	International Journal of Climatology	Jonathan David Douglas Meyer	
11	Mechanisms driving ESM-based marine ecosystem predictive skill on the east African coast	Environmental Research Letters	Woojin Jeon	
12	리눅스 기반 U.K. 지구시스템모형을 이용한 동아시아 SO2 배출에 따른 기상장 변화	Journal of the Korean earth Science Society	윤대옥	비SCIE
13	U.K. 지구시스템모델 UM의 리눅스 클러스터 설치와 성능 평가	Journal of the Korean earth Science Society	윤대옥	

 특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	북극-동아시아 원격 기후 상관성 진단 방법, 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체, 진단 장치 및 진단 시스템	부경대학교 산학협력단	2021.09.15.
2	해양 플랑크톤의 피드백 효과를 고려한 기후 예측 시스템	전북대학교 산학협력단	2021.10.13.
3	기후예측시스템과 통합적운모수화 방안을 접합하기 위한 인터페이스	서울대학교 산학협력단	2021.11.30.
4	기후 변화 예측 시스템 및 이의 동작 방법	충북대학교 산학협력단	2021.12.23.
5	Charney-Philips 형태 좌표계에서 로렌츠 형태의 좌표계 사용 방법	서울대학교 산학협력단	2022.10.19.
6	구름미세물리과정방안을 고려한 고위도 지역 계절별 기후 특성 분석 장치와 그 방법	부경대학교 산학협력단	2022.12.06.
7	CICE5 해빙모형의 파라미터 민감도 산출을 위한 시스템 및 방법	부산대학교 산학협력단	2022.12.22.

 소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	REAS 자료 다운로드, 격자화 및 UM모델 배출량 컨버팅 프로그램	C-2020-048556	충북대학교 산학협력단
2	CESM자료를 이용한 성층권 돌연 승온 가시화	C-2020-048170	연세대학교 산학협력단
3	diagnostic package for GCM (기후모형 평가를 위한 분석 프로그램)	C-2020-049663	서울대학교 산학협력단
4	포트란을 활용한 기후예측모델(CFSv2)의 임계성공지수(CSI) 출력 프로그램	C-2020-04885	광주과학 기술원
5	지역별 블로킹 지수 탐지 프로그램	C-2020-043069	부경대학교 산학협력단
6	북극 온난화-유라시아 냉각화 사례 탐지 및 합성분석 프로그램	C-2020-052821	부경대학교 산학협력단
7	기후모형 생지화학 변수 모의 성능 평가 프로그램	C-2020-049872	전북대학교 산학협력단
8	지형모형의 급격한 토양수분 변동 및 발생 시기 분석 프로그램	C-2020-049676	서울대학교 산학협력단
9	해빙모델 생산자료를 이용하여 해빙 용적을 계산하는 프로그램 버전	C-2021-050733	충북대학교 산학협력단
10	전구모형에서 지형 복잡성 확인을 위한 지형 스펙트럼 계산	C-2021-054575	부산대학교 산학협력단
11	기후모형 강수과정 평가를 위한 분석프로그램	C-2021-053263	연세대학교 산학협력단
12	CMIP5 질소산화물(NOx) 시간변동성(Time-varying) 배출량 변환및REAS질소산화물(NOx)배출량치환프로그램	C-2021-049653	서울대학교 산학협력단
13	포트란을 활용한 유선 함수 총량 계산 프로그램	C-2021-053617	충북대학교 산학협력단
14	NEMO(니모) 해양모형 변수 재격자화 프로그램	C-2022-053998	광주과학 기술원
15	클로로필 피드백에 의한 광역해양생태계 해수면온도 예측 비교 시스템	C-2022-056793	전북대학교 산학협력단
16	diagnostic package of precipitation diurnal cycle for GCM (기후모형 강수일변동 분석을 위한 프로그램)	C-2022-057248	전북대학교 산학협력단
17	UM(유엠) 대용량 결과물의 NetCDF(넷시디에프) 변환 프로그램	C-2023-005301	서울대학교 산학협력단
18	더블 로지스틱 곡선 적합성을 통한 식생 성장계절 시작일 산출 프로그램	C-2023-000200	충북대학교 산학협력단
19	더블 로지스틱 곡선 적합성을 통한 식생 성장계절 종료일 산출 프로그램	C-2023-000201	한국과학기술연구원



계절내 규모 예측의 이상기후 잠재적 예측성 평가

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Impact of local atmospheric circulation and sea surface temperature of the East Asia (Sea of Japan) on heat waves over the Korean Peninsula	Theoretical and Applied Climatology	Jieun Wie	SCIE
2	Impact of the reemergence of North Pacific subtropical mode water on the multi-year modulation of marine heatwaves in the North Pacific Ocean during winter and early spring	Environmental Research Letters	Yong-Jin Tak	
3	Surface temperature variability in climate models with large and small internal climate variability	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	예상욱	
4	Contrasting factors on the trends in hot days and warm nights over Northern Hemisphere land during summer	Weather and Climate Extremes	예상욱	
5	Atmosphere-driven cold SST biases over the western North Pacific in the GloSea5 seasonal forecast system	Climate Dynamics	Ajin Cho	
6	On the relationship between ENSO diversity and the ENSO atmospheric teleconnection to high-latitudes	International Journal of Climatology	D. Gushchina	
7	Indian Ocean warming as a driver of a long term upward trend of Arctic Oscillation	npj Climate and Atmospheric Science	정용철	
8	Effect of a Scale-Aware Convective Parameterization Scheme on the Simulation of Convective Cells-Related Heavy Rainfall in South Korea	Journal of Advances in Modeling Earth Systems	Haerin Park	
9	Improved Tropical Cyclone Track Simulaion over the Western North Pacific using the WRF Model and a Machine Learning Method	Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences	Kyoungmin Kim	
10	Characteristics of tropical cyclones over the western North Pacific related to extreme ENSO and a climate regime shift in sub-seasonal forecasting with GloSea5	Climate Dynamics	Taehyung Kim	
11	이례적으로 영향 태풍 수가 많았던 2019년 한반도 주변 종관장 특성 분석	기후연구	김은지	비SCIE
12	Two Overarching Teleconnection Mechanisms Affecting the Prediction of the 2018 Korean Heat Waves	Journal of the Korean earth science society	Jieun Wie	
13	Strengthened Madden-Julian Oscillation Variability improved the 2020 Summer Rainfall Prediction in East Asia	한국지구과학회지	Jieun Wie	

