

# 2024년 한국지구과학회 60주년 기념 추계학술발표회 일정표

지구와 함께 걸어온 60년, 함께 나아갈 100년

● 10월 11일 (금요일)

시간		세부 일정					
08:30	-	09:00	등록 및 포스터 부착				
09:00	-	10:20	학술발표 OS1 (해양) 컨벤션B	학술발표 ES1 (교육) 109호	학술발표 AT1 (대기) 406호	학술발표 GH1, GL1 (지구유산, 지질) 303호	학술발표 AS1 (천문) 컨벤션A
10:20	-	10:30	휴식				
10:30	-	11:50	학술발표 OS2 (해양) 컨벤션B	학술발표 ES2 (교육) 109호	학술발표 AT2 (대기) 406호	학술발표 GP1 (지구물리) 302호	X
11:50	-	13:00	점심 식사 (컨벤션A) 평의원 회의 (12:50 - 13:10, 컨벤션B)				
13:00	-	13:30	개회식 (컨벤션B) 개회사 ▶ 박경애 한국지구과학회 회장 축사 ▶ 유홍림 서울대 총장 축사 ▶ 임병택 경기도 시흥시장 축사 ▶ 조정식 국회의원 (경기 시흥시 을) 축사 ▶ 김영석 한국지구과학연합회(KGU) 회장 축사 ▶ 한건연 물학술단체연합회 회장 (경북대 명예교수) 축사 ▶ 한국지구과학회 역대 회장단 정기총회 및 시상식 (공로상, 학술상) / 기념 촬영				
13:30	-	14:00	초청 강연	I. Recent Advances in AI Oceanography ▶ Prof. Xiaofeng Li (Chinese Academy of Science)			
14:00	-	14:30		II. Compound Drought-Heatwaves and Changes in Land-Atmosphere Interaction ▶ 하경자 교수 (부산대학교)			
14:30	-	15:00		III. 기후변화와 해양순환: 바다의 역할 ▶ 조양기 교수 (서울대학교)			
15:00	-	15:10	휴식				
15:10	-	16:10	학술발표 OS3 (해양) 컨벤션B	[특별세션 1] 해양기후 현재와 미래전망 109호	학술발표 AT3/EE1 (대기/지구환경) 406호	학술발표 GP1 (지구물리) 303호	학술발표 AS2 (천문) 302호
16:10	-	16:20	휴식				
16:20	-	17:20	학술발표 OS4 (해양) 컨벤션B	[특별세션 2] 해양기후 현재와 미래전망 109호	학술발표 EE2 (지구환경) 406호	학술발표 ES3 (교육) 303호 [특별세션 3] KESO 자문위원회 303호	[특별세션 4] 해양정보 가시화의 현재와 미래 302호
17:20	-	17:50	포스터 및 고등학생 탐구 논문 발표				
17:50	-	18:00	고등학생 탐구 논문 시상식 (컨벤션B)				
18:10	-	20:30	한국지구과학회 60주년 기념행사 및 간담회 PART I. 기념 공연 PART II. 경품행사 (컨벤션A)				

● 10월 12일 (토요일) 2024년 한국지구과학회 60주년 기념 한국지구과학올림피아드 홍보 워크숍

시간		세부 일정		
09:00	-	09:10 개회사 ▶ 이효녕 한국지구과학올림피아드 위원장 축사 ▶ 박경애 한국지구과학회 회장		
09:10	-	09:30 한국지구과학올림피아드 사업 소개 이효녕		
09:30	-	11:50 워크숍 소개: 디지털 지구와 데이터 리터러시 박경애 한국지구과학회 회장		
			워크숍 A	워크숍 B
			- GUI 프로그램 기반 태풍 경로 시각화 - GUI 프로그램 기반 태풍 풍속 시각화  강사: 임채영 (서울대학교 지구과학교육과)	- Earth Nullschool 기반 태풍시기 환경 변화 탐구 - 온라인 협업 도구를 활용한 태풍 시각화  강사: 김수란 (서울대학교 지구과학교육과)
12:00	-	12:30 질의 응답 폐회		

- ▶ 발표장 1 : 컨벤션센터 2층 B
- ▶ 발표장 2 : 컨벤션센터 1층 109호
- ▶ 발표장 3 : 컨벤션센터 3층 302호
- ▶ 발표장 4 : 컨벤션센터 3층 303호
- ▶ 발표장 5 : 컨벤션센터 2층 C
- ▶ 포스터 : 컨벤션센터 2층 로비
- ▶ 부 스 : 컨벤션센터 2층 로비
- ▶ 점심식사 : 컨벤션센터 2층 A
- ▶ 저녁식사 : 컨벤션센터 2층 A

[12일 장소]

- ▶ 컨벤션센터 1층 109호

## 초 청 강 연

● ————— 10월 11일(금) 13:30-14:00

● ————— 컨벤션B: 좌장 임형래 (부산대학교)

- 1) 13:30-14:00 **Recent Advances in AI Oceanography**..... i  
Prof. Xiaofeng Li (Chines Academy of Science)
- 2) 14:00-14:30 **Compound Drought-Heatwaves and Changes in Land-Atmosphere Interaction**..... xxvii  
하경자 교수 (부산대학교)
- 3) 14:30-15:00 **기후변화와 해양순환: 바다의 역할**..... xxxix  
조양기 교수 (서울대학교)

## 학술발표 OS1 (해양)

● ————— 10월 11일(금) 09:00-10:20

● ————— 컨벤션B: 좌장 이민선 (국립수산과학원)

- 1) 09:00-09:20 **Analyzing Variability of Mesoscale Eddies in the Northwest Pacific Using Satellite-derived Surface Current Fields** ..... 1  
김희영<sup>\*1</sup>, 박경애<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과, <sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과/해양연구소)
- 2) 09:20-09:40 **First Enhancing satellite remote sensing of water quality in Chesapeake Bay tributaries through public participation** ..... 2  
Min-Sun Lee<sup>\*1,2</sup>, Maria Tzortziou<sup>2</sup>, Jieun Park<sup>2</sup>, Tong Lin<sup>2</sup>, Patrick Neal<sup>3</sup>, Shelby Brown<sup>3</sup>, Alison Cawood<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>National Institute of Fisheries Science, <sup>2</sup>City University of New York, <sup>3</sup>Smithsonian Environmental Science Center)
- 3) 09:40-10:00 **Detection of hourly-varying chlorophyll-a fronts from unprecedented high-resolution geostationary ocean color satellite (GK2B/GOCI-II)** ..... 3  
Hye-Jin Woo<sup>\*1</sup>, Kyung-Ae Park<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과, <sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과/교육종합연구원)
- 4) 10:00-10:20 **해상풍 예측 결과의 다중모델 앙상블 기법 적용 기반 연구** ..... 4  
김도연<sup>\*1,2</sup>, 서미루<sup>2</sup>, 허장무<sup>2</sup>, 장유순<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>공주대학교 지구과학교육과, <sup>2</sup>(주)아라종합기술)

## 학술발표 OS2 (해양)

● ————— 10월 11일(금) 10:30-11:50

● ————— 컨벤션B: 좌장 김태균 (제주대학교)

- 1) 10:30-10:50 **Paradoxical behavior of the Pacific sector of the Southern Ocean in a new regime of low Antarctic sea ice** ..... 5  
Taekyun Kim<sup>1\*</sup>, Daehyuk Kim<sup>2</sup>, Sung-Ho Choo<sup>1</sup>, Jae-Hong Moon<sup>1,2</sup>, Emilia Kyung Jin<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University, <sup>2</sup>Center for Sea Level Changes, Jeju National University, <sup>3</sup>Department of Policy and Partnership, Korea Polar Research Institute)
- 2) 10:50-11:10 **정선 해양 관측 자료를 이용한 관측망 시뮬레이션 응용 연구** ..... 6  
이재호<sup>1</sup>, 장유순<sup>2\*</sup>, 김용선<sup>1</sup> (<sup>1</sup>한국해양과학기술원, <sup>1</sup>공주대학교 지구과학교육과)
- 3) 11:10-11:30 **2010년대 중반 남극 해빙의 급감 이후 남극 태평양 섹터 해역 특성 변화** ..... 7  
김대혁<sup>1</sup>, 김태균<sup>2</sup>, 추성호<sup>2</sup>, 문재홍<sup>2</sup>, 진경<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>제주대학교 해수면 변동연구 센터, <sup>2</sup>제주대학교, <sup>3</sup>극지연구소)
- 4) 11:30-11:50 **How does the Dense Shelf Water response to Large-scale Atmospheric Variability in Ross Sea?** ..... 8  
Sung-Ho Choo<sup>\*1</sup>, Taekyun Kim<sup>1</sup>, Daehyuk Kim<sup>2</sup>, Jae-Hong Moon<sup>1,2</sup>, Emilia Kyung Jin<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>Department of Earth and Marine Science, Jeju National University, <sup>2</sup>Center for Sea-Level Changes, Jeju National University, <sup>3</sup>Department of Policy and Partnership, Korea Polar Research Institute)

## 학술발표 OS3 (해양)

● ————— 10월 11일(금) 15:10-16:10

● ————— 컨벤션B: 좌장 장유순 (공주대학교)

- 1) 15:10-15:30 **CMIP6 지구시스템모형이 모사한 쿠로시오 확장역 해양열파 세기 평가** ..... 9  
최원근<sup>\*1,2</sup>, 정희석<sup>1</sup>, Zhenya Song<sup>3</sup>, 장찬주<sup>1,2</sup>  
(<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양순환기후연구부, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 해양과학과  
<sup>3</sup>제1해양연구소 자연자원부)
- 2) 15:30-15:50 **Resilient consumers accelerate the plant decomposition in a naturally acidified seagrass ecosystem** ..... 10  
Juhyung Lee<sup>\*1,2</sup>, Maria Cristina Gambi<sup>3</sup>, Kristy J. Kroeker<sup>4</sup>, Marco Munari<sup>5</sup>,  
Kabir Peay<sup>2</sup>, Fiorenza Micheli<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>Pusan National University, <sup>2</sup>Stanford University, <sup>3</sup>National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, <sup>4</sup>University of California, Santa Cruz,  
<sup>5</sup>Stazione Zoologica Anton Dohrn)
- 3) 15:50-16:10 **최근 3년(2022-24) 연속된 기록적 남극 해빙 감소의 시·공간적 분포 특징** ..... 11

고지연\*<sup>1</sup>, 문재홍<sup>1,2,3</sup>, 김태균<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>제주대학교, 지구해양융합학부 지구해양전공, <sup>2</sup>제주대학교, 지구해양학과, <sup>3</sup>제주대학교, 해수면  
변동연구센터)

**학술발표 OS4 (해양)**

● 10월 11일(금) 16:20-17:20

● 컨벤션B: 좌장 김성훈 (한국해양과학기술원)

- 1) 16:20-16:40 **Optimizing Drag Coefficients for Enhanced Prediction of Rapid Intensification in Tropical Cyclones Using Net Energy Gain Rate** ..... 12  
Sung-Hun Kim<sup>1</sup>, Woojeong Lee<sup>2</sup>, Seonghee Won<sup>2</sup>, Hyoun Woo Kang<sup>1</sup>, Kyeong Ok Kim<sup>1</sup>, Sok Kuh Kang<sup>3</sup> (<sup>1</sup>한국해양과학기술원, <sup>2</sup>국가태풍센터, <sup>3</sup>서울대학교)
- 2) 16:40-17:00 **후쿠시마 사고 후 북서태평양 아열대 아표층에서 관측된 137Cs의 기원 및 경로** ..... 14  
김해진<sup>1</sup>, 김경옥<sup>1\*</sup>, 정경태<sup>2</sup> (<sup>1</sup>한국해양과학기술원, <sup>2</sup>(주)오서닉)
- 3) 17:00-17:20 **2005년 이후 남빙양 열용량 증가에 대한 남태평양 아남극모드수의 역할** ..... 15  
조성현\*<sup>1</sup>, 문재홍<sup>1,2,3</sup>  
(<sup>1</sup>제주대학교, 지구해양융합학부 지구해양전공, <sup>2</sup>제주대학교, 지구해양학과  
<sup>3</sup>제주대학교, 해수면변동연구센터)

**학술발표 ES1 (교육)**

● 10월 11일(금) 09:00-10:20

● 109호: 좌장 최윤성 (부산대학교)

- 1) 09:00-09:20 **SAQ(Socially Acute Questions) 교육에서의 '자기환경화' 전략 활용 가능성 탐색** ..... 16  
이지희\*<sup>1</sup>, 신동희<sup>2</sup> (<sup>1</sup>해저드 리더리시 융합교육 연구소, <sup>2</sup>이화여자대학교 과학교육과)
- 2) 09:20-09:40 **생성형 인공지능을 활용한 지구과학 모의수업의 실천적 특성 분석** ..... 17  
최윤성\* (부산대학교 지구과학교육과 강사)
- 3) 09:40-10:00 **Chat GPT를 활용한 석유 매장 가능성 수업에서 학생들의 추론** ..... 18  
문소영\*<sup>1</sup>, 김정찬<sup>2</sup>, 신동희<sup>1</sup> (<sup>1</sup>이화여자대학교, <sup>2</sup>한국지질자원연구원)
- 4) 10:00-10:20 **편광현미경 사진 기반 암석 분류 머신러닝 교육프로그램 개발 및 적용에서 나타난 고등학생과 AI의 성취 비교** ..... 19  
정수임\*<sup>1</sup>, 김정찬<sup>2</sup>, 신동희\*<sup>3</sup> (<sup>1</sup>은행고등학교, <sup>2</sup>한국지질자원연구원, <sup>3</sup>이화여자대학교)

학술발표 ES2 (교육)

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 10:30-11:50
- \_\_\_\_\_ 109호: 좌장 박영신 (조선대학교)
- 1) 10:30-10:50 **고등학교 과학 수업에서 ‘대한민국 지질여행 전자책’ 활용 방안 탐색**..... 20  
 송치성<sup>1</sup>, 박정웅<sup>2</sup>, 박창용<sup>3</sup>, 고병천<sup>4</sup>  
 (<sup>1</sup>염광고등학교, <sup>2</sup>전 송문고등학교, <sup>3</sup>이화여자고등학교, <sup>4</sup>국가지질공원 사무국)
- 2) 10:50-11:10 **국가지질공원 전자책을 활용한 중학교 과학 수업**..... 21  
 심해구<sup>1</sup>, 박정웅<sup>2</sup>, 고병천<sup>3</sup>  
 (<sup>1</sup>거원중학교(gerery@sen.go.kr), <sup>2</sup>전 송문고등학교, <sup>3</sup>국가지질공원 사무국)
- 3) 11:10-11:30 **기후변화교육에서의 위험교육** ..... 22  
 박영신<sup>\*1</sup>, 김서현<sup>\*1</sup>, 이현주<sup>2</sup>, 이현옥<sup>3</sup>, 문공주<sup>4</sup>, 황요한<sup>5</sup>  
 (<sup>1</sup>조선대학교, <sup>2</sup>이화여자대학교, <sup>3</sup>강원대학교, <sup>4</sup>동덕여자대학교, <sup>5</sup>서울여자대학교)
- 4) 11:30-11:50 **환경·지속가능발전 교육을 위한 협업 네트워크 모델 탐색** ..... 23  
 박병열\*, 오현정, 김서현, 손연아 (단국대학교)

학술발표 ES3 (교육)

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 16:20-17:00
- \_\_\_\_\_ 303호: 좌장 유은정 (한국교육과정평가원)
- 1) 16:20-16:40 **생태전환교육에 대한 과학교사의 관점: 생태전환을 꿈꾸는 교사들의 이야기** ..... 24  
 유금복, 유은정 (한국교육과정평가원)
- 2) 16:40-17:00 **‘센스메이킹’의 관점에 따른 초등학교 3학년 ‘지구의 모습’ 수업 분석** ..... 25  
 김동석<sup>\*1</sup>, 오피석<sup>2</sup> (<sup>1</sup>행정초등학교, <sup>2</sup>경인교육대학교)

학술발표 AT1 (대기)

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 09:00-10:20
- \_\_\_\_\_ 406호: 좌장 위지은 (전북대학교)
- 1) 09:00-09:20 **2013-2019년 동아시아 대륙의 온난화와 중국 동부-황해-한국 지역의 여름철 강수 변동에 대한 관련성 분석** ..... 27  
 조재희<sup>1</sup>, 이미레<sup>2</sup>, 김학성<sup>\*2</sup>  
 (<sup>1</sup>국립공주대학교 환경교육과, <sup>2</sup>한국교원대학교 지구과학교육과)
- 2) 09:20-09:40 **동아시아 봄철 예측성 향상을 위한 기후예측시스템(GloSea6)내 대기화학-에어로졸**

과정 연동 모의 및 모의 성능 평가 ..... 28  
 송형규<sup>1\*</sup>, 윤대옥<sup>1</sup> (<sup>1</sup>충북대학교 지구과학교육과)

3) 09:40-10:00 환경위성영상 활용 도구(GEMSAT) 소개 ..... 29  
 김병길<sup>1</sup>, 안창진<sup>1</sup>, 유정아<sup>2</sup>, 김상민<sup>2</sup>  
 (<sup>1</sup>문소프트(주), <sup>2</sup>국립환경과학원 환경위성센터)

4) 10:00-10:20 GloSea5 모델의 수온과 염분의 단기 예측 성능 평가 ..... 30  
 위지은<sup>1</sup>, 변재영<sup>2</sup>, 문병권<sup>1</sup>  
 (<sup>1</sup>전북대학교 과학교육학부/융합과학연구소, <sup>2</sup>국립기상과학원 예보연구부)

**학술발표 AT2 (대기)**

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 10:30-11:50
- \_\_\_\_\_ 406호: 좌장 윤대옥 (충북대학교)

1) 10:30-10:50 여름철과 가을철 북서태평양 중위도 영향 열대저기압 활동 특성 비교 ..... 31  
 박두선<sup>1,2,3</sup>, 허정화<sup>3</sup>, 김다솔<sup>4</sup>, 차동현<sup>5</sup>, 변영화<sup>6</sup>  
 (<sup>1</sup>경북대학교 지구과학교육과, <sup>2</sup>경북대학교 대기과학과 BK21 위험기상 교육연구팀  
<sup>3</sup>경북대학교 대기원격탐사연구소, <sup>4</sup>서울과학기술대학교 환경공학과  
<sup>5</sup>울산과학기술원 지구환경도시건설공학과, <sup>6</sup>국립기상과학원 기후변화예측연구팀)

2) 10:50-11:10 UKESM-TOPAZ의 극지 한랭 편차의 원인 및 개선 방안 ..... 32  
 윤세민<sup>1</sup>, 위지은<sup>1</sup>, 이효미<sup>2</sup>, 성현민<sup>2</sup>, 장필훈<sup>2</sup>, 변영화<sup>2</sup>, 문병권<sup>1</sup>  
 (<sup>1</sup>전북대학교 과학교육학부, <sup>2</sup>국립기상과학원 기후변화예측연구팀)

3) 11:10-11:30 Multi-Scale Infrastructure for Chemistry and Aerosols (MUSICA)를 통한 대한  
 민국에서의 대기질 모의와 해상도에 따른 모의 결과 분석 ..... 33  
 조두성<sup>1</sup>, Louisa K. Emmons, Patrick Callaghan, Simone Tilmes, Jung-Hun Woo,  
 Younha Kim, Jinseok Kim, Claire Granier, Antonin Soulié, Thierno Doumbia, Sabine  
 Darras, Rebecca R. Buchholz, Isobel J. Simpson, Donald R. Blake, Armin Wisthaler,  
 Jason R. Schroeder, Alan Fried, Yugo Kanaya  
 (<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과)

4) 11:30-11:50 대기화학 과정에 따른 1982-2010년 전지구시스템모델(UKESM) CMIP6 수치모의 및  
 모델 기상장 특성 분석 ..... 34  
 윤대옥<sup>1\*</sup>, 송형규<sup>1</sup> (<sup>1</sup>충북대학교 지구과학교육과)

**학술발표 AT3 (대기) / EE1 (지구환경)**

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 15:10-16:10
- \_\_\_\_\_ 406호: 좌장 박두선 (경북대학교)

1) 15:10-15:30 대기환경측정망 PM2.5 자료의 공간분해를 통한 국내 미세먼지 저감정책 평가 ... 35

서지훈<sup>1</sup>, 이아름<sup>1</sup>, 박두선<sup>2</sup>, 윤대옥<sup>3</sup>, 김경환<sup>1</sup>, 박창익<sup>1</sup>, 김진영<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>한국과학기술연구원 기후·환경연구소, <sup>2</sup>경북대학교 지구과학교육과  
<sup>3</sup>충북대학교 지구과학교육과)

2) 15:30-15:50 **인산염의 경쟁효과를 고려하여 벼(Oryza sativa L.)에 대한 비소의 독성을 예측하기 위한 종간외삽법의 적용** ..... 36

윤상규<sup>1</sup>, 안진성<sup>1,2\*</sup>  
(<sup>1</sup>한양대학교 ERICA 스마트시티공학과, <sup>2</sup>한양대학교 ERICA 건설환경공학과)

3) 15:50-16:10 **광학 위성영상을 이용한 해양 부유 쓰레기 탐지** ..... 37

박영제<sup>1</sup>, 김광석<sup>2</sup>, 한희정<sup>2</sup> (<sup>1</sup>텔레픽스주식회사, <sup>2</sup>한국해양과학기술원)

**학술발표 EE2 (지구환경)**

● ..... 10월 11일(금) 16:20-17:20

● ..... 406호: 좌장 홍성욱 (세종대학교)

1) 16:20-16:40 **적대적 신경망 딥러닝 기술을 활용한 정지궤도 환경 위성 오존 전량 데이터의 초단기 예측** ..... 38

오성택<sup>1</sup>, 박정은<sup>1</sup>, 정재훈<sup>2</sup>, 홍성욱<sup>3\*</sup> (<sup>1</sup>세종대학교 환경에너지융합학과, <sup>2</sup>국립환경과학원 환경위성센터, <sup>3\*</sup>세종대학교 환경에너지융합학과)

2) 16:40-17:00 **GOCI-II, AMI의 관측 반사도 자료와 CALIPSO의 구름 산출물을 활용한 동아시아 영역 구름 탐지 알고리즘** ..... 39

최윤정<sup>1</sup>, 한희정<sup>2</sup>, 홍성욱<sup>3\*</sup> (<sup>1</sup>세종대학교 환경에너지융합학과, <sup>2</sup>한국해양과학기술원 해양위성센터, <sup>3\*</sup>세종대학교 환경에너지융합학과)

3) 17:00-17:20 **InSAR 기법을 이용한 연약지반 지반침하 관측 연구** ..... 40

이슬기<sup>1</sup>, Muhammad Fulki Fadhillah<sup>2</sup>, 이창욱<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>강원대학교 스마트지역혁신학과(sk\_lee@kangwon.ac.kr), <sup>2</sup>강원대학교 과학교육학부)

**학술발표 GH1 (지구유산) / GL1 (지질)**

● ..... 10월 11일(금) 09:00-10:20

● ..... 303호: 좌장 신승원 (대구대학교)

1) 09:00-09:20 **캐나다 Kingston의 선캄브리아 시대-캄브리아기 경계 대부정합** ..... 42  
박정웅 (geoexplorer@hanmail.net)

2) 09:20-09:40 **InSAR 기법을 이용한 지표 변위 관측-2024년 아이슬란드 화산 분화를 중심으로** ..... 43

김봉찬<sup>1</sup>, Arief Rizqiyanto Achmad<sup>1</sup>, 이슬기<sup>2</sup>, 이창욱<sup>3</sup> (<sup>1</sup>강원대학교 과학교육학과, <sup>2</sup>강원대학교 스마트지역혁신학부, <sup>3</sup>강원대학교 과학교육학부)

- 3) 09:40-10:00 **한강 하류 일대의 퇴적환경 복원과 수도 입지와와의 관계** ..... 46  
신승원 (대구대학교 지구과학교육과)
- 4) 10:00-10:20 **경기육괴 북서부에 분포하는 석류석+십자석+남정석 운모편암의 변성 압력-온도-시간 경로** .... 48  
이정민\*1, 김형수\*1 (1고려대학교)

**학술발표 GP1 (지구물리)**

- ----- 10월 11일(금) 10:30-11:50
- ----- 302호: 좌장 서기원 (서울대학교)
- 1) 10:30-10:50 **GRACE 중력 자료 및 ESA CCI 토양 수분 자료를 활용한 호주 빅토리아 남부 지역 지하수 변화 분석** ..... 49  
박태준\*1, 서기원\*1 (1서울대학교 과학교육과)
- 2) 10:50-11:10 **극 운동을 활용한 해수면 변화(1992-2016)의 이해** ..... 50  
표진주\*1, 서기원\*1 (1서울대학교 지구과학교육과)
- 3) 11:10-11:30 **드론자력탐사장비 개발 및 적용연구** ..... 51  
이희순\*1, 박계순\*2, 임형래\*3  
(1(주)지오룩스, 2한국지질자원연구원, 3부산대학교 지구과학교육과)
- 4) 11:30-11:50 **기저 변환을 통한 GRACE-FO의 극지 영역의 시간 해상도 개선 Better Temporal Resolution of GRACE-FO in the Polar Region by Basis Transformation** ..... 53  
Daeha Lee\*1, Shin-Chan Han\*2, Ki-Weon Seo\*1 (1Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea, 2School of Engineering, University of Newcastle, Callaghan, NSW, Australia)

**학술발표 GP2 (지구물리)**

- ----- 10월 11일(금) 15:10-15:50
- ----- 303호: 좌장 박계순 (한국지질자원연구원)
- 1) 15:10-15:30 **2015년 이후 지구 자전축의 캔들러 요동 약화 원인** ..... 54  
전태환\*1, 서기원\*2, 염국현\*2, 이대하\*2  
(1서울대학교 교육종합연구원, 2서울대학교 지구과학교육과)
- 2) 15:30-15:50 **디지털트윈 기반 핵심광물 탐사 기술** ..... 55  
박계순\*1 (1한국지질자원연구원)

학술발표 AS1 (천문)

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 09:00-10:20
- \_\_\_\_\_ 컨벤션A: 좌장 권우진 (서울대학교)
- 1) 09:00-09:20 **시현력에서 달의 지질차 중 출차에 대한 소고** ..... 56  
최승언\*<sup>1</sup> (<sup>1</sup>서울대학교)
- 2) 09:20-09:40 **Contrasting orientations of magnetic fields in the Class 0 protostellar system L1527 IRS** ..... 57  
Hanju Nam (남한주)\*<sup>1</sup>, Woojin Kwon (권우진)<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Seoul National University)
- 3) 09:40-10:00 **The Hourglass-shaped Magnetic Fields and Dust Filaments around the HH 211 Protostellar Envelope** ..... 58  
Youngwoo Choi (최영우)\*<sup>1</sup>, Woojin Kwon (권우진)<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Seoul National University)
- 4) 10:00-10:20 **Bipolar Outflow Momentum Depending on Misalignment of Outflow Axes and Magnetic Field Orientations** ..... 59  
Junyoung Moon (문준영)\*<sup>1</sup>, Woojin Kwon (권우진)<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Seoul National University)

학술발표 AS2 (천문)

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 15:10-16:10
- \_\_\_\_\_ 302호: 좌장 형식 (충북대학교)
- 1) 15:10-15:30 **중·고등학교 천체 망원경 교육 및 활용도 조사** ..... 60  
안성호\*<sup>1</sup> (<sup>1</sup>대구대학교 지구과학교육과)
- 2) 15:30-15:50 **가까운 은하 내에 분포하는 젊은 성단들 대한 분광 탐사 소개** ..... 61  
임범두\*<sup>1,2</sup>, 구재림<sup>2</sup>, 김현정<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>공주대학교 지구과학교육과, <sup>2</sup>공주대학교 지구환경연구소)
- 3) 15:50-16:10 **삼중성계에서 진화한 행성상성은 NGC 7009** ..... 62  
형식\*, 이성재 (충북대학교)

특별 세션 1: 해양기후 현재와 미래 전망

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 15:10-16:10
- \_\_\_\_\_ 109호: 좌장 김용선 (한국해양과학기술원)
- 1) 15:10-15:30 **2023~2024년 해양기후 상태와 추세 및 시범 계절전망** ..... 63  
권민호\*, 신지윤, 서옥희, 장연수, 박혁민, 김은진, 김용선, 강현우  
(한국해양과학기술원 해양기후솔루션연구본부)

- 2) 15:30-15:50 국립수산물품질관리원 해양 기후변화 대응 연구 현황 및 계획 ..... 64  
이준수\*, 김창신, 임병준, 박명희 (국립수산물품질관리원 기후변화연구과)
- 3) 15:50-16:10 독도 대륙붕 해역 식물플랑크톤의 생물기후학적 특성과 시범 계절전망시스템 소개 ..... 65  
강현우<sup>1</sup>, 서옥희<sup>1</sup>, 구분화<sup>1</sup>, 권영신<sup>2</sup> (<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양기후솔루션연구본부, <sup>2</sup>한국해양과학기술원 부설 극지연구소)

**특별 세션 2: 해양기후 현재와 미래 전망**

- ..... 10월 11일(금) 16:20-17:20
- ..... 109호: 좌장 권민호 (한국해양과학기술원)
- 1) 16:20-16:40 북서태평양 월평균 고해상도 기후평균장 구축과 성능 평가 ..... 66  
김용선<sup>1,2,3</sup>, 이재호<sup>1</sup>, 석수현<sup>4</sup>, 김성대<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>한국해양과학기술원, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 해양과학과, <sup>3</sup>한국해양대학교 해양과학기술전문대학원, <sup>4</sup>APEC 기후센터)
- 2) 16:40-17:00 유속관측과 해수면차이로 산출한 제주해협 수송량 ..... 67  
신창웅<sup>1</sup>, 민홍식<sup>1</sup>, 이석<sup>1</sup>, 강현우<sup>1</sup>, 최병주<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양순환기후연구부, <sup>2</sup>전남대학교 해양학과)
- 3) 17:00-17:20 기후변화 관점에서 우리나라 연안 해수면 상승의 과거와 미래 ..... 68  
정광영<sup>1</sup>, 서광호, 이화영, 조양기<sup>2</sup>, 한기종<sup>3</sup>, 곽지연<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>국립해양조사원 해양과학조사연구실, <sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부, <sup>3</sup>(주)UST21)

**특별 세션 3: 해양정보 가시화의 현재와 미래**

- ..... 10월 11일(금) 16:20-17:20
- ..... 302호: 좌장 신영재 (네이버시스템(주))
- 1) 16:20-17:20 About Ocean Data Visualization Approaches ..... 69  
신영재<sup>1</sup>, 김계영<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>네이버시스템(주), <sup>2</sup>(주)비엔티)

**특별 세션 4: KESO 자문위원회**

- ..... 10월 11일(금) 17:00-17:20
- ..... 303호: 좌장 이효녕 (경북대학교)
- 1) 17:00-17:20 KESO 자문위원회

포스터 / 고등학생 탐구 논문 (HR) 발표

- \_\_\_\_\_ 10월 11일(금) 17:20-17:50
- \_\_\_\_\_

P-OS-01 파랑정보 보안을 위한 AI 모델 적용 및 평가 ..... 71  
최흥배<sup>1</sup>, 마경림<sup>1</sup>, 한명수<sup>1</sup> (<sup>1</sup>주지오시스템리서치)

P-OS-02 인공위성 Sentinel-2 자료를 활용한 광양만 탁도(Turbidity) 산출 ..... 72  
김수란<sup>\*1</sup>, 김태성<sup>2</sup>, 박경애<sup>1</sup>, 박재진<sup>2</sup>, 이문진<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>서울대학교(sulan0520@korea.kr), <sup>2</sup>선박해양플랜트연구소)

P-OS-03 Preliminary Results of Skin-Bulk Temperature in the East Sea and the Northwest Pacific through ISAR Measurements ..... 73  
Ji-won Kang<sup>\*1</sup>, Kyung-Ae Park<sup>2</sup>, Hee-Young Kim<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>Department of Science Education, Seoul National University, <sup>2</sup>Department of Earth Science Education, Seoul National University)

P-OS-04 Sentinel-2 인공위성 영상을 활용한 미국 휴스턴 위험·유해물질(HNS) 유출 사고 관측 및 분석 ..... 74  
이진호<sup>\*1</sup>, 박경애<sup>2</sup>, 박재진<sup>3</sup>, 김태성<sup>3</sup>, 이문진<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과 지구과학전공, <sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과, <sup>3</sup>선박해양플랜트연구소)

P-OS-05 항공 초분광 원격탐사 실험 기반 선박 스펙트럼 분석 및 탐지 ..... 75  
박재진<sup>\*1</sup>, 박경애<sup>2</sup>, 김태성<sup>1</sup>, 이문진<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>선박해양플랜트연구소 해사안전·환경연구센터, <sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과)

P-OS-06 인공위성 자료를 활용한 해양 부유 부식 분포 분석 ..... 76  
송승훈<sup>\*1</sup>, 박경애<sup>2</sup> (<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과, <sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과)

P-OS-07 해양 안전 모니터링을 위한 위성영상 활용 연구 ..... 77  
유희영<sup>\*1</sup>, 송주영<sup>2</sup>, 김덕진<sup>2</sup> (<sup>1</sup>서울대학교 미래혁신연구원, <sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부)

P-OS-08 표층뜰개 자료에서 계산한 동해 표층 해류장 ..... 78  
이재호<sup>1</sup>, 장미진<sup>1</sup>, 김용선<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>한국해양과학기술원)

P-OS-09 천리안 위성 2A호 RGB 영상 기반 중등학교 교과서 태풍 풍속 데이터 시각화 프로그램 개발 ..... 79  
임채영<sup>\*1,2</sup>, 박경애<sup>3,4</sup> (<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과, <sup>2</sup>인천진산과학고등학교, <sup>3</sup>서울대학교 지구과학교육과, <sup>4</sup>서울대학교 교육종합연구원)

P-OS-10 한반도 연안 해역에서의 Sentinel-3A/B SLSTR 관측 피층 해수면온도 검증 및 오차 특성 분석 ..... 80  
임채영<sup>\*1,2</sup>, 박경애<sup>3</sup>, 김희영<sup>1</sup>, 주희태<sup>4</sup>, 이준수<sup>4</sup>, 양준용<sup>4</sup> (<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과, <sup>2</sup>인천진산과학고등학교, <sup>3</sup>서울대학교 지구과학교육과, <sup>4</sup>국립수산과학원)

P-OS-11 MODIS/Aqua 광학 스펙트럼을 이용한 전구 해수 수형 분류 ..... 81  
차나연<sup>1</sup>, 박경애<sup>\*2</sup>, 정광영<sup>3</sup>, 권석재<sup>3</sup>, 이기택<sup>4</sup> (<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과, <sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과, <sup>3</sup>국립해양조사원 해양과학조사연구실, <sup>4</sup>포항공과대학교 환경공학부)

P-OS-12 그린란드 빙상의 표면질량수지와 빙하 배출량 간 동역학 변화와 이에 대한 해양-빙권의 상호작용 ..... 82  
임영경<sup>1</sup>, 엄주영<sup>2\*</sup>, 윤승태<sup>3</sup>, 김병훈<sup>4</sup> (<sup>1</sup>서울대학교 과학교육학과, <sup>2</sup>경북대학교 지구과학교육과, <sup>3</sup>경북대학교 해양학과, <sup>4</sup>극지연구소)

P-OS-13 Validation and error characteristics of sea surface temperature from GK-2A geostationary satellite in the Asia-Pacific region ..... 83  
 Hye-Jin Woo<sup>\*1</sup>, Kyung-Ae Park<sup>2</sup>  
 (<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과, <sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과/교육종합연구원)

P-ES-01 내진 구조물 설계를 주제로 한 STEAM 교육 프로그램의 개발 및 적용 ..... 84  
 권덕현<sup>\*1</sup>, 이효녕<sup>1</sup> (<sup>1</sup>경북대학교)

P-ES-02 생성형 인공지능을 활용한 지질시대 대멸종 수업에서의 학생-생성형 인공지능 상호작용과 학생들의 추론 특성 ..... 85  
 문민경<sup>\*1</sup>, 김정찬<sup>2</sup>, 신동희<sup>1</sup> (<sup>1</sup>이화여자대학교, <sup>2</sup>한국지질자원연구원)

P-ES-03 에듀테크 VR 기반 부산 국가지질공원 야외학습 프로그램 개발  
 - 금정산, 이기대, 물운대를 중심으로 - ..... 86  
 최윤성, 박주영, 조운석, 김민철\* (<sup>1</sup>부산대학교 지구과학교육과)

P-ES-04 Earth Nullschool과 온라인 협업 도구를 활용한 태풍 탐구 활동 자료 개발..... 87  
 김수란<sup>\*1</sup>, 박경애<sup>2</sup> (<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과, <sup>2</sup> 서울대학교 지구과학교육과)

P-ES-05 반응적 교수를 적용한 초등 과학 수업에서 학생의 자원에 대한 교사의 반응 ..... 88  
 배혜림<sup>\*1</sup>, 오필석<sup>2</sup> (<sup>1</sup>용호초등학교, <sup>2</sup>경인교육대학교)