 특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일	등록일
1	폭염 발생 진단 방법 및 장치	전북대학교 산학협력단	2021.07.20	2022.12.06.
2	슈퍼양상블 기법을 이용한 표면 대기 온도 예측 방법 및 시스템	전북대학교 산학협력단	2022.09.13.	2023.01.16.
3	모드수를 이용한 해양 열파 발생 예측시스템 및 예측방법	연세대학교 산학협력단	2021.12.14	-
4	자기상관계수 및 탄젠트 역함수 회귀모형을 이용한 해수면 온도편차의 지속성 평가 시스템 및 평가방법	연세대학교 산학협력단	2022.11.22.	-
5	모드수를 이용한 클로로필 농도 예측시스템 및 예측방법	연세대학교 산학협력단	2022.09.20.	-
6	여름철 평균 기온 예측 시스템 및 여름철 평균 기온 예측 방법	한양대학교 에리카산학협력단	2022.12.16.	-
7	역학 모델을 이용하여 계절 내 태풍을 예측하는 전자 장치 및 그 동작 방법	울산과학기술원	2022.12.08.	-

 소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	GLOSEAS(글로씨 모델 버전 5) 모델의 연지시어 계산 프로그램	C-2020-049915	연세대학교 산학협력단
2	GLOSEAS(글로씨 모델 버전 5) 모델 500HPA(500헥토파스칼) 지위고도 TIME-LAGGED(시간 지연) 양상블 계산프로그램	C-2020-049916	연세대학교 산학협력단
3	Glosea5(글로씨5) 모델의 계절내 시간규모 잠재 지구방출복사량 계산 프로그램	C-2021-057604	울산과학기술원
4	Glosea5(글로씨5) 모델의 중위도 영향태풍 탐지 프로그램	C-2021-057605	울산과학기술원
5	GloSea6 모델의 태풍 발생위치 구별 프로그램	C-2022-049595	울산과학기술원
6	태풍의 급강화 판별 프로그램	C-2022-049596	울산과학기술원
7	고해상도 GloSea6(글로씨6) 모델의 태풍 탐지 프로그램	C-2022-049597	울산과학기술원

 기술이전

번호	기술이전 내용	이전기관	수요기관	기술이전일
1	고해상도 Glosea6(글로씨6) 모델의 태풍 탐지 프로그램(C-2022-049597)	울산과학기술원	연세대학교	2022.12.08.



계절내 규모 예측인자의 원격상관 진단, 분석

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Diagnosing ISO forecast from GloSea5 using dynamic-oriented ISO theory	Atmosphere	Young-Min Yang	SCIE
2	Improved boreal summer intraseasonal oscillation simulations over the Indian Ocean by modifying moist parameterizations in climate models	Climate Dynamics	Young-Min Yang	
3	Contribution of Ural and Kamchatka Blockings to the Amplified Warm Arctic-Cold Eurasia Pattern under Arctic Sea Ice Loss and Eurasian Cooling	Journal of Climate	Seon-Hwa Kima,	
4	Global Coupled 모델 2와 3.1의 MJO 모의성능 평가	대기	문자연	비SCIE

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일	등록일
1	기후 예측 모델의 계절 내 규모 모의 성능을 진단하기 위한 기후 분석 장치 및 방법	(주)포디솔루션	2020.12.08.	2021.12.06
2	계절내 규모 예측인자의 원격상관 진단 및 평가 매트릭스	(주)포디솔루션	2021.08.06.	2022.05.04.

소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	기후예측모델의 MJO 지수 산출과 가시화 파이썬 프로그램	C-2020-048104	(주)포디솔루션
2	기후예측모델의 계절내 시간규모 예측성 진단·평가를 위한 입력자료 생산 프로그램	C-2020-048105	(주)포디솔루션
3	기후예측모델의 MJO life cycle 분석 프로그램	C-2020-048106	(주)포디솔루션
4	군집분석을 이용한 계절내진동(MJO) 유형분류	C-2021-052915	(주)포디솔루션
5	계절내 시간 규모의 열대-중위도 원격상관의 패턴 상관관계, 강도의 비율, 중심 위치, 패턴의 일관성을 진단하는 프로그램	C-2022-053819	(주)포디솔루션
6	계절내 열대-중위도 원격상관의 패턴 상관관계, 강도 비율, 일치도를 매트릭스로 표출하는 프로그램	C-2022-053820	(주)포디솔루션



기후예측시스템 최적 결합 초기화기술 개발

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	CAPE Threshold for Lightning Over the Tropical Ocean	Journal Of Geophysical Research- Atmospheres	Wei-Yi Cheng	SICE
2	The Origin of Systematic Forecast Errors of Extreme 2020 East Asian Summer Monsoon Rainfall in GloSea5	Geophysical Research Letters	Yoo-Geun Ham	
3	Evolution of Tropical Cyclone Properties Across the Development Cycle of the GISS-E3 Global Climate Model	Journal of Advanced in Modeling Earth Systems	Rick D. Russotto	
4	Seasonal locking of the MJO's southward detouring of Indonesia caused by the Australian monsoon	Journal of Climate	Daehyun Kang	
5	An evaluation of global climate model-simulated tropical cyclone rainfall structures in the HighResMIP against the satellite observations	Journal of Climate	Yumin Moon	
6	Critical Role of Tropical North Atlantic SSTA in Boreal Summer in Affecting Subsequent ENSO Evolution	Geophysical Research Letters	Leishan Jiang	
7	Future Changes of PNA-like MJO Teleconnections in CMIP6 Models: Underlying Mechanisms and Uncertainty	Journal of Climate	Jiabao Wang	
8	Tropical modulation of East Asia air pollution	Nature Communications	Myung-Il Jung	
9	Subseasonal Tropical Cyclone Prediction and Modulations by MJO and ENSO in CESM2	Journal of Geophysical Research: Atmospheres	Hui Li	
10	Representation of convectively-coupled Kelvin waves in four modern reanalysis products	Journal of the Atmospheric Sciences	Mu Ting Chien	
11	Mesoscale convective clustering enhances tropical precipitation	Science Advances	Pedro Angulo-Umana	
12	Developing a subseasonal ecological forecast to reduce fisheries bycatch in the Northeast U.S.	Progress in Oceanography	K.E. Roberts	
13	Impact of satellite thickness data assimilation on bias reduction in Arctic sea ice concentration	NPJ CLIMATE AND ATMOSPHERIC SCIENCE	Jeong-Gil Lee	
14	The Lack of a QBO-MJO Connection in Climate Models With a Nudged Stratosphere	Journal of Geophysical Research- Atmospheres	Zane K. Martin	
15	The Idealized Aquaplanet Maritime Continent Barrier Effect on the MJO Predictability	Journal of Climate	Hyemi Kim	
16	Constraining the first ice-free Arctic year: Importance of regional perspective	Earth's Future	Seungmok Paik	
17	MJO in Different Orbital Regimes: Role of the Mean State in the MJO's Amplitude during Boreal Winter	Journal of Climate	STEPHANIE S. RUSHLEY	
18	Process-Oriented Diagnosis of Tropical Cyclones in Reanalyses Using a Moist Static Energy Variance Budget	Journal of Climate	CAITLIN A. DIRKES	
19	QBO deepens MJO convection	Nature Communications	Daeho Jin	
20	Satellite-Based Data Assimilation System for the initialization of Arctic Sea Ice Concentration and Thickness Using CICE5	Frontiers in Climate	Jeong-Gil Lee	

특 허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일	등록일
1	다중 위성 토양수분 자료를 이용한 지면 자료 동화 시스템	울산과학기술원	2021.12.24.	2024.01.24.
2	지면모델의 적설 자료동화 방법	울산과학기술원	2022.12.06.	-

소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	CICE(Community Ice CodE)라는 해빙 모형의 소스코드와 함께 컴파일을 수행하여 구동할 수 있는 온라인 시스템	C-2022-038072	전남대학교산학협력단
2	현업 계절 예측 시스템인 GloSea6 모형의 해빙 성분 모형인 CICE 버전 5를 이용하여 모형의 소스코드와 함께 본 프로그램의 소스코드를 컴파일하여 구동할 수 있는 온라인 시스템	C-2022-043265	전남대학교산학협력단



차세대 전산과학 기술접합을 위한 기반기술 개발

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	A Multi-Layer Network for Aspect-Based Cross-Lingual Sentiment Classification	ACCESS	Kalim Sattar	SCIE
2	Understanding Users' Behavior towards Applications Privacy Policies	Electronics	Muhammad Hanif	
3	A Multi-Considered Seed Coat Pattern Classification of Allium L. Using Unsupervised Machine Learning	Plants	Sungwook Chung	
4	Improving Air Pollution Prediction System through Multimodal Deep Learning Model Optimization	Applied Sciences	정은성	
5	Numerical Weather Prediction Model Performance Optimization Based on Machine Learning	IEEE Access	Soohyuck Choi	
6	BERT-Based Sentiment Analysis for Low-Resourced Languages: A Case Study of Urdu Language	IEEE Access	Muhammand Rehan Ashraf	
7	기상예측시스템 소프트웨어 조사 및 GloSea6소프트웨어저해상도설치방법구현	한국정보전자통신 기술학회지	Chung, Sungwook	비SCIE
8	딥러닝 모델의 압축 방법에 따른 엣지 장치에서의 성능 평가 연구	Journal of the institute of electronics and information engineers	이창현	
9	SCAM 기상모델의 성능향상을 위한 PGI Compiler의 OpenACC 활용	한국정보전자통신 기술학회지	이창현	
10	고성능 기상예측시스템 I/O 성능 측정 툴 기술 조사	Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers	최진욱	
11	Low-GloSea6 기상 예측 소프트웨어의 머신러닝 기법 적용 연구	한국정보전자통신 기술학회지	박해성	
12	SCAM 기상모델의 성능향상을 위한 LAPACK BLAS 라이브러리의 활용	한국정보전자통신 기술학회지	신대영	

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	등록일
1	저해상도 기후 예측 소프트웨어의 로컬 설치 방법	창원대학교	2021.10.29
2	고성능 과학응용프로그램의 입출력 성능을 개선하기 위한 시스템적 벤치마킹 및 프로파일링 장치 및 방법	홍익대학교 세종캠퍼스 산학협력단	2021.12.31.
3	NFT를 활용한 블루투스 장치 인증 시스템	창원대학교	2022.05.30
4	적운 모수화 코드 향상을 위한 유니콘 최적화 방법 및 시스템	창원대학교	2022.09.23
5	이기종 환경에서 RPM, DEB 패키지를 활용한 전지구 기상예측모델의 효과적인 시스템 구축 방법	창원대학교	2023.03.28
6	입출력 성능 향상을 위한 동적 압축 방법	홍익대학교 세종캠퍼스 산학협력단	2023.11.01.