P-ES-06 공공 데이터를 활용한 지구과학 데이터 시각화 수업 프로그램 개발 ..... 90  
 최종근 (<sup>1</sup>인천과학예술영재학교)

P-ES-07 전문적학습공동체 프로토콜을 활용한 고등학교 지구과학 교사의 PCK 변화 탐색 : 기후변화 단원을 중심으로 ..... 91  
 김권중<sup>\*1</sup>, 이기영<sup>1</sup> (<sup>1</sup>강원대학교)

P-ES-08 과학의 본성 이해를 위한 과학사 물플레잉게임 개발 및 활용 가능성 탐색 : 우주 배경 복사 발견의 역사 ..... 92  
 김호준<sup>\*1</sup>, 이기영<sup>1</sup> (<sup>1</sup>강원대학교)

P-ES-09 기후변화 비교과 프로그램을 통한 지구과학 예비교사들의 기후변화 대응 실천역량 인식 탐색 ..... 93  
 이동준<sup>\*1</sup>, 이지연<sup>2</sup>, 김서현<sup>1</sup>, 박영신<sup>1</sup> (<sup>1</sup>조선대학교, <sup>2</sup>국립과천과학관)

P-AT-01 FastEddy 모델을 활용한 수평적으로 균질한 대류 경계층에 대한 모사결과 ..... 95  
 구자현<sup>\*1</sup>, 강성락<sup>1</sup> (<sup>1</sup>국립 강릉원주대학교 대기환경과학과)

P-AT-02 지역적 토지피복변동에 따른 여름철 도시기후 변동 분석..... 96  
 김성운<sup>\*1</sup>, 문윤섭<sup>1</sup>, 김학성<sup>2</sup> (<sup>1</sup>충청북도탄소중립지원센터, <sup>2</sup>한국교원대학교 지구과학교육과)

P-AT-03 라디오존데 관측 자료를 활용한 대류경계층 구조 정량화: Haar 웨이블릿 변환 이용..... 97  
 최초롱<sup>\*1</sup>, 강성락<sup>1</sup> (<sup>1</sup>국립 강릉원주대학교 대기환경과학과)

P-AT-04 AI 기반 LSTM 모델을 활용한 전지구 이산화탄소 배경 농도 예측 및 시각화 ..... 98  
 문윤섭<sup>\*1,2</sup>, 김병수<sup>2</sup>, 서은정<sup>1</sup>, 이연진<sup>1</sup>, 이현수<sup>1</sup>, 정다운<sup>1</sup>  
 (<sup>1</sup>한국교원대 환경교육과, <sup>2</sup>충청북도탄소중립지원센터)

P-AT-05 중규모 역학 모델과 CFD 모델을 이용한 도시 기류 수치 모의 특성 분석 연구..... 99  
 김지선<sup>\*1</sup>, 이순환<sup>2</sup> (<sup>1</sup>부산대학교 지구과학과, <sup>2</sup>부산대학교 지구과학교육과 )

P-AT-06 푸리에 변환을 통한 다중 규모에서의 스펙트럼 분석 ..... 100  
 변규리<sup>\*1</sup>, 강성락<sup>1</sup> (<sup>1</sup>강릉원주대학교 대기환경과학과)

P-AT-07 에어로졸 직접 효과를 고려한 고농도 초미세먼지 발생 메커니즘 분석 ..... 101  
 유정우<sup>\*1</sup>, 이순환<sup>2</sup> (<sup>1</sup>부산대학교 환경연구원, <sup>2</sup>부산대학교 지구과학교육과)

P-AT-08 WRF Preprocessing System Geogrid의 보간 옵션에 따른 지형 정보 차이 분석 ..... 102  
 조준호\*<sup>1</sup>, 강성락<sup>1</sup> (<sup>1</sup>강릉원주대학교)

P-AT-09 레이더 합성자료를 활용한 강수 강도와 면적의 관계 분석 ..... 103  
 최유빈\*<sup>1</sup>, 강성락<sup>1</sup> (<sup>1</sup>강릉원주대학교)

P-EE-01 총복형 온실가스 감축인지 예산제도 시범도입 연구 ..... 104  
 오지승\*<sup>1</sup>, 문운섭<sup>1</sup>, 정옥진<sup>1</sup>, 김성운<sup>1</sup>, 민하서영<sup>1</sup>, 김병수<sup>1</sup> (<sup>1</sup>소속 충청북도탄소중립지원센터)

P-EE-02 하천 퇴적물 교란이 상층수 내 중금속 농도 변화에 미치는 영향 ..... 105  
 이재희<sup>1</sup>, 윤상규<sup>2</sup>, 홍승호<sup>1,3</sup>, 안진성<sup>1,2,3\*</sup>  
 (<sup>1</sup>한양대학교 ERICA 건설환경시스템공학과, <sup>2</sup>한양대학교 ERICA 스마트시티공학과,  
<sup>3</sup>한양대학교 ERICA 건설환경공학과)

P-EE-03 무인항공기를 이용한 대기오염물질 측정에서의 센서 반응시간에 관한 연구 ..... 106  
 이영수\*<sup>1</sup>, 김호림<sup>2</sup>, 김근택<sup>2</sup>, 김재영<sup>2</sup>, 정상재<sup>3</sup>  
 (<sup>1</sup>순천향대학교 에너지환경공학과, <sup>2</sup>서울대학교 건설환경공학부, <sup>3</sup>한밭대학교 건설환경공학과)

P-GP-01 남극의 빙붕 붕괴 현상이 인근 빙하에 미친 영향 ..... 107  
 김병훈\*<sup>1</sup>, 최창현<sup>2</sup>, 이춘기<sup>1</sup>, 서기원<sup>3</sup>, 나지성<sup>1</sup>, 윤숙영<sup>1</sup>, 이원상<sup>1</sup>  
 (<sup>1</sup>극지연구소 빙하지권연구본부, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학연구원, <sup>3</sup>서울대학교 지구과학교육과)

P-GP-02 북평분지의 형성: 구조적 전단 응력의 흔적 ..... 108  
 김우현\*<sup>1</sup>, 최한진<sup>1</sup>, 김광희<sup>1</sup>, 김병민<sup>2</sup>, 이준영<sup>2</sup>, 한만호<sup>3</sup>  
 (<sup>1</sup>부산대학교, <sup>2</sup>울산과학기술원 지구환경도시건설공학과, <sup>3</sup>한국원자력환경공단 지구환경도시건설공학과)

P-GP-03 자동 절대측정 자료를 활용한 지구자기 관측소의 최적 기저선 산출 분석 연구 ..... 109  
 박소현\*<sup>1</sup>, 오석훈<sup>2</sup> (<sup>1</sup>강원대학교 에너지·인프라융합학과, <sup>2</sup>강원대학교 에너지자원·산업공학부)

P-GP-04 남극 장보고 기지 초전도 중력계를 이용한 장기 미세 중력 모니터링 ..... 110  
 이춘기\*<sup>1</sup>, 김병훈<sup>1</sup> (<sup>1</sup>극지연구소)

P-GP-05 다변량 지구통계학과 환경 공간정보를 이용한 멧돼지 서식밀도 추정 ..... 111  
 정승규<sup>1</sup>, 김유진<sup>2</sup>, 황인재<sup>2</sup>, 박소연<sup>2</sup>, 박노옥\*<sup>2</sup>  
 (<sup>1</sup>국립생물자원관 기후·환경생물연구과, <sup>2</sup>인하대학교 공간정보공학과)

P-GP-06 고해상도 해저지형자료와 자기이상도를 이용한 서필리핀분지의 진화 연구 ..... 112  
 신현옥\*<sup>1</sup>, 최한진<sup>1</sup> (<sup>1</sup>부산대학교 지질환경과학과)

P-GP-07 드론 자력탐사 자료처리 알고리즘 개발 ..... 113  
 정경서\*<sup>1</sup>, 최한진<sup>1</sup> (부산대학교 지질환경과학과)

P-GL-01 Land Subsidence Trend Analysis and Relationship with Groundwater Condition in Bangkok: An Integrative Approach Using Multisensor Time ..... 114  
 무하마드 풀키 파달라<sup>1</sup>, 김봉찬<sup>1</sup>, 이슬기<sup>1</sup>, 이창욱\*<sup>1</sup> (<sup>1</sup>강원대학교)

P-GL-02 Land Subsidence Time-Series InSAR Analysis using SBAS algorithm in Bandung, Indonesia ..... 116  
 아리프 리스키안토 아흐마드\*<sup>1</sup>, 이창욱<sup>2</sup> (<sup>1</sup>강원대학교 과학교육학부, <sup>2</sup>강원대학교 과학교육학부)

P-GL-03 Land Subsidence Analysis based on Multi-Temporal InSAR and Susceptibility Mapping in Jakarta, Indonesia ..... 118  
 Wahyu Luqmanul Hakim<sup>1</sup>, Bongchan Kim<sup>1</sup>, Seulki Lee<sup>1</sup>, Chang-Wook Lee<sup>2\*</sup>  
 (<sup>1</sup>강원대학교 과학교육학과, <sup>2</sup>강원대학교 과학교육학부)

P-HR-01 기상풍선 활용 고도별 뮤온 관측을 통한 시간 지연 효과 검증 ..... 120  
박하람, 안선우, 이의준, 이호(지도교사)  
(경기과학고등학교)

P-HR-02 Production of a Simple GPS System Using the Altitude of the Sun ..... 121  
장민서, 이영윤, Bernice Teow, Chloe Chee, 이호(지도교사)  
(경기과학고등학교 (한국), National Junior College (싱가포르))

P-HR-03 Diametric Magnet Pair Trap을 활용한 간이 지진계 및 경사계 설계 ..... 122  
김재우, 오승민, 최정민, 이호(지도교사)  
(경기과학고등학교)

P-HR-04 2차원 조파수조에서 불규칙파 생성 가능한 조파기 개발 ..... 123  
김태균, 김호현, 이승현, 박기현(지도교사)  
(경기과학고등학교)

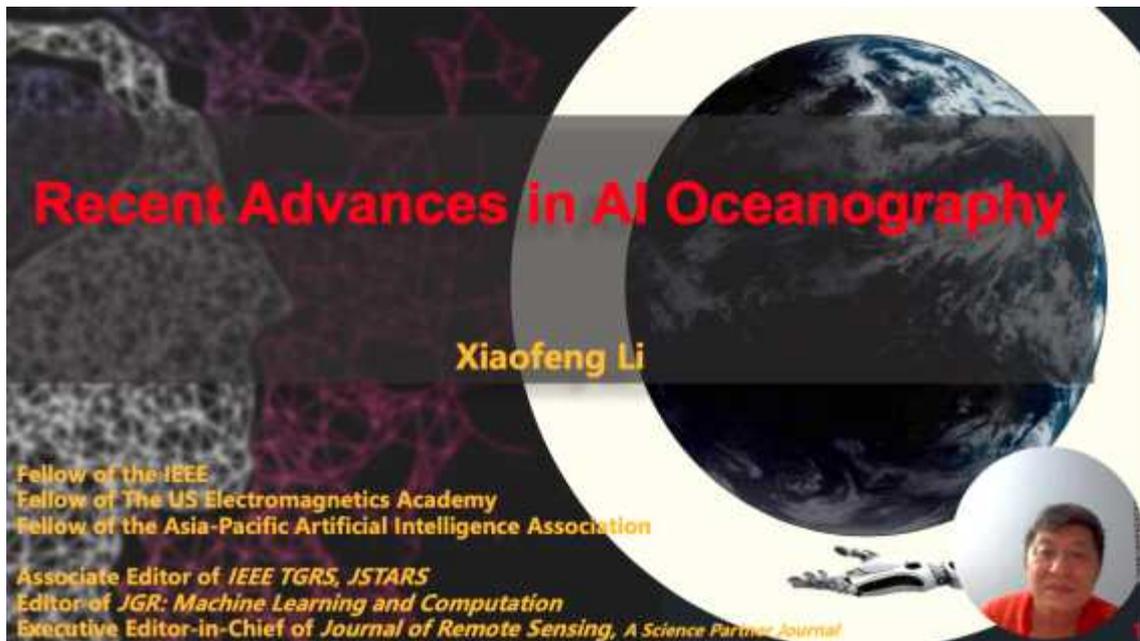
P-HR-05 소형 망원경을 이용한 도심에서 항성의 분광 관측 및 분석 ..... 124  
김헌주, 박현준, 조현성, 박기현(지도교사)  
(경기과학고등학교)

P-HR-06 태양광 패널 상단의 렌즈 배열 부착을 이용한 발전량 증대 효과에 대한 연구 ..... 125  
손찬혁, 허준서, 전영준(지도교사)  
(경기과학고등학교)

P-HR-07 적도의식 가대 극축 자동 정렬 시스템 제작 ..... 126  
이효녕, 전민준, 한성윤, 전영준(지도교사)  
(경기과학고등학교)

P-HR-08 도심에서 600mm 소형 망원경을 이용한 외계 행성 트랜짓 분석 ..... 127  
신재현, 조윤성, 박주찬, 박기현(지도교사)  
(경기과학고등학교)

P-HR-09 ENSO 시계열 데이터 분석 모델의 성능 비교 및 ONI 예측 ..... 128  
권현민, 김도윤, 박하람, 이서진, 이준영, 김현종(지도교사)  
(경기과학고등학교)



# Recent Advances in AI Oceanography

**Xiaofeng Li**

Fellow of the IEEE  
Fellow of The US Electromagnetics Academy  
Fellow of the Asia-Pacific Artificial Intelligence Association

Associate Editor of *IEEE TGRS, JSTARS*  
Editor of *JGR: Machine Learning and Computation*  
Executive Editor-in-Chief of *Journal of Remote Sensing, A Science Partner Journal*



## CONTENT

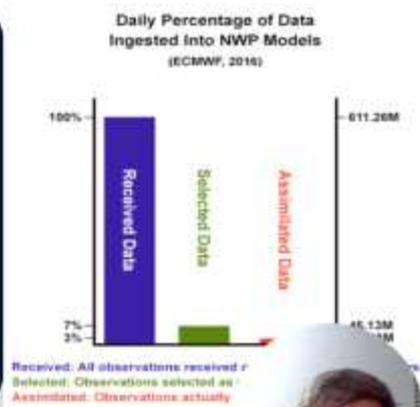
- 1 AI and Big Ocean Data**
- 2 Deep Learning in Oceanography**
  - Classification
  - Data Fusion
  - Algorithm Development
  - Ocean Forecast
- 3 Discussion and Summary**

# CONTENT

- 1 AI and Big Ocean Data
- 2 Deep Learning in Oceanography
  - Classification
  - Data Fusion
  - Algorithm Development
  - Ocean Forecast
- 3 Discussion and Summary



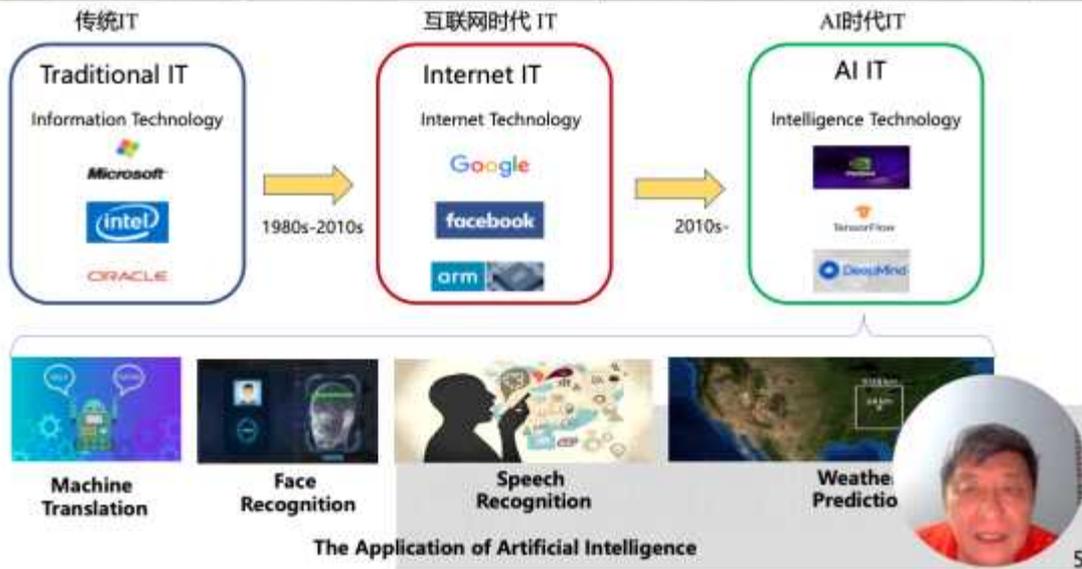
## 1 AI and Big Ocean Data - Big Data challenge



How to use data more effi



## 1 AI and Big Ocean Data - Rapid Advance in Industry



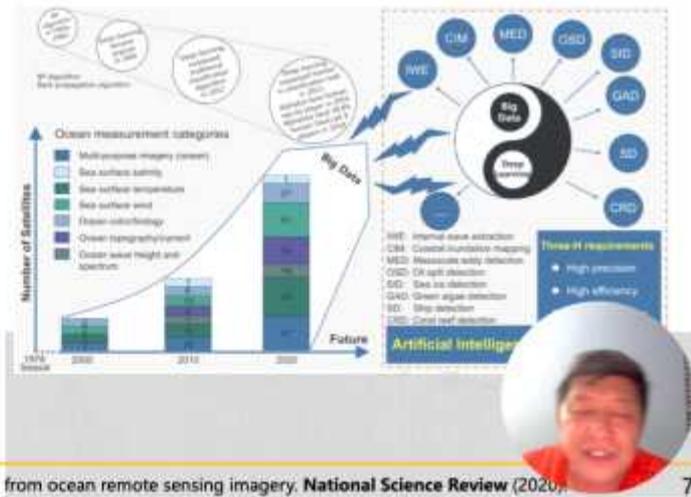
## CONTENT

- 1 AI and Big Ocean Data
- 2 Deep Learning in Oceanography
  - Classification
  - Data Fusion
  - Algorithm Development
  - Ocean Forecast
- 3 Discussion and Summary

## 2.1 Deep Learning in Oceanography-Classification

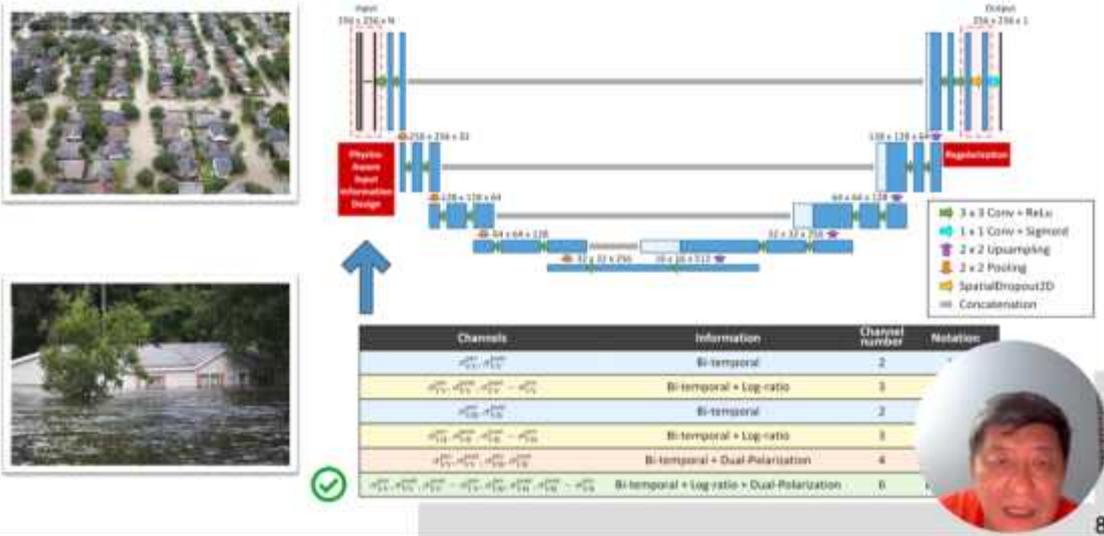
### 1. Classification

- Internal Wave Signature Extraction
- Coastal Inundation Mapping
- DEM
- Green Algae Detection
- Sea Fog
- Ship Detection
- Marine Species Detection
- Oil Spill and Slick
- Sea Ice Classification

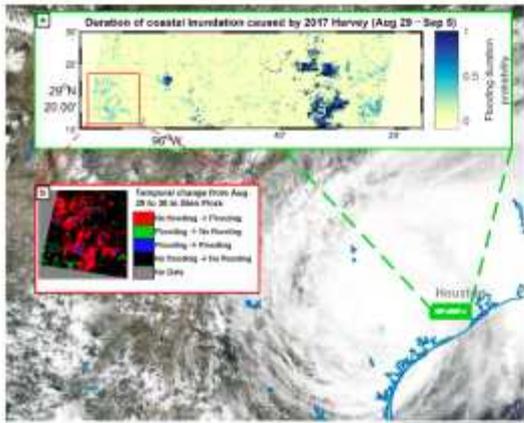


Li, X., et al. Deep learning-based information mining from ocean remote sensing imagery. *National Science Review* (2020).

## 2.1.1 Coastal Inundation

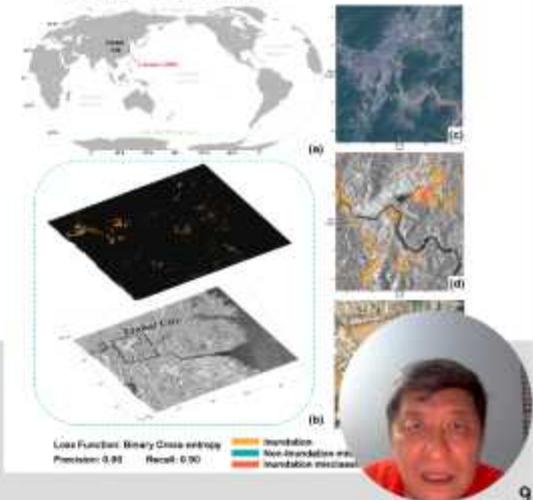


## 2.1.1 Coastal Inundation

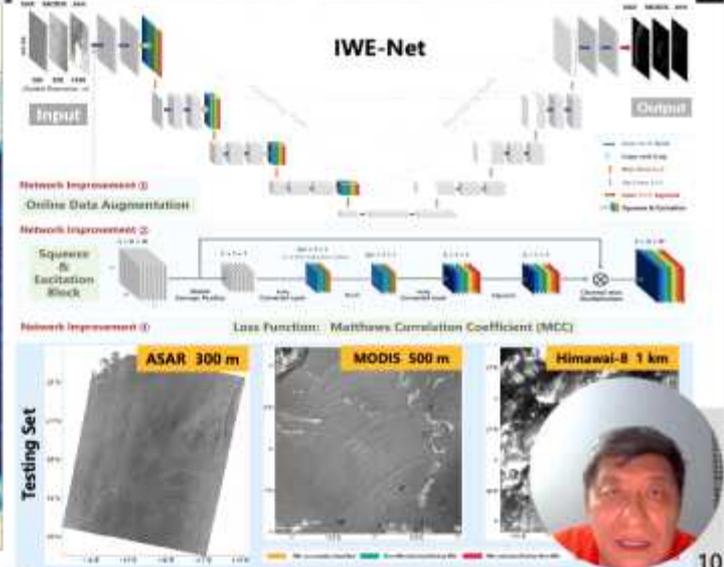
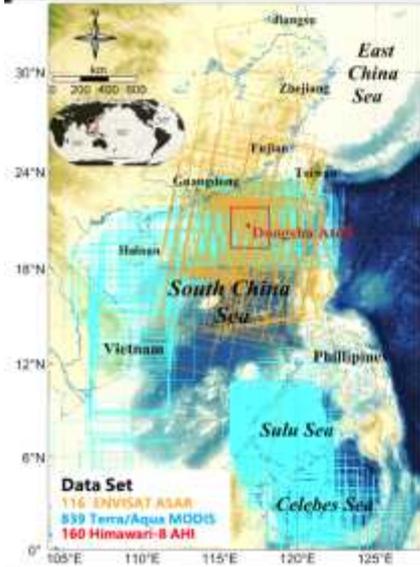


Harvey, Houston, 2017

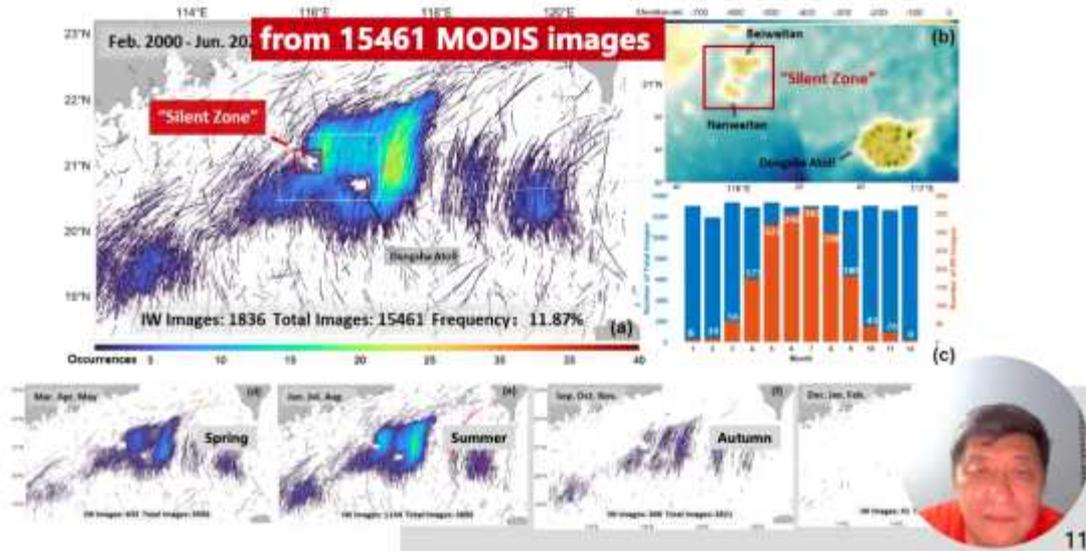
### 2019 Lekima



## 2.1.2 Internal Wave Extraction

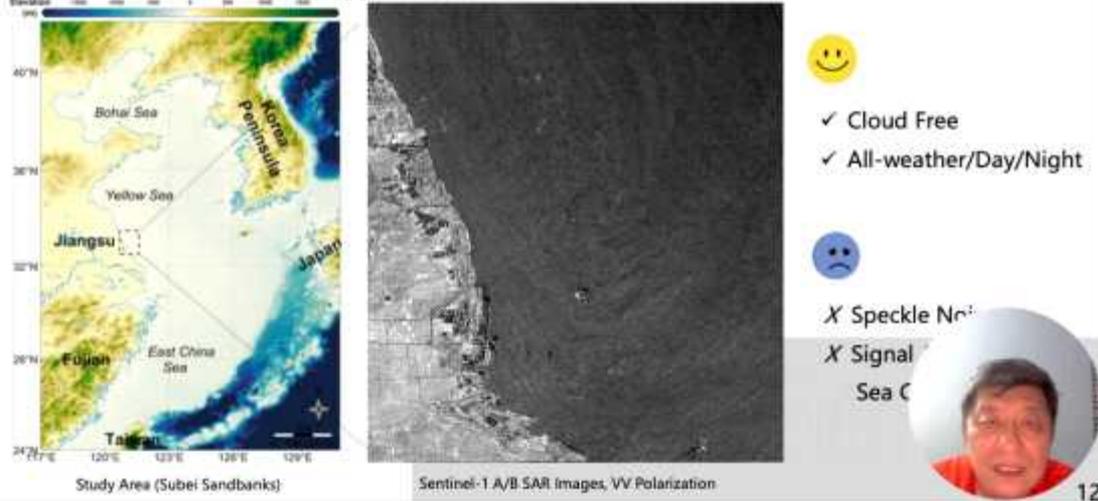


## 2.1.2 Internal Wave Extraction



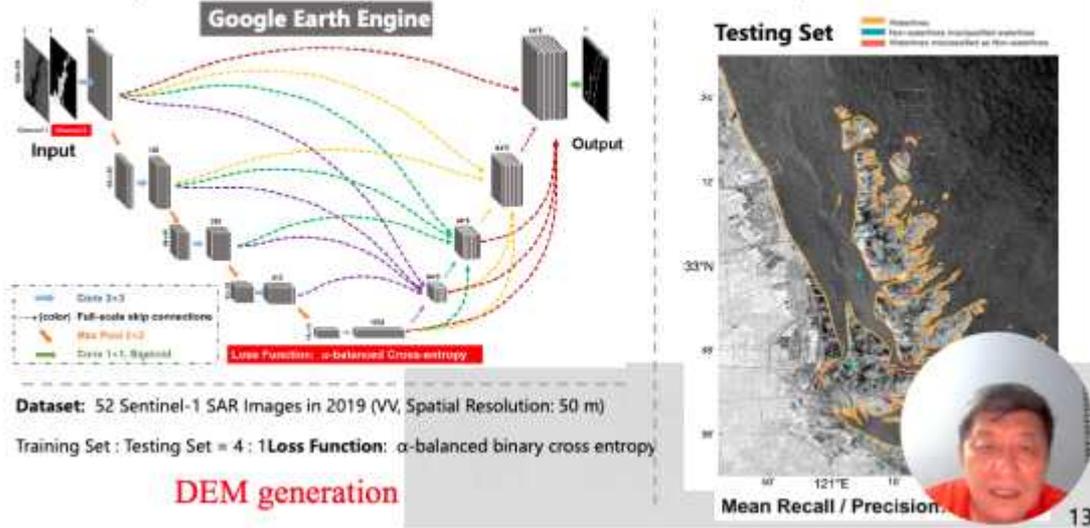
## 2.1.3 Automatic Waterline Extraction of Tidal Flats

- Automatic Waterline Extraction from SAR Images 利用深度学习解决潮滩SAR图像水边线提取困难的问题，以苏北浅滩大型潮滩为例



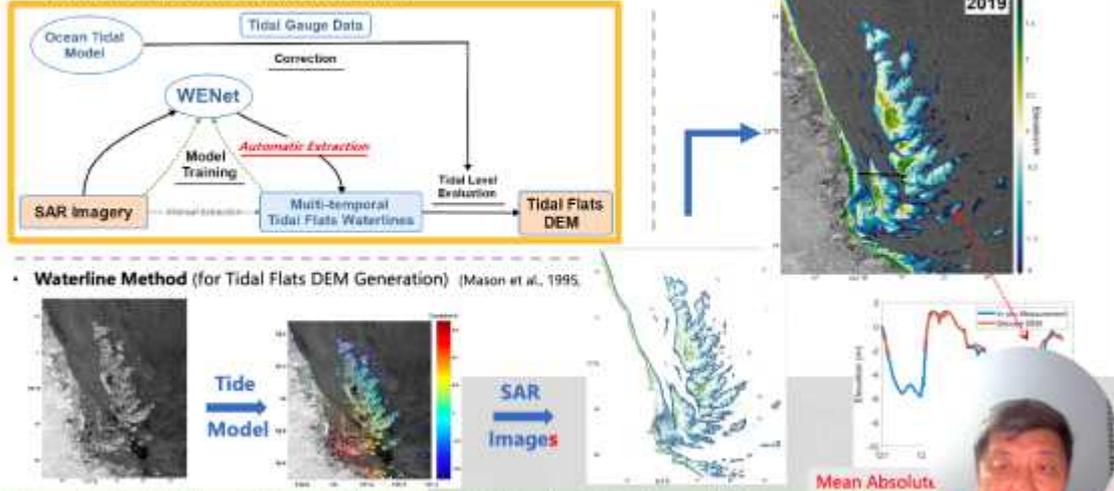
## 2.1.3 Automatic Waterline Extraction of Tidal Flats

### WE-Net (A Deep Learning Model for Waterline Extraction)



## 2.1.3 Automatic Waterline Extraction of Tidal Flats

### Automatic DEM Generation Chain



S. Zhang, Q. Xu, H. Wang, Y. Kang, X. Li\*, Automatic Waterline Extraction and Topographic Mapping of Tidal Flats from SAR Images Based on Deep Learning. *Geophysical Research Letters*, 2022, 49 (2).

# CONTENT

- 1 AI and Big Ocean Data
- 2 Deep Learning in Oceanography
  - Classification
  - Data Fusion
  - Algorithm Development
  - Ocean Forecast
- 3 Discussion and Summary



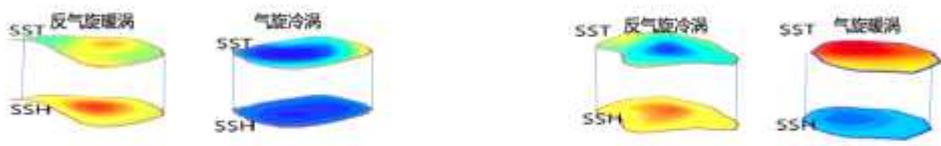
## 2.2.1 Global Abnormal Eddies from Fusion of SSH/SST

Abnormal Eddies

Ocean Eddy

Normal

Abnormal



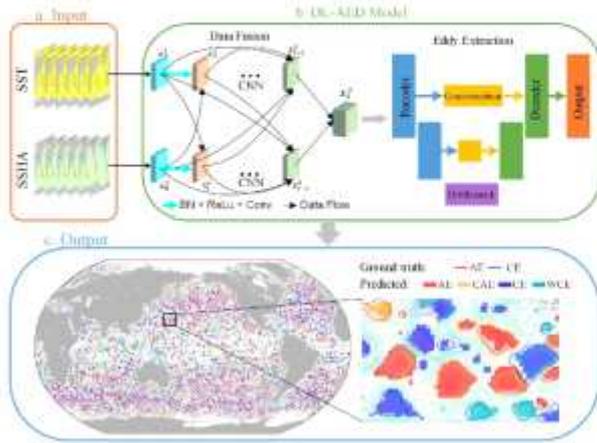
Eddy Types		Measures	Assigned number
Abnormal	WCEs	$SSTA_m \geq 0$ & $SSHA \leq 0$	-2
	(CAEs	$SSTA_m \leq 0$ & $SSHA \geq 0$	2
Normal	CEs	$SSTA_m \leq 0$ & $SSHA \leq 0$	-1
	AEs	$SSTA_m \geq 0$ & $SSHA \geq 0$	1



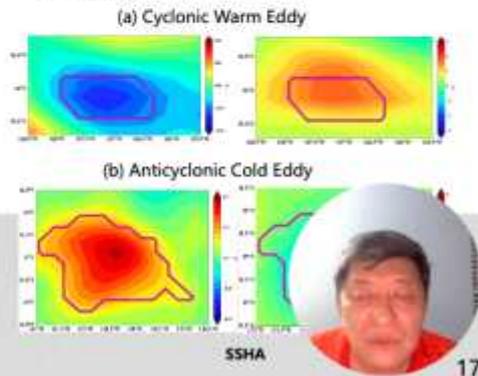
## 2.2.1 Global Abnormal Eddies from Fusion of SSH/SST

### Model

- Inputs: 1996-2015, 0.25°, Daily AVISO SSHA and NOAA OISST

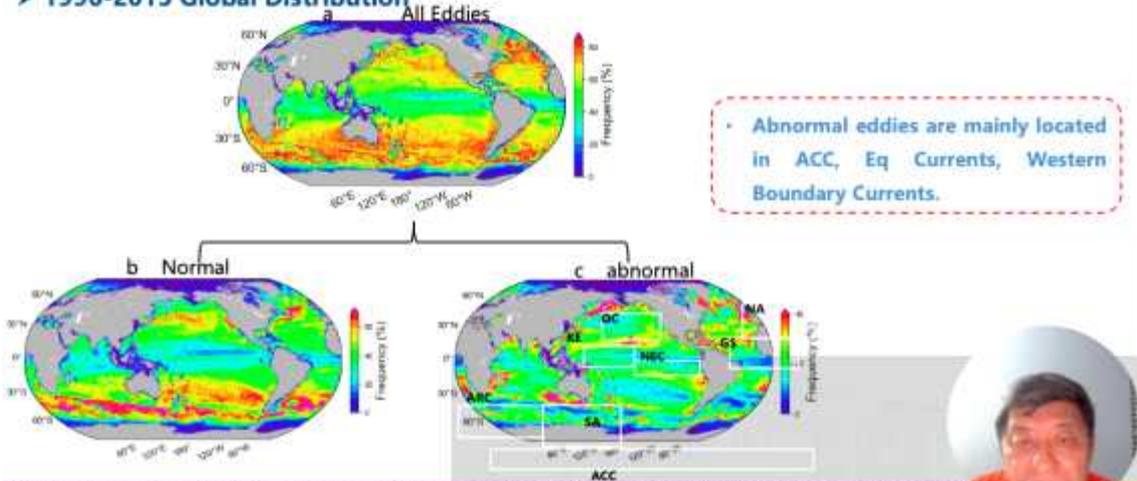


### Results



## 2.2.1 Global Abnormal Eddies from Fusion of SSH/SST

### 1996-2015 Global Distribution



Liu, Y., Q. Zheng, X. Li (2021), Characteristics of Global Ocean Abnormal Mesoscale Eddies Derived From the Fusion of Sea and Temperature Data by Deep Learning. *Geophysical Research Letters*, 48(17), DOI: 10.1029/2021GL094772.