소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	유엠(UM) 소스 코드 병합 도구 (Tool for Inlining UM(Unified Model) source code)	C-2023-031892	(주)미래기후
2	병렬 연산 지시문 자동 삽입 도구 (Tool for automatic insertion of parallel computation directives)	C-2023-031893	(주)미래기후

☔ 동아시아지역 여름철 강수변동성과 분석기술 개발

📖 간행물



[장마백서 2022]

최근 신(新) 평년기후값(1991~2020년)을 활용하여 장마 및 동아시아 여름몬순과 관련된 여러 기상장 및 시계열에 대한 분석을 진행하여 최신의 장마 및 호우 정보를 제공하고 관련 기후 변동성에 대한 연관성을 기술하였다.

📄 논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Sensitivity of East Asian Summer Monsoon Precipitation to the Location of the Tibetan Plateau	Journal of Climate	S.-H. Seok, K.-H. Seo	SCIE
2	Physical mechanisms for the dominant summertime high-latitude atmospheric teleconnection pattern and the related Northern Eurasian climates	Environmental Research Letters	Jin-Yong Kim	

🔒 특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일	등록일
1	장마의 시작 시기 결정을 위한 장치 및 방법	부산대학교 산학협력단	2021.11.19.	2023.12.29.

⚙️ 소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	병합관측자료(GPCP)를 이용한 기후모델(CMIP6)의 강수 모의 성능을 정량화하는 프로그램	C-2021-058581	서경환, 윤상필
2	기상청 종관기상관측 자료로부터 지점별 강수량 자료를 추출하고 월별 강수 및 호우 발생 통계를 내는 프로그램(Ver 1.1)	C-2022-056410	서경환, 윤상필

1.2. 가까운 미래 예측성 향상 기술개발



가까운 미래 기후변동성 분석 및 원인규명

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Enhancing Forecast Skill of Winter Temperature of East Asia Using Teleconnection Patterns Simulated by GloSea5 Seasonal Forecast Model	Atmosphere	Yejin Lee	SCIE
2	Distinct decadal modulation of Atlantic-Niño influence on ENSO	npj climate and atmospheric science	Jae-Heung Park	
3	Sub-seasonal variability of ENSO teleconnections in western North America and its prediction skill	Journal of Geophysical Research-Atmospheres	Chang-Hyun Park	
4	DePreSys4의 동아시아 근미래 기후예측 성능 평가	대기	최정	비SCIE

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일	등록일
1	지역별 해수면 온도를 이용한 근미래 남한 지역 기온 예측 방법 및 장치	(주)포디솔루션	2022.11.21.	2023.09.25.
2	임의의 지역 해수면 온도 보정 장치와 이를 이용한 온도 보정 방법	부경대학교 산학협력단	2022.12.26.	-
3	장기간 연속적인 비울형 토지피복지도 산출방법, 이를 이용한 토지피복 변화 분석방법 및 기후변화 분석방법	경희대학교 산학협력단	2023.02.15.	-

소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	엘리노 분류에 대한 패턴 별 회귀분석	C-2022-053822	(주)포디솔루션
2	군집 분석에 따른 엘리노 분류 별 합성장 분석	C-2022-053821	(주)포디솔루션
3	파이썬을 이용한 K-평균 클러스터링 분류에 따른 엘리노 패턴 분류	C-2022-055448	(주)포디솔루션
4	확률분포 기법을 활용한 근미래 재현 자료 빈도 및 강도 분석	C-2023-056490	(주)포디솔루션



가까운 미래 예측시스템 구축을 위한 기반 기술개발

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	기상 기후 관측 데이터와 딥러닝을 이용한 근미래 지역별 월 강수량 예측 장치 및 기상 기후 관측 데이터와 딥러닝을 이용한 근미래 지역별 월 강수량 예측 방법	(주)위즈아이	2023.12.21.

소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	Input4MIPs 및 MODI 자료를 사용한 자료 처리 체계	C-2022-047128	(주)환경예측연구소
2	가까운 미래 예측을 위한 자료 생산체계	C-2023-053176	(주)환경예측연구소
3	가까운미래 월강수량 예측 프로그램	C-2023-063131	(주)위즈아이

기술이전

번호	기술이전 내용	이전기관	수요기관	기술이전일
1	가까운 미래 예측을 위한 자료 생산체계	(주)환경예측연구소	국립기상과학원	2023.11.21.



기후변화 대응 및 정보 생산·활용연구

2.1. 상세 기후변화정보 생산 및 불확실성 평가기술 개발



AR6 기반 상세 기후변화 정보 생산 기반기술 개발



논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Long-term evaluation of atmospheric composition reanalyses from CAMS, TCR-2, and MERRA-2 over South Korea: Insights into applications, implications, and limitations	Atmopheric Environment	Young-Hee Ryu	SCIE
2	Recent Decreasing Trends in Surface PM2.5 over East Asia in the Winter-Spring Season AsiaintheWinter-SpringSeason:DifferentResponsestoEmissionsandMeteorologybetween UpwindandDownwindRegions	Aerosol and Air Quality Research	Young-Hee Ryu	
3	Multi-model ensemble projections of extreme ocean wave heights over the Indianocean	Climate Dynamics	Sukhwinder Kaur	
4	COSMO-CLM regional climate simulations in the Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX) framework: a review	Geoscientific Model Development	Silje Lund Sørland	
5	On the anomalous development of the extremely intense positive ArcticOscillationofthe2019-2020winter	Environmental Research Letters	Ana Juzbasic	
6	Influence of Okhotsk Sea blocking on summer precipitation over South Korea	International Journal of Climatology	Chan-Yeong Song	
7	The Role of the Pacific-Japan Pattern in Extreme Heatwaves Over Korea and Japan	Geophysical Research Letters	EI Noh	
8	The impact of coupled air-sea interaction on extreme East AsiansummermonsoonsimulationinCMIP 5models	International Journal of Climatology	Taehyung Kim	
9	Impact of North Atlantic-East Asian teleconnections on extremely high JanuaryPM10casesinKorea	Environmental Pollution	Jeong-Hun Kim	
10	Changes in heat stress considering temperature, humidity, and wind over East Asia under RCP8.5 and SSP5-8.5 scenarios	International Journal of Climatology	Ana Juzbasic	
11	The roles of global warming and Arctic Oscillation in the winter 2020 extremes in East Asia	Environmental Research Letters	So-Hee Kim	
12	Interdecadal changes in the genesis activity of the first tropical cyclones over the western North Pacific from 1979 to 2016	Climate Dynamics	Yumi Cha	
13	Study on the classification and characteristics of cold surge in South Korea	International Journal of Climatology	Eung-Sup Kim	

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부	
14	Added value of high-resolution regional climate model in simulating precipitation based on the changes in kinetic energy	Geoscience Letters	Gayoung Kim	SCIE	
15	Improving Wet and Dry Deposition of Aerosols in WRF-Chem: Updates to Below-Cloud Scavenging and Coarse-Particle Dry Deposition	Journal of Advanced in Modeling Earth Systems	Young-Hee Ryu		
16	Contrasting roles of clouds as a sink and source of aerosols: A quantitative assessment using WRF-Chem over East Asia	Atmospheric Environment	Young-Hee Ryu		
17	Enhanced Role of Convection in Future Hourly Rainfall Extremes Over South Korea	Geophysical Research Letters	Donghyun Lee		
18	Interdecadal changes in the genesis activity of the first tropical cyclones over the western North Pacific from 1979 to 2016	Climate Dynamics	Yumi Cha		
19	Study on the classification and characteristics of cold surge in South Korea	International Journal of Climatology	Eungsup Kim		
20	Evaluation of multi-RCM ensembles for simulating spatiotemporal variability of Asian summer monsoon precipitation in the CORDEX-East Asia Phase 2 domain	International Journal of Climatology	Ga-Yeong Seo		
21	Future changes in extreme heatwaves in terms of intensity and duration over the CORDEX-East Asia Phase Two domain using multi-GCM and multi-RCM chains	Environmental Research Letters	Young-Hyun Kim		
22	Investigation of Added Value in Regional Climate Models for East Asian Storm Track Analysis	Journal of Geophysical Research: Atmosphere	Ui-Yong Byun		
23	고해상도 수치예측자료 생산을 위한 경도-역거리 제공법(GIDS) 기반의 공간 규모 상세화 기법 활용	Atmosphere. Korean Meteorological Society	양아련		비SCIE
24	지역기후모델들로 모의된 기온자료를 활용한 남한지역의 21세기 중반 기온변화전망	Journal of Climate Research	서명석		
25	이순신장군의 난중일기에 기록된 기상자료의 분석	Atmosphere. Korean Meteorological Society	서명석		
26	SNURCM을 이용한 CORDEX-동아시아 실험에서 동아시아 기온 모의에 대한 수평해상도의 영향	Journal of Climate Research	신석우		
27	알류산 저기압 강도가 한반도 한파 발생 과정에 미치는 영향	Journal of Climate Research	이영석		
28	우리나라에서 누적시간 및 극한 수준별 극한강수 특성의 최근 (1991~2020년) 현황 및 변화 경향	Journal of Climate Research	박인기		
29	한반도에서 상대습도의 시공간적 분포 특성 및 군집화	Journal of Climate Research	차소영		

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	RDT 및 수치모델을 활용한 집중호우 예측방법	공주대학교	2021.10.19.
2	역학모형 및 통계적 기법을 활용한 태풍의 동아시아 상륙빈도 예측 방법	공주대학교	2021.10.19.
3	역학적 수문모델과 고해상도 수치표고모델을 이용한 범람지역 진단 방법	공주대학교	2021.10.19.
4	장기기상 및 기후예측을 위한 전지구 접합 대순환 모형의 성분모형인 지면모형의 초기화 방법	공주대학교	2021.10.19.
5	전지구 대기 모델에서 대기-해양 상호작용을 고려한 해양 혼합층 물리과정 모델링 방법	공주대학교	2021.10.19.
6	지역기후모델을 이용한 기후데이터 모의 방법, 컴퓨터 프로그램 및 장치	울산과학기술원	2021.12.30.
7	강수 지도 내 강수 영역을 그룹화하기 위한 전자 장치 및 그 동작 방법	울산과학기술원	2022.12.14.