## 2.2.2 3D Eddy Thermohaline Structure Construction

### Data and Study Area

#### Satellite observations of surface

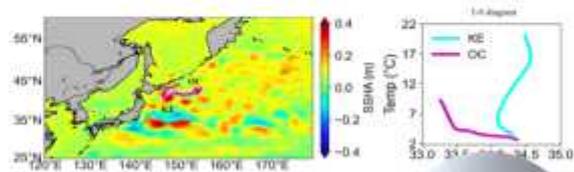
variables Parameter	Product name	Spatio-temporal resolution
SSH	European Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)	1/4°, daily
SST	NOAA Optimum Interpolation (OI) SST	1/4°, daily
SSS	CMEMS	1/4°, weekly
SSW	Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP)	1/4°, 6-hourly

#### Satellite-derived Mesoscale Eddy Dataset

- Method: a DL-based model using SSH and SST anomaly (Liu et al., 2021), daily, global
- Eddy parameters: date, position, eddy radius, amplitude, velocity ( $L$ ), and eddy kinetic energy ( $EKE$ )

#### In-situ Data

- Argo Profiles: During 2000-2015, 65361 and 61522 Argo profiles are located within AEs and CEs.
- Climatological CARS2009 data: subtracted from Argo profiles to obtain temperature and salinity anomalies

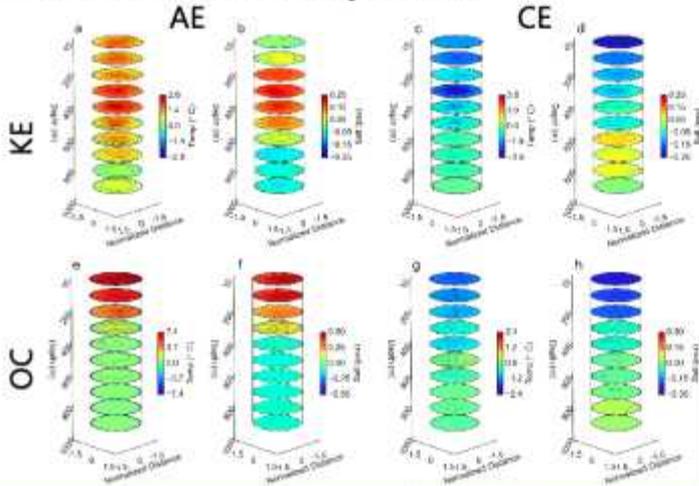


Schematic diagram of the KE and OC in the Ocean and their T-S diagrams calculated profiles.



## 2.2.2 3D Eddy Thermohaline Structure Construction

### Reconstruction of 3D Eddy Structure



• Case study of reconstructed 3D temperature and salinity structures of AEs (a, b, e, f) and CEs (c, d, g, h) in the KE (a-d) and the OC (e-h).



Liu Y, Wang H, Jiang F, et al. Reconstructing Three-dimensional Thermohaline Structures for Mesoscale Eddies Using Satellite Observation Learning. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 10.1109/TGRS.2024.3373605, 2024.

## 2.2.3 ISW Amplitude Retrieval

- ✓ Theory based ISW amplitude retrieval model has low accuracy
- ✓ The proposed data-driven model can retrieve ISW amplitude with good accuracy

Transfer-learning technique was applied to combine lab and in-situ data to solve the small training dataset problem.

White Dragon Buoy

Accurate but limited

More easily collected

In Situ Buoy and satellite observations of ISWs in the Andaman Sea

Lab-generated ISWs

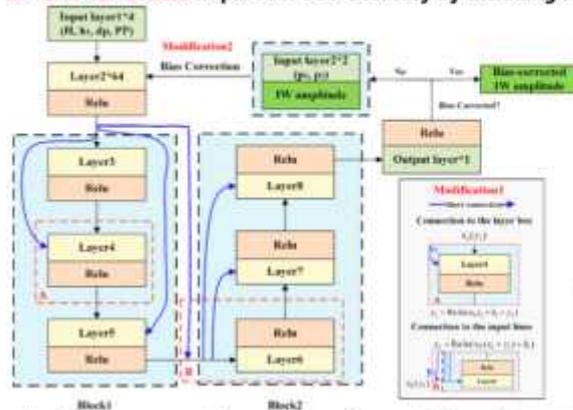
21

## 2.2.3 ISW Amplitude Retrieval

### Model structure

The proposed model has two tailored modifications:

1. **Short connections:** help the model converge more efficiently; reduce information loss
2. **Bias correction:** improve model accuracy by including more information



Andrew Ng  
Adjunct Professor at Stanford  
Chief Scientist at Baidu  
Founder for the Google



Flowchart of the proposed transfer learning model to retrieve amplitude of ISWs

## 2.2.3 ISW Amplitude Retrieval

Compare the transfer-learning based model with different strategies.

Strategy	Index	Description	RMSE_test (m)
One model	F1	Lab data and observational data were trained together directly.	20.84
	F2	Lab data and observational data were normalized separately and then put together for the model training.	23.48
	F3	The amplitudes and PP distances were normalized using the water depth for both the lab data and observational data, then put together for the model training.	24.63
	F4	A scaling factor was calculated based on the median or average IW amplitudes in the lab data and observational data. The lab data were rescaled before putting the data together.	20.09
	F5	The IW amplitudes were normalized using the water depth, and the PP distances were normalized using the upper water depth; then the data were put together for the model training.	22.66
Stacking model	F6	A lab model was trained using the lab data; the lab model predicted IW amplitude served as one of the input parameters of the observational model; the observational model produced the final predicted IW amplitudes.	
	F7	A lab model and an observational model were trained separately using the lab data and observational data. The predicted IW amplitudes served as input parameters for a third emerge model, which produced the final predicted IW amplitudes.	

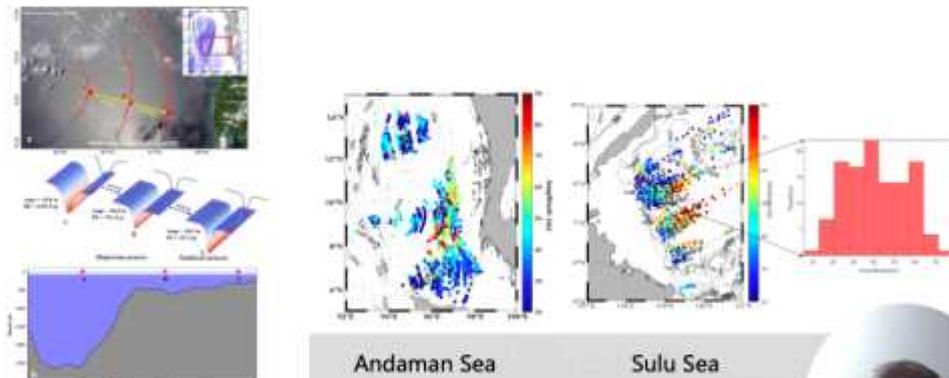
**The proposed transfer-learning based model**



23

## 2.2.3 ISW Amplitude Retrieval

The data-driven transfer learning model for ISW amplitude retrieval



ISW 3D structure reconstruction

Andaman Sea

Sulu Sea



24

Zhang, X., H. Wang, S. Wang, Y. Liu, W. Yue, J. Wang, Q. Xu, X. Li\* (2022), Oceanic Internal wave amplitude retrieval from satellite altimetry based on a data-driven transfer learning model. *Remote Sensing of Environment*, 272: 112940. DOI: 10.1016/j.rse.2022.112940.

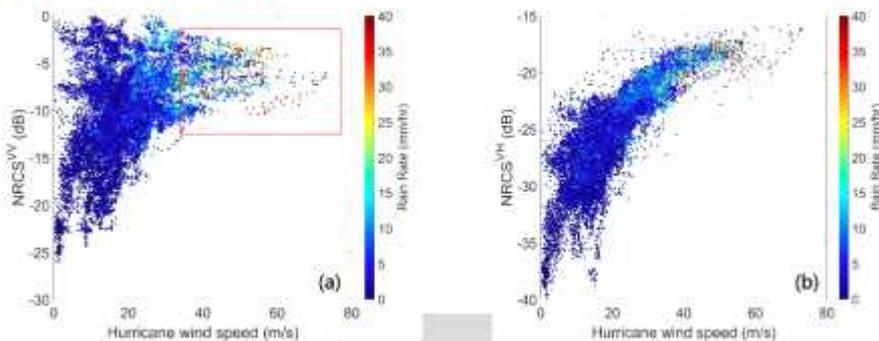
# CONTENT

- 1 AI and Big Ocean Data
- 2 Deep Learning in Oceanography
  - Classification
  - Data Fusion
  - Algorithm Development
  - Ocean Forecast
- 3 Discussion and Summary



## 2.3.1 Hurricane Winds from Spaceborne SAR

### ➤ Signal Saturation Issue



Retrieval error becomes large under tropical cyclone conditions.

### Hurricane Wind Speed Retrieval Based on Deep Learning



**CONTENT**

- 1 AI and Big Ocean Data**
- 2 Deep Learning in Oceanography**
  - Classification
  - Data Fusion
  - Algorithm Development
  - Ocean Forecast
- 3 Discussion and Summary**



**Ocean Forecast CONTENT**

**Deep Learning in Ocean Phenomenon Forecast**

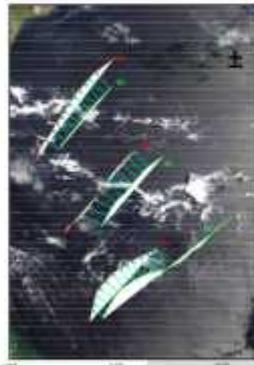
- Point-to-Point
- Field-to-Point
- Field-to-Field



## 2.4.1 Internal Waves Forecast

ISW Dataset: A total of 810 synergy satellite images with clear ISW signatures in 13 ISW hotspots globally.

Regions	Image count	Sample count	Training samples	Test samples
Total	810	57196	47425	9771

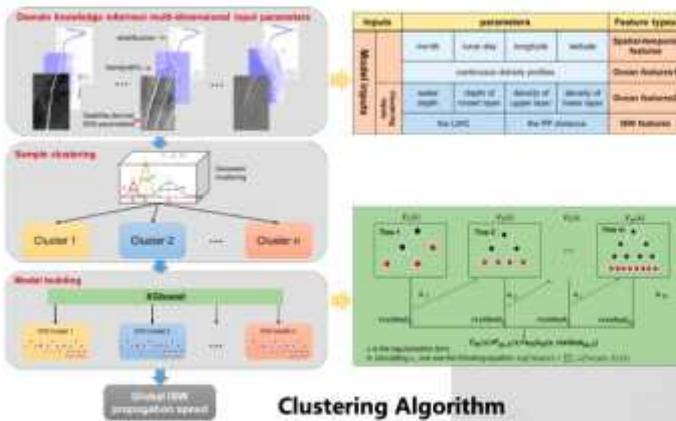


ISW dataset collected in 13 global hotspots (a) and extracted ISW speeds in each ocean region (b).



## 2.4.1 Internal Waves Forecast

### Model structure



### Input Parameters

Domain knowledge informed

- ✓ Ocean background factors
- ✓ ISW related factors

Beyond limitation of the space and time

- ✓ Solving the problem of ocean areas with small ISW dataset

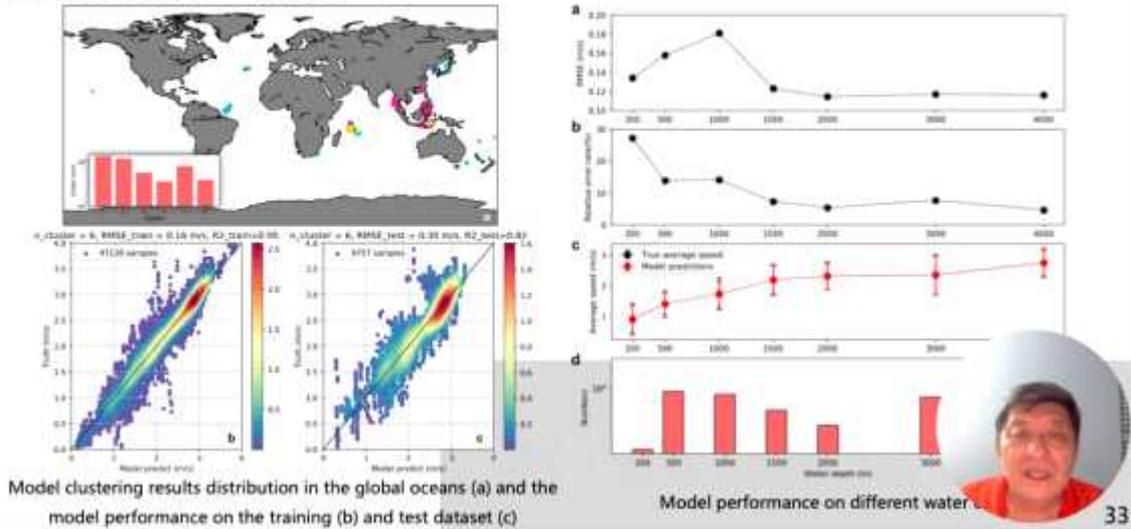
### Regression Algorithm

- ✓ Strong non-linearity
- ✓ Merge input sources



## 2.4.1 Internal Waves Forecast

### Model results - Global



# Ocean Forecast CONTENT

## Deep Learning in Ocean Phenomenon Forecast

- Point-to-Point
- Field-to-Point
- Field-to-Field

34

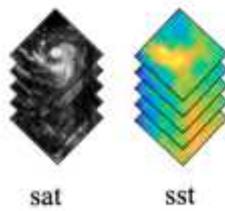
## 2.4.2 Typhoon Intensity Forecast

### Data

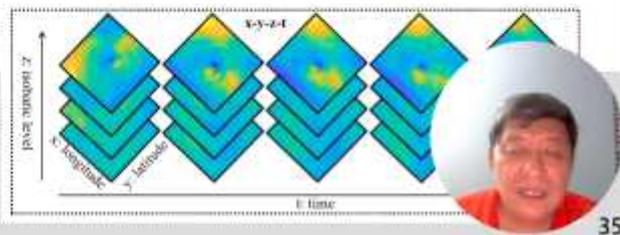
- GridSat-B1 (Hurricane Satellite-B1) : 1979-2022, 3 hourly, Global 8km, IR band (~11 μm)
- CMA Best track: 6 hourly, NW Pacific;
- ERA-5: 1979-2021, 3 hourly, Global 1°, 200, 500, 850, 1000 hpa 4-layer Winds (3 Dimensional)

### Input

Name	Source of data	Time	Isobaric level
U component of wind (U, m/s)	ERA5		1000, 850, 500, 200 hpa
V component of wind (V, m/s)	ERA5		1000, 850, 500, 200 hpa
Vertical velocity (W, m/s)	ERA5	1979-12-19-24	
Sea surface temperature (SST, K)	ERA5		
Observed (IR) satellite image (IR)	GridSat		
Historical TC information (HR)	CMA Best Track	1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022	



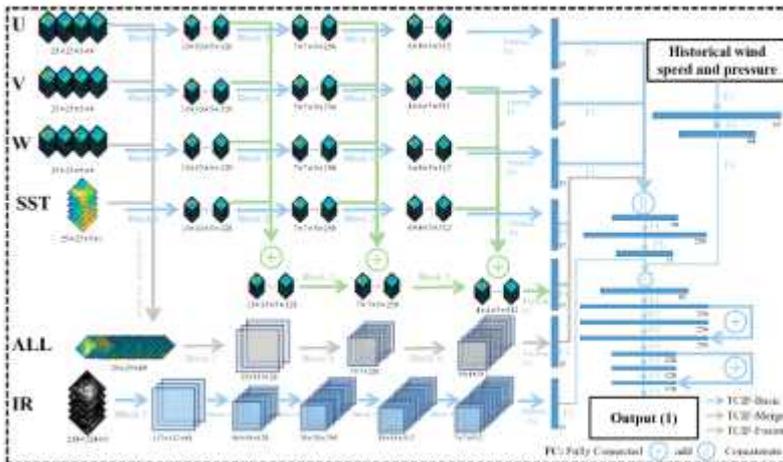
t = -24  
t = -18  
t = -12  
t = -6  
t = 0  
U, V, W



35

## 2.4.2 Typhoon Intensity Forecast

### 模型框架设计



Baseline Module: Multi-branch info extraction (Blue)

Improvements:

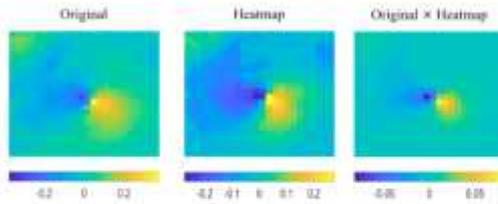
1. Feature fusion module in the input (green);
2. input data fusion module (grey)

For better spatial-  
information re

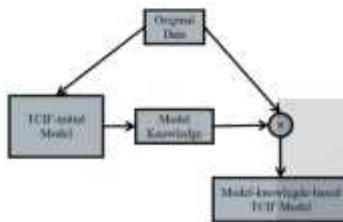
36

## 2.4.2 Typhoon Intensity Forecast

### Heatmap as an input



- Steps:
- (1) Initial model
  - (2) generate heatmap,
  - (3) AI -explainable heatmap times input
  - (4) New model

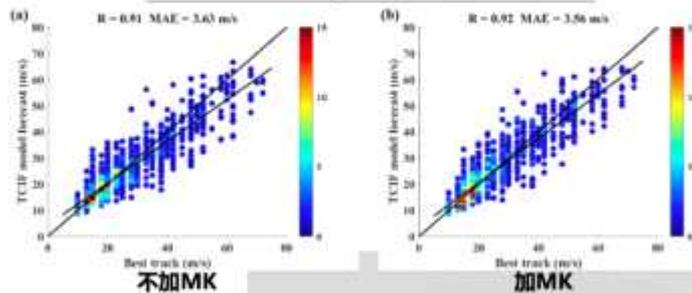


37

## 2.4.2 Typhoon Intensity Forecast

### Results from different Model Configurations

Input	Model (data structure)	MAE
	MK-guided TCF-basic (25*25*5+4)	3.82
HIS, U, V, W, IR, SST	MK-guided TCF-merge (25*25*5+4)	3.66
	MK-guided TCF-fusion (25*25*5+4)	3.56



38

Wang *et al.*, 2024 Tropical cyclone intensity forecasting using model knowledge guided deep learning model, *Environ. Res. Lett.* **19** 024006. DOI 10.1088/1748-9326/ad1bde

# Ocean Forecast CONTENT

## Deep Learning in Ocean Phenomenon Forecast

- Point-to-Point
- Field-to-Point
- Field-to-Field



### 2.4.4 TIW Forecast

#### Tropical instability wave (TIW)

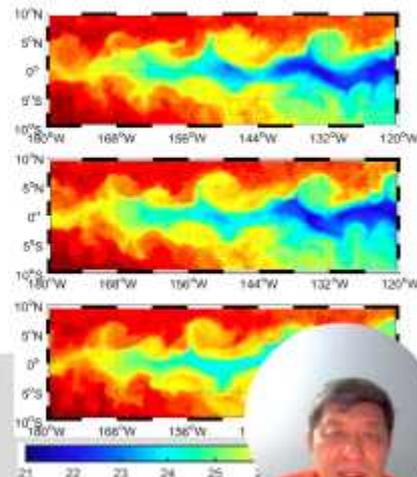
- An important but complex ocean phenomenon

Cusp-shaped waves propagating westwards with large-scale distortions and deformations

Wavelengths of 600 km to 2,000 km, periods of 15 days to 40 days, and speeds of 17 km/day to 86 km/day in the equatorial Pacific.

Be generated by the barotropic and baroclinic instability processes due to the shear of the equatorial currents

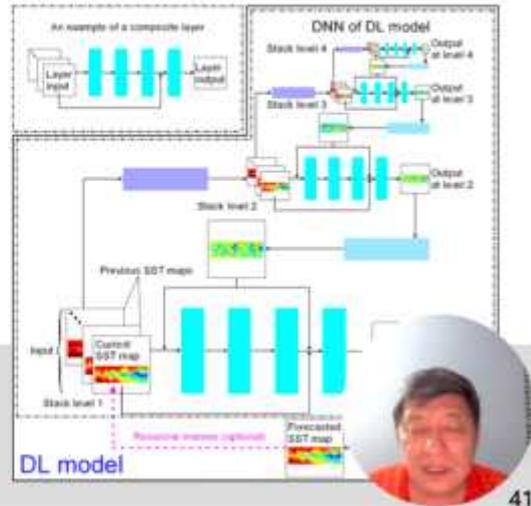
Inextricably interact with various oceanic, air-sea, biophysical, climate change, processes, and affect heat, mass, and momentum transport.



## 2.4.4 TIW Forecast

### Deep learning (DL) model for SST field of TIW

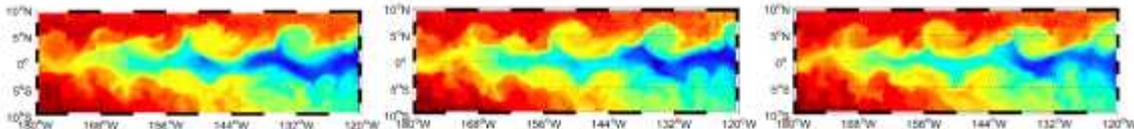
- Using history and current SST maps to forecast future SST field.
- The major part of the DL model is a multi-resolution deep neural network (DNN).



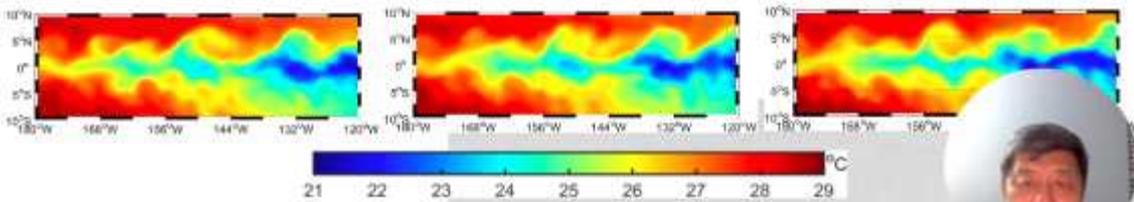
## 2.4.4 TIW Forecast

- Forecast Sea Surface Temperature Evolution Associated with TIWs

### Satellite SST

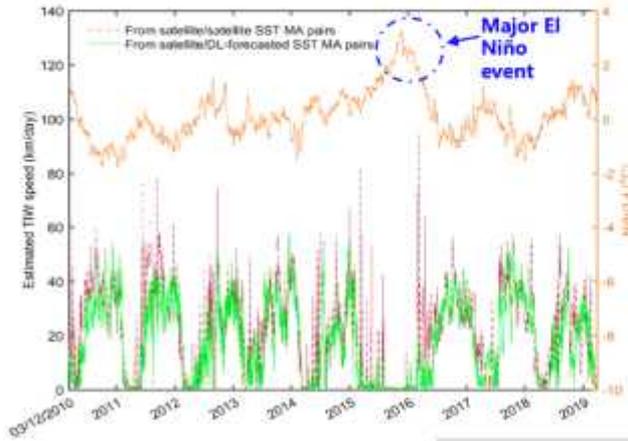


### Forecasted SST



## 2.4.4 TIW Forecast

### Forecast TIW Propagation



Our DL model successfully captures the TIW propagation, and the forecasted speed is in good agreement with the satellite-derived speed!

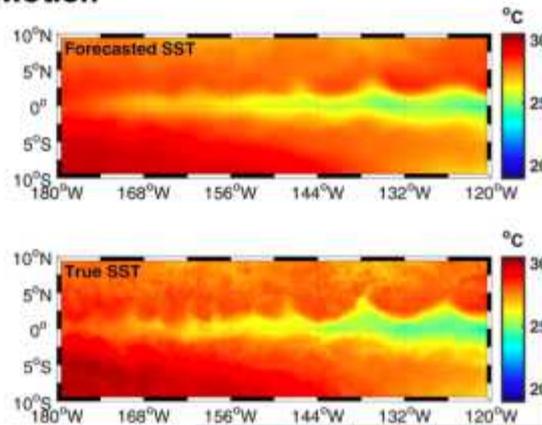
The Niño3.4 index and TIW speed are 180 degrees phase. The correlation coefficient between them is 0.53.



43

## 2.4.4 TIW Forecast

### Forecast TIW Motion



44

S. Zheng, X. Li\*, R. -H. Zhang, B. Liu. Purely satellite data data-driven deep learning forecast of complicated tropical and ... *Science Advances*, 2020: Vol. 6, no. 29, eaba1482 DOI: 10.1126/sciadv.aba1482

# CONTENT

- 1 AI and Big Ocean Data**
- 2 Deep Learning in Oceanography**
  - Classification
  - Data Fusion
  - Algorithm Development
  - Ocean Forecast
- 3 Discussion and Summary**



## 3. Discussion and Summary – a few prospective

### AI Oceanography Framework

● Framework    ○ Application    ● Structure

**IEEE IGARSS, 2018**      **NSR, 2020**      **Springer, ISBN-13 9**



Xiaofeng Li, Bin Liu, Gang Zheng, Yibin Ren, S. Zhang, Yingjie Liu, Le Gao, Yuhai Liu, Bin Zhang, Fan Wang, Deep-learning-based information fusion for ocean remote-sensing imagery, National Science Review, Volume 7, Issue 10, October 2020, Pages 1584–1605, <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa044>

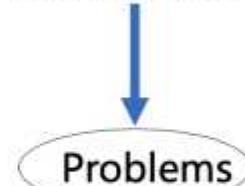


### 3.3 Discussion and Summary – a few prospective

#### New Paradigm



Data Scientists

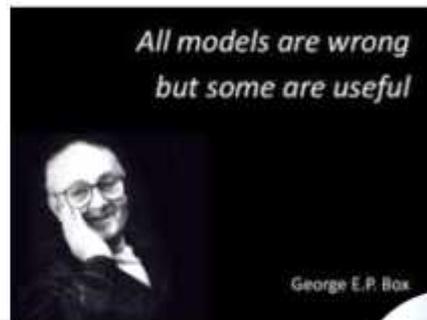


Domain Scienti.



### 3.4 Discussion and Summary – a few prospective

#### Cares about Black Box?



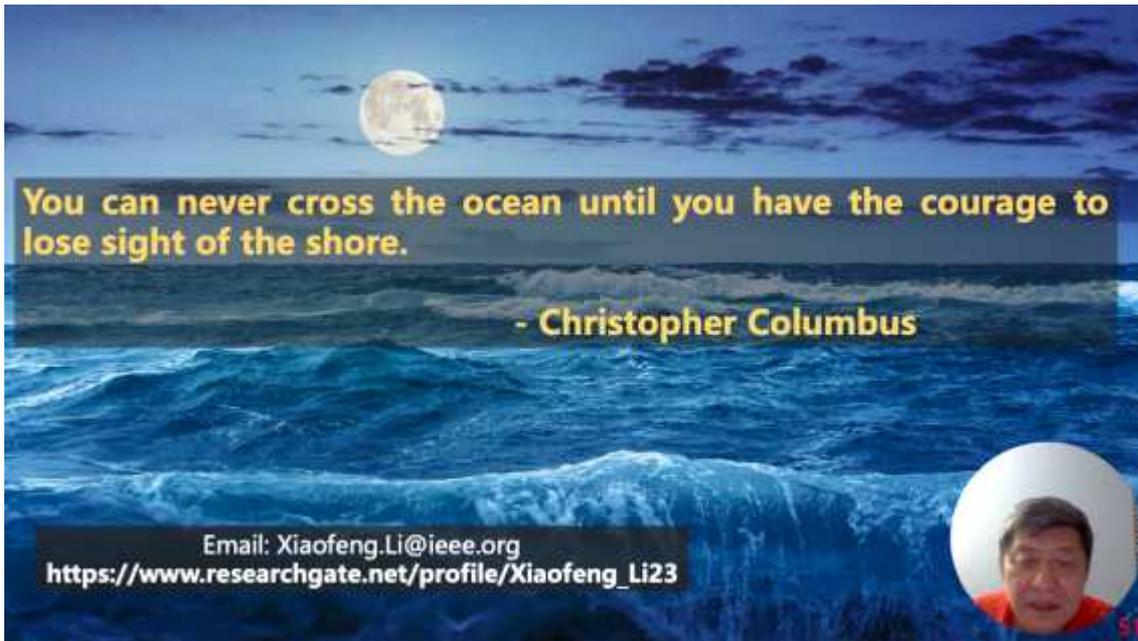
1. The first and most obvious case for using a black box is when the cost of a wrong answer is low relative to the value of a correct answer.
2. A black box can and should be used when it produces the best results.
3. as tools to inspire and guide human inquiry.

- In defense of the black box, E. Holm (CMU), Science, 05 Apr 2019:Vol. 364, Issue 6435, pp. 26-27.

George Box (1919 – 2013) has been "one of the great statistical minds of century".

University of Wisconsin





IBS Center  
for Climate Physics



# Compound Drought-Heatwaves and Changes in Land-Atmosphere Interaction

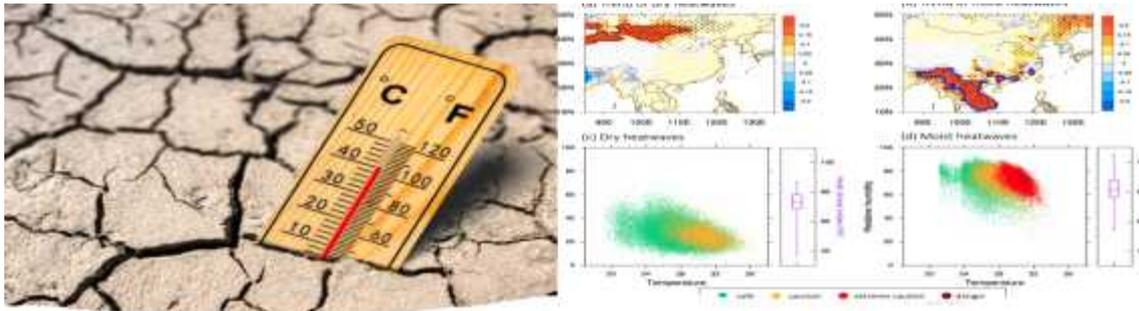
한국지구과학회 60주년 기념 추계학술회의, 서울대 시흥캠퍼스  
11-12 Oct. 2024

Kyung-Ja Ha<sup>1,2,3,\*</sup>, JiHye Yeo<sup>1,2</sup> and Ye-Won Seo<sup>1</sup> ([Global Monsoon Circulation Lab \(pusan.ac.kr\)](http://Global Monsoon Circulation Lab (pusan.ac.kr)))

<sup>1</sup>Center for Climate Physics, Institute for Basic Science, Busan, South Korea

<sup>2</sup>BK21 School of Earth and Environmental Systems, Pusan National University, Busan, South Korea

<sup>3</sup>Institute for Future Earth, Pusan National University, Busan, South Korea



• Increased **evaporative demand** and evaporative deficit

**Motivation** • **Divergent** characteristics of heatwaves

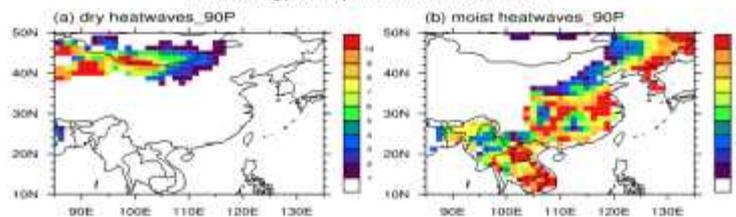
• **Compounding** drought and heatwaves and **land-atmosphere interaction**



### Definition of dry and moist heatwaves

- **Data** : JRA-55 reanalysis datasets (1958-2019, 62yrs)
- **Heatwave** : Number of days having  $T_s > 90th$  percentiles for at least 3 consecutive days
  - $T_s$  : Daily 2-m air temperature from May-October
  - The 90th percentile is a single threshold for the total period (62 years × 184 days, 1958 to 2019)
- **Dry heatwave** : Relative humidity < 33% with heatwave events
- **Moist heatwave** : Relative humidity > 66% with heatwave events

Climatology of dry and moist heatwaves

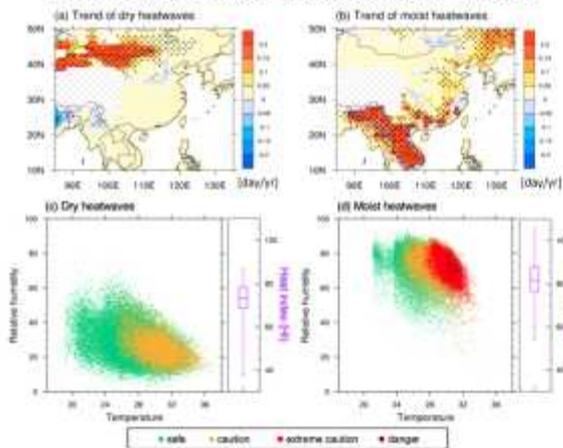


Ha et al., 2022, npj CAS



### Increased dry and moist heatwaves

Linear trends of dry and moist heatwaves (1958-2019)



(red and blue contours : linear trend ≥ 0.15day, defined as dry and moist heatwave regions)

- The **dry heatwaves** increase over **northwestern EA** adjacent to the main desert regions.
- The occurrence frequency of **moist heatwaves** increased, especially, over **southern EA** and closer to the maritime moisture sources.
- **Moist heatwaves** have reached the “**extreme caution**” and even “**danger**” levels.

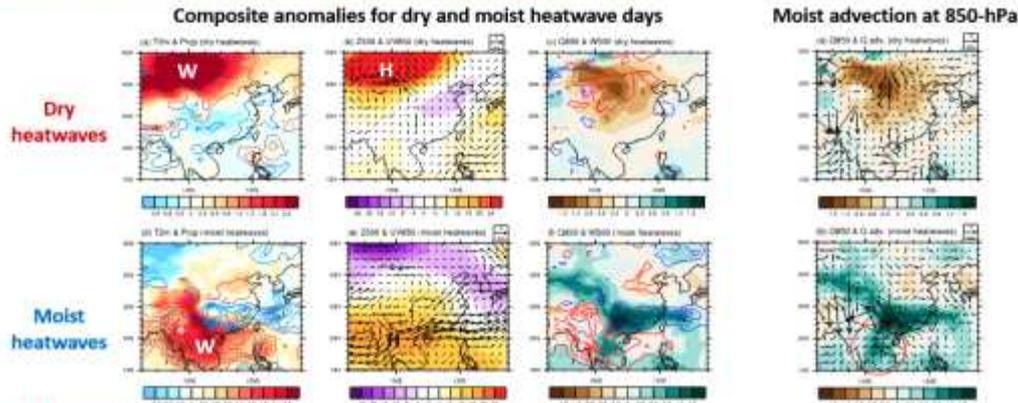
**Heat stress index (HI)** is used to assess the stress induced by the **combined effects of high temperature and humidity**.

$$HI = -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times RH - 0.22475541 \times T \times RH - 0.00683783 \times T^2 - 0.05481717 \times RH^2 + 0.00122874 \times T^2 \times RH + 0.00085282 \times T \times RH^2 - 0.00000199 \times T^2 \times RH^2$$

Ha et al., 2022, npj CAS



### Characteristics of dry and moist heatwaves



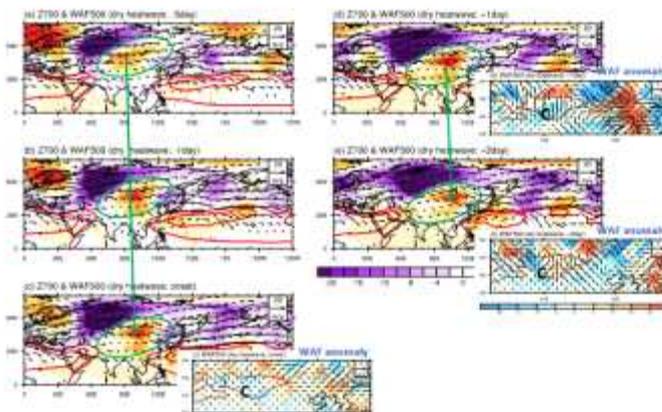
- **Dry heatwaves** : warm temperature, less precipitation, anomalous anticyclonic flow, sinking motion → sunny weather, strong solar radiation to surface.
- **Moist heatwaves** : warm T and low level divergence, additional moisture advection from northern & southern EA through the adjacent wet region

(Ha et al. 2022 *npj Climate and Atmospheric Science*)



### Dry heatwaves from wave activity flux

: Anticyclonic anomaly induced by the atmospheric wave trains

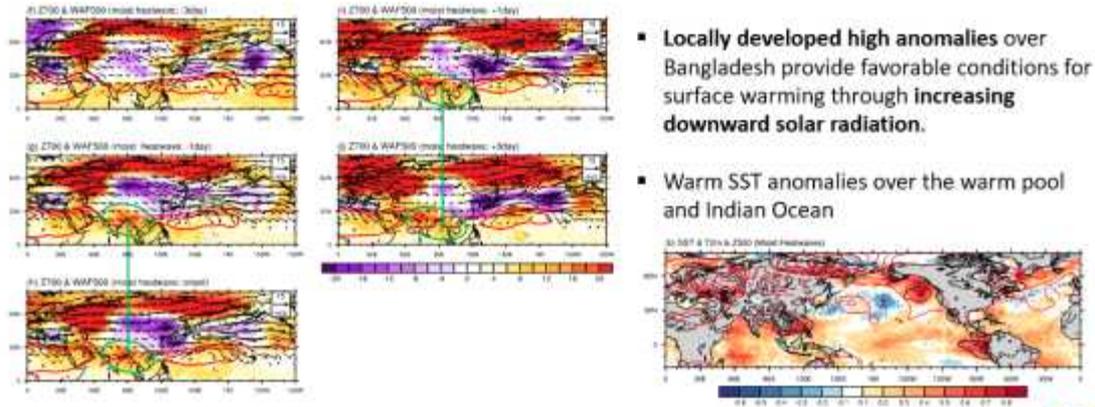


- The northern East Asia anticyclonic anomalies, which are affected by the **wave propagation initiated from Western Europe** through the amplification of ridge due to anomalous WAF conversion, contribute to the formation of dry heatwaves.
- This wave structure is still maintained up to 3 days after the onset and it is bound up with the development of heatwaves.