소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	GRIMs-RMP(그림스알엠피) 모델 수행을 위한 UKESM(유케이이이에스엠) 자료처리 프로그램	C-2020-044030	공주대학교 산학협력단
2	대역필터 기법을 사용한 GRIMs-RMP(그림스-알엠피) 자료 분석 프로그램	C-2020-047919	공주대학교 산학협력단
3	UKESM(유케이이이에스엠) 강제력 기반 RegCM4(레그씨엠4) 적분 실험 변수 추출 후처리 프로그램	C-2020-042577	울산과학기술원
4	RegCM4 적분 실험을 위한 UKESM LBC 전처리 프로그램	C-2020-042578	울산과학기술원
5	프리즘(MK-PRISM) 수행을 위한 관측자료 전처리 프로그램	C-2020-043284	공주대학교 산학협력단
6	종관기상관측 및 농촌진흥청 일사량 관측 자료를 이용한 품질 검사 프로그램	C-2020-047916	공주대학교 산학협력단
7	CMIP6(씨미6) 강제력을 이용한 WRF(워프) 실험 자료 NETCDF(넷씨디에프) 변환 후처리 프로그램	C-2021-046895	울산과학기술원
8	다중지역기후모델 자료를 이용한 동아시아 겨울 몬순 강도 분석 프로그램	C-2021-046663	울산과학기술원
9	AWS(방재기상관측소) 자료를 이용한 상대습도 자료 품질검사 프로그램	C-2021-052171	공주대학교 산학협력단
10	대기의 연직운동 진단을 위한 비단열 가열항 계산 프로그램	C-2021-051074	공주대학교 산학협력단
11	GRIMs-ROP(그림스-알오피) 재수행 프로그램	C-2021-051075	공주대학교 산학협력단
12	GRIMs-ROP(그림스-알오피) 수행을 위한 UKESM(유케이이이에스엠) 해양 자료 처리 프로그램	C-2022-046446	공주대학교 산학협력단
13	UKESM(유케이이이에스엠) 원자료를 WRF(워프) 입력자료로 변환하는 프로그램	C-2022-046447	공주대학교 산학협력단
14	품질 관리 인증을 위한 CORDEX(코덱스) 일간격 자료 변환 프로그램	C-2022-035834	울산과학기술원
15	UKESM(유케이이이에스엠) 강제력을 이용한 다중 지역기후모델과 재분석장 ERA5(에라5) 종관장 분석 프로그램	C-2022-035835	울산과학기술원


기술이전

번호	기술이전 내용	이전기관	수요기관	기술이전일
1	프로그램 실시권(RegCM4 적분 실험을 위한 UKESM LBC 전처리 프로그램)	울산과학기술원	연세대학교	2021.12.31.
2	UKESM(유케이이이에스엠) 강제력을 이용한 다중 지역 기후모델과 재분석장 ERA5(에라5) 종관장 분석 프로그램(C-2022-035835)	울산과학기술원	공주대학교	2022.11.16.
3	품질 관리 인증을 위한 CORDEX(코덱스) 일간격 자료 변환 프로그램(C-2022-035834)	울산과학기술원	공주대학교	2022.11.29.
4	RDT 및 수치모델을 활용한 집중호우 예측방법 (특허 출원번호: 10-2021-0139539)	공주대학교	울산과학기술원	2022.12.05.
5	역학적 수문모델과 고해상도 수치표고모델을 이용한 범람지역 진단 방법 (특허 출원번호: 10-2021-0139538)	공주대학교	울산과학기술원	2022.12.07.
6	GRIMs 지역기후모델을 이용한 SSP 시나리오 기반 동아시아 상세 기후변화 정보 산출자료 제공 및 국제 자료센터(ESFG) 자료 등록	공주대학교	국립기상과학원	2022.12.19.
7	CCLM 지역기후모델을 이용한 SSP 시나리오 기반 동아시아 상세 기후변화 정보 산출자료 제공 및 국제 자료센터(ESGF) 자료 등록	포항공과대학교	국립기상과학원	2022.12.26.
8	RegCM지역기후모델을 이용한 SSP 시나리오 기반 동아시아 상세 기후변화 정보 산출자료 제공 및 국제 자료센터(ESFG) 자료 등록	울산과학기술원	국립기상과학원	2022.12.27.



AR6 시나리오를 활용한 해양기후 변화 정보 생산기술 개발

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Inter-Basin Interaction Between Variability in the South Atlantic Ocean and the El Niño/Southern Oscillation	Geophysical Research Letters	Yoo-Geun Ham	SCIE
2	Future changes in the seasonal habitat suitability for anchovy (<i>Engraulis japonicus</i>) in Korean waters projected by a maximum entropy model	Frontiers in Marine Science	Bang, Min kyung	
3	Destination of New Guinea Coastal Undercurrent in the western tropical Pacific: Variability and linkages	Frontiers in Marine Science	Fuad Azminuddin	
4	Improvement of the Ocean Mixed via Large-Eddy Simulation and Inverse Estimation	Journal of Atmospheric and Oceanic Technology	Yeonju Choi	
5	Assessment of thermocline depth bias in the Seychelles-Chagos Thermocline Ridge of the Southwestern Indian Ocean simulated by the CMIP6 models	Frontiers in Marine Science	Mubarrok, Saat	
6	More than unfamiliar environmental connection to super typhoon climatology	Scientific Reports	Kang, Namyung	
7	Narrowing region for tropical convections in the western North Pacific	Scientific Reports	Yun, Sanghyeon	
8	Taylor expansion of the correlation metric for an individual forecast evaluation and its application to East Asian sub-seasonal forecasts	Climate Dynamics	Seol-Hee Oh	
9	Enhanced joint impact of western hemispheric precursors increases extreme El Niño frequency under greenhouse warming	Nature Communications	Hyun-Su Jo	
10	North Atlantic Oscillation impact on the Atlantic Meridional Overturning Circulation shaped by the mean state	npj climate and atmospheric science	Hyo-Jeong Kim	