(Ha et al. 2022 *npj Climate and Atmospheric Science*)



## Moist heatwaves from wave activity flux : Locally generated Anticyclonic anomaly



## Feedback attribution analysis

- Coupled Atmosphere-Surface Climate Feedback-Response Analysis Methods (CFRAM, Lu and Cai 2009)

$$\vec{R} = \vec{S} + \vec{Q}^{nonradiative}$$

The total energy balance at M atmospheric layers

The difference between two climate states (strong dry/moist heatwave years vs. normal years)

$$\Delta \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \Delta \vec{S} - \Delta \vec{R} + \Delta \vec{Q}^{non-radiative} \left\{ \begin{array}{l} \Delta \vec{R} = \frac{\partial \vec{R}}{\partial T} \Delta \vec{T} + \Delta \vec{R}^{(w)} + \Delta \vec{R}^{(c)} + \Delta \vec{R}^{(O_3)} \\ \Delta \vec{S} = \Delta \vec{S}^{(w)} + \Delta \vec{S}^{(c)} + \Delta \vec{S}^{(a)} + \Delta \vec{S}^{(O_3)} \end{array} \right\}$$

$$\Delta \vec{T} = \left( \frac{\partial \vec{R}}{\partial T} \right)^{-1} \left\{ \begin{array}{l} \Delta(\vec{S} - \vec{R})^{(w)} + \Delta(\vec{S} - \vec{R})^{(c)} + \Delta(\vec{S} - \vec{R})^{(O_3)} + \Delta \vec{S}^{(a)} \\ + \Delta \vec{Q}^{(SH)} + \Delta \vec{Q}^{(LH)} + \Delta \vec{Q}^{(atmos\_dyn)} + \Delta \vec{Q}^{(sfc\_dyn)} \end{array} \right\}$$

Local temperature differences

Planck feedback matrix

Change in net rad. heating/cooling

Water vapor, Cloud, Ozone, Albedo

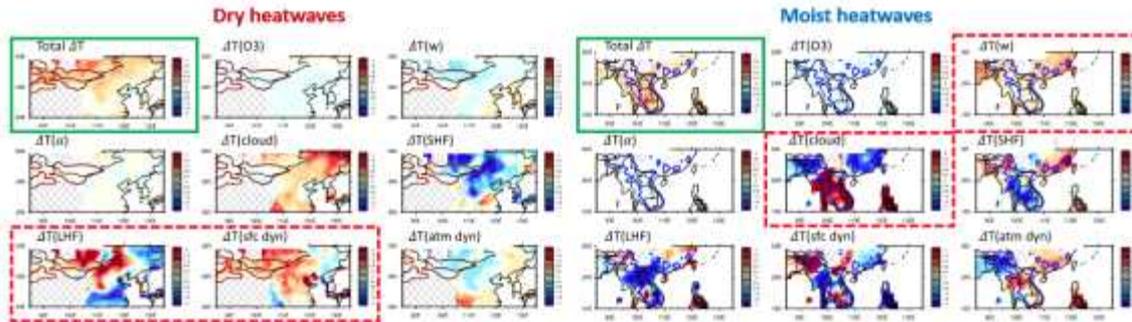
Sensible heat, Latent heat, Atmospheric dynamics, Surface dynamics

Change in net non-radiative dyn. heating/cooling



### Feedback attribution to dry and moist heatwaves

: Partial temperature changes due to feedback attributions (Total, 8 contributing factors)



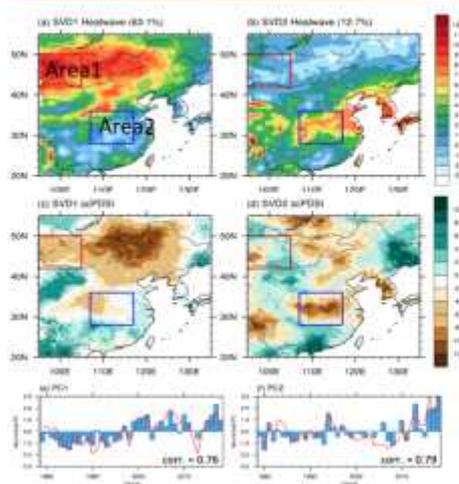
**Dry HW** : Latent heat flux at surface due to decrease in evaporative cooling and surface dynamics

**Moist HW** : Water vapor and Cloud feedback

Ha et al., 2023, npj CAS

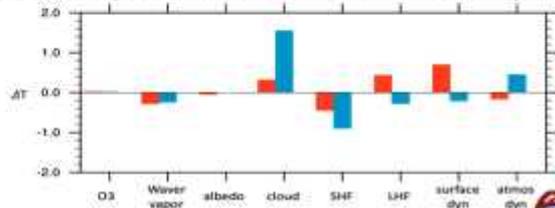


### Feedback attribution to dry heatwaves



- Latent heat flux and surface dynamic processes served as positive feedback for surface warming by **reducing the heat release** from the surface to the atmosphere because of **deficient soil moisture** based on dry conditions.
- **Cloud feedback** also led to warm temperature anomalies through **increasing solar insolation** caused by **decreasing cloud amounts** associated with **anomalous high-pressure systems**.

Partial temperature anomalies related to feedback processes



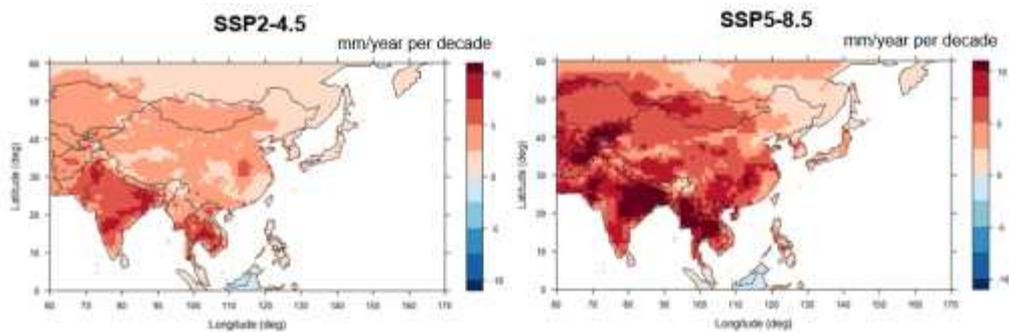
(Ha and Seo, 2023, MAUSAM)



## Evaporative demand->Drought from Changes in ET-> Evaporative deficit Drought risks in ICP, western EA

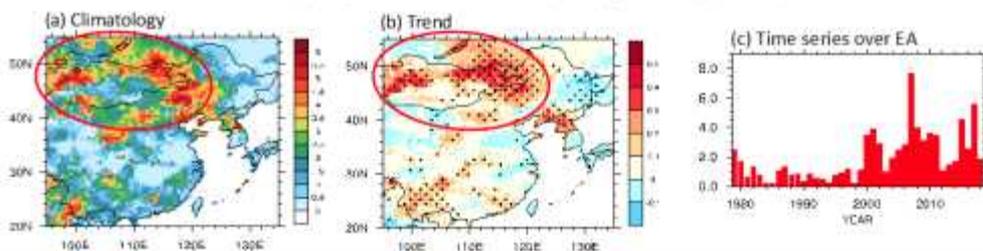
Linear trend differences between of the *wet-environment ET* and *actual ET* projections over 2015–2100  
**New Drought Projections Over East Asia Using Evapotranspiration(ET) Deficits**  
(Ha et al., 2020, GRL ;Kim et al., 2021, Earth Future)

Despite growing precipitation, **future droughts will become more intense!**



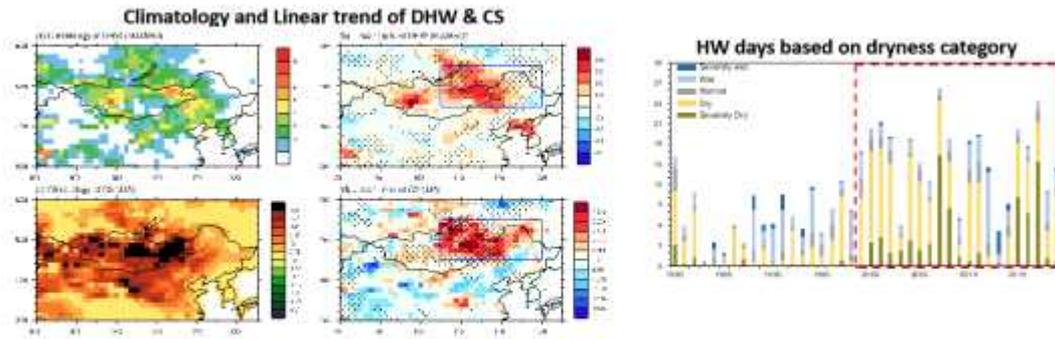
## Definition of compound drought and heatwaves (DHW)

- **Data** : JRA-55 reanalysis, ERA-Interim reanalysis datasets (1979-2019)
- **Heatwave** : Number of days having  $T_s > 90th$  percentiles for at least 3 consecutive days (May to October)
- **Self-calibrated Palmer Drought Severity Index (scPDSI)**  
: The scPDSI automatically calibrates the behavior of the PDSI, which is used to **estimate relative dryness**.  
- **Severely dry conditions** : scPDSI < -3
- **Compound drought and heatwaves (DHW)**  
Heatwave events with severely dry condition defined by drought index (scPDSI)



[Seo et al. 2021 Environ. Res. Lett.]

### Abrupt changes in DHW in late 1990s



- DHW and Land-Atmosphere coupling strength increase over northeastern Asia.
- Most heatwaves have occurred under dry conditions, with a notable increase in the occurrence of severe drought accompanied by heatwaves.
- **Abrupt changes in severe drought and heatwaves appear after late 1990s.**  
(Change point was detected by Pettit's Test in 90% confidence levels.)

Seo and Ha, 2022, npj CAS



### ▪ Compound drought and heatwaves (DHW) events.

- **Data** : JRA-55 reanalysis datasets
- **Analysis Period** : 1980-2019, 40yrs
- **Heatwave** : Number of days having  $T_s > 90th$  percentiles for at least 3 consecutive days (May to October)
- **Self-calibrated Palmer Drought Severity Index (scPDSI)**  
: The scPDSI automatically calibrates the behavior of the PDSI, which is used to **estimate relative dryness**.  
- **Severely dry conditions** : scPDSI < -3

- **Compound drought and heatwaves (DHW)**  
Heatwave events with severely dry condition defined by drought index (scPDSI)

- **Soil moisture-temperature coupling strength (CS)** (Miralles *et al* 2012)

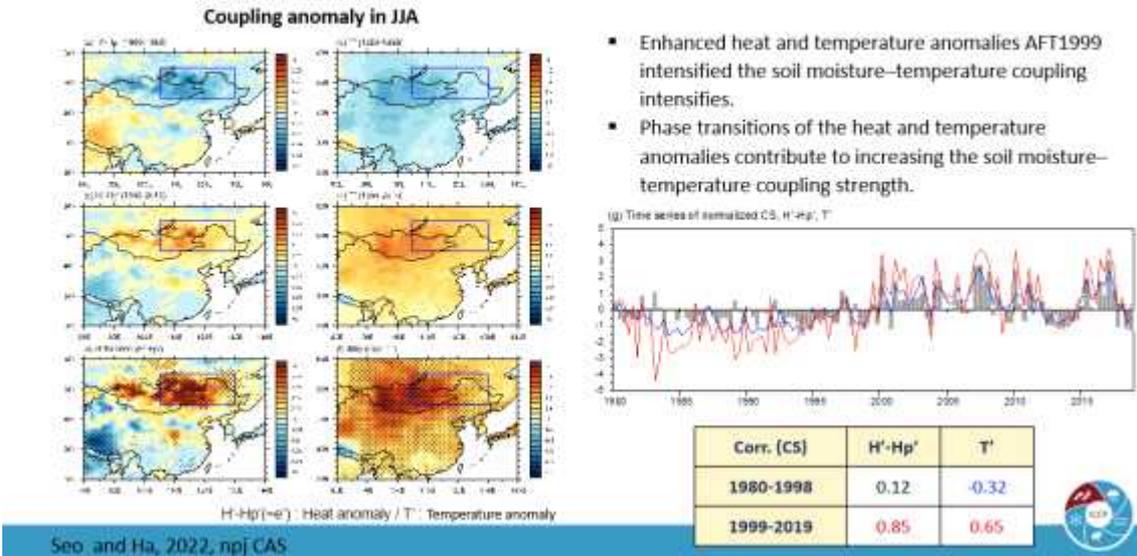
$$\pi = [(R_n - \lambda E)' - (R_n - \lambda E_p)'] \times T' = [H' - H_p'] \times T' = e' \times T'$$

$T'$  : anomalies of near surface air temperature  
 $e'$  : anomalies in the effect of soil moisture deficit on the energy balance (anomalies related to the seasonal expectation)  
 $R_n$  : surface net radiation  
 $\lambda$  : latent heat of vaporization  
 $E$  : actual evaporation  
 $E_p$  : potential evaporation

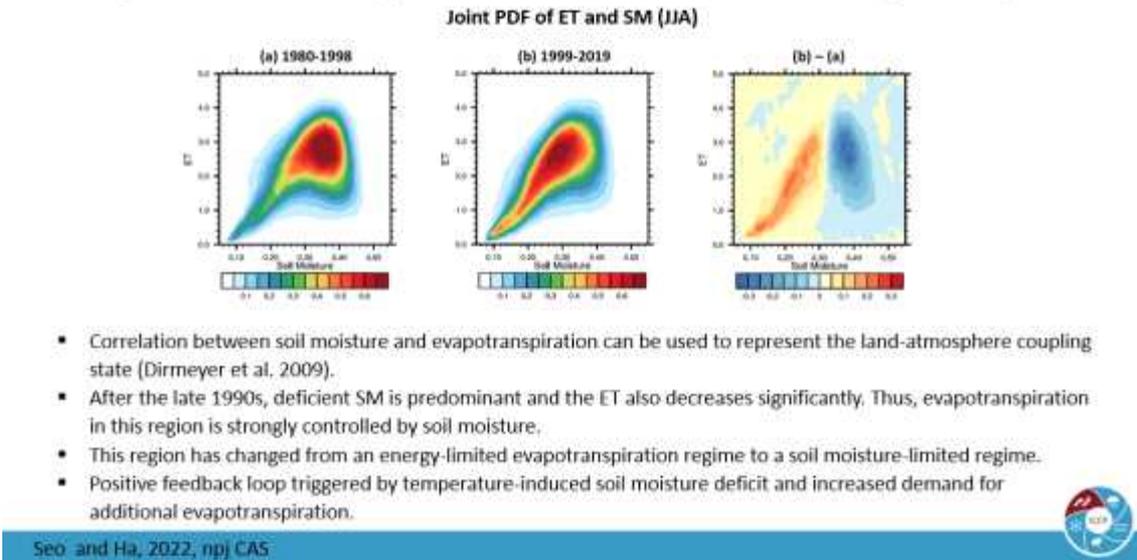
Seo and Ha, 2022, npj CAS



### Changes in Land-Atmosphere Coupling over East Asia

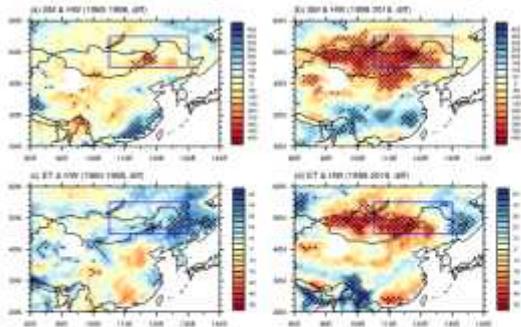


### Changes in relationships between soil moisture & evapotranspiration



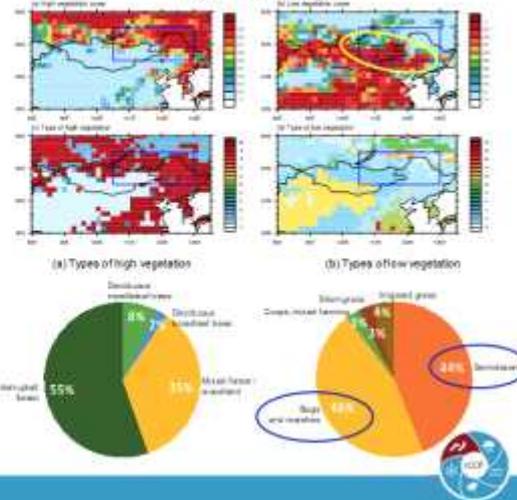
## Effects of soil moisture and evapotranspiration on heatwaves

### Regression of HW against dSM & dET (JJA-MAM)



- Seasonal changes in evapotranspiration and soil moisture significantly affect to heatwaves during 1999-2019.
- The regions are dominated by low vegetation cover. Thus, the relationship with heatwaves is more pronounced due to changes in soil moisture than vegetation changes.

### Land cover map



Seo and Ha, 2022, npj CAS

## Response of potential evapotranspiration ( $E_p$ ) under non-water stress regions and CO<sub>2</sub> abundant climate

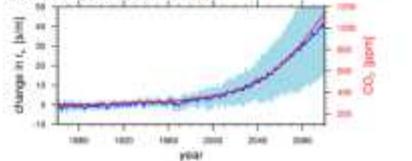
- When incorporating a generic stomatal sensitivity to increasing CO<sub>2</sub> in the reference potential evapotranspiration ( $E_p$ ), future drought frequency in East Asia was projected to decrease by 17% under high emission scenario, compared to  $r_s$ -fixed simulation.
- Goal: Moisture response to CO<sub>2</sub> forcing, biological mediated climate response to CO<sub>2</sub>, and CO<sub>2</sub> fertilized land

$$E_p = \frac{0.485A_s + r_s \frac{VPD}{20} u_2 VPD}{A + r \left\{ 1 + u_1 \left[ 0.34 + 2.4 \times 10^{-4} ([CO_2] - 300) \right] \right\}}$$

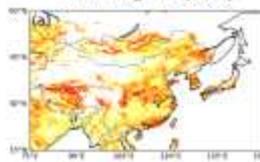
### CMIP6 dataset

- Historical, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 scenario

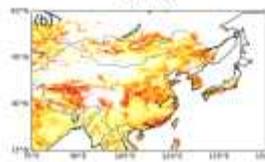
Changes in surface resistance ( $r_s$ ) response with increasing CO<sub>2</sub> over non-water limited regions relative to the 1981-1960



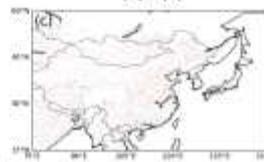
(a)  $r_s$ -fixed simulation-based Flash drought frequency



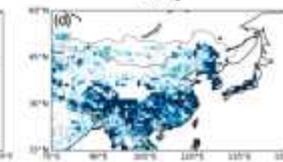
(b) changes in  $r_s$  with CO<sub>2</sub>-based



present [1981-2020] (b) - (a)



high emission scenario [2021-2060]

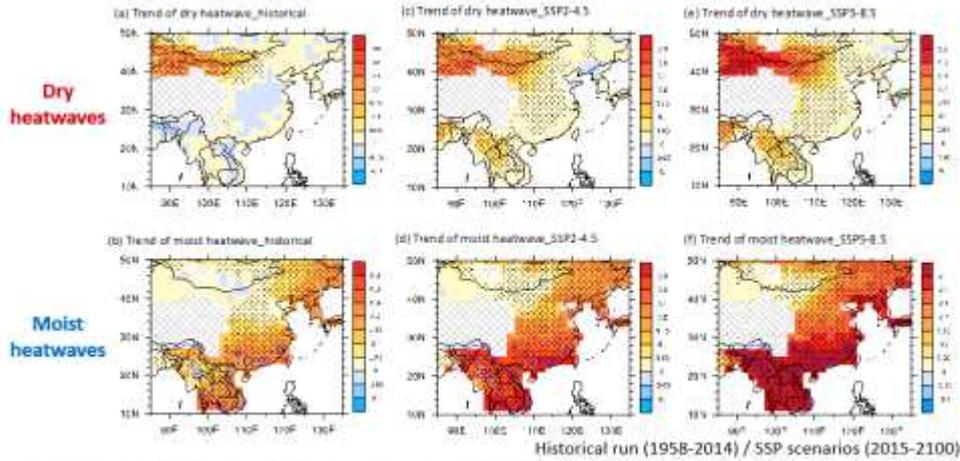


Flash drought frequency (events per decade)

Difference (events per decade)

Kim et al. (2023, ERL)

### (Future Projection) Increased and intensified dry and moist heatwaves

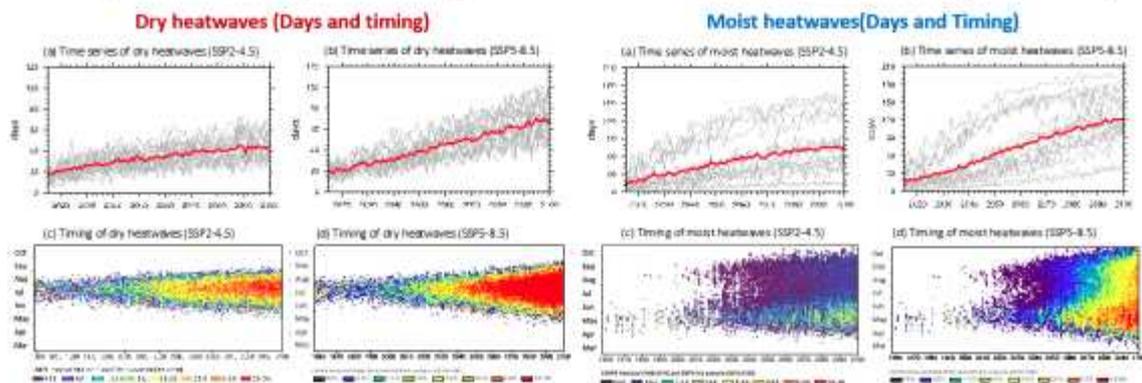


- Under future climate scenarios, heatwaves are expected to expand over a considerable area of East Asia
- and their intensity is expected to increase significantly

Ha et al., 2022, npj CAS



### Timing and intensity of Two types of heatwaves in future climate(16 CMIP6)



- Gradually Amplification**
- Dry heatwaves** will become more frequent with enhanced amplitudes.
- Early burst & prolonged moist HW**
- Presently rare early-June-heatwaves will become commonplace by the end of the 21st century.

Ha et al., 2022, npj CAS



### 고분해능 기후모형 결과 그림(가 강수량) 설명

IBS 기후물리연구단 (단장: 약셀 팀머만) 모델 시뮬레이션 결과:  
가 강수량(precipitable water, 수증기 연직적분한 양)

1. 현재기후 실험 Present-day run (fixed CO2 concentration of 367 ppm),
2. 이산화탄소 2배증 실험 Doubling CO2 run (fixed CO2 concentration of 734 ppm)

상세한 모형 실험 참고사이트, [Ultra-high-resolution climate simulation project – IBS Center for Climate Physics \(ibscclimate.org\)](http://ibscclimate.org)

#### 참고문헌

Reduced tropical cyclone densities and ocean effects due to anthropogenic greenhouse warming, [Jung-Eun Chu](#), [Sun-Seon Lee](#), [Axel Timmermann](#), [Christian Wengel](#), [Malte F. Stuecker](#), [Ryohei Yamaguchi](#), *Science Advances*, vol.6, 51, eabd5109, DOI: [10.1126/sciadv.abd5109](https://doi.org/10.1126/sciadv.abd5109) (2020)

[Mincheol Moon](#), [Kyung-Ja Ha](#), [Dasol Kim](#), [Chang-Hoi Ho](#), [Doo-Sun R. Park](#), [Jung-Eun Chu](#), [Sun-Seon Lee](#), [Johnny C.L. Chan](#), 2023, Rainfall strength and area from landfalling tropical cyclones over the North Indian and western North Pacific oceans under increased CO2 condition, *Weather and Climate Extremes*, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100581>



자료 및 참고자료 의뢰: 하경사 교수 (kjha@pusan.ac.kr)



## Summary

- **(Moisture)** Globally, the **atmosphere is expected to become moister** in response to global warming.
- **(Regionality)** Linear trend for Dry heatwaves (Dry HW) shows a significant increase in the northwestern East Asia. While, Moist heatwaves (Moist HW) show an increasing trend in the southern region of East Asia.
- **(Distinguished heat stress index)** Dry HW is distributed at the caution level, while Moist HW reaches the severe caution and danger levels. This highlights the need for separate analysis of Dry HW and Moist HW.
- **(Difference in feedback attribution)** Dry heatwaves shows a significant increase in areas of northwestern East Asia by turbulent heating due to a decrease in surface to atmosphere evapotranspiration. In the moist HW region cloud feedback and water vapor feedback were the main factors.
- **(Compound)** Drastic increases in compound droughts and heatwaves (DHW) since the late 1990s over northern East Asia have been investigated. These changes are affected by the **enhanced soil moisture-temperature coupling strength** due to the phase transition of both the temperature and heat anomalies.
- **(Timing and intensity in future projection)** Dry HWs are expected to occur more frequently in the future, particularly after 2040 with stronger intensity in the SSP585 scenario. In the current climate, dry heatwaves occur rarely in May and June, but they are expected to occur more frequently and continuously from June to August in the future. For moist HWs, there are large differences in frequency among the models compared to dry HWs. In future scenarios, they are expected to occur from May to August and can persist until October in the SSP585 scenario.



# 기후변화와 해양순환

## - 바다의 역할 -

서울대학교 지구환경과학부

조양기

2024년 10월 11일

한국지구과학회

## 목 차

- 1. 바다는 지구의 온도조절자
- 2. 한반도 주변 해양순환: 대마난류
- 3. 대마난류에 의한 열 이동
- 4. 대마난류의 변동
- 5. 대마난류와 남해연안 용승

# 1. 바다는 지구의 온도조절자

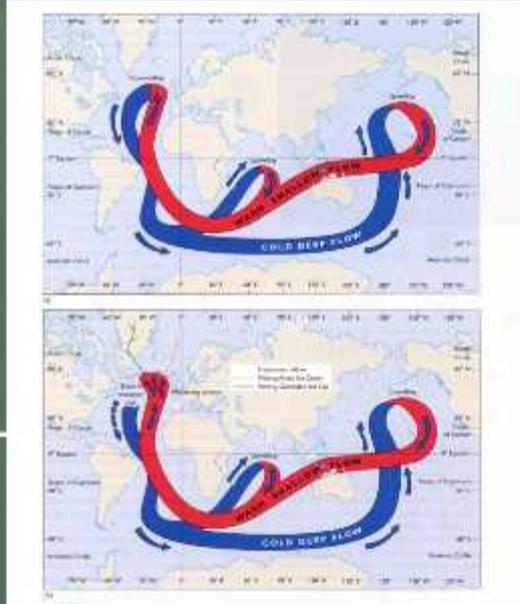
## 바다: 지구 증가 열의 대부분 흡수



ocean: main energy reservoir

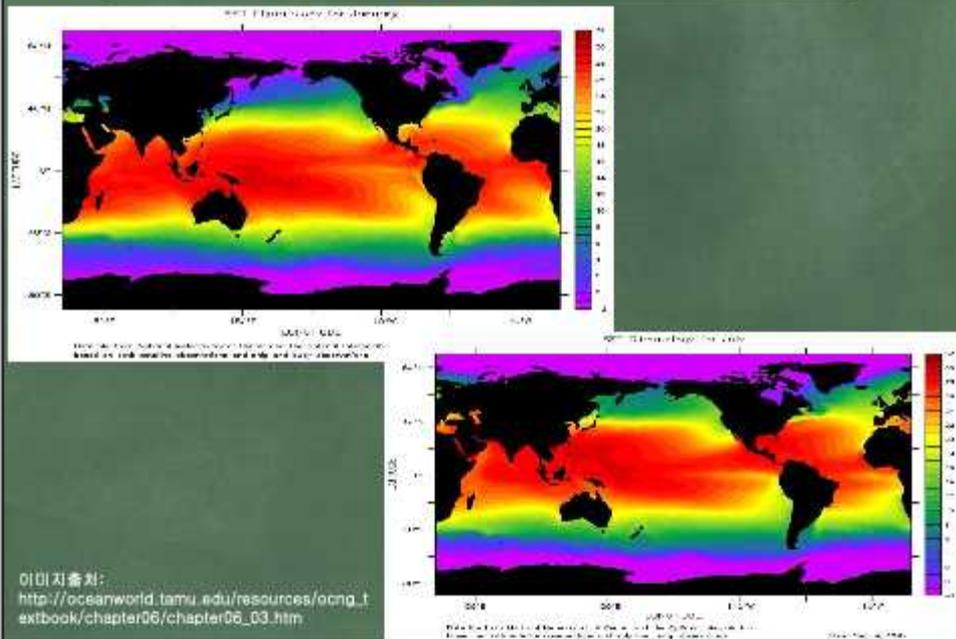
- 바닷물의 비열은 대기 비열의 약 4배
- 바닷물 전체의 질량은 대기 전체 질량의 약 250배
- 바닷물 전체의 열용량은 대기 전체 열용량의 약 1000배
- 바다로 인해 지구의 기후가 안정되고, 생명체에게 알맞은 서식환경이 유지

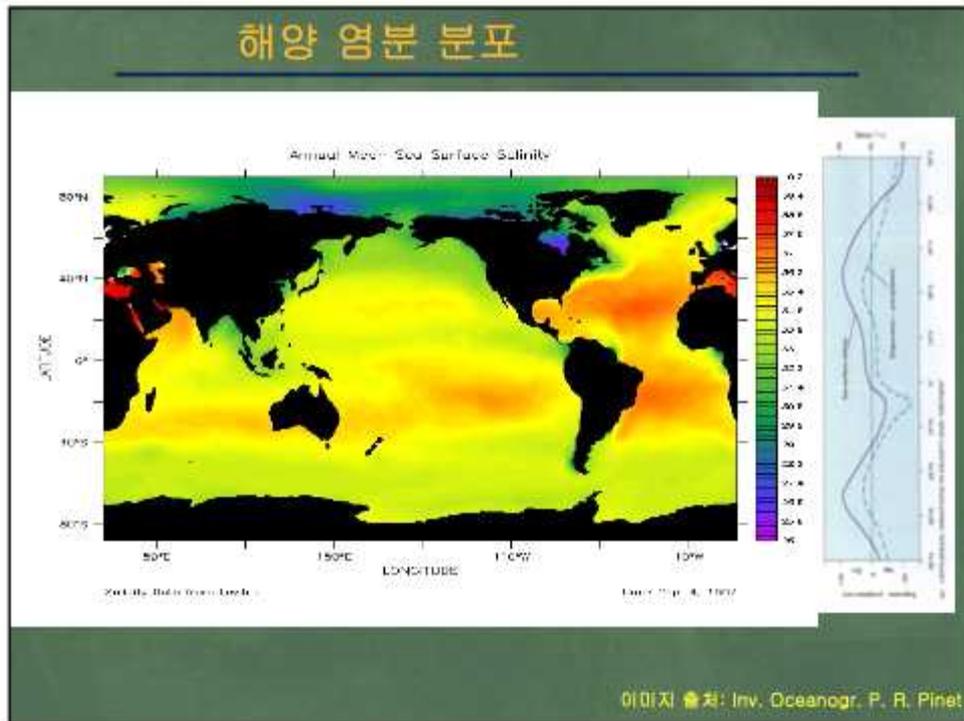
## 해양 심층 순환: 지구의 열 재분배

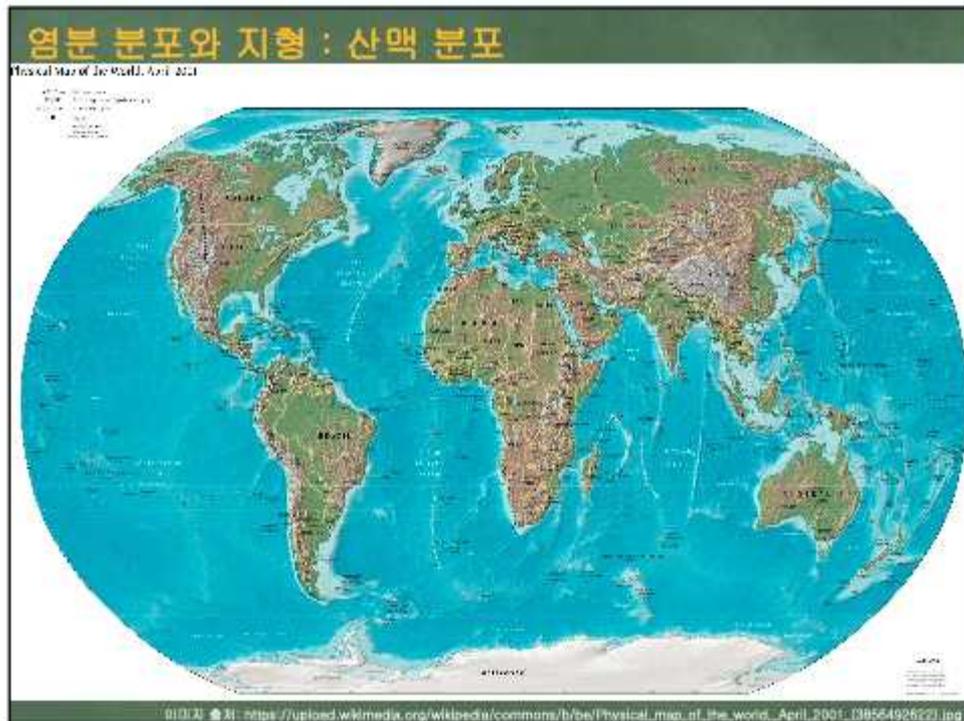


Inv. Oceanogr. P. R. Pinet

## 해양 수온 분포





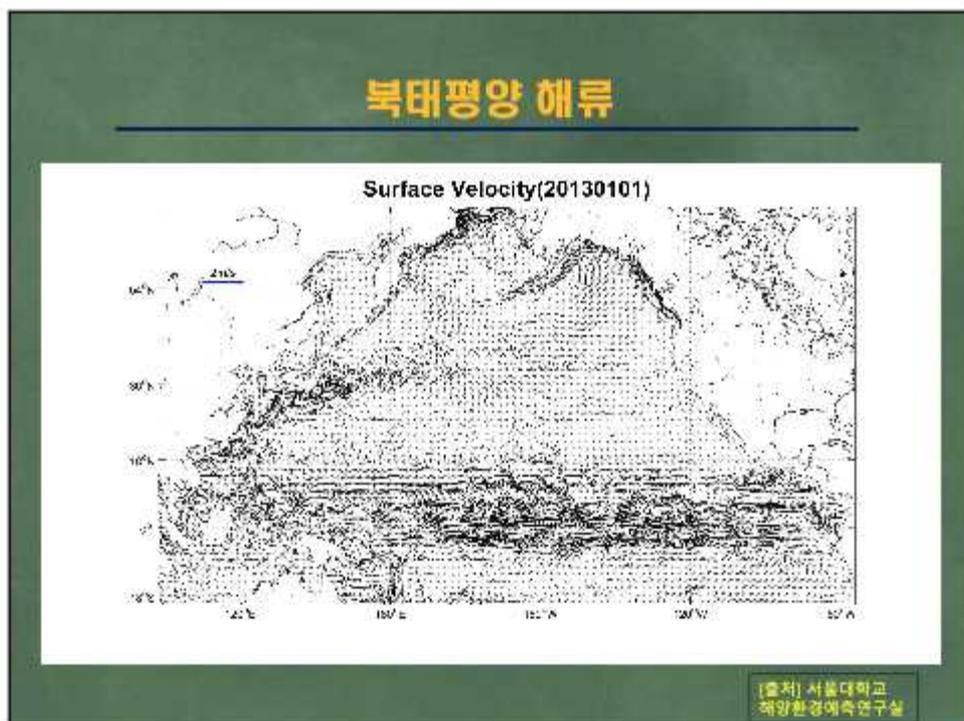
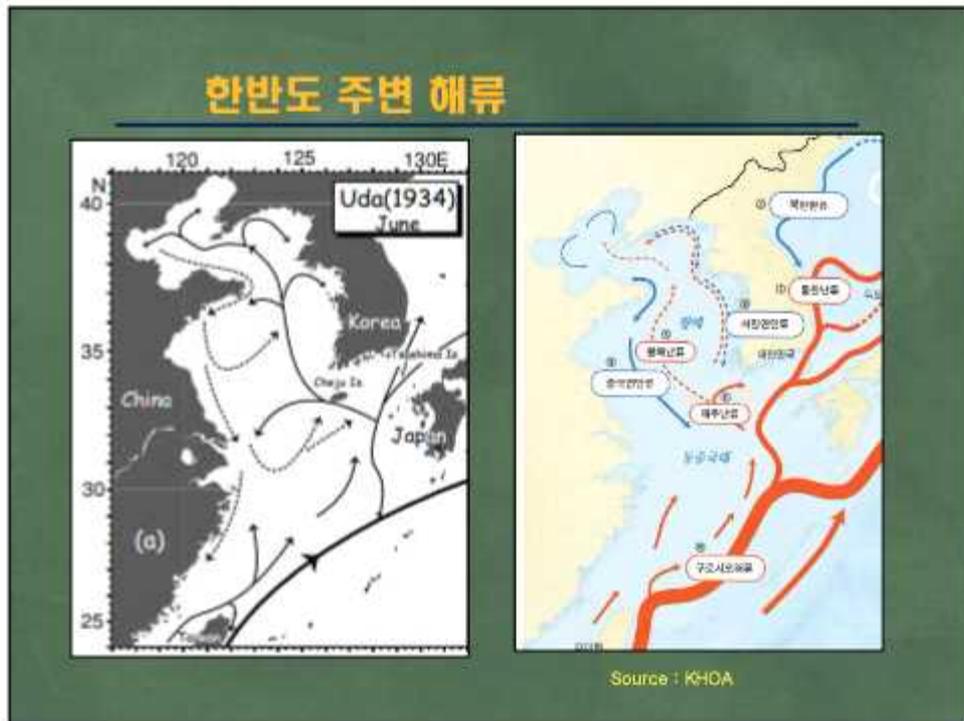


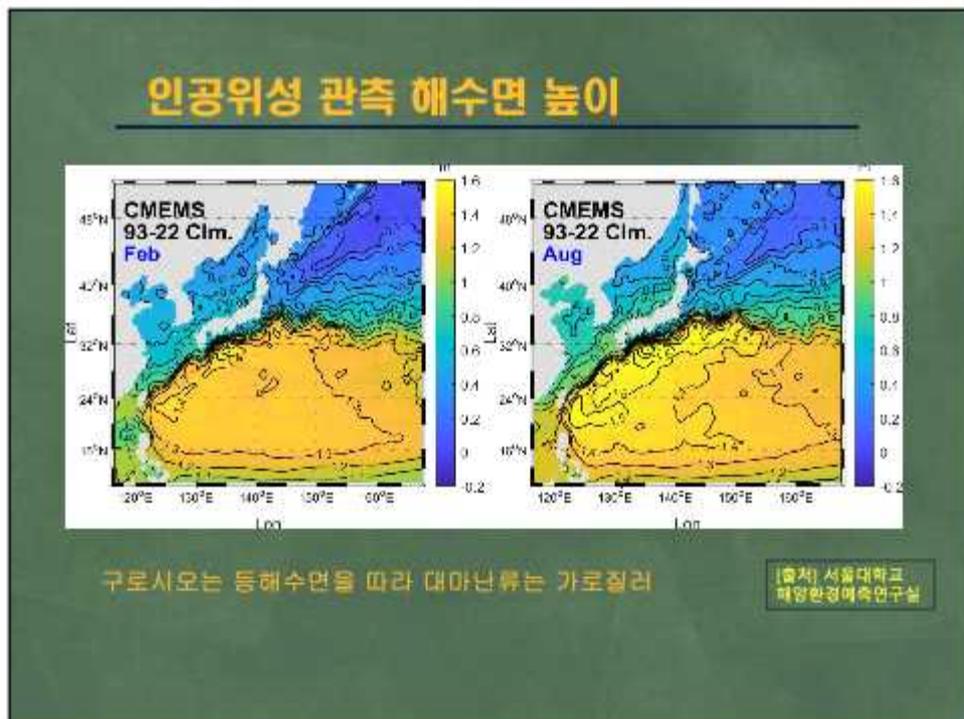
북태평양 염분 낮고, 북대서양은 염분이 높은 또 다른 이유 ?

- **무역풍:** 대서양 수증기를 태평양으로 이동, 비가 되어 염분 낮추고, 대서양은 증발로 염분 상승.
- **편서풍:** 북태평양 수증기가 북키산맥에서 비가 되어 다시 태평양으로 되돌림.

The diagram illustrates the Föhn effect. On the left, air rises on the windward side of a mountain, cooling and forming clouds with rain. On the right, air descends on the leeward side, warming and becoming dry, labeled as '건조한 공기' (dry air). The diagram includes a Starbucks logo, a movie poster for 'Sleepless in Seattle', and a photo of a desert landscape. A URL is visible at the bottom: [https://en.wikipedia.org/wiki/F%C3%B6hn\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/F%C3%B6hn_effect)

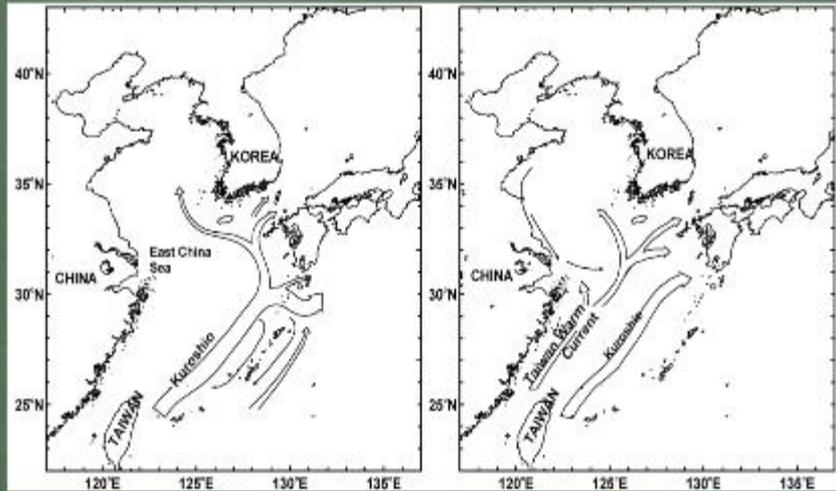
## 2. 한반도 주변 해양순환: 대마난류





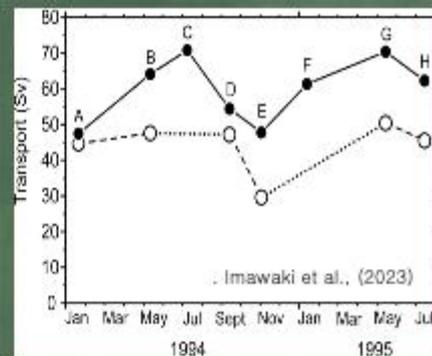
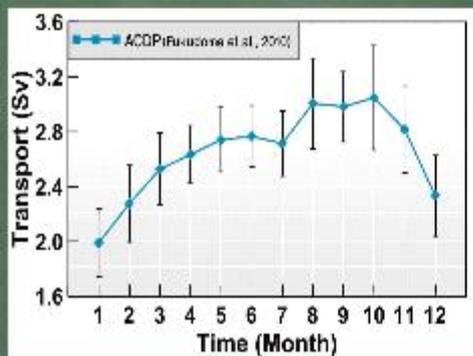


### 대마난류 기원에 대한 상반된 견해



[출처] 서울대학교 해양환경예측연구실

### 대마난류(좌)와 구로시오(우) 수송량의 계절변화



가을 : 대마난류 최대 수송량    구로시오: 수송량 최소

수송량 변화가 음의 상관관계



## 대만해협과 중국연안 관측 해류자료 부족



Fig. 7. The annual mean pattern of surface current derived from GEK data from 1953 to 1984 (Qiu and Imasato, 1990).

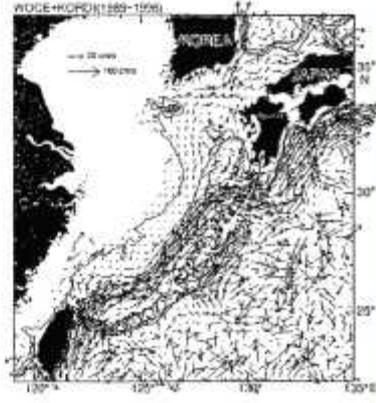
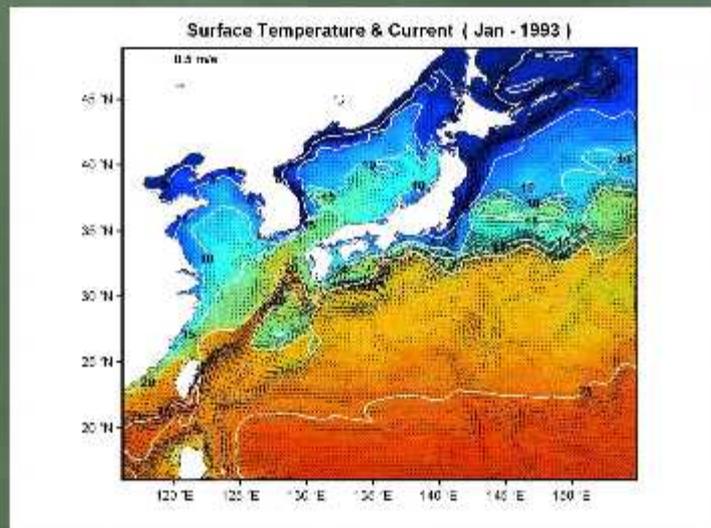


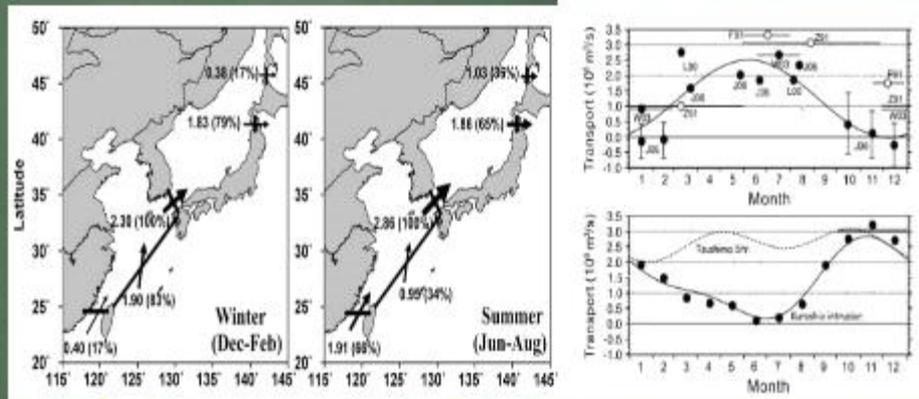
Fig. 8. The annual mean pattern of surface current derived from trajectories of surface drifters from 1989 to 1996 (Lje et al., 1998a, b), together with the 100-, 200-, 500- and 1000-

## 장기간 수온과 해류 시뮬레이션 결과



[출처] 서울대학교 해양환경예측연구소

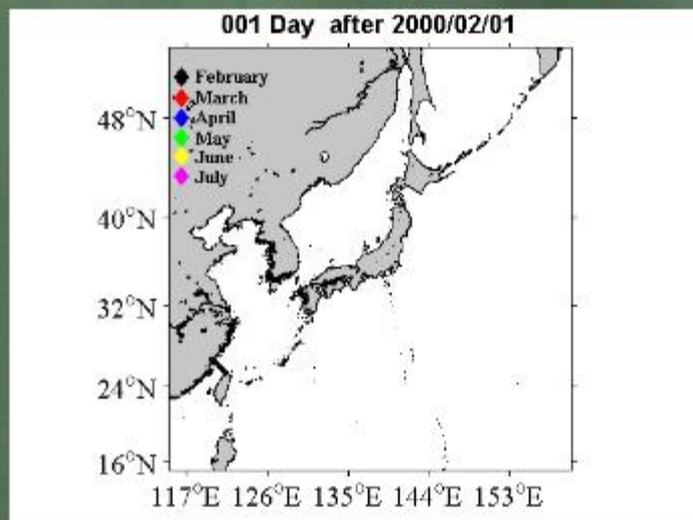
### 시뮬레이션과 관측 수송량 비교



Cho, et al., 2009. Connectivity among straits of the northwest Pacific marginal seas. JGR. VOL. 114, C06018.

Isobe, 2008

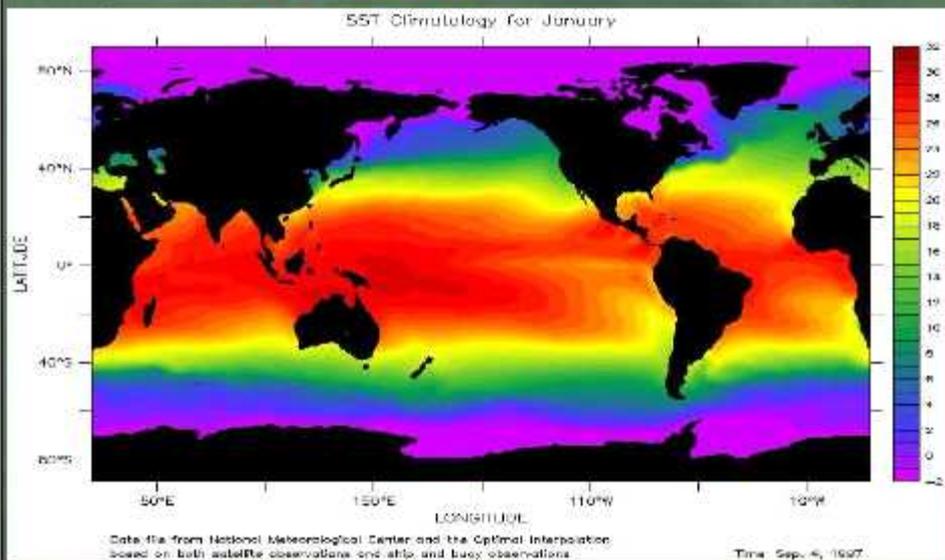
### 대만해협과 대한해협 연결성



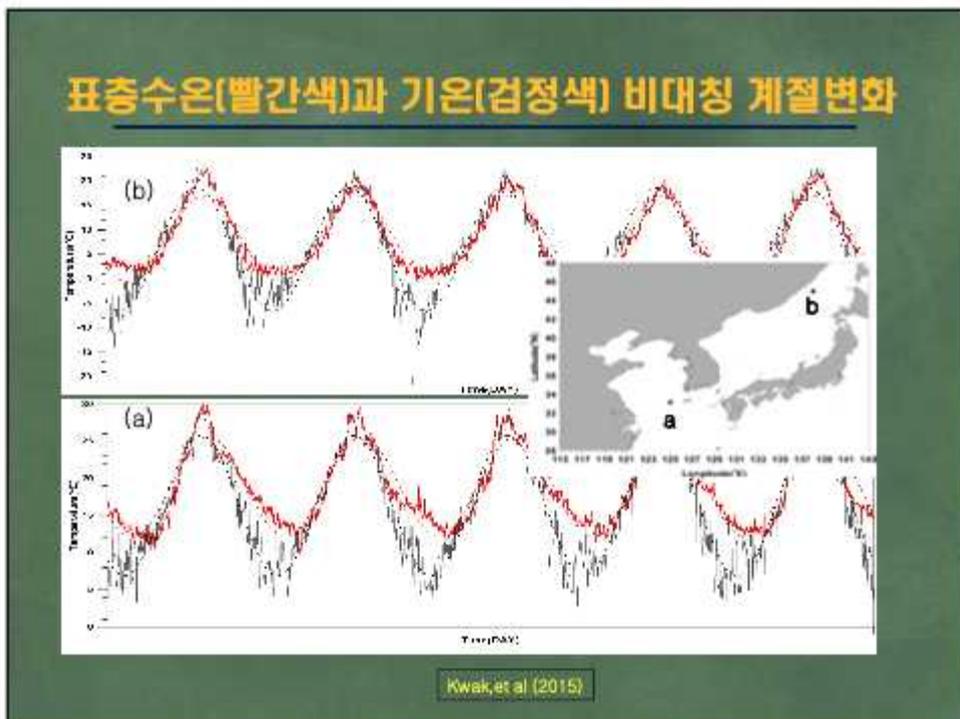
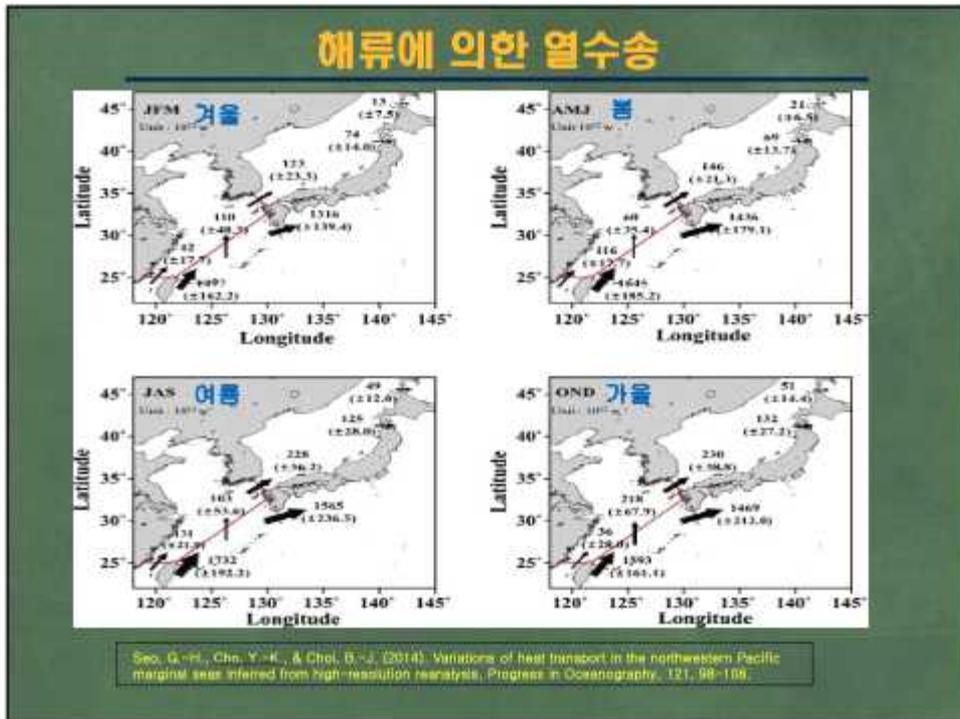
[출처] 서울대학교 해양환경여유연구소

### 3. 대마난류에 의한 열 이동

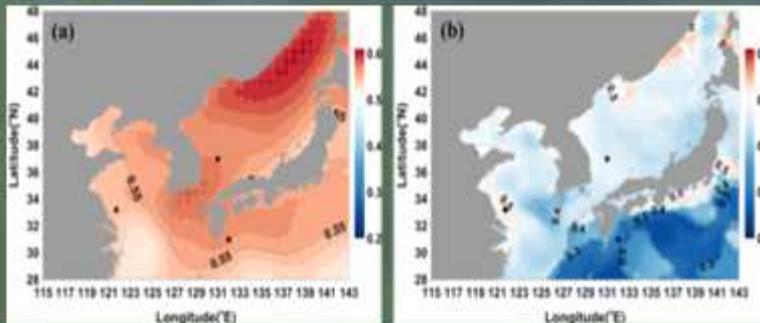
#### 해양 수온 분포



오디 자료처:  
[http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng\\_textbook/chapter06/chapter06\\_03.htm](http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter06/chapter06_03.htm)

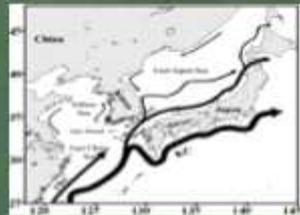


### 표층수온과 기온 계절변화의 비대칭성



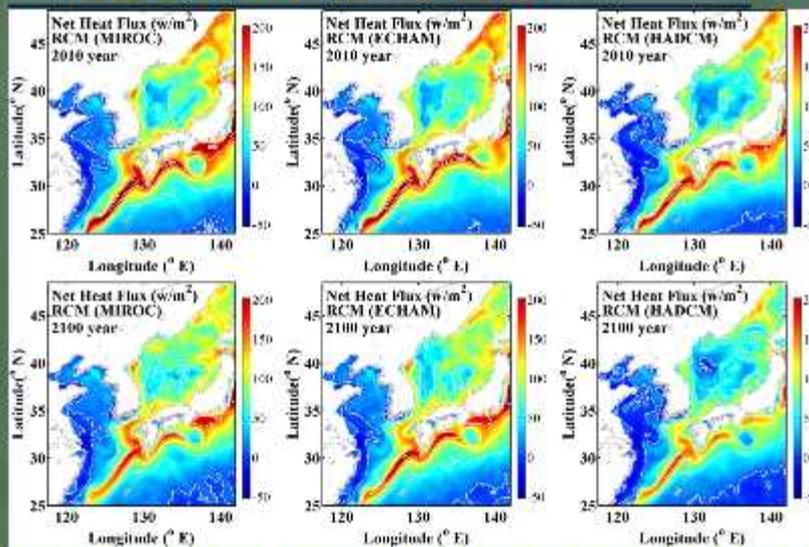
- 0.5 : 온도 상승일과 하강일 동일
- 0.5 이상: 상승일 > 하강일  
(하강 속도가 더 빠름)
- 0.5 이하 : 상승일 < 하강일  
(상승 속도가 더 빠름)

Kwak et al (2015)



### 해양으로부터 대기로 열 공급

현재

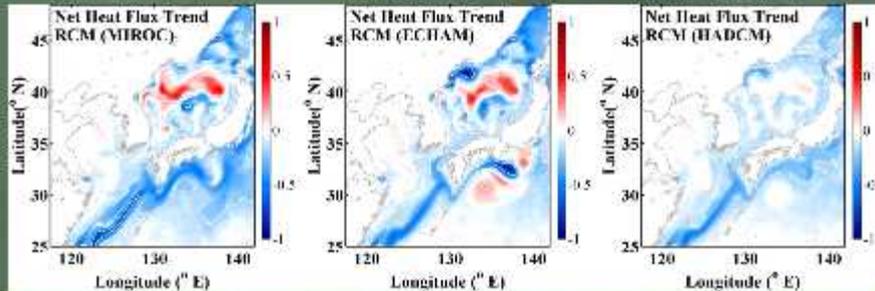


미래

Annual mean net surface heat flux estimated from the regional models in (top) 2010 and (bottom) 2100. (left) MIROC, (middle) ECHAM, and (right) HADCM. SRES A1B

Seo, G.-H., Cha, Y.-K., & Choi, B.-J. (2014). Variations of heat transport in the northwestern Pacific marginal seas inferred from high-resolution reanalysis. Progress in Oceanography, 121, 100-110.

## 미래 해양이 대기로 열 공급 감소

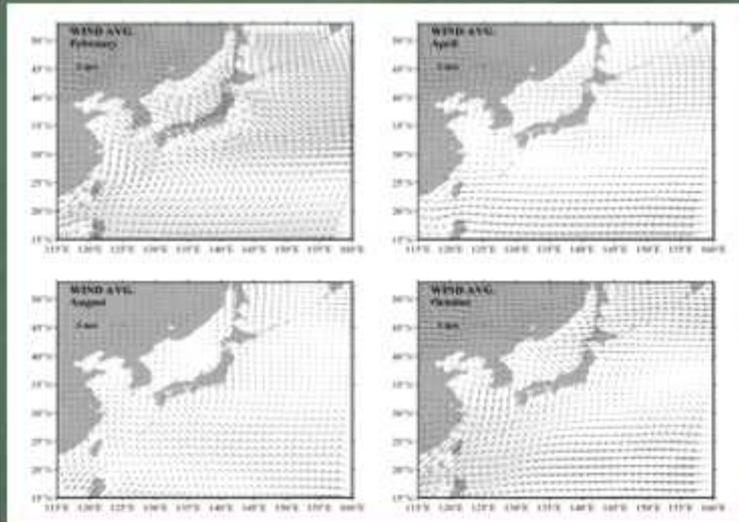


Long-term trend of annual mean net surface heat flux from the regional model result from 2010 to 2100. (left) MIROC, (middle) ECHAM, and (right) HADCM. Unit: W/m<sup>2</sup>/yr. SRES A1B

Soo, G.-H., Cho, Y.-K., & Choi, B.-J. (2014). Variations of heat transport in the northwestern Pacific marginal seas inferred from high-resolution reanalysis. *Progress in Oceanography*, 121, 98-109.

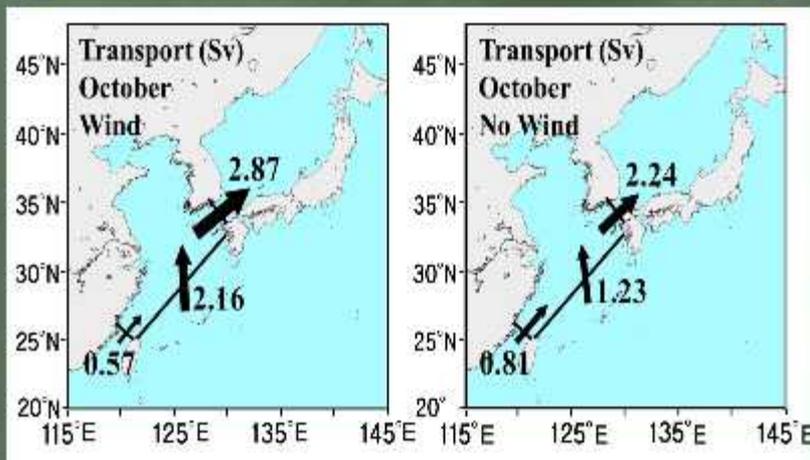
## 4. 대마난류의 변동성

### 바람응력과 대마난류의 계절변화

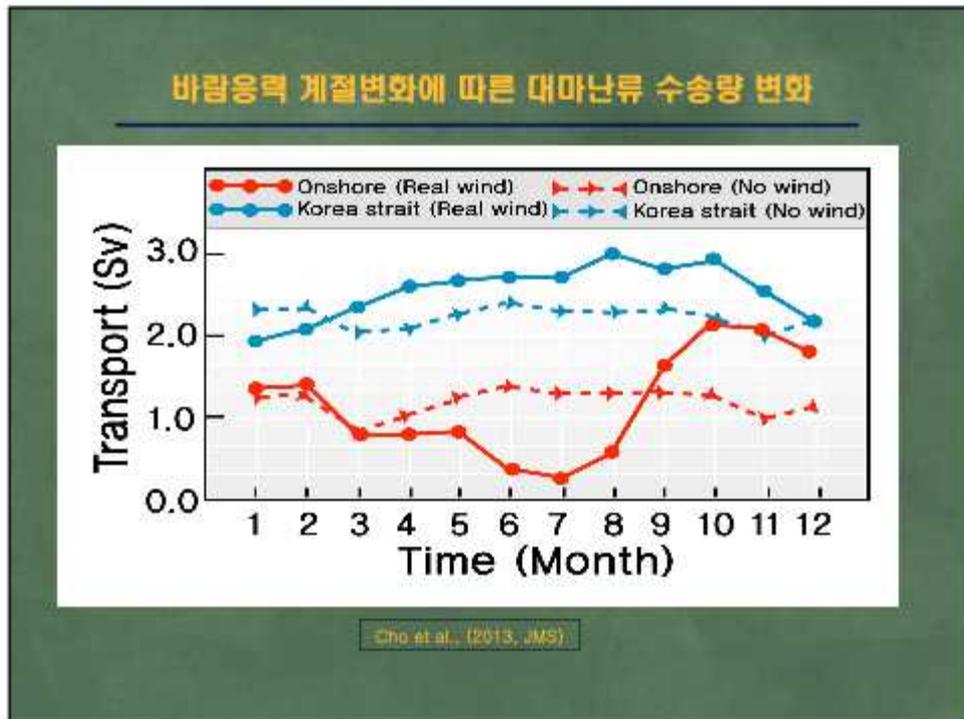


$$V_E = \frac{-\tau_x}{\rho f}$$

### 가을철 바람응력에 따른 대마난류 수송량 변화

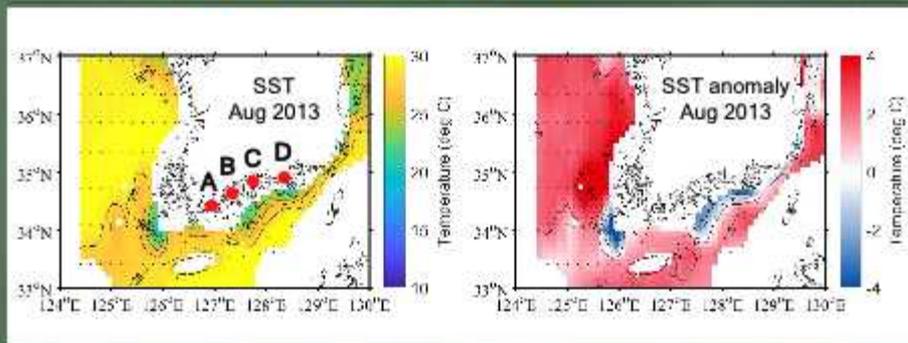


Cho, Y.-K., G.H. Seo, C.-S. Kim, B.-J. Choi, D. O. Shaha, 2013, Role of wind stress in causing maximum transport through the Korea Strait in autumn. *Journal of Marine Systems*, 115-118:33-39.



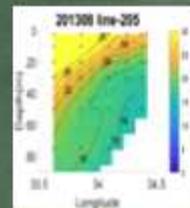
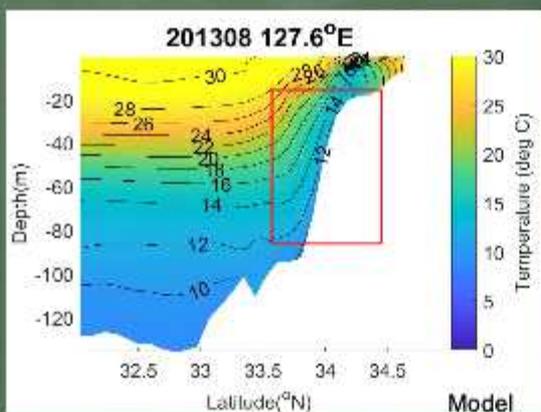
## 5. 대마난류와 남해안용승

### 대마난류에 의한 연안용승 지속



Jung, J., Y.-K. Cho. 2020. Persistence of coastal upwelling after a plunge in upwelling-favourable wind. Scientific Reports.

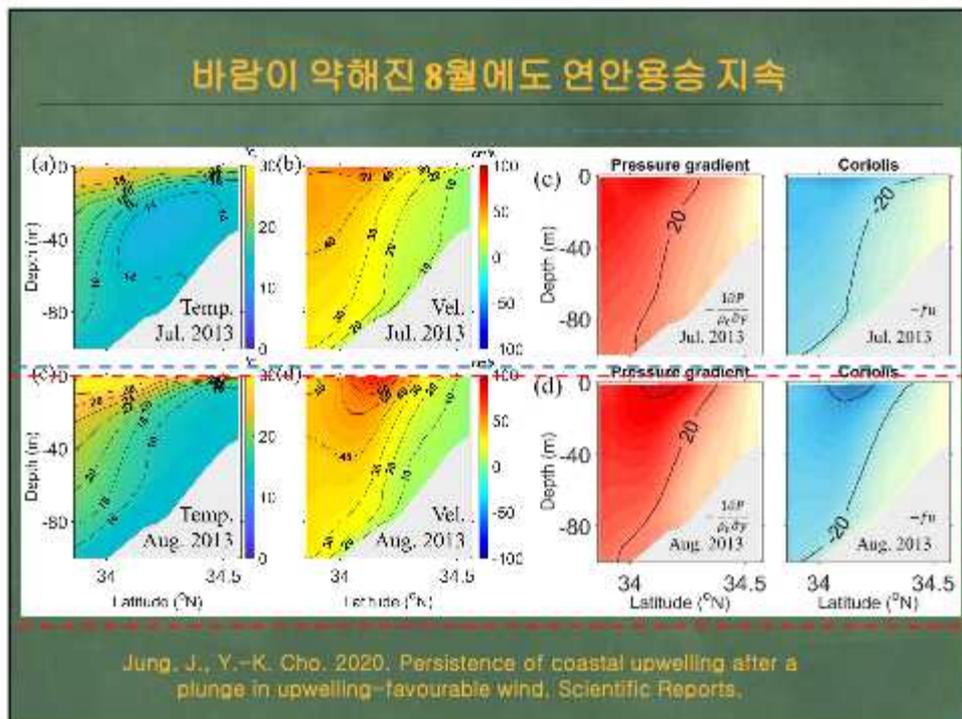
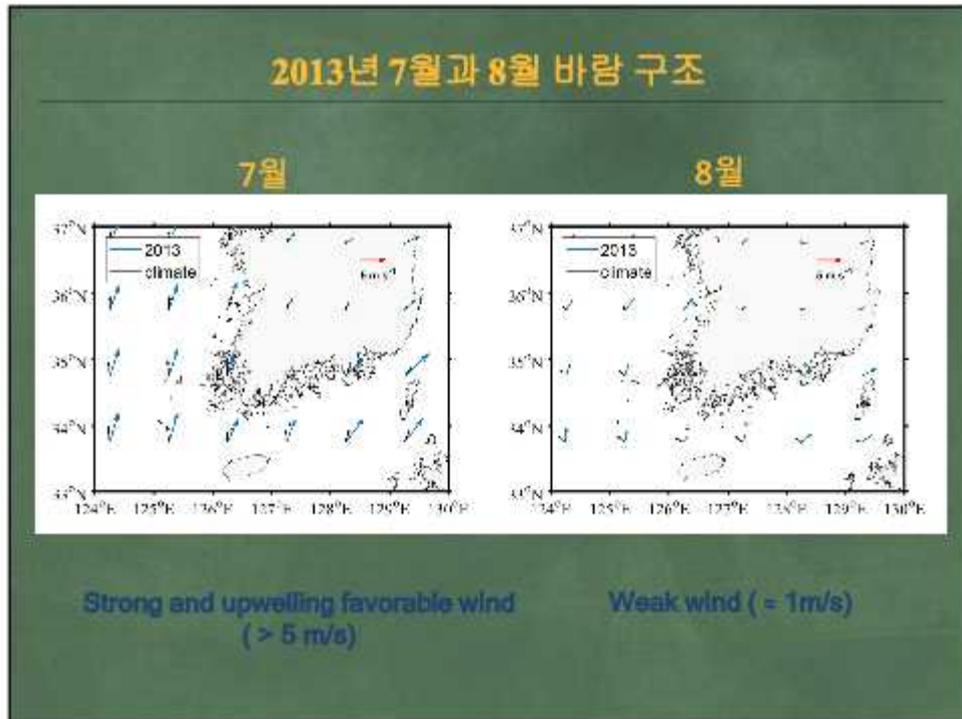
### 남해 연안 용승 수온구조 (2013년 8월)



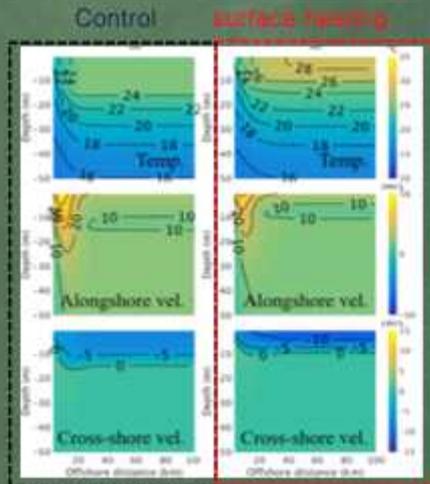
관측

모델결과

Jung, J., Y.-K. Cho. 2020. Persistence of coastal upwelling after a plunge in upwelling-favourable wind. Scientific Reports.