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	미래 해양 기후변화 시뮬레이션용 해양순환모델 운용시스템 및 운용방법	연세대학교	2023.10.27.
2	기후변화의 영향을 고려한 풍파의 기후학적 특성 예측 시스템 및 그 방법	고려대학교	2024.02.29.
3	해양열파 모사 성능 평가 시스템 및 평가 방법	한국해양과학기술원	2024.05.14

 소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	국립수산과학원 혼합층 계산 프로그램	C-2022-047739	한국해양과학기술원
2	HYCOM(하이컴)과 GLORYS(글로리스) 해양재분석자료 열수지 자동 계산 스크립트	C-2023-060157	한국해양과학기술원
3	ROMS(람스) 모형 Z(제트)-좌표계 변환 스크립트	C-2023-060520	한국해양과학기술원
4	CMIP6(씨믹6) 표층 시계열 추출 프로그램	C-2023-060165	한국해양과학기술원

 기술이전

번호	기술이전 내용	이전기관	수요기관	기술이전일
1	MITgcm 지역 해양순환 모델을 이용한 SSP시나리오 기반의 한반도 주변 해역에 대한 상세 해양기후변화 정보 산출 및 기상청 기후정보포털 자료 등록	연세대학교	국립기상과학원	2023.12.15.



기후변화 감시, 대응, 평가를 위한 기후자료 영향 분석기술 개발

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Added value of high-resolution climate projections over South	Environmental Research Letters	Liyong Qiu	SCIE
2	What determines future changes in photovoltaic potential over East Asia?	Renewable Energy	Changyong Park	
3	Future changes in heat wave characteristics and their impacts on the electricity demand in South Korea	Weather and Climate Extremes	Yujin Kim	
4	Inter-Model Differences in Future Summer Onset Over the Northern High Latitudes	Geophysical Research Letters	Bo-Joung Park	
5	Spatiotemporal extension of extreme heat stress over East Asia under shared socioeconomic pathways	Weather and Climate Extremes	Yujin Kim	
6	Direct and indirect application of univariate and multivariate bias corrections on heat-stress indices based on multiple regional-climate-model simulations	Earth System Dynamics	Liyong Qiu	
7	Application of synoptic patterns to the definition of seasons in the Republic of Korea	International Journal of Climatology	권재일	
8	Uncertainty assessment of future climate change using bias-corrected high-resolution multi-regional climate model datasets over East Asia	Climate Dynamics	Changyong Park	
9	우리나라 여름철 극한강수량의 최근 레짐이동과 그에 따른 종관특성 변화에 관한 연구	대한지리학회지	강권민	비SCIE
10	신평년값(1991~2020년)을 이용한 우리나라 기후형 구분과 특성에 관한 연구	기후연구	강권민	
11	신평년(1991~2020년)에 기반한 우리나라 최근 기후특성과 변화에 관한 연구	한국기상학회	최홍준	

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	지리적 특성을 고려한 기상관측지점의 분류 장치 및 방법	건국대학교 산학협력단	2022.11.30.
2	지역규모에서 발생하는 극한 열스트레스의 극한성 정량화 방법	포항공과대학교 산학협력단	2023.08.31.
3	종관패턴 분류를 적용한 계절 분석 장치 및 방법	건국대학교 산학협력단	2023.02.03.
4	열 스트레스 지수를 이용한 최대 전력 수요 예측 시스템 및 그 방법	포항공과대학교 산학협력단	2023.11.21.
5	SSP(shared socioeconomic pathways) 시나리오 기반 고해상도 다중지역기후모델에 편의보정 기법 적용을 통한 미래 극한강수변화 정보 산출의 정확도를 높이는 전자 장치 및 동작 방법	울산과학기술원	2023.12.26.
6	SSP(shared socioeconomic pathways) 시나리오 기반 고해상도 다중지역기후모델에 편의보정 기법 적용을 통한 미래 극한강수변화 정보의 불확실성 요인을 표출하는 전자 장치 및 동작 방법	울산과학기술원	2023.12.26.



탄소중립 기후변화 메커니즘 및 온실가스 영향 탐지·진단기술 개발

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	East Asian heatwaves driven by Arctic-Siberian warming	Scientific Reports	Jeong-Hun Kim	SCIE
2	The parametric hurricane rainfall model with moisture and its application to climate change projections	NPJ CLIMATE AND ATMOSPHERIC SCIENCE	Dasol Kim	
3	Hysteresis behaviors in East Asian extreme precipitation frequency to CO2 pathway	GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS	Seo-Young Jo	
4	Spatial Variations in Tropical Cyclone Rainfall over the Western North Pacific According to ENSO Phase	Journal of Climate	Dasol Kim	
5	Convection-permitting simulations reveal expanded rainfall extremes of tropical cyclones affecting South Korea due to anthropogenic warming	npj climate and atmospheric science	Minkyu Lee	
6	체계 변위 전후 기간 동안 우리나라 1월 평균기온 변화의 원인	기후연구	남소현	비SCIE

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	습도를 반영한 태풍 강우 모수화 모델을 이용한 태풍 강우 분포 예측 시스템 및 방법	경북대학교 산학협력단	2023.03.31.
2	해수면 온도의 인위적 강제력 크기 추정 방법 및 장치	포항공과대학교 산학협력단	2023.10.11.
3	기후 변화의 원인에 따른 패턴 변화 분석 방법 및 장치	공주대학교 산학협력단	2023.11.23.