### 표층 수온상승으로 연안용승 강화: 미래 기후변화



표층 가열로 표층 두께 감소.

$$\text{표층 두께} = \sqrt{2A_z / J}$$

$A_z$  = eddy viscosity

표층 가열 → mixing length 감소 → eddy viscosity 감소

Jung, J., & Cho, Y.-K. (2023). Effects of surface heating on coastal upwelling intensity. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128, e2022JC018795.

감사합니다.

## Analyzing Variability of Mesoscale Eddies in the Northwest Pacific Using Satellite-derived Surface Current Fields

김희영\*<sup>1</sup>, 박경애<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과(heeyoungkim@snu.ac.kr),

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과/해양연구소

### ABSTRACT

Mesoscale eddies, which are rotational structures with horizontal scales of about 100km, play a crucial role in storing oceanic kinetic energy and can persist from several weeks to months. These coherent structures are characterized by their ability to transport water masses over considerable distances without substantial exchange of volume with the surrounding flow. This study employs both Eulerian and Lagrangian methods to detect coherent eddies and vortices within ocean current fields derived from satellite observations. The Eulerian approach identifies boundaries of eddies from instantaneous satellite images, while the Lagrangian approach, which follows particles over a defined time interval, proves to be more effective for tracking coherent structures. Utilizing long-term satellite data spanning from 1993 to 2020, this research applies the Lagrangian Averaged Vorticity Deviation (LAVD) technique to analyze the variability of vortices in the Northwest Pacific. The generated LAVD maps effectively delineate and track mesoscale coherent structures, allowing for the distinction between cyclonic and anticyclonic eddies. The analysis reveals that eddies frequently form in regions of baroclinic instability and near western boundary currents, with cyclonic eddies appearing more frequently than anticyclonic ones. However, anticyclonic eddies tend to have longer lifespans. The study also observes an overall increase in the number of coherent eddies over the study period, enhancing our understanding of oceanic dynamics in these regions.

Keyword : mesoscale eddy, satellite observations, eulerian, lagrangian, variability

## Enhancing satellite remote sensing of water quality in Chesapeake Bay tributaries through public participation

Min-Sun Lee<sup>\*1,2</sup>, Maria Tzortziou<sup>2</sup>, Jieun Park<sup>2</sup>, Tong Lin<sup>2</sup>,  
Patrick Neal<sup>3</sup>, Shelby Brown<sup>3</sup>, Alison Cawood<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Fisheries Science(mansun86@gmail.com),

<sup>2</sup>City University of New York, <sup>3</sup>Smithsonian Environmental Science Center

Citizen science provides a powerful tool to both enrich environmental datasets as well as increase public awareness of pressing environmental issues - especially in coastal regions. Chesapeake Water Watch is a NASA-funded citizen science project that promotes engagement of citizen scientists in coastal water quality monitoring for validation of satellite observations over the economically and ecologically valuable tributaries of the Chesapeake Bay (CB). As part of this project, we integrated unique bio-optical datasets collected by citizen scientists with existing long-term observations, to (i) assess the performance of existing satellite ocean color atmospheric correction approaches in this heavily urbanized estuary; (ii) evaluate the performance of existing satellite bio-optical algorithms in under-sampled CB tributaries; and (iii) optimize high spatial resolution retrievals of key water quality indicators, including turbidity, chlorophyll-a concentration (Chl-a), and colored dissolved organic matter (CDOM) absorption. Results were applied to satellite imagery from Landsat-8/9 Ocean Land Imager (OLI) and Sentinel-2A/2B Multispectral Instrument (MSI). Collecting measurements at a high spatial resolution (10-60m), these sensors can uniquely capture the strong spatial heterogeneity that characterizes terrestrial - aquatic interfaces at a global scale. Matchups between in situ citizen science data and satellite observations, collected over different years and seasons, allowed us to evaluate and optimize several algorithms for successful retrieval of Chl-a, turbidity, and CDOM from OLI and MSI. The optimized algorithms effectively captured the temporal and spatial distribution of water quality conditions and biogeochemical gradients in both optically complex tributaries and the main stem of the Bay. Our results highlight the significant benefits of engaging citizen scientists in Chesapeake Bay water quality monitoring activities, particularly for participatory data collection, standardized data collection across coastal systems, and improvement of satellite biogeochemical retrievals in complex nearshore waters that directly impact coastal communities and economies.

Keyword : Satellite remote sensing, Water quality, Chesapeake Bay, Citizen science

# Detection of hourly-varying chlorophyll-a fronts from unprecedented high-resolution geostationary ocean color satellite (GK2B/GOCI-II)

Hye-Jin Woo<sup>\*1</sup>, Kyung-Ae Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과(hyejinwoo@snu.ac.kr)

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과/교육융합연구원

## ABSTRACT

Korea's second geostationary ocean color satellite, GOCI-II, provides hourly observations of chlorophyll-a (chl-a) concentration at a resolution of 250 meters from 08:00 to 15:00 local time. In this study, we optimized an algorithm for the detection of chl-a fronts using GOCI-II data, which was applied during periods of chl-a bloom. Chl-a fronts were identified in the majority of regions where sea surface temperature (SST) fronts, representative of oceanic fronts, occur. However, due to differences in the properties of chl-a concentration and SST, along with disparities in spatial resolution, chl-a fronts exhibited more detailed spatial structures compared to SST fronts. The hourly variations in chlorophyll-a frontal area were found to be characterized by movement driven by surface currents and temporal variability, with a dome-shaped pattern peaking around noon. The formation and dissipation of chl-a fronts in the morning and afternoon were identified as the primary factors driving diurnal variation, rather than changes in the average length of fronts. These findings provide new insights into the diurnal dynamics of chl-a fronts and offer valuable information for understanding dynamics in oceanic frontal regions.

## 해상풍 예측 결과의 다중모델 앙상블 기법 적용 기반 연구

김도연\*<sup>1,2</sup>, 서미루<sup>2</sup>, 허장무<sup>2</sup>, 장유순<sup>1</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 지구과학교육과([doyoun71@gmail.com](mailto:doyoun71@gmail.com)),

<sup>2</sup>(주)아라종합기술

### 요약

지구 온난화를 비롯한 기후 변화는 전 지구적인 문제로 대두되고 있으며, 그 영향은 해양환경에도 심각하게 나타나고 있다. 특히 기후 변화의 직접적인 영향을 받는 해상풍은 태풍, 폭풍해일, 위험파랑 등 극한 해양기상 현상의 주요한 외력으로 작용하며, 어업, 해운, 해상레저 등 인간 활동에도 다양한 영향을 미친다. 해상풍의 변동성에 기인한 해양위험기상 발생 빈도가 증가함에 따라 인구가 밀집한 연안의 인명과 재산이 위협받고 있으며 해양오염, 조난 등 해상사고 또한 증가하고 있다. 이에 해상 안전 및 재해 예방을 위하여 우리나라 기상청(KMA), 일본 기상청(JMA), 유럽중기예보센터(ECMWF), 미국 해양대기청(NOAA) 등 국내외 관련 기관에서는 정확한 해상풍 예측에 수십 년간 지속적으로 많은 노력을 기울여 왔다. 그러나 해양-대기간 다양한 요소의 복잡한 상호작용과 물리변수 모수화 등 제약조건으로 인하여 현재 운용되고 있는 해상풍 예측 모델의 예측 정확도를 비약적으로 향상하기에는 한계점이 존재한다. 본 연구에서는 단일 예측에 따른 불확실성을 완화하고, 확률적으로 예측성이 높은 해상풍 예측 자료를 산출하기 위하여, 국내외 기관에서 제공하고 있는 예측 기간, 시공간 해상도 및 예측 성능이 각각 다른 해상풍 예측 정보(KMA\_KIM-GDAPS, KMA\_UM-GDAPS, JMA\_MSM, ECMWF, NCEP\_GFS)의 정확도를 평가하고, 결정론적/확률론적 앙상블 기법(PEA-ROC, BMA, 다중회귀)을 적용하여 우리나라 연근해를 대상으로 다중모델 앙상블 해상풍 예측 정보를 산출하였다. 다중모델 앙상블 해상풍의 예측 성능은 전반적으로 단일 예측 모델(ECMWF)보다 개선된 성능을 나타내었다. 본 연구 결과는 다양한 해상풍 예측 자료 활용을 통하여 해양위험기상 대비 능력을 제고하고 해양사고 대응 시 보다 정확한 해상 조건을 제공할 수 있음을 시사한다.

주요어 : 해상풍, 다중모델 앙상블, 정확도, BMA, 다중회귀

## Paradoxical behavior of the Pacific sector of the Southern Ocean in a new regime of low Antarctic sea ice

Taekyun Kim<sup>1\*</sup>, Daehyuk Kim<sup>2</sup>, Sung-Ho Choo<sup>1</sup>, Jae-Hong Moon<sup>1,2</sup>, Emilia Kyung Jin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University ([tkkim79@gmail.com](mailto:tkkim79@gmail.com))

<sup>2</sup>Center for Sea Level Changes, Jeju National University

<sup>3</sup>Department of Policy and Partnership, Korea Polar Research Institute

### ABSTRACT

The observed cooling in the Southern Ocean and expansion of sea ice in Antarctica over the three decades are highly unusual given that all other parts of our planet have warmed up. However, Antarctic sea ice, which has steadily increased for several decades, experienced an abrupt decline to a record low in the mid-2010s. Since then, the interannual variability of Antarctic sea ice has been further intensified, showing another record low in 2022 and 2023 consecutively. The record Antarctic sea ice loss in recent years may be a sign the region has entered a new regime of low sea ice coverage in a warming world. Eventually, the Southern Ocean has experienced warming in accordance with the rapid decline in sea ice. This is very much in line with the overall trend of continuing global warming. But interestingly, it seems like the Pacific sector of the Southern Ocean is still bucking the trend in the warming world. Dense shelf water (DSW) in the Ross Sea which forms Antarctic Bottom Water that replenishes the Pacific sector has freshened over the past several decades. However, DSW salinity in the Ross Sea has rebounded sharply since the mid-2010s. Moreover, we find that a coherent cooling pattern is observed in a very specific area, near the Ross Sea gyre. Here, we investigate how these paradoxical behaviors of the Pacific sector of the Southern Ocean are linked to the rapid decline in Antarctic sea ice in recent years, using satellite observations of sea ice, as well as oceanic and atmospheric reanalysis data. Our result shows that despite the drastic reduction in Antarctic sea ice, the sea ice formation rate in the Ross Sea continental shelf has increased. Since the mid-2010s, local anomalous winds and surface heat flux associated with the remote and large-scale forcing that drive the recent change in Antarctic sea ice, induce reduced sea ice cover and larger polynya area on the Ross Sea continental shelf, creating a sustained favorable environment for sea ice formation and brine rejection. Moreover, the significant cooling trend has also been attributed to record atmospheric low pressure systems over the Pacific sector of the Southern Ocean. We demonstrate that the cooling near the Ross Sea gyre is likely influenced by the local and remote large-scale atmospheric variabilities that lead to substantial sea ice anomalies. Since the mid-2010s, local anomalous winds and surface heat flux associated with strong events of natural climate oscillations like the Zonal Wavenumber 3, El Niño - Southern Oscillation, and Southern Annular Mode in the Southern Hemisphere that drive the recent change in Antarctic sea ice, induce strong meridional flows led to enhanced sea ice drifts and melting, and consequently to the strong cooling trend.

## 정선 해양 관측 자료를 이용한 관측망 시뮬레이션 응용 연구

이재호<sup>1</sup>, 장유순<sup>2\*</sup>, 김용선<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원

<sup>1</sup>공주대학교 지구과학교육과(yschang@kongju.ac.kr)

### 요약

일본 기상청과 국립수산과학원의 정선 관측 자료를 활용한 관측망 시뮬레이션 실험(Observing System Simulation Experiment, OSSE) 결과를 정리하여 발표하고, 이를 바탕으로 다양한 연구 분야에의 향후 적용 방향을 논의하고자 한다. OSSE는 실제 해양을 가정한 true 모델에서 가상의 관측망의 위치, 시간, 변수를 추출한 후, 이를 독립된 자료동화 모델에 적용해 성능을 비교하는 과정으로 이루어진다. 이를 통해 최적의 관측 라인과 정점을 객관적으로 파악할 수 있다는 장점이 있지만, 국내에서는 아직 활발한 연구가 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 일본 기상청(Japan Meteorological Agency, JMA)에서 제공하는 137°E와 165°E 정선 라인, 그리고 국립수산과학원의 주요 8개 정선 라인 자료의 성능을 평가하였다. 그 결과, 모델 고유의 편이(bias)와 주변 해역의 배경 유속장 및 지리적 위치에 따른 역학적 해석이 가능함을 확인했다. 이러한 결과는 향후 최소 비용으로 최적의 자료동화 효과를 보이는 새로운 관측망 설계에 응용될 수 있을 것으로 판단되며, 연구 범위를 넓혀 다양한 해역에도 적용 가능할 것으로 예상된다. 또한, 본 연구는 저해상도의 단일 전지구 접합 모델을 기반으로 한 결과이므로, 향후 공동 연구를 통한 다중 모델 앙상블 기법을 적용하여 모델의 오차들을 최소화한 결과 도출이 필요할 것이다.

주요어 : 정선 관측 자료, 관측망 시뮬레이션, 자료 동화

## 2010년대 중반 남극 해빙의 급감 이후

### 남극 태평양 섹터 해역 특성 변화

김대혁<sup>\*1</sup>, 김태균<sup>2</sup>, 추성호<sup>2</sup>, 문재홍<sup>2</sup>, 진경<sup>3</sup>

<sup>1</sup>제주대학교 해수면 변동연구 센터(daehyuk2353@gmail.com)

<sup>2</sup>제주대학교

<sup>3</sup>극지연구소

#### 요약

지구 온난화가 진행됨에도 불구하고, 남반구 태평양 섹터 상층 해양은 냉각 추세(Cooling trend)가 나타난다고 보고되어왔다. 이 상층에서 나타나는 냉각 추세는 바람에 의한 해빙의 이동과 그에 따른 융해에 의한 것이다. 지난 35년 (1981-2015) 동안 남극해 주변 해역은 냉각되고, 해빙은 증가하는 추세가 나타났지만, 2010년대 중반부터 급격하게 해빙이 감소하여 기록적인 최저치가 나타났다. 남극해 주변 해빙의 변화는 대기 외력장이 중요한 역할을 한다고 알려져 있다 (Mezzina et al. 2024). 특히, 아문젠 저기압의 위치와 강도 변화는 남극해 주변 해빙의 형성과 이동에 중요하다. 로스해 주변은 다른 지역과는 다르게 2010년대 중반 이후로 아문젠 저기압의 중심 위치는 북서쪽으로 이동하고, 강도는 강화됨에 따라, 남풍에 의한 한랭이류(cold advection)가 발달하게 된다. 이러한 대기 외력장의 영향은 로스해 주변 해빙 형성을 용이하게 하며, 지구 온난화 영향으로 인한 다른 해역과는 다른 해역의 특징이 나타날 수 있다. 따라서 본 연구에서는 2010년대 중반 남극해 주변 해빙이 급격하게 감소함에도 불구하고, 한랭이류(cold advection)에 의해 해빙 형성이 용이하게 나타나는 태평양 섹터 주변 해역 특성 변화를 분석하였다. 2010년 중반 태평양 섹터에 발달하는 한랭이류는 해빙을 북쪽으로 이동시키고, 남쪽에 위치하는 냉수 영역이 북쪽으로 확장시킨다. 게다가 로스해에만 나타나는 남풍이 우세하고, 그 외 지역에서는 북풍이 두드러지게 발달하면서, 바람과 상관성이 높은 로스해 환류 (Ross Gyre)의 비대칭 확장을 유발하게 된다. 그 결과 로스해 외해 지역에서는 이전에 보고되었던 상층 해양의 냉각 추세를 더욱더 강화시킨다. 또한 해빙의 북상과 냉수 영역의 확장으로 인해 로스해 외해 지역 국지적으로 2010년대 이전보다 상대적으로 더 저온 저염의 물이 침강(subduction)하는 특징이 나타난다.

주요어: 아문젠 저기압, 한랭이류, 로스해 환류, 남극 태평양 섹터, 냉각 추세

#### 참고문헌

B. Mezzina, H. Goosse, F. Klein, A. Barthélemy, F. Massonnet, 2024: The role of atmospheric conditions in the Antarctic sea ice extent summer minima.

## How does the Dense Shelf Water response to Large-scale Atmospheric Variability in Ross Sea?

Sung-Ho Choo<sup>\*1</sup>, Taekyun Kim<sup>1</sup>, Daehyuk Kim<sup>2</sup>, Jae-Hong Moon<sup>1,2</sup>, Emilia Kyung Jin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth and Marine Science, Jeju National University (tigerchoo@gmail.com)

<sup>2</sup>Center for Sea-Level Changes, Jeju National University

<sup>3</sup>Department of Policy and Partnership, Korea Polar Research Institute

### ABSTRACT

The Ross Sea continental shelf (RSCS) is a key source of Dense Shelf Water (DSW), which drives the formation of Antarctic Bottom Water (AABW). The salinity of DSW is regulated by certain processes, including air-sea interactions, sea ice formation and melting, mixing with adjacent water masses. These processes are largely influenced by atmospheric variability, such as the Southern Annular Mode (SAM) and the Southern Oscillation (SO). This study aims to quantitatively assess how these processes regulate salinity in the RSCS under specific atmospheric conditions.

We implemented an ocean circulation model for the Ross and Amundsen Seas that accounts for the physical interactions between ocean and ice shelves. Sensitivity experiments were designed to examine the impacts of SAM and SO independently. After a 5-year integration, the +SAM and +SO experiments indicated increase in total salinity in the RSCS, while decreased in their negative phases. It was found that the response of DSW salinity to the SAM is more than twice as large as its response to the SO. Although there is spread among the experiments, salinity advection across the boundary of the RSCS, i.e. the exchange with adjacent waters, was found to be the most significant factor (47–68%) influencing RSCS total salinity change, followed by the forcing term (21–49%) and the diffusion term (3–12%). Among the local forcing factors, the sea ice process (47–80%) was the most dominant, as expected, followed by atmospheric freshwater flux (mainly evaporation; 13–35%) and ice shelf melting change (7–19%).

Salt exchange across the RSCS boundary was generally correlated inversely with the intensity of the Antarctic Slope Current (ASC), which flows westward along the continental shelf break. Results of the +SAM and +SO experiments showed a weakening of outward salt advection, causing the water remaining on the shelf to be saltier than in the control experiment. During their positive phases, the contribution of local forcing terms to the increase in salinity was further amplified, leading to an overall increase in total salinity in the RSCS. Consequently, the amount of DSW ( $\gamma_n > 28.27$ ,  $\theta < -1.85^\circ\text{C}$ ) on the RSCS significantly increased by 22.3% in +SAM and 6.4% in +SO phase, with the opposite effect indicated during their negative phases.

Keyword : Ross Sea, Dense Shelf Water, Southern Annular Mode, Southern Oscillation

## CMIP6 지구시스템모형이 모사한 쿠로시오 확장역 해양열파 세기 평가

최원근<sup>\*1,2</sup>, 정희석<sup>1</sup>, Zhenya Song<sup>3</sup>, 장찬주<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양순환기후연구부(dnjsrms@kiost.ac.kr)

<sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 해양학과

<sup>3</sup>제1해양연구소 자연자원부

### 요약

전 지구 수온이 상승하면서 극한고수온 현상인 해양열파의 발생횟수와 세기도 증가하고 있으며, 미래에는 더욱 극심해질 것으로 전망된다. 해양열파는 해양 생물의 서식지 변화와 대량 폐사 등을 초래하여 해양생태계 구조를 변화시키기 때문에 해양열파의 미래변화 전망은 해양 생태계 피해저감 및 대책 마련에 필수적이다. 일반적으로 해양열파 미래전망에는 지구시스템모형이 널리 활용되는데, 미래전망에 앞서 모형오차를 파악하는 것이 해양열파 미래전망 해석에 필수적이다. 하지만 이전 연구에서는 모형오차 평가가 개별모형보다 주로 다중모형앙상블에 초점이 맞추어져 있었으며 특히 모형에 나타난 해양열파 특성의 오차 원인 분석은 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다중모형앙상블뿐 아니라 개별모형의 해양열파 모사성능을 평가하고 유사한 오차 분포를 보이는 모형들을 군집화하여 주요 해양열파 오차의 원인을 분석하고자 한다. 본 연구는 33년 (1982-2014) 동안 CMIP6(Coupled Model Project Intercomparison Phase 6) 지구시스템모형이 모사한 북태평양 해양열파 특성(발생일수, 평균세기)을 OISST(The Optimum Interpolation Sea Surface Temperature) 재분석자료와 비교하였다. CMIP6 모형의 네 개 군집 중 80% 이상의 모형이 포함된 두 개 군집은 쿠로시오 확장역에서 관측에 비해 해양열파 평균세기를 북쪽에서 과대모사하고, 남쪽에서는 과소모사하는 쌍극자 형태 오차를 보였다. 이 오차의 원인을 파악하기 위해 해양열파 평균세기 군집과 동일한 군집으로 해류 모사성능을 평가하였다. 쌍극자 형태 오차가 나타난 군집에서는 쿠로시오 해류가 관측에 비해 더 북쪽으로 흐르는, 극치우침(Overshooting) 현상이 나타난 반면, 나머지 두 군집에서는 쿠로시오 해류의 북상 현상이 나타나지 않았다. 쿠로시오 해류의 북상은 관측에 비해 상대적으로 높은 위도에서 더 따뜻한 물이 흐르게 하여, 해양열파 평균세기의 쌍극자 오차에 기여할 수 있다. 이 연구는 해류 모사성능이 해양열파 평균세기의 모사성능에 중요한 역할을 한다고 제안한다.

주요어 : 극한고수온, CMIP6, 계층적 군집화, 쿠로시오 확장역, 극치우침

## Resilient consumers accelerate the plant decomposition in a naturally acidified seagrass ecosystem

Juhyung Lee<sup>\*1,2</sup>, Maria Cristina Gambi<sup>3</sup>, Kristy J. Kroeker<sup>4</sup>, Marco Munari<sup>5</sup>,  
Kabir Peay<sup>2</sup>, Fiorenza Micheli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusan National University (lee.juhyung@pusan.ac.kr), <sup>2</sup>Stanford University,

<sup>3</sup>National Institute of Oceanography and Applied Geophysics,

<sup>4</sup>University of California, Santa Cruz, <sup>5</sup>Stazione Zoologica Anton Dohrn

We used a naturally acidified seagrass ecosystem (*Posidonia oceanica*) to examine how ocean acidification (OA) modifies the community structure and functioning of plant detritivores, which play vital roles in the coastal food web, nutrient cycling, and carbon sequestration. In seagrass beds associated with volcanic CO<sub>2</sub> vents (Ischia, Italy), we quantified the effects of OA on seagrass decomposition by deploying litterbags in three distinct pH zones, which differed in the mean and variability of seawater pH. Acidification reduced detritivore richness and diversity through the loss of less abundant, pH-sensitive species but significantly increased the abundance of the dominant species (amphipod *Gammarella fucicola*). Such compensatory shifts in species abundance caused more than a three-fold increase in the total detritivore abundance in lower pH zones. These community changes were associated with increased consumption (52–112%) and decay rate of seagrass detritus (up to 69% faster decomposition rate) under acidification. The findings suggest that OA could restructure consumer assemblages and modify plant decomposition in globally important blue carbon ecosystems, which may have crucial implications for coastal nutrient cycling, carbon sequestration, and trophic transfer. Our study highlights the importance of within-community response variability and compensatory process in modulating ecosystem changes under global stressors.

Keyword : biodiversity, blue carbon, decomposition, detritivore, ecosystem function, global change, ocean acidification, seagrass

## 최근 3년(2022-24) 연속된 기록적 남극 해빙 감소의 시·공간적 분포 특징

고지연\*<sup>1</sup>, 문재홍<sup>1,2,3</sup>, 김태균<sup>2</sup>

<sup>1</sup>제주대학교, 지구해양융합학부 지구해양전공 (ehowlwjaxhd@gmail.com)

<sup>2</sup>제주대학교, 지구해양과학과

<sup>3</sup>제주대학교, 해수면변동연구센터

### 요약

2016년에 발생한 급격한 해빙 면적 감소 이후, 남극 해빙의 감소 추세는 현재까지도 이어지고 있으며, 특히 2024년 2월에는 2022년과 2023년에 이어 또다시 여름철 해빙 면적이 최저 수준 ( $1.985 \times 10^6 \text{ km}^2$ )을 기록했다. 남극 해빙은 해양-대기 상호작용, 해양 순환, 빙붕 안정성, 빙상 질량 균형 등 여러 요소에 영향을 미치며, 이는 남극뿐만 아니라 전 지구의 기후 시스템에도 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 National Snow and Ice Data Center (NSIDC)의 위성 관측 해빙 농도 자료를 사용하여 최근 3년간(2021년 3월 ~ 2024년 2월)의 남극 해빙의 발달 양상을 조사하였으며, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA5의 대기 재분석장을 사용하여 해빙 발달에 영향을 미친 대기 패턴을 계절별로 분석하였다. 분석 결과, 평균적으로 남극 전체 해빙 면적의 약 60%를 차지하는 웨델해와 로스해의 해빙 편차가 전체 해빙 면적 변화에 크게 기여했음을 확인하였다. 이러한 지역적인 남극 해빙 면적의 감소는 아문젠 해 저기압과 관련된 대기 패턴 변화와 그에 따른 해빙 역학에 의해 지배된다. 21/22년(2021년 3월 ~ 2022년 2월)과 22/23년의 경우 겨울-봄에 동쪽에서 발달한 강한 아문젠 해 저기압이 로스해 인근에 남풍 편차를 유도하여 해빙이 평년보다 북쪽으로 확장됐으나, 저기압의 동쪽 측면인 웨델해에는 북풍 편차를 유도하여 해빙 면적이 감소하였다. 로스해의 지속적인 남풍은 해빙의 북쪽 수송을 야기함으로써 연안 폴리냐의 발달을 활발하게 하여 여름철 해빙 면적 감소에 크게 기여하였다. 그러나 두 해와는 달리, 23/24년의 경우 아문젠 해 저기압의 약화와 관련한 고기압 편차가 로스해 및 웨델해 등에 발달하여, 고온의 북풍 편차를 따라 열의 이류가 강하게 발생했다. 이러한 대기로부터의 열 공급은 해빙 성장을 크게 저해하여 위성 관측 이래 겨울철 해빙 면적의 최소치를 기록하는데 기여하였다. 추가적으로 아문젠 해 저기압의 변화에 영향을 미칠 수 있는 Southern Annular Mode 과 El Niño-Southern Oscillation 와 같은 대규모 대기 변동성을 분석하여 최근 3년간 발생한 극단적인 해빙 감소의 발달 양상과 그 요인을 파악하였다.

주요어 : 남극 해빙 역학, 로스해, 웨델해, 아문젠 해 저기압, 대규모 대기 변동성

# Optimizing Drag Coefficients for Enhanced Prediction of Rapid Intensification in Tropical Cyclones Using Net Energy Gain Rate

## 순에너지율 기반 태풍 급강화 예측 개선을 위한 바람항력 계수 최적화

Sung-Hun Kim<sup>1</sup>, Woojeong Lee<sup>2</sup>, Seonghee Won<sup>2</sup>, Hyoun Woo Kang<sup>1</sup>, Kyeong Ok Kim<sup>1</sup>, Sok Kuh Kang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원(sh.kim@kiost.ac.kr),

<sup>2</sup>국가태풍센터

<sup>3</sup>서울대학교

### ABSTRACT

Due to considerable advancements in tropical cyclone (TC) related technologies, the prediction of TC tracks has significantly improved over the last few decades. However, predicting TC intensity, especially rapid intensification (RI; an increase in intensity of at least 30 knots in 24 hours), remains a challenging problem. Previous work has explored atmospheric and oceanic predictors closely related to TC intensity and intensity changes to enhance the accuracy of TC intensity predictions. Since TCs intensify by extracting heat energy from the underlying warm sea surface, ocean thermal structure-based predictors are known to have a higher correlation with TC intensity than atmospheric predictors. The net energy gain rate (NGR), which considers a wind-dependent drag coefficient ( $C_d$ ) and upper ocean thermal structure, builds upon the existing maximum potential intensity (MPI) framework.

This index, which measures the difference between frictional dissipation in the boundary layer and energy production through enthalpy flux, shows the highest correlation with 24-hour TC intensity changes, surpassing other commonly used predictors such as intensification potential or MPI. Wind significantly influences wave states, which alter  $C_d$ , a crucial factor in TC and ocean interactions.  $C_d$  plays a vital role in the energy budget of TCs by affecting the momentum flux and frictional dissipation at the sea surface. A lower  $C_d$  leads to decreased frictional dissipation and suppressed sea surface cooling, providing additional energy for TCs to intensify. Therefore, understanding the dynamic relationship between wind, wave state, and  $C_d$  is essential for accurate TC intensity predictions and energy budget analysis.

Generally,  $C_d$  increases with wind speed at lower levels, saturates around 30–35 m/s, and may decrease at very high wind speeds, although this behavior is not universally agreed upon. Also, there are still conflicting results and unresolved issues concerning  $C_d$  at high wind speeds above approximately 50 m/s.

This study conducted a sensitivity analysis to determine the optimal  $C_d$  for improving the prediction performance of RI using NGR. The evaluation adopted three types of  $C_d$  fittings that decrease after 33 m/s and show different trends (increase, constant, decrease) after 50 m/s, as well as one fitting where  $C_d$  remains constant after 33 m/s. The four types of NGR were re-calculated based on pre-storm vertical ocean profiles, including varying TC states at each

storm's 6-hourly location from 2004 to 2021 (18 years) in the western North Pacific.

TC-induced vertical mixing was calculated based on the bulk Richardson number, using vertical temperature-salinity profiles at the TC locations and wind stress dependent on various  $C_d$  fittings. The calculated vertical mixing temperature was then used to estimate enthalpy flux. NGR was determined by combining the frictional dissipation computed for each different  $C_d$  with the previously calculated enthalpy flux. A comparison of the correlation coefficients between 24-hour TC intensity change and NGRs reveals that the prediction performance of NGR using decreasing  $C_d$  after 33 m/s was higher than that using fixed  $C_d$ . After 50 m/s, the prediction performance of NGR using decreasing or constant  $C_d$  was better than that using increasing  $C_d$  fitting.

The length scale of a TC that determines the forcing time is proportional to the radius of maximum wind speed. Previous studies have used a length scale assuming the TC completely passes through. However, the ocean experienced by the TC is not fully mixed by the momentum transferred during the entire passage, but rather partially mixed during the passage process. Therefore, the vertical mixing depth estimated in previous studies may not be suitable for predicting intensity changes. This study conducted a sensitivity analysis to determine the optimal scale factor for NGR calculations. The results showed that using one-fourth of the TC's total scale provided the highest prediction performance.

TC-induced vertical mixing is primarily determined by turbulent mixing due to the vertical shear of the ocean current. Still, in cases of slow-moving TC, the influence of upwelling becomes more significant. The bulk Richardson number-based method used in this study to estimate TC-induced vertical mixing does not consider the secondary effects of upwelling, potentially leading to an overestimation of enthalpy flux in slow-moving cases. The correlation coefficient between 24-hour intensity changes and NGR for different translation speeds was lower for slow-moving TCs.

Key words : tropical cyclone intensity, rapid intensification, air-sea interactions

## 후쿠시마 사고 후 북서태평양 아열대 아표층에서 관측된 <sup>137</sup>Cs의 기원 및 경로

김해진<sup>1</sup>, 김경옥<sup>1\*</sup>, 정경태<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원(hjkim127@kiost.ac.kr)

<sup>2</sup>(주)오서닉

### 요약

2011년 3월 일본 대지진으로 발생한 후쿠시마 제1 원자력 발전소(Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant: FDNPP) 사고로 인해 다량의 방사성 물질이 대기와 해양으로 방출되었다. Kumamoto et al. (2014)은 사고 약 9개월 후인 2012년 겨울철에 동경 149°E를 따라 관측을 수행하였다. 그 결과, 아열대 해역의 아표층에서 세슘의 최대 농도가 관측되었다. FDNPP에서 방출된 방사성 물질은 주로 쿠로시오 해류를 따라 일본 동쪽 태평양으로 이동하지만, 일부는 아열대 모드수(Subtropical Mode Water) 형성을 통해 표층 아래로 침입하여 동아시아 인근해로 유입될 수 있다. 관측 결과를 기반으로 아열대 아표층 해역에서 발견된 세슘의 기원과 경로에 대한 추정은 이루어지고 있으나, 명확히 밝혀지지 않는 못하였다. 본 연구에서는 라그랑지안 입자 추적 모델을 기반으로 세슘(<sup>137</sup>Cs)의 확산을 시뮬레이션하고 그 기원(대기 침적 또는 직접적인 해양 방출)을 조사하였다. 한국해양과학기술원에서 제공하는 해양 순환 모델(MOM5: Modular Ocean Model version 5)의 3차원 수평 및 연직 유속장을 사용하여 방사성 물질의 이동을 보다 현실적으로 재현하였다. 수치 시뮬레이션 결과, 아열대 아표층에서 발견된 대부분의 세슘은 대기 침적으로부터 기인하였으며, 아열대 모드수에 의해 해양 내부로 침입하여 형성되었음을 확인하였다.

주요어 : <sup>137</sup>Cs, 후쿠시마, 방사능, 입자추적모델

### 참고문헌

Kumamoto, Y., Aoyama, M., Hamajima, Y., Aono, T., Kouketsu, S., Murata, A., Kawano, T. (2014). Southward spreading of the Fukushima-derived radiocesium across the Kuroshio Extension in the North Pacific. *Scientific Reports*, 4(1), 4276.

## 2005년 이후 남빙양 열용량 증가에 대한 남태평양 아남극모드수의 역할

조성현\*<sup>1</sup>, 문재홍<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>제주대학교, 지구해양융합학부 지구해양전공(shjo9536@gmail.com)

<sup>2</sup>제주대학교, 지구해양학과

<sup>3</sup>제주대학교, 해수면변동연구센터

### 요약

지난 20년 동안 전 지구 해양의 열용량은 연간 약  $9.7 \pm 1.8 \times 10^{21}$  J 만큼 증가했으며, 그 증가분 중 남반구가 대략 65%를 차지하였다(Li et al. 2023). 열대 해양을 제외한 남위 30°S에서 65°S 사이에 위치한 남빙양은 남반구 열용량 증가의 절반 이상을 설명하여, 전 지구 해양의 온난화를 이해하고 연구하는 데 있어 중요한 역할을 할 것으로 주목받아 왔다(Li et al. 2022). 특히 남빙양의 주된 수괴 중 하나인 아남극모드수는 대기 중의 열과 탄소를 효과적으로 흡수하고 해양 내부로 저장하며 작은 부피에 비해 큰 열용량을 지니는 특징을 가지고 있다(Li et al. 2023). 이러한 아남극모드수의 열용량은 최근까지 꾸준히 증가하여 남빙양 전체 열용량 증가를 설명하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 아남극모드수의 열용량 증가의 원인과 특징을 파악하기 위하여 2005년부터 2022년 동안 아남극모드수의 열용량 증가 및 부피 변화를 대양별로 분석하였다. 남반구 해양 데이터의 불확실성을 최소화 하기 위해 총 다섯 가지의 Argo 프로파일 기반 격자 데이터인 EN4, IAP, ISHII, JAMSTEC, SCRIPPS 자료를 앙상블 하여 분석에 사용했으며, 기상자료는 ECMWF, NCAR, JRA55, MERRA2를 사용하였다. Argo 기반 앙상블 데이터 분석 결과에 따르면 아남극모드수의 열용량은 연구기간 동안 남빙양의 열용량 증가분에 크게 기여하였다. 이에 더하여 아남극모드수의 열용량 증가를 수온 증가에 의한 변화와 부피 증가에 의한 변화로 성분을 분해하였다. 아남극모드수의 두께는 지난 20년 동안 뚜렷하게 증가했으며 대부분의 열용량 증가가 두께 증가에 기인하는 것으로 확인되었다. 이러한 두께 변화는 태평양에서 가장 뚜렷했으며, 대서양과 인도양은 그보다 훨씬 작아, 지난 20년간의 아남극모드수의 열용량 변화는 태평양이 주도하는 것으로 나타났다. 또한 동기간 편서풍의 세기가 강해졌으며, 특히 태평양의 경우 아남극모드수의 두께 변화가 바람회전응력의 변동성과도 높은 상관관계를 보여주었다. 이는 장기간의 바람회전응력에 의한 에크만 수렴과 발산이 아남극모드수의 열용량 변화와 밀접한 연관이 있음을 보여준다.

주요어 : 남반구, 남빙양, 아남극모드수, 열용량

### 참고문헌

- Li, Q., Y. Luo, J. Lu, and Liu, F., The Role of Ocean Circulation in Southern Ocean Heat Uptake, Transport, and Storage Response to Quadrupled CO<sub>2</sub> (2022). *Journal of Climate*, 35, 7165 - 7182, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0160.1>.
- Li, Z., England, M.H., Groeskamp, S., Recent acceleration in global ocean heat accumulation by mode and intermediate waters (2023). *Nature communications*, 14, 6888, <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42468-z>.