2.2. 기후변화감시 등을 통한 영향분석기술 개발



WMO IG³IS 이행사업

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Traces of urban forest in temperature and CO2 signals in monsoon East Asia	Atmospheric Chemistry and Physics	Lee, K	SCIE
2	Harmonized gap-filled dataset from 20 urban flux tower sites	Earth System Science Data	Lipson, M	
3	Turbulence behaviors underlying the sensible heat and water vapor flux dissimilarity in a stably stratified flow	Environmental Fluid Mechanics	Xiaofeng Guo	
4	Height correction method based on the Monin-Obukhov similarity theory for better prediction of near-surface wind fields	Atmospheric Research	Junhong Lee	

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일	등록일
1	대기모형 예보 기반 풍력 발전량 예측 장치 및 방법	연세대학교 산학협력단	2021.05.25.	-
2	위성데이터 결측값 추정 및 시스템	심창섭, 한국환경연구원	2023.03.31.	2023.12.22.

소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	WRF-Chem(워프캠) CO2(이산화탄소) 모의를 위한 mozbc(모즈비씨) 기반 CarbonTracker(카본트래커) 초기/경계조건 자료 생성 프로그램	C-2022-023774	연세대학교 산학협력단
2	격자기반의 전 지구 온실가스 인벤토리 자료 내 특정 지역 데이터 추출 및 표출 프로그램	C-2023-063446	한국환경연구원
3	대기화학-수송모델(GEOS-chem)을 활용한 메탄 농도 모의 실험 결과 분석 및 표출 프로그램	C-2023-058794	한국환경연구원

기술이전

번호	기술이전 내용	이전기관	수요기관	기술이전일
1	WRF-Chem/DART를 활용한 하향식 온실가스(이산화탄소, 메탄) 배출량 산출 시스템	연세대학교	국립기상과학원	2023.11.01.



온실가스 동위원소 유출입 감시를 위한 연속추적 기술개발

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일	등록일
1	레이저 주파수 스윙 시스템 및 이의 동작 방법	한국표준과학연구원	2022.05.04.	2024.03.06.
2	임의의 지역 해수면 온도 보정 장치와 이를 이용한 온도 보정 방법	한국표준과학연구원	2022.05.04.	-
3	장기간 연속적인 비율형 토지피복지도 산출방법, 이를 이용한 토지피복 변화 분석방법 및 기후변화 분석방법	한국표준과학연구원	2021.09.13.	-

기술이전

번호	기술이전 내용	이전기관	수요기관	기술이전일
1	배경대기 조성의 이산화탄소 동위원소비 표준물질	한국표준과학연구원	국립기상과학원	2023.11.01.
2	이산화탄소 동위원소비 측정용 CRDS 장비 성능평가	한국표준과학연구원	국립기상과학원	2023.11.01.
3	배경대기 조성의 메탄 동위원소비 표준물질	한국표준과학연구원	국립기상과학원	2023.11.01.



배경대기 농도수준 할로겐화 온실가스 연속 측정기술 개발

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	극미량 온실가스 고속 측정을 위한 탈부착 트랩 장치	한국표준과학연구원	2022.11.25.
2	PZT 구조체 및 이를 포함하는 전광섬유 펄스초 레이저 장치	한국표준과학연구원	2023.09.25.



모바일 관측장비를 이용한 고품질 온실가스 관측자료 생산연구

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Comprehensive analysis of refrigerant R134a: Implications for estimating and managing greenhouse gas emissions	International Journal of Refrigeration	김상우	SCIE

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	온실기체 전량 농도 측정 방법 및 상기 방법을 수행하는 컴퓨팅 장치	이화여자대학교 산학협력단	2023.11.28.

소프트웨어

번호	저작권명	등록번호	등록기관
1	이동형 태양 관측용 적외 푸리에 변환 센서의 온실가스 산출 알고리즘	C-2023-044379	이화여자대학교 산학협력단



전대기층 이산화탄소 감지 소자 기술 및 데이터 시각화 플랫폼 개발

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	Non-contact, low-cost regional greenhouse gases detection via 3D laminated graphene-based photoelectric construct	Carbon	Young Suk Oh	SCIE

특허

번호	지식재산권 등 명칭	출원기관	출원일
1	CARBON-BASED OPTICAL SENSOR ELEMENT FOR MEASURING GREENHOUSE GAS CONCENTRATION	국립기상과학원	2022.04.13.
2	CARBON-BASED OPTICAL SENSOR ELEMENT FOR MEASURING GREENHOUSE GAS CONCENTRATION	국립기상과학원	2022.04.19.
3	溫室効果ガス濃度測定のための光センサ用炭素系素子	국립기상과학원	2022.04.19.
4	이산화탄소 및 일산화탄소 농도 측정을 위한 광전 특성을 갖는 유연한 박막 가스센서	한국생산기술연구원	2022.11.28



조선시대 강수기록 종합복원·분석을 통한 한반도 장기기후변동 예측

논문

번호	논문명	학술지명	주저자명	SCIE 여부
1	조선후기 기우제 등록의 수표(청계천, 한강) 기상기록 연구	한국학	김일권	비SCIE
2	승정원일기와 일성록의 조선후기 측우기록 분석 및 한양우량표 (1770-1907)와 서울 250년간 우량표 개발 연구	탐라문화	김일권	

2023년도

기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발 사업 성과분석보고서

발행일 2024년 7월

발행처 기상청, 한국기상산업기술원

집필진 기후과학국, 국립기상과학원, 한국기상산업기술원

주소 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189 정부대전청사 1동
기상청 기후과학국 기후정책과

(03735) 서울특별시 서대문구 통일로 135, 총정빌딩 13층
한국기상산업기술원 기술혁신본부 R&D사업실

※ PDF 파일은 기후자료개방포털(climate.go.kr)에서 다운받으실 수 있습니다.