## SAQ(Socially Acute Questions) 교육에서의 ‘자기환경화’ 전략 활용 가능성 탐색

이지희\*<sup>1</sup>, 신동희<sup>2</sup>

<sup>1</sup>해저드 리터러시 융합교육 연구소(dwlgml7531@naver.com),

<sup>2</sup>이화여자대학교 과학교육과

### 요약

나와 상관없는 외부 환경을 나와 가까운 환경으로 인식하여 책임감 있는 행동으로 이루어지게 하는 것이 바로 자기환경화다. 기후 변화로 인해 극지방에 사는 북극곰의 개체수가 급격히 감소하고 있음을 인지하고 내가 할 수 있는 방안을 찾도록 하는 것이 자기환경화 전략의 사례다. 내가 살고 있는 주변에서도 발생하는 환경 문제도 무관심할 수 있는데, 나와 거리가 멀리 떨어져 있는 지역의 환경 문제를 나의 문제로 느끼게 하는 것은 쉽지 않기 때문에 다양한 자기환경화 학습 전략들이 개발되어야 한다. 본 연구에서는 Legardez와 Simonneaux(2006)가 제기한 SAQ(Socially Acute Questions) 교육에 주목했다. SAQ는 구조화되지 않고 불확실성이 나타나는 문제를 파악하기 위해 예리하고 민감한 질문을 하는 것으로 학생들은 SAQ 교육을 통해 환경 문제들을 적극적으로 참여하고 현실적인 해결 방법을 찾을 수 있다. SAQ 교육은 자기환경화 전략과도 연결이 되는데, 기존의 환경 교육과 SAQ 교육에서의 자기환경화 개념을 비교하면 <표 1>과 같다. 학생들은 다양한 SAQ 쟁점 문제들에 대해 민감한 질문을 제시함으로써 자신의 문제로 생각하고, 다양한 전문가와 의사소통하는 과정에서 환경에 대한 내면화 과정을 경험할 수 있다. 이에 본 연구에서는 거리와 대상에 따른 자기환경화의 확장 가능성을 제시하고 다양한 교육 연구에서의 자기환경화 개념을 정리한다. 특히, SAQ 교육 교수-학습 모형에서 활용할 수 있는 ‘자기환경화’ 전략을 제시하고자 한다.

<표 1> 환경 교육과 SAQ 교육에서의 자기환경화

환경 교육		SAQ
자기환경화 개념	비자기환경을 자기환경으로 인식하는 과정	환경 쟁점 상황을 파악하기 위해 스스로 성찰하고 자신의 믿음, 태도, 가치 등을 반영한 주관성을 띄는 것임.
자기환경화 기능	자신과 직접적으로 관련이 없는 환경 문제라 할지라도 그것을 개인에게 의미 있는 환경으로 받아들여 관심 있는 태도로 본능적이고 적극적인 반응을 나타내도록 하는 것.	과학 기술의 불확실성으로 발생한 환경 문제들이 자신에게 일어날 수 있는 문제로 인식하고 이를 해결하기 위해 예리한 질문을 제시함. 현실을 반영한 지속 가능한 해결책을 위해 다양한 분야의 전문가의 입장을 듣고 의사결정함.
자기환경화 교수 전략	환경에 대한 다양한 감정을 경험하기 위해 현장을 사용함. 또한 본능적 반응, 능동적 행동, 내면화 과정을 포함함.	원자력 발전, 기후 변화 등 SAQ 주제를 학생들이 자신의 문제로 생각함. 원자력 발전, 기후 변화 등 SAQ 주제에 대한 다양한 전문가 입장을 조사하고 탐색함.

주요어 : 자기환경화, SAQ 교육

### 감사의 글

본 연구는 2024년도 글로벌인문사회융합연구지원사업 지원을 받아 수행된 연구임.

## 생성형 인공지능을 활용한 지구과학 모의수업의 실천적 특성 분석

최윤성\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 지구과학교육과 강사([clever123123@naver.com](mailto:clever123123@naver.com))

### 요약

이 연구의 목적은 ChatGPT를 활용한 지구과학 모의 수업의 실천적 특성을 분석하는 것이다. 연구에는 비수도권에 위치한 B 대학교 지구과학교육과에 재학 중인 예비 교사 4명(남 2명, 여 2명)이 참여하였다. 이들은 4주간의 준비 기간을 통해 생성형 인공지능을 활용한 1차시 분량의 지구과학 모의 수업을 준비하였다. 수집된 자료는 생성형 인공지능을 활용한 1차시 분량의 수업 지도안, 활동지, 수업 자료, ChatGPT와의 질의응답을 포함한 모든 텍스트 자료와 해당 수업의 녹화 영상 및 음성 녹음 자료였다. 이후, 예비 교사들이 진행한 모의 수업은 TIAR 평가 루브릭을 사용해 ChatGPT의 적용 범위(수업 단원, 수업 모형, 수업 전략 등)를 분석하였고, ChatGPT의 장단점과 활용 시 유의사항에 대한 질적 분석도 진행되었다. 또한, ChatGPT를 활용한 모의 수업에서 인공지능 소양 함양과 관련된 요소는 인공지능 소양 분석틀을 기준으로 탐색되었다. 연구 결과, 지구과학 교과와 다양한 영역과 단원, 그리고 수업 모형의 다양성을 추구할 수 있었으며, ChatGPT는 지구과학 모의 수업의 계획 및 실천적 측면에서 유용한 도구로 활용될 수 있음을 보여주었다. 더불어, 인공지능 소양의 네 가지 영역 중 특히 인지적 영역에서 확장성이 두드러졌다. 이 연구는 지구과학 모의 수업에서 생성형 인공지능의 실증적 활용 가능성을 보였으며, 수업을 통한 학습자의 인공지능 소양 함양에 기여할 것으로 예상되는 경험적 연구로서 학술적 의의가 있다.

주요어 : 지구과학 예비교사, 지구과학 모의수업, 생성형 인공지능, 인공지능 소양

# Chat GPT를 활용한 석유 매장 가능성 수업에서 학생들의 추론

문소영\*<sup>1</sup>, 김정찬<sup>2</sup>, 신동희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>이화여자대학교(zero0@ewhain.net)

<sup>2</sup>한국지질자원연구원

## 요약

추론은 과학교육에서 중요한 부분을 차지하고 있으며, 특히 현재를 통해 과거를 추론하는 지구과학에서는 귀납적 추론법이 특히 중요하다. 본 연구에서는 추론 과정을 도입한 지구과학 교육 프로그램을 개발하고, 학생의 추론 전략 유형화를 통해 추론에 성공하는 학생과 실패하는 학생의 추론 특성을 밝혀내고자 하였다. 개발된 프로그램은 추론의 단계인 ‘탐색’, ‘조사’, ‘선택’, ‘설명’ 단계로 구성되며, 학생들에게 포항 영일만 지역에 석유가 매장되어 있을 가능성을 과학적 관점에서 추론하는 활동으로 구성되었다. 프로그램은 두 시간씩 두 번, 총 네 시간에 걸쳐 적용되었으며, 고등학교 1, 2학년 학생 40명이 프로그램에 참여하였다. 프로그램 적용 후 학생별로 수업 활동지에 작성한 각 단계 활동 내용을 분석하였다. 분석한 내용을 통해 학생의 추론 전략을 1차 유형화했다. 이후 학생별 특성을 세부적으로 분석하여 학생의 추론 전략을 최종적으로 유형화하고 추론의 성공 또는 실패 여부를 판단하였다.

본 연구에서 나타난 학생들의 추론유형은 추론에 성공하는 유형 네 가지, 실패하는 유형 네 가지로 총 여덟 가지 유형으로 나타났다. 추론의 성공과 실패 여부에 가장 핵심적인 것은 ‘선택’ 단계였다. ‘선택’ 단계에서는 전세계 석유 매장지 사례를 조사하여 포항 영일만 지역의 지질학적 조건과 환경적 조건을 비교하는 활동을 진행하였다. 연구자는 학생들이 ‘선택’ 단계에서 어떠한 전략을 사용하여 최종적인 근거를 채택하는지 살펴보았다. 이 과정에서 가장 큰 차이점을 가졌던 유형은 각 나라의 개별 특성을 포항 영일만과 연결한 경우와 각 나라의 공통점을 찾아 포항 영일만과 연결한 경우였다. 전자는 개별 사례의 특수성에 초점을 맞춰, 특정 지역의 고유한 특성을 영일만에 적용하려고 시도한 사례이다. 구체적 사례에서 얻은 정보를 중심으로 한 제한된 응용에 가깝다. 후자는 여러 사례에서 공통된 일반성에 초점을 맞춰, 보편적 특성을 도출하고 이를 영일만과 연결하였다. 이는 전자보다 일반화된 지식을 바탕으로 한다.

본 연구에서는 학생들의 추론 전략을 유형화하여 어떠한 전략이 추론에 성공할 확률이 높은지 분석하였다. 또한, 추론에 성공하는 유형과 실패하는 유형의 특성을 분석하여 추론 교육에 시사점과 방향성을 제공한다.

주요어 : 추론, 석유 매장 가능성, Chat gpt

## 감사의 글

이 연구는 2024년도 한국지질자원연구원의 지질자원 표본·기초학술연구와 선도형 R&D 정책/성과 확산 연구 사업 지원을 받아 수행되었음.

# 편광현미경 사진 기반 암석 분류 머신러닝 교육프로그램 개발 및 적용에서 나타난 고등학생과 AI의 성취 비교

정수임\*<sup>1</sup>, 김정찬<sup>2</sup>, 신동희\*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>은행고등학교(dinosue@korea.kr)

<sup>2</sup>한국지질자원연구원

<sup>3</sup>이화여자대학교

## 요약

최근 AI를 교수·학습의 도구로 사용하는 AI 융합 교육의 필요성이 강조되면서 과학 교과에 다양한 방법과 수준으로 AI를 접목하는 프로그램이 개발·적용되고 있으며, 그 교육적 효과에 대한 논의도 활발해지고 있다. 본 연구는 과학 지식을 생성하는 과정과 AI가 데이터를 처리하는 과정이 유사하다는 인식론적 관점이 제시되고 있다는 점에 착안해서 지식을 형성하는 과정인 ‘학습’ 후에 학생과 AI의 성취를 비교해 보고자 했다. 이를 위해 고등학생 1, 2학년 77명과 이 학생들이 촬영한 편광현미경 사진으로 학습한 머신러닝 프로그램 결과 77건의 성취를 비교했다. AI 도구로는 Google사가 제공하는 Teachable Machine을 활용했다. 이 연구를 위해 4차시에 해당하는 지질과학교육 수업을 개발해 적용했다. 1차시에는 암석의 생성 원인과 육안 분류 실습, 2차시에는 편광현미경 박편 관찰 실습, 3차시에는 머신러닝을 위한 사진 촬영 및 AI와의 비교를 위한 검사 등을 진행했다. 4차시에는 Teachable Machine으로 암석 분류 프로그램을 제작해서 AI를 학습시킨 후, 3차시에 본인들이 응시했던 동일한 검사 문항을 AI에게 제공해 풀게 한 후 결과값을 학생 자신의 결과와 비교해 보도록 했다. 그 결과, 대부분 문항에서 학생의 정답률이 AI를 앞섰고, 총점 측면에서도 학생의 성취가 AI보다 높았다. 학생들이 생성한 데이터로써 제한적 자료 수를 AI에게 제공, 학습시킨 특정한 상황의 사례라는 한계가 있으나, 이 프로그램을 통해 학생들은 AI의 한계를 분명히 인식했고, AI의 신뢰성을 비판적으로 수용해야 하며 AI의 정확도를 향상하기 위한 전략에 관심을 지니게 되었다. 또한, 학생들에게 일어나는 ‘학습’과 AI에게 있어 ‘학습’의 의미를 고찰하고, 인간의 학습에서 일어나는 차별성에 대해 논의할 수 있는 근거를 마련했다.

주요어 : 편광현미경, 암석 분류, 인공 지능, 머신러닝, 학습의 의미

## 감사의 글

이 연구는 2024년도 한국지질자원연구원의 지질자원 표본·기초학술연구와 선도형 R&D 정책/성과 확산 연구 사업 지원을 받아 수행되었음.

# 고등학교 과학 수업에서 ‘대한민국 지질여행 전자책’ 활용 방안 탐색

## Exploring the Utilization of the ‘Korea Geotourism eBook’ in High School Science Classes

송치성<sup>1</sup>, 박정웅<sup>2</sup>, 박창용<sup>3</sup>, 고병천<sup>4</sup>

<sup>1</sup>염광고등학교([vssong@sen.go.kr](mailto:vssong@sen.go.kr)), <sup>2</sup>전 송문고등학교, <sup>3</sup>이화여자고등학교, <sup>4</sup>국가지질공원 사무국

Song Chi Sung, Park Jeong Woong, Park Chang Yong, Go Byeong Cheon

<sup>1</sup>Yumkwang High School, <sup>2</sup>Soongmoon High School, <sup>3</sup>Ewha Girls’ High School, <sup>4</sup>National Geoparks of Korea

2022 개정 교육과정이 2025년부터 고등학교 1학년에 처음 적용되고, 고교학점제가 시행된다. 또한, 교육부는 2028년까지 디지털 교수·학습 환경을 구축하기 위해 인공지능(AI) 디지털 교과서를 과학 교과에도 도입할 계획으로 디지털 교과서를 개발하고 있다. 이러한 상황에서 국가지질공원이 개발한(2022, 2023) ‘대한민국 지질여행 전자책’은 디지털 교과서를 도입한 과학 수업에 디딤돌 역할을 할 수 있을 것으로 보인다.

연구팀은 ‘대한민국 지질여행 전자책’을 활용한 고등학교 1학년 수업 모형을 개발하여 적용(2023)한 바 있으며, 금년에는 고등학교 3학년 지구과학II, 한반도의 지질 단원에서 수업 모형을 개발하여 진행하였다. 이 단원에서 전자책 ‘화석’과 연계한 1차시 수업을 진행하였고, ‘번성암’과 연계한 2차시 수업을 진행하였다. 3차시에는 한반도 지질에서 한 곳을 자유롭게 선정하여, 국가지질공원 홈페이지를 방문해 해당 지질명소의 지질학적 가치를 탐구하는 심화 활동을 진행했다. 전자책과 국가지질공원 자료를 활용하여 한반도가 지질 유산으로 중요한 가치가 있음을 인식하고, 국가지질공원에 대한 관심을 높일 수 있었다. 한편, 2022 개정 교육과정의 새 교과서를 비교·분석하여, ‘대한민국 지질여행 전자책’을 보조 교재로 활용하는 방안을 마련하였다. 특히, 고등학교 1학년 통합과학 2, 단원 “지질 시대의 환경과 생물의 변화” 수업에서 전자책의 다양한 자료를 활용할 수 있는 수업방안을 개발하였다.

주요어 : 2022 개정교육과정, 인공지능(AI) 디지털 교과서, 전자책, 국가지질공원

## 국가지질공원 전자책을 활용한 중학교 과학 수업

# The Utilization of the 'Korea Geotourism eBook' in Middle School Science Classes

심혜구<sup>1</sup>, 박정웅<sup>2</sup>, 고병천<sup>3</sup>

<sup>1</sup>거원중학교(gerery@sen.go.kr), <sup>2</sup>진 송문고등학교, <sup>3</sup>국가지질공원 사무국

Sim Hea Go, Park Jeong Woong, Go Byeong Cheon

<sup>1</sup>Geowon Middle School, <sup>2</sup>Soongmoon High School, <sup>3</sup>National Geoparks of Korea

2015 개정 과학과 교육과정(교육부 고시 제2015-74호 [별책9]) 중학교 1~3학년 (1) 지권의 변화 단원에서 <탐구 활동>으로 제시된 광물 특성 관찰과 암석 분류하기, 국가지질공원의 암석 조사하기 내용에 근거하여 국가지질공원에서 개발한 「지오파과 함께하는 대한민국 지질여행 전자책」을 적용한 중학교 1학년 암석 분류 및 조사 활동 수업을 개발하였다.

첫째, 전자책을 교과서 보조 자료로 활용한 암석 분류하기 수업에서는 교과서만으로 찾기 어려운 암석에 관한 다양한 자료를 학생들이 전자책만으로 쉽게 접근하여 스스로 학습할 수 있도록 했다. 학생들은 암석의 형성 과정을 교과서 그림이 아닌 전자책의 생동감 있는 애니메이션 자료를 볼 수 있었고, 교과서에는 설명되지 않은 구체적인 암석의 성질이나 성분에 대한 내용을 전자책에서 찾을 수 있었다.

둘째, 자유학년제 주제선택 프로그램으로 학생들이 국가지질공원의 지질유산을 탐구할 수 있는 '나도 지질학자' 수업에서는 학생들이 전자책에 수록된 다양한 사진, 영상 자료와 더불어 스마트기기를 활용해 암석과 지형의 형성 과정을 설명할 수 있는 해설 활동을 진행했다.

국가지질공원 전자책을 활용한 교육과정 성취기준과 탐구 활동을 모두 만족시킬 수 있는 수업은 교사와 학생 모두 전자책 자료를 손쉽게 접근하여 다룰 수 있다는 점에서 매우 편리했다. 또한 국가지질공원 전자책을 활용한 본 수업 연구는 2022개정 교육과정(교육부 고시 제2022-33호 [별책9]) 중학교 1~3학년 (9) 지권의 변화 단원의 (나) 성취기준 적용 시 고려 사항 2항 “국가지질공원을 구성하는 광물과 암석을 수업의 소재로 활용할 수 있다.”는 내용을 만족시켜 새로 도입되는 교육과정 내용 달성과 디지털 교과서의 수업 도입에도 의미가 있다.

주요어 : 2015 개정교육과정, 인공지능(AI) 디지털 교과서, 전자책, 국가지질공원

## 기후변화교육에서의 위험교육

박영신\*<sup>1</sup>, 김서현\*<sup>1</sup>, 이현주<sup>2</sup>, 이현옥<sup>3</sup>, 문공주<sup>4</sup>, 황요한<sup>5</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 (hjek0307@naver.com),

<sup>2</sup>이화여자대학교, <sup>3</sup>강원대학교, <sup>4</sup>동덕여자대학교, <sup>5</sup>서울여자대학교

### 요약

Beck(1992)과 Giddens(1990)는 이미 30여 년 전부터 현대 사회가 직면한 위험의 근저에는 과학기술이 놓여 있으며, 특정 지역이나 사회적 지위를 막론하고 누구나 위험에 노출되어 있다고 강조했다(이현주 et al., 2024). 이에, 위험을 인식·예측·평가하고 합리적으로 대응할 수 있는 역량이 시민으로서 갖추어야 할 중요한 소양 중 하나로 대두되고 있다. 과학교육 분야에서 위험을 다루어야 한다는 주장은 Howes(1975)에 의해 처음 제기되었다. 그 이후 Eijkelhof(1986)가 위험평가, 즉 무엇이 감수할 만한 위험이고 아닌지를 판단하는 것을 과학교육과정에 포함해야 한다고 강하게 주장하였다. 하지만 위험사회에서 교육 방향의 제안으로 미래 생존을 위한 교육의 필요성이 논의되었으나, 현재 과학교육 분야와 학교 현장에서는 실제 위험과 관련된 개념이나 위험 대응 전략이 거의 다뤄지고 있지 않다. 특히 오늘날 국제적으로 가장 큰 위험 중 하나가 기후변화이며, 기후변화 문제를 해결하기 위한 노력이 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 교육과정에 따른 교육을 받는 학생들 뿐만 아니라 시민들도 기후변화를 포함한 위험에 대해 합리적으로 관리·대응하고, 합리적인 의사결정을 하기 위한 첫 시작으로 위험교육의 요소를 정의하는 것은 중요하다. 위험교육의 요소는 불확실성(Uncertainty), 확률(Probability), 심각성(Severity), 결과(Consequence), 지식(Knowledge), 가치(Value), 활동(Activity)이 있다(Schenk et al., 2019). 이 요소들을 기후변화 내용 중심으로 해석해 정의를 내리고, 기후변화와 관련된 예시를 만들었다. 정의 내린 7가지 요소를 바탕으로 현 2015년 과학과교육과정(중학교, 고등학교 대상) 기후변화와 관련된 단원을 선택하여 분석하였으며, 과학관의 경우 기후변화와 관련된 전시물에서 위험교육의 요소에 해당하는 내용을 분석하였다. 이는 학교안팎에서의 기후변화 내용 위험교육의 반영을 분석해보는 것에 의미가 있다고 하겠다. 과학과교육과정을 살펴본 결과, 선택한 교과서의 개수는 다르고 분석대상의 차이는 있지만(기후변화, 자연재해·재난, 신재생에너지) 상대적으로 위험교육에서 우선 과학적 지식이 많아야 관련 내용을 언급할 수 있기에 ‘지식’이 가장 많았으며 ‘결과’는 고등학교 지구과학에서 ‘지식’과 같은 비중으로 나타난 것은 전문적인 내용이 많았다는 것을 보여주고 있다. 이에 ‘가치’는 지구과학 내용에서는 거의 나타나지 않으며 다른 중학교 및 통합과학에서도 작은 비중으로 나타나고 있다. 이 외에도 ‘심각성’과 ‘불확실성’은 작은 비중으로 나타나고 있다. 특이점은 과학관에서의 기후관련 전시물에서는 ‘확률’이 학교교육에서의 과학교과서보다도 비중이 크게 나타나고 ‘심각성’도 역시 높게 나타남을 볼 수 있다. 결론적으로 국내의 과학과교육과정 기반 학교안팎의 현황에서는 기후변화 내용관련 위험교육의 반영정도는 수준별로(중학교 고등학교)는 차이는 있지만 ‘지식’은 가장 많이 나타나는 위험교육의 요소이며 ‘결과’와 ‘심각성’이 연계되어 반영되고, ‘불확실성’과 ‘확률’이 연관되어 반영되는 것으로 보이며 나머지 요소에 대해서는 비슷한 수준으로 반영되어 있다. 과학 대중화를 위한 과학관에서의 기후변화 위험교육은 ‘지식’과 ‘결과’가 가장 많이 반영되어 있고, 역시 ‘확률’과 ‘심각성’이 서로 연관되어 두 번째로 높은 반영을 보여주며, 나머지 ‘불확실성’, ‘활동’, ‘가치’가 가장 작은 비중으로 반영되어 있는 것으로 파악된다. 후속연구로는 이러한 위험교육요소가 어떻게 서로 상호작용하여 나타나는지를 보는 것은 의미있는 일이라 하겠다. 학생이나 시민들을 위한 과학교육에서 위험교육의 반영은 합리적인 의사결정자를 함양하는데 중요하다고 할 수 있겠다.

키워드: 기후변화, 위험교육, 과학과교육과정, 학교교육, 과학관

## 환경·지속가능발전 교육을 위한 협업 네트워크 모델 탐색

박병열\*, 오현정, 김서현, 손연아

단국대학교(bypark2025@dankook.ac.kr)

### 요약

기후변화, 환경문제, 그리고 지속가능한 발전은 현대사회가 직면한 가장 긴급하고 중요한 과제 중 하나로, 관련 문제를 다루는 데 있어서 단일 분야의 전문성만으로는 해결하기가 어렵다. 환경·지속가능발전 교육을 위한 다양한 주체들의 네트워크 협업은 기후변화, 환경문제, 그리고 지속가능발전을 위한 효과적인 대응을 위해 필수적이다. 특히, 대학, 학교, 지역사회의 환경·지속가능발전 교육을 위한 협업 네트워크 참여가 중요하며 이러한 협업을 효과적으로 활용하기 위해 그에 대한 메커니즘을 깊이 있게 이해하는 것이 중요하다.

이 연구의 목적은 환경·지속가능발전 교육을 위해 네트워크 협업을 기반으로 수행되었던 활동 사례에 대해 참여 주체들의 상호작용에 대한 기능적 메커니즘을 파악하고 구조화하여 모델로서의 가능성을 탐색하는 데 있다. 이를 위해 다섯 가지 환경·지속가능발전 교육 활동 사례를 활용하여 네트워크 상호작용의 특성을 이해하기 위해 구성요소, 관계, 기능의 세 차원을 기준으로 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다. 첫째, 협업 네트워크 모델은 세 파트로 구분되는 참여 주체, 참여 주체들 사이의 경계조율주체, 주체들 사이의 상호작용, 기능 공간(지식, 합의, 혁신)으로 구조화될 수 있었다. 둘째, 네트워크 참여 주체들은 네트워크, 협조 네트워크, 협력 네트워크, 협업 네트워크로 진화하면서 환경·지속가능발전 교육 프로그램 기획과 적용을 위한 상호작용의 수준이 함께 진화하였다. 셋째, 네트워크 참여 주체들은 협조 네트워크를 거쳐 협력 네트워크로 가면서 지식 공간, 합의 공간, 혁신 공간에서 활발하게 상호작용 하였고, 협업 네트워크에서 그 기능이 더욱 활성화 되었다. 특히, 이 기능 공간 내에서 경계조율주체는 다른 참여 주체들 사이에서 소통을 리드하고, 상호작용을 지원하며, 갈등을 중재하는 등의 역할을 통해 효과적인 협업에 있을 핵심적인 기능을 하는 것으로 드러났다. 이 결과들은 네트워크 참여 주체들의 상호작용에 대한 기능적 메커니즘을 바탕으로 환경·지속가능발전 교육을 위한 협업 네트워크의 구조적 특성을 제시하고 있으며, 추후 질 높은 환경·지속가능발전 교육을 제공하는 데 중요한 자원으로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 경계조율주체(boundary spanner), 지속가능발전교육, 지속가능성, 협업 네트워크(collaborative network), 환경교육

## 생태전환교육에 대한 과학교사의 관점: 생태전환을 꿈꾸는 교사들의 이야기

유금복, 유은정\*

한국교육과정평가원(geoscience@kice.re.kr)

### ABSTRACT

기후 위기 시대의 원인으로 지목되는 인류는 독특한 생활 양식으로 지구 전체의 위기를 초래하였고, 그 결과 인류의 생존까지 위협받고 있다. 국제 사회에서 기후 위기를 극복하기 위한 논의가 지속되었고 인류의 전방위적인 생활 양식의 변화가 필요하다는 의견이 힘을 얻고 있다. 우리나라 교육 분야에서도 기후 위기를 극복하기 위한 교육이 요구된다는 국제적 동향을 수용하여, 개정 교육과정의 논의 과정에서 미래 사회가 요구하는 역량에 생태 소양을 포함하고 이를 함양하기 위한 방안으로 생태전환교육을 강조하였다. 2022년에 고시되고 2025년부터 시행을 앞두고 있는 2022 개정 교육과정에서는 생태환경 변화 등에 능동적으로 대응할 수 있는 능력을 함양하도록 교육과정을 구성하였음을 명시하였다. 본 연구는 학교 현장에 내년부터 도입되는 2022 개정 교육과정에서 생태전환교육의 적용 방향성을 모색하고자 환경 교육, 지속가능교육, 생태전환교육에 관련하여 활발한 활동을 하는 생명과학과 지구과학 교사 9명을 목적 표집하였고, 그들의 생태전환교육에 대한 인식과 관점, 교수·학습 사례를 수집하여 분석하였다. 연구 결과 교사들은 학생들이 기후 변화가 심각한 수준이라는 것을 인지하지 못하는 상황에 대해 우려하고 있었으며, 교육을 통해 기후 변화를 알고 대처 방안을 모색할 수 있도록 해야한다는 데 공감하고 있었다. 특히 일상생활에서의 경험과 자기의 삶과 연결하여 기후 위기를 바라봐야 한다는 점과 인간 이외의 생태계 구성원들과의 공존을 강조하였다. 이를 교수·학습 과정에 접목하는 과정에서 교사들은 정규 교육시간을 활용한 탐구 활동부터 학기 단위의 프로젝트 활동 등 다양한 활동들을 통해 학생들이 자연을 경험하고 기후 변화의 위기 상황을 인지할 수 있도록 교수·학습 전략을 구상하였다. 그러나 교사들은 학습자가 생태전환교육을 통해 함양한 ‘가치·태도’의 측면 바라보는 데에는 차이가 있었으며, 생태전환교육의 범위와 한계에 대한 고민도 나타났다. 이러한 결과를 토대로 과학교육에서 생태전환교육을 적용 및 실행하기 위한 다양한 범주의 활동 기반 교육을 제안하고, 교육 실천 과정에서 가치·태도의 범주까지 확장하기 위한 노력과 지원, 교사 공동체 지원을 통한 생태전환교육 실행의 확장에 대한 시사점을 제안하였다.

주요어 : 생태전환교육, 기후 위기, 과학 교사, 교수 실행

## ‘센스메이킹’의 관점에 따른 초등학교 3학년 ‘지구의 모습’ 수업 분석

김동석<sup>\*1</sup>, 오필석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>행정초등학교([airian1092@korea.kr](mailto:airian1092@korea.kr)), <sup>2</sup>경인교육대학교

### 요약

본 연구는 초등학교 3학년 1학기 과학 ‘지구의 모습’ 단원 중 ‘지구의 육지와 바다’ 차시에서 이루어진 수업을 센스메이킹의 4가지 속성인 현상, 과학적 실행, 학생의 아이디어, 과학적 아이디어로 분석하였다. 그 결과 본 수업에서 이해의 대상이 되는 현상은 학생들의 자유 탐색 후 교사의 발문으로 제시되었다. 교사는 발문을 계속 이어가며 현상에 대한 학생들의 구체적인 탐구 방법을 이끌었다. 학생들은 지구본을 활용하여 모듈별로 의논한 탐구 방법으로 과학적 실행을 수행하였지만 의견이 분분한 모습을 보였고, 근거 제시가 미흡했다. 이에 탐구 방법을 수정·보완하여 각각의 장점을 모은 한 가지 방법으로 정리하여 실행한 결과 구체적인 근거를 들며 결과를 이야기할 수 있었다. 학생의 아이디어는 과학적 설명을 구성하기 위한 자원으로 활용되었다. 학생들의 다양한 아이디어는 탐구 실행 과정에서 의견 충돌을 일으켰고, 교사는 학생들의 의견을 공유할 수 있는 환경을 조성하며 더 깊은 과학적 실행으로 이어졌다. 과학적인 아이디어는 수정·보완한 탐구의 자원으로 활용되었다. 즉, 학생들의 아이디어와 과학적인 아이디어가 통합적으로 활용되어 근거가 기반이 된 설명을 제안할 수 있었다.

주요어 : 센스메이킹, 현상, 과학적 실행, 학생의 아이디어, 과학적 아이디어

### 1. 서론

‘센스메이킹(sensemaking)’은 현재 가지고 있는 지식과 이해에서 발견되는 모순이나 불일치를 해결하기 위해 설명을 구성하는 역동적인 과정으로, 일상적인 지식이나 학술적인 지식을 활용하여 현상의 구조나 기제(mechanism)를 상징하고 비판적으로 검토하는 반복적인 과정을 통해 자신만의 언어로 이루어지는 설명을 제안하는 활동을 일컫는다(Odden & Russ, 2019). 미국과학교사협회(NSTA, n.d.)는 이러한 센스메이킹의 속성으로 현상(phenomena), 과학적 실행(practices), 학생의 아이디어(student ideas), 과학적 아이디어(science ideas)의 4가지를 제안하였다. 이에 본 연구에서는 3학년 1학기 과학 ‘지구의 모습’ 단원 중 ‘지구의 육지와 바다’ 차시에서 이루어진 수업을 센스메이킹의 4가지 속성으로 분석하여 센스메이킹을 적용한 초등 과학 수업의 가능성과 향후 계획에 대해 논의해 보고자 한다.

### 2. 본론

‘지구의 육지와 바다’ 차시의 성취기준은 ‘육지와 비교하여 바다의 특징을 설명할 수 있다’이며, 탐구 활동은 ‘지구의 육지와 바다 면적 비교하기’이다(교육부, 2015). 이를 위하여 교사는 ‘경험 학습 모형’에 따른 수업을 시행하였고 센스메이킹의 4가지 속성에 따라 분석하였다.

분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 본 수업에서 이해의 대상이 되는 현상은 학생들이 스마트 기기를 활용하여 지구의 육지와 바다를 자유롭게 탐색한 후 교사의 발문(“지구의 육지와 바다 중

어디가 더 넓을까요?”)으로 학생들에게 제시되었다. 발문에 대한 학생들의 엇갈리는 답에 교사는 발문을 이어가며(“어떤 방법으로 비교할 수 있을까요?”) 현상에 대해 학생들이 구체적인 탐구 방법을 생각할 수 있게 하였다.

둘째, 위와 같은 현상에 대한 의문을 이해하기 위하여 학생들은 지구본을 활용하여 모둠별로 의논한 탐구 방법으로 과학적 실험을 수행하였다. 학생들은 탐구가 시작되자 의견이 분분한 모습을 보였고, 탐구 결과 발표시 모든 모둠이 바다가 넓다고 하였으나 그에 따른 근거 제시는 미흡했다. 교사는 탐구 결과 발표시 구체적인 근거를 제시하여야 함을 강조하였고, 학생들은 탐구 방법을 수정·보완하는 과정에서 생각이 하나로 모아졌다. 정돈된 탐구 방법으로 실험한 결과 학생들은 구체적인 근거를 들며 바다가 육지보다 더 넓다는 설명을 구성하였다.

셋째, 과학적 실험의 과정에서 학생들의 아이디어는 과학적 설명을 구성하기 위한 자원으로 활용되었다. 학생들의 다양한 아이디어는 탐구 실험 과정에서 의견 충돌을 일으켰고, 다른 탐구 방법을 탐색하게 하며 더 깊은 과학적 실험으로 이끌었다. 학생들은 처음엔 변인 통제를 하지 못하는 모습을 보였지만 교사가 학생들의 의견을 공유할 수 있는 환경을 계속 조성하며 조금씩 수정·보완되었고 결국에는 변인 통제가 이루어진 과학적 탐구를 수행하였다.

넷째, 과학적 실험의 과정에서 과학적인 아이디어는 과학 탐구의 촉매제 역할을 하였다. 교사가 강조한 탐구 결과 발표시 구체적인 근거를 제시를 강조한 것과 학생들간 의견을 계속 공유하는 과정에서 학생들의 아이디어가 계속 수정·보완되며 더 깊은 과학적 탐구로 이어졌으며 결과적으로 학생들의 아이디어와 과학적인 아이디어가 통합적으로 활용되어 근거가 기반이 된 ‘바다가 육지보다 넓다’는 설명을 제안할 수 있었다.

### 3. 결론

본 수업은 ‘지구의 육지와 바다 중 어디가 더 넓을까?’라는 현상에 대한 궁금증으로부터 출발하여 ‘바다가 육지보다 넓다’라는 증거에 기반한 설명이 구성됨으로써 센스메이킹에 도달하였다. 이 과정에서 학생들의 아이디어와 교사가 제공한 과학적인 아이디어는 지구본 상에서 육지와 바다의 면적을 비교하는 과학적 실험을 위한 일종의 실천적 자원으로 활용되었다. 이러한 사실은 개념적인 아이디어 뿐만 아니라 실천에 관한 아이디어도 센스메이킹 과정에서 자원으로 활용될 수 있다는 점을 시사해 주는 것으로서 의미가 있다. 또, 현상에 대한 궁금증이 교사의 발문으로부터 시작되었고 학생들의 아이디어보다 교사가 안내한 아이디어가 중요한 역할을 한 점은 초등 학생들의 인지 수준 등을 고려할 때 교수법적으로 필요하면서도 여전히 개선의 여지가 있는 것이라 할 수 있다. 이와 더불어 센스메이킹을 위한 충분한 수업 시간 확보가 필요한 점은 현실적인 제한점이라고 할 수 있다. 이러한 기초 연구를 바탕으로 향후 초등 현장에서 센스메이킹에 기반한 과학 수업을 면밀하게 계획하고 꾸준히 실천하며 의미를 찾는 연구를 이어가고자 한다.

### 참고문헌

- 교육부(2015). 2015 개정 과학과 교육과정. 교육부 2015-74 [issue 9].  
 National Science Teaching Association (n.d.). What are the attributes of sensemaking?  
 Retrieved February 21, 2024 from <https://www.nsta.org/sensemking>.  
 Odden, T. O. B., & Russ, R. S. (2019). Defining sensemaking: Bringing clarity to fragmented theoretical construct. *Science Education*, 103(1), 187 - 205.

## 2013-2019년 동아시아 대륙의 온난화와 중국 동부-황해-한국 지역의 여름철 강수 변동에 대한 관련성 분석

조재희<sup>1</sup>, 이미례<sup>2</sup>, 김학성\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립공주대학교 환경교육과,

<sup>2</sup>한국교원대학교 지구과학교육과(envir007@knue.ac.kr)

### 요약

본 연구는 여름철 동아시아 대륙의 온난화와 중국 동부-황해-한국의 장마전선에 의한 강수 발생의 역학적인 연관성을 분석한 것이다. 2000년부터 2023년까지 IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals for the Global Precipitation Measurement) 위성의 강수량 관측은 여름철에 중국 동부-황해-한국 지역에 형성되는 준정체 장마전선에서 강수의 극한 증가가 빈번하게 발생하면서 강수량이 증가 하고 있음을 나타내고 있었다. 그러나, 2013년부터 2019년까지는 여름철 강수량의 극한 상승이 줄어들면서 가뭄 발생을 일으키고 있었다. 여름철 중국 동부-황해-한국에서의 가뭄은 북극 지역의 이상 냉각화와 동아시아 내륙의 온난화와 관련이 있는 것으로 분석되었다. 여름철에 동아시아 대륙의 지표면 가열에 의한 대류권 상층 티베트 고기압의 북쪽 경계를 따라 동아시아 제트가 강화되고 있었는데, 이는 북극으로부터 남하하고 있는 한랭한 공기와 경계를 이루고 있었다. 중국 동부-황해-한국은 동아시아 제트의 출구에 위치하면서 간접 순환에 의한 북서풍이 강화되고 있었다. 이로 인해 남동아시아 해양으로부터 중국 동부-황해-한국 지역의 준정체 장마전선으로 남서풍에 의한 수분 수송이 제한되고 있었다. Terra 위성 MODIS 센서로 관측한 구름 물리량에서도 여름철 중국 동부-황해-한국에 형성된 장마전선에서 대류성 구름과 강수 발생이 감소하고 있는 것으로 나타나고 있었다. 또한, WRF-Chem (Weather Research and Forecasting model with Chemistry) 모델의 모의 결과는 중국 동부-황해-한국 지역의 인위적 에어로졸이 간접 효과를 통해 평균 강수량을 5.6% 감소시키고 있는 것으로 나타났다.

주요어 : 여름철 북극의 이상 냉각화, 동아시아 대륙의 온난화, 동아시아 지역의 가뭄, 수분 수송, 동아시아 제트류의 변동

### 감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021R1F1A106217211, 2022R1C1C2007533).

# 동아시아 봄철 예측성 향상을 위한 기후예측시스템(GloSea6)내 대기화학-에어로졸 과정 연동 모의 및 모의 성능 평가

송형규<sup>1\*</sup>, 윤대옥<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 지구과학교육과 (ifp1095@chungbuk.ac.kr)

## 요약

본 연구에서는 대한민국 기상청이 계절내 예보(seasonal forecast)을 위해 운용하고 있는 기후예측시스템(GloSea6)의 봄철 예측성 향상을 위해, 대기화학-에어로졸 모델(UKCA)을 연동시켜 수치모의한 봄철 예측 결과를 ERA5 재분석자료와 비교한다. GloSea6 연동에 사용된 UKCA의 두 가지 대기화학과정은 단순 화학 과정(simplified chemistry)인 대류권-성층권 화학 과정(aka. Strattrop)과 주요 화학 과정(full chemistry)인 Common Representative Intermediates (CRI)이다. 대기화학-에어로졸 과정이 연동된 계절내 예측 실험은 GloSea6-Strattrop와 GloSea6-CRI로 명명하였고, 2000년 3월 1일 00시를 계절내 예측 모의 실험의 시작 시간으로 잡고, 이에 따라 대기, 지면, 해양, 대기 조성 물질의 초기장을 구축하였다. 대기 조성 물질의 초기장 구축에 대한 연구는 보고된 바가 없는 것으로 판단되며, 본 연구를 통해 오존 전량의 분포의 수렴값을 기준으로 구축된 대기 조성 물질의 초기장을 제시하였다. 본 연구에서는 방대한 컴퓨팅 자원이 필요한 현업 고해상도 GloSea6를 이용하는 대신에 저해상도 GloSea6를 구축하여 리눅스 클러스터에서 실험을 수행하였다. 구체적으로 GloSea6의 대기-지면 모델 해상도인 N216L85(위경도 0.55°× 0.83°, 연직 방향 85 층)를 N96L85 (위경도1.25°× 1.88°, 연직 방향 85 층)로, 해양-해빙 모델 해상도인 eORCA025(위경도 0.25° × 0.25°, 연직 방향 75층)를 eORCA1 (위경도 1° × 1°, 연직 방향 75층)로 수정하였다. 2000년 4월의 지상 온도(1.5 m 기온) 및 강수량의 예측 결과를 ERA5 재분석자료와 비교하였다. GloSea6에 UKCA가 연동된 두 모델(GloSea6-Strattrop, GloSea6-CRI)이 GloSea6의 결과보다 ERA5 재분석자료에 더 근접해졌다. 기존의 GloSea6을 이용한 봄철 예측 지상 온도의 경우, 우리나라와 우리나라 주변 지역에 대해 높은 온도를 모의하였고, 강수량의 공간 분포도 ERA5와 유사하지 않았다. 그러나, GloSea6-UKCA 두 모델은 지상 기온의 차이를 대폭 줄였고, 강수량 공간 분포도 ERA5와 유사하여 개선된 결과를 나타내었다. 특히 2000년 3월 1일부터 2000년 4월 30일까지의 지상 기온에 대한 동아시아 지역 공간 평균 시계열 비교에서 GloSea6는 ERA5에 비해 수치 모의 기간 초반을 제외하면 매우 높은 값을 보였으나, GloSea6-UKCA는 재분석자료와 유사한 결과를 보였다. 흥미로운 점은 더 많은 화학물질과 화학과정을 모의하여 현재 전지구모형의 화학과정으로는 최고 수준인 CRI가 연동된 GloSea6-CRI가 GloSea6-Strattrop에 비해 재분석자료와 보다 유사한 결과를 보였다. 강수량의 우리나라 지역 공간 평균 시계열 비교를 통해, GloSea6에 UKCA가 연동되더라도 강수량의 시기는 정확하게 예측하지 못하지만, 과대 모의하던 GloSea6에 비해 강수의 양에서 개선하는 효과를 확인할 수 있었다. 이러한 결과가 나타나는 이유로 GloSea6에 연동시킨 UKCA가 대기 중 존재하는 화학종 및 에어로졸 분포를 보다 현실적으로 모의하기 때문일 것이다. 이는 에어로졸 광학 두께에 대해 위성 자료와 비교를 통해 GloSea6-UKCA 두 모델이 동아시아 지역에 존재하는 다량의 에어로졸을 보다 현실적으로 모의하는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 GloSea6에 UKCA가 연동된다면 현재 계절내 예측에 어려움을 겪고 있는 봄철 예측 모의 성능이 향상될 수 있는 가능성을 살펴보았다.

## 환경위성영상 활용 도구(GEMSAT) 소개 Introduction to the GEMSAT(GEMS Application Tool)

김병길\*<sup>1</sup>, 안창진<sup>1</sup>, 유정아<sup>2</sup>, 김상민<sup>2</sup>

<sup>1</sup>문소프트(주)(neoeff@gmail.com),

<sup>2</sup>국립환경과학원 환경위성센터

### 요약

세계 최초의 정지궤도 환경위성 센서인 GMES(Geostationary Environment Monitoring Spectrometer)는 2020년 발사되어 2021년 3월부터 환경위성 영상을 제공하고 있다. GEMS는 하루 평균 8회, 동아시아 영역의 대기 오염물질을 촬영하는 UV(300nm)-VIS(500nm) 파장대역의 초분광계로, 1033개의 채널로 구성되어 있다. 환경위성센터는 Level 1C 관측 데이터와 Level 2, 3 분석 데이터를 제공하고 있으며, 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 환경위성 영상뿐만 아니라, 활용 가능한 다양한 위성 영상(AMI, GOCI, TROPOMI, OMI, MODIS 등), 지상 관측 자료 및 모델 자료를 지원하는 GEMS 활용 도구인 GEMSAT(GEMS Application Tool)을 소개하여 그 활용도를 제고하고자 한다. GEMSAT 주요 기능은 정밀/비교분석, 투영법, 합성, 필터링, 채널연산, 평균장, 타입랩스, 시계열분석, 버티컬분석, Python연동 및 API, 매크로 기능이며, 환경위성센터 누리집 (<https://nesc.nier.go.kr>)에서 무료로 다운로드할 수 있다.

주요어 : GEMS, GEMSAT, 환경위성, 환경위성활용도구, 위성영상

## GloSea5 모델의 수온과 염분의 단기 예측 성능 평가

위지은\*<sup>1</sup>, 변재영<sup>2</sup>, 문병권<sup>1</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 과학교육학부/융합과학연구소(jieunwie@gmail.com),

<sup>2</sup>국립기상과학원 예보연구부

### 요약

전지구 기후예측시스템(GloSea5)의 해양 예측 성능 평가는 6개월 정도의 장기간에 대해 이루어졌다. 이 연구는 GloSea5의 해양 온도와 염분의 단기(약 10일) 예측성 검증에 Brier score (BS)와 Brier skill score (BSS)를 적용하였다. 분석을 위해 GloSea 5의 과거기후재현(hindcast)의 2001-2010년 기간의 자료를 이용하였는데, 각 월마다 4개의 초기일로 구동되었으며 3개 앙상블로 구성되어 있다. ARGO float 자료의 수온과 염분 자료를 이용하였으며, 모델 격자를 ARGO 위치로 내삽하고 연직으로는 GloSea5의 수심에 일치시켰다. 해수면 온도의 경우, 남극 순환류와 서안 경계류 지역에서 염분의 경우 벵골만과 열대 해역에서 root mean square error (RMSE)가 증가하였다. 대양별로는 예측일이 증가할수록 오차가 증가하였고, 태평양, 인도양, 대서양 순서로 오차가 컸다. 연직 수온과 염분의 오차를 분석한 결과 NINO3.4의 경우에는 수심 약 150m 부근에서 최대 오차가, 동해는 표층 부근에서 오차가 크게 나타났다. NINO3.4의 BS와 BSS를 이용하여 분석한 결과 수온은 lead-time 이 증가할수록 오차가 증가하였고, 염분은 뚜렷한 경향성이 나타나지 않았다. 이 연구에서 활용한 예측 모델 평가 방법은 다른 예측 모델이나 변수를 평가하는데 적용될 수 있다.

주요어 : GloSea5, ARGO, float, Brier score (BS), Brier skill score (BSS), root mean square error (RMSE)

### 감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Government of Korea (MSIT) (No. 2022R1A2C1008858) and Research and Development for Korea Meteorological Administration (KMA) Weather, Climate, and Earth system Services (NIMS-2016-3100). This work was also funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program “Developing Operational Marine Forecasting System” under Grant (KMA2018-00420).

## 여름철과 가을철 북서태평양 중위도 영향 열대저기압 활동 특성 비교

박두선<sup>\*1,2,3</sup>, 허정화<sup>3</sup>, 김다솔<sup>4</sup>, 차동현<sup>5</sup>, 변영화<sup>6</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 지구과학교육과([dsrpark@knu.ac.kr](mailto:dsrpark@knu.ac.kr))

<sup>2</sup>경북대학교 대기과학과 BK21 위험기상 교육연구팀

<sup>3</sup>경북대학교 대기원격탐사연구소

<sup>4</sup>서울과학기술대학교 환경공학과

<sup>5</sup>울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

<sup>6</sup>국립기상과학원 기후변화예측연구팀

### 요약

본 연구에서는 중위도에 영향을 미치는 열대저기압 활동을 여름철과 가을철로 분류하여 상륙빈도수와 상륙 평균강도, 관련 환경장을 비교·분석하였다. 잘 알려진 것처럼 여름철에는 가을철에 비해 더 많은 열대저기압이 상륙한 반면, 평균상륙강도는 약한 것으로 분석되었다. 가을철에는 북서태평양 고압대의 후퇴와 중위도 경압성 강화에 따른 상층 서풍 아노말리에 의해 중위도로 향하는 열대저기압이 동쪽으로 더 많이 이동하기 때문에 상륙빈도수가 감소하는 것으로 분석되었다. 한편, 가을철 열대저기압의 상륙강도가 더 강한 이유는 양의 PI 및 TCHP 아노말리, 북서태평양 고압대 후퇴에 따른 양의 하층와도 아노말리 때문인 것으로 분석되었다.

주요어 : 여름, 가을, 열대저기압, 중위도

### 감사의 글

This study was supported by the National Research Foundation of the Korean government (RS-2023-00207866).

## UKESM-TOPAZ의 극지 한랭 편차의 원인 및 개선 방안

윤세민\*<sup>1</sup>, 위지은<sup>1</sup>, 이효미<sup>2</sup>, 성현민<sup>2</sup>, 장필훈<sup>2</sup>, 변영화<sup>2</sup>, 문병권<sup>1</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 과학교육학부 (seminy@jbnu.ac.kr)

<sup>2</sup>국립기상과학원 기후변화예측연구팀

### 요약

기후변화 예측은 미래의 극한 기상 현상에 대비하고 대응하기 위해 필수적이며, 이에 따라 기후변화 예측 모델에 대한 연구도 중요하다. 이 연구는 영국 기상청의 UKESM1에 미국 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)의 Tracers in the Ocean with Allometric Zooplankton(TOPAZ) 모듈을 결합한 UKESM-TOPAZ 모델을 사용하여 장기간 적분(preindustrial control)수행하고, 그 결과를 Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) 모델들과 비교하였다. 대기-해양 간 dimethylsulfide (DMS)와 CO<sub>2</sub> 교환, 그리고 대기 먼지의 해양 침적 과정을 구현한 실험과, 이 과정을 고려하지 않은 실험을 수행하였다. 분석 결과에 따르면, 두 실험 모두 CMIP6 모델과 비교했을 때 지표 기온이 전반적으로 차가웠으며, 특히 교환 과정을 고려한 실험에서는 DMS 배출 증가로 구름이 과도하게 형성되어 태양 복사 에너지가 감소함으로써 북반구 고위도에서 더 차갑게 기온을 모의하였다. 극지방의 해빙 면적과 지표 기온 간의 관계를 분석한 결과, 실험의 고위도 지역에서 나타난 한랭 편차는 얼음-알베도 피드백에 의한 기온 하강에 기인한 것으로 보였다. 현재 모델 성능 개선을 위해 알베도 파라미터 조정 실험, DMS 관련 디버깅 실험, 그리고 구름-에어로졸 상호작용을 개선하는 실험도 추가적으로 진행 중이며, 장기적인 적분을 통해 CMIP6 모델 및 관측 자료와 비교 분석될 예정이다. 이 연구는 UKESM-TOPAZ가 향후 기후 변화 연구와 예측에 중요한 기여를 할 수 있음을 보여준다.

주요어 : UKESM-TOPAZ, 기후변화예측

### 감사의 글

이 연구는 기상청 국립기상과학원 「기상업무지원기술개발연구」 “신기후체제 대응 기후변화 시나리오 개발·평가(KMA2018-00321)”의 지원으로 수행되었습니다. 이 연구의 주요 계산은 기상청(국가기상슈퍼컴퓨터센터)이 제공한 슈퍼컴퓨터 자원을 이용하여 수행되었습니다.

## Multi-Scale Infrastructure for Chemistry and Aerosols (MUSICA)를 통한 대한민국에서의 대기질 모의와 해상도에 따른 모의 결과 분석

조두성<sup>\*1</sup>, Louisa K. Emmons, Patrick Callaghan, Simone Tilmes, Jung-Hun Woo, Younha Kim, Jinseok Kim, Claire Granier, Antonin Soulié, Thierno Doumbia, Sabine Darras, Rebecca R. Buchholz, Isobel J. Simpson, Donald R. Blake, Armin Wisthaler, Jason R. Schroeder, Alan Fried, Yugo Kanaya

<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과(duseong@snu.ac.kr)

### ABSTRACT

본 연구는 현재 미국 대기과학 연구소에서 개발하고 있는 차세대 대기 화학 모형인 MUSICA (Multi-Scale Infrastructure for Chemistry and Aerosols)를 통해, 지난 2016년에 대한민국에서 있었던 항공 관측 캠페인인 KORUS-AQ 캠페인 동안 대기 오염 물질을 모의한 연구이다. 본 연구에서는 특히 한반도를 상세 규모로 모의하면서 동시에 전 지구 오염 물질도 모의하기 위해서, 전 지구를 약 100 km 간격으로 모의하면서, 동시에 아시아, 중국, 한반도에 걸쳐 점차 고해상도로 이동하는 격자를 구축, 궁극적으로는 한반도에서 7 km의 해상도를 갖게끔 하는 새로운 모델 격자 간격을 개발하였다. 이는 MUSICA 최초의 커스텀 격자 및 7 km 간격의 연구이다. 이러한 모델의 격자는 이전의 지역 규모 모델이 한계로 갖던 경계 조건 문제 및 전 지구 규모 모델의 한계인 저해상도의 격자 문제를 동시에 해결하는 데 의의가 있다. 본 연구에서는 기존의 지역 규모 및 전지구 규모의 모델과는 다른 모델 프레임워크를 이용하기 때문에, 다양한 오염 물질들의 여러 측면을 정량적으로 계산하였고, 특히 격자 간격에 의한 오염 물질 농도 모의 효과를 살펴보았다. 연구 결과를 요약하면, 같은 역학 코어와 물리 과정, 화학 반응들을 이용하더라도, 격자 간격을 바꾸는 것만으로도 대기 중 오염 물질들의 모의가 크게는 도심 지역에서 10배 까지 차이가 날 수 있음을 보였다. 특히, 오존의 모의에서 도심 지역의 NO<sub>x</sub> tration 효과가 고해상도 모델에서만 모의되면서 오존 농도의 값이 2~3배 가량 차이날 수 있음을 보였다. 이러한 격자 간격에 의한 효과는 일반적으로 오염 물질의 OH와의 반응 속도가 증가할수록 더 커짐을 증명하였으며, 따라서 대기 중 체류 시간이 적은 오염 물질들의 경우 고해상도의 격자가 더욱 더 중요해짐을 보였다. 추가적으로 항공관측 캠페인과의 비교를 통해, 모델의 해상도는 서울과 같은 도심 지역, 그리고 2 km 이하의 고도에서 중요하나, 2 km 이상의 고도에서는 여전히 저해상도의 모델도 비슷한 모의 성능을 보임을 증명하였다. 이는 고해상도의 모델이 훨씬 많은 계산 시간을 요구하는 것으로 미루어 볼때, 성층권으로의 수송 같은 연구를 할 시에는 기존의 저해상도 모델도 여전히 이용될 수 있음을 나타낸다.

# 대기화학 과정에 따른 1982-2010년 전지구시스템모델(UKESM) CMIP6 수치모의 및 모델 기상장 특성 분석

윤대옥<sup>1\*</sup>, 송형규<sup>1</sup>

<sup>1)</sup>충북대학교 지구과학교육과 (dyoun@chungbuk.ac.kr)

## 요약

본 연구에서는 복잡도가 다른 두 가지 화학모형을 영국기상청 전지구시스템모델(UKESM)의 대기화학-에어로졸 과정에 적용하여 CMIP6 배출량에 따른 1982-2010년 적분을 수행하여 지표면부터 85 km 고도까지의 모의된 대기 조성물질의 변화와 연관된 기상장의 변화를 분석하였다. 두 가지 대기화학 과정으로는 UKCA의 기본 대기화학 과정인 대류권-성층권 화학과정(a.k.a. Strattrop)과 Non-Methane Volatile Organic Compounds (NMVOCs)를 세분화하여 오존 화학 과정과 이차 생성 에어로졸 과정을 상세하게 구현한 Common Representative Intermediates (CRI)이다. 기존의 기본 대기화학과정(Strattrop)은 약 305개 화학 반응을 모의하지만 CRI는 NMVOC 화학 과정을 증가시켜 Strattrop보다 대폭 늘어난 729개 화학 반응을 계산한다. 서로 다른 화학과정을 적용한 두 모형을 UKESM-Strattrop과 UKESM-CRI로 각각 명명하였고, 두 모형을 1981년부터 2010년 12월까지 약 28년간 수치 적분하였다. 적분을 위해 초기장이 필요하기 때문에 대기-지면 초기장으로는 ERA5 재분석자료를, 해양-해빙 초기장으로는 NEMOVAR를 사용하였다. 모의 결과의 분석은 2000년 1월부터 2010년 12월의 약 11년 모의 결과에 대해 ERA5 재분석자료와 비교하였다. 모의된 지상 기온과 강수량의 공간 분포는 재분석자료와 전체적으로 유사하였지만, 두 모델 모두 적도 태평양과 남극해, 북극해에서 차이가 두드러졌다. 전지구, 북반구, 동아시아 지역에 대한 공간 평균 지상 기온의 월별 시계열은 UKESM-Strattrop과 UKESM-CRI 모두 계절적으로 ERA5에 비해 큰 값을 보이는 시기가 있었다. 시간 평균된 강수량에 대해서는 두 모델 모두 ERA5와 공간 분포에서 매우 유사한 결과를 보여주었다. 하지만 적도 부근 해양(10°S-10°N)에서 오차범위가  $3 \text{ mm day}^{-1}$  이내로 작은 차이는 보인다. 전지구 평균 강수량의 월별 시계열은 ERA5 및 GPCP 자료에 비해 전기간에 걸쳐 전지구 평균 강수량을 과대 모의하는 것으로 나타났다. 또한, 봄철 기온 및 강수량 모의의 문제점은 널리 알려져 있어 이를 이해하기 위해 적도 성층권 준격년진동(QBO)의 모의 결과도 살펴보았다. QBO 모의는 UKESM-Strattrop과 UKESM-CRI 모두 관측과는 차이를 보였으나, 보다 많은 화학과정을 고려하는 UKESM-CRI가 보다 더 QBO의 28개월 주기에 근접하였다. 보다 상세한 화학과정을 고려하는 것은 성층권 순환 모의를 개선시킬 수 있는 하나의 방법일 것으로 판단된다.

## 대기환경측정망 PM<sub>2.5</sub> 자료의 공간분해를 통한 국내 미세먼지 저감정책 평가

서지훈\*<sup>1</sup>, 이아름<sup>1</sup>, 박두선<sup>2</sup>, 윤대옥<sup>3</sup>, 김경환<sup>1</sup>, 박창의<sup>1</sup>, 김진영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술연구원 기후·환경연구소 (jseo@kist.re.kr)

<sup>2</sup>경북대학교 지구과학교육과

<sup>3</sup>충북대학교 지구과학교육과

### 요약

대기질 개선을 위한 정책적 노력에도 불구하고, 지역 내에 서로 다른 공간 규모를 지니는 오염원별 특성으로 인해 동일한 정책적 효과가 나타날 수 있다. 따라서 효과적인 대기관리정책을 수립하기 위해서는 해당 지역의 대기오염물질 농도의 공간 규모에 따른 변동성을 잘 이해하고, 이에 맞는 다층적 대응전략이 필요하다. 본 연구에서는 국내 대기환경측정망(Air quality monitoring stations; AQMS)에서 수집한 PM<sub>2.5</sub> 농도 시공간자료를 전국 규모의 변동성을 지니는 배경 성분(background component), 수십 km 규모의 변동성을 나타내는 광역 규모 성분(intercity-scale component), 수 km 규모의 변동성을 가지는 국지규모 성분(neighborhood-scale component)로 분해하는 간단하고 직관적인 공간분해(spatial decomposition) 방법을 제안하고, 이를 활용하여 미세먼지 계절관리제가 시행되고 있는 12월부터 3월 사이의 평균 PM<sub>2.5</sub> 농도에 대한 각 성분별 기여도를 구하였다. 구체적으로는 계절성, 종관규모 기상패턴, 국외미세먼지의 유입 등 국내 대기관리정책으로 다루기 어려운 배경 성분을 먼저 제거한 후, 광역규모 변동성을 가지는 유효범위 내의 공간 평균 농도를 광역규모 성분으로, 그 잔차를 국지규모 성분으로 정의하였으며, 이때 이 유효범위는 거리에 따라 감소하는 공간 자기상관계수의 특정 임계값(R = 0.5)을 적용하여 결정하였다. 이 방법을 2021-2022년 535개 AQMS에서 측정된 PM<sub>2.5</sub> 시공간 자료에 적용한 결과, 미세먼지 계절관리제 기간 수도권 및 중부권 대기관리권역에서는 주로 광역규모 성분의 기여도가 높아, 현재 시행중인 대기오염물질 총량관리와 같은 권역별 정책이 효과적일 것으로 나타났다. 반면 남부권 및 동남권 대기관리권역에서는 광역규모 성분의 기여도가 낮은 반면, 개별 산업단지 등의 배출원 인근 지점들에서 국지규모 성분이 높아, 권역별 대기관리정책과 함께 각 국지적 배출원에 대한 지자체 차원의 개별적 관리가 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

주요어 : PM<sub>2.5</sub>, 공간분해, 광역규모 성분, 국지규모 성분, 대기관리권역

### 감사의 글

이 연구는 2024년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단-동북아-지역 연계 초미세먼지 대응 기술 개발 사업의 지원을 받아 수행한 연구입니다 (2023M3G1A1090658).

## 인산염의 경쟁효과를 고려하여 벼(*Oryza sativa L.*)에 대한 비소의 독성을 예측하기 위한 종간외삽법의 적용

윤상규<sup>1</sup>, 안진성<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 ERICA 스마트시티공학과

<sup>2</sup>한양대학교 ERICA 건설환경공학과(jsan86@hanyang.ac.kr)

### 요약

비소(arsenic)는 자연적으로 발생하는 비소 함유 광물의 풍화 또는 농업 및 산업 활동과 같은 인위적인 요인에 의해 토양으로 유입될 수 있으며, 작물에 흡수되어 작물의 성장과 생산성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 비소의 생태독성 평가 및 안정적인 농업 생산성을 유지하기 위해 작물에 대한 비소의 독성영향을 예측 및 평가하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 인산염(phosphate)의 경쟁 효과를 고려하여, 기존의 보고된 *Allivibrio fischeri*에 대한 비소 독성 예측모델(biotic ligand model; BLM)을 벼(*Oryza sativa L.*)에 적용하기 위한 종간외삽법(interspecies-extrapolated)을 수행했다. 벼에 대한 인산염 농도별 비소 독성실험결과, 산정된 EC50은 0.35 mM, 0.7 mM, 1.4 mM 및 5 mM 각각  $5.74 \pm 0.73$  mg/L,  $5.93 \pm 1.20$  mg/L,  $10.11 \pm 0.73$  mg/L 및  $51.88 \pm 4.91$  mg/L로 나타났다. 인산염의 농도가 증가함에 따라 벼에 대한 비소의 독성은 감소하는 경향을 나타냈으며, 이는 비소 및 인산염의 경쟁효과(competitive effect)로 인해 벼의 활성결합부위(biotic ligand)에 결합되는 비소의 농도가 감소했기 때문으로 추정된다. 또한, 종간외삽법을 적용하여 예측된 벼에 대한 비소의 50% effective concentration (EC50)과 실험을 통해 산정된 벼에 대한 비소의 EC50 간의 선형관계를 고려할 때, 종간외삽법이 적용된 BLM은 벼에 대한 비소 독성 변화를 10배 이내의 정확도로 예측할 수 있음을 확인했다.

주요어 : 독성예측모델, 종간 외삽법, 인산염, 경쟁효과,

### 사사

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the ministry of Science and ICT (MSIT) (NRF-2022R1F1A1076510).

## 광학 위성영상을 이용한 해양 부유 쓰레기 탐지

박영제\*<sup>1</sup>, 김광석<sup>2</sup>, 한희정<sup>2</sup>

<sup>1</sup>텔레픽스주식회사(youngjepark@telepix.net)

<sup>2</sup>한국해양과학기술원

### 요약

최근 다양한 광학위성의 개발로 해양쓰레기 모니터링에 대한 관심이 높아지고 있는데, 근래 연안의 대형 부유쓰레기 발생 사례에 대하여 다양한 픽셀사이즈를 가지는 위성영상으로 탐지한 결과를 살펴보고 이를 통해 해양 부유쓰레기 탐지의 현황과 한계, 발전방향에 대해 논의하고자 한다.

주요어 : 해양 쓰레기, 부유쓰레기, 광학위성, GOCI, MSI

### 1. 서론

육상이나 연안에서 바다로 유입된 쓰레기는 해저로 가라앉아 해양 생태계에 위협이되거나 해류를 따라 기원지와 멀리 떨어진 지역에 흘러들어 환경문제를 야기하고 있다. 우리나라에서도 도서지역에 상륙한 쓰레기 수거에 많은 예산과 노력을 들이고 있다. 바다 표층에 부유하여 이동하는 쓰레기 모니터링은 이동경로의 파악과 수거 대책 수립을 위해 중요하지만, 관측 지역이 넓고 접근성에 제약이 있으므로 현실적으로 원격탐사에 대한 기대가 크다.

### 2. 본론

최근, 지표면 관측을 주 목적으로 하는 Sentinel-2 또는 Landsat-8/9 위성으로부터 고품질 영상 자료 제공되어 전 세계적으로 부유쓰레기를 탐지에 대한 연구가 활발하며, super-Dove 등 상업용 위성의 개발로 고해상도 자료를 1-2일에 1회 꼴로 획득할 수 있어 실효적인 모니터링에 대한 가능성이 높아지고 있다. 일반적으로 GOCI, MODIS, MERIS 등 수 백m의 공간해상도를 가지는 해색 영상으로는 쓰레기 탐지가 어렵지만, 2011년3월에 발생한 동일본 대지진의 경우 이례적으로 대량의 육상 기인 쓰레기가 바다로 유입된 경우로 해색자료에서도 탐지된다. 여름철 폭우에 의해 발생하는 부유쓰레기는 상기 수m~30m의 광학 영상으로 탐지가 가능하다. 그러나 구름 및 대기 상황, 태양직접반사 정도, 해수면상태 등에 따라 위성관측의 한계점도 확인된다.

### 3. 결론

이 발표에서는 상기의 구체적인 부유쓰레기 탐지 예를 통하여 해양 부유쓰레기 탐지의 현황과 한계 그리고 발전 방향에 대해 논의하고자한다.

### 감사의 글

인천테크노파크의 과제 'Si기반 해양쓰레기 관리시스템 구축'의 지원으로 연구 수행됨

## 적대적 신경망 딥러닝 기술을 활용한 정지계도 환경 위성 오존 전량 데이터의 초단기 예측

오성택<sup>1</sup>, 박정은<sup>1</sup>, 정재훈<sup>2</sup>, 홍성욱<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 환경에너지융합학과 (e-mail: gavin5@sju.ac.kr)

<sup>2</sup>국립환경과학원 환경위성센터 (e-mail: jaehoon80@korea.kr)

<sup>3\*</sup>세종대학교 환경에너지융합학과 (e-mail: settiya@sejong.ac.kr)

### 요약

오존은 기후변화의 주요 지표 중 하나로 간주하며, 특히 저고도에서 생성될 경우 대기 오염 물질로 작용하여 생명체에 해로운 영향을 미칠 수 있다. 따라서 오존의 분포를 관측하고 예측하는 것은 기후변화와 대기 오염을 대비할 수 있는 중요한 수단이다. 이와 같은 위험에 대비하여, 현재는 정지계도 환경 위성(GEMS)을 통해 오존을 포함한 다양한 환경 변수를 관측할 수 있으며, 이와 같은 위성 데이터를 활용한 연구들이 지속해서 진행되고 있다. 본 연구에서는 GEMS 오존 전량 데이터를 활용하여 적대적 신경망 딥러닝 기술을 적용한 초단기 오존 예측모델을 개발하고, 이를 통해 높은 정확도의 오존 예측 데이터를 생성하였다. 오존의 초단기 예측모델을 개발하기 위해 GEMS 오존 전량 데이터를 기반으로 최대 3시간까지의 오존 전량을 생성하는 Data-to-Data(D2D) 모델을 구축하였다. D2D 모델은 CGAN(Conditional Generative Adversarial Networks)의 형태를 가진 조건부 생성형 적대적 신경망 딥러닝 기법으로, GEMS 오존 전량 데이터로부터 1시간 간격의 연속된 3시간의 오존 전량 데이터를 학습하여 생성할 수 있다. 이를 위해, 입력 데이터와 결과 데이터를 (t-2, t-1, t)와 (t+1, t+2, t+3)에 적합한 시간대의 오존 데이터로 구성하여 예측 결과를 도출하였다. D2D 모델의 성능 테스트 결과, 1시간 예측모델의 경우 편향(Bias)이 2.162 DU, 평균 제곱근 오차(RMSE)가 5.606 DU, 피어슨 상관 계수(CC)는 0.994로 나타났으며, 2시간 예측모델은 Bias가 1.421 DU, RMSE가 5.903 DU, CC가 0.992, 그리고 3시간 예측모델에서는 Bias가 1.169 DU, RMSE가 6.797 DU, CC가 0.988로 나타났다. 생성된 오존 데이터를 동일 시간대의 실제 GEMS 오존 전량 데이터와 비교한 결과, 매우 높은 상관성을 보였으며, 1시간, 2시간, 3시간 예측모델 모두 높은 정확도를 보여주었다. 이러한 성과는 TROPOMI 오존 전량 데이터와 오존 좋은 데이터를 활용하여 D2D 생성 초단기 예측 오존 데이터의 정확성을 검증한 결과이다. 결론적으로, 최대 3시간 예측모델은 정량적 분석에서 신뢰성을 입증하였으며, 오존 분포 패턴에 대한 정성적 평가에서도 우수한 결과를 나타냈다. 본 연구에서 생성된 고정밀 오존 예측 데이터는 수치 예측모델과의 연계를 통해 오존 예측 정확성을 향상할 수 있으며, GEMS 오존 데이터가 확보되지 않는 야간 시간대에도 3시간 이내의 오존 전량 데이터를 예측하여 제공할 수 있다는 가능성을 제시한다. 또한, 본 연구의 성과는 동아시아 대기 환경에 대한 중요한 오존 예측 정보를 제공할 뿐만 아니라, 더욱 정확하고 의미 있는 오존 예보 자료를 제시함으로써 향후 관련 연구와 실무에 유용한 참고 자료가 될 것으로 기대된다.

주요어 : 오존, GEMS, Data-to-data, 초단기 예측

### 감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 “인공지능 기법을 적용한 환경 위성(GEMS) 야간 관측자료 산출 연구” 지원을 받아 수행하였습니다. (NIER-2024-01-02-035)

## GOCI-II, AMI의 관측 반사도 자료와 CALIPSO의 구름 산출물을 활용한 동아시아 영역 구름 탐지 알고리즘

최윤정<sup>1</sup>, 한희정<sup>2</sup>, 홍성욱<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 환경에너지융합학과 (e-mail: choiyun0316@sju.ac.kr),

<sup>2</sup>한국해양과학기술원 해양위성센터 (e-mail: han77@kiost.ac.kr),

<sup>3\*</sup>세종대학교 환경에너지융합학과 (e-mail: sesttiya@sejong.ac.kr)

### 요약

광학 위성을 이용한 원격 탐사는 뛰어난 시공간 해상도로 인해 해석 연구에 매우 유용한 수단이다. 이 분야에서 구름 탐지는 다른 분석 결과의 정확성을 확보하는 데 필수적인 단계이며, 특히 2차 산출물의 품질을 높이기 위해 높은 정확도가 요구된다. 그러나 현재 정지궤도 해양 광학 위성인 GEO-KOMPSAT-2B(GK2B)의 Geostationary Ocean Color Imager-2(GOCI-II)에서는 공식적인 구름 탐지 산출물이 제공되지 않고 있다. 본 연구에서는 GK2B 위성의 GOCI-II 센서의 0.51  $\mu\text{m}$  및 0.86  $\mu\text{m}$  밴드와 GEO-KOMPSAT-2A(GK2A) 위성의 Advanced Meteorological Imager(AMI) 센서의 1.38  $\mu\text{m}$  및 1.61  $\mu\text{m}$  근적외 밴드를 결합하여, GOCI-II를 위한 새로운 구름 탐지 알고리즘을 제안하고자 한다. 이 알고리즘은 Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation(CALIPSO) 위성의 Lidar Level 2 Vertical Feature Mask(VFM) 데이터를 참고하여 개발 및 검증되었다. 우선, 두꺼운 구름은 GOCI-II 0.86  $\mu\text{m}$  밴드와 Normalized Difference Water Index(NDWI)의 관계를 활용하여 탐지하였으며, 얇은 구름의 경우 AMI의 1.38  $\mu\text{m}$  및 1.61  $\mu\text{m}$  근적외 밴드를 통해 탐지하였다. 다음으로 GOCI-II의 0.51  $\mu\text{m}$  밴드와 AMI 1.61  $\mu\text{m}$  밴드로 구성된 Normalized Difference Snow Index(NDSI)를 사용하여 과탐지된 구름 픽셀을 효과적으로 제거하였다. 각 단계에서 경계값 설정은 CALIPSO의 VFM 구름 탐지 결과를 기준으로 가장 높은 Proportion Correction(PC) 값을 보이는 지점으로 하였다. CALIPSO 위성이 특정 시간대에만 연구 영역을 관측하는 한계가 있기 때문에, 본 연구에서는 2021년의 48개 데이터를 알고리즘 개발에 활용하였고, 2022년의 49개 데이터를 통해 알고리즘을 검증하였다. 통계적 분석 결과, 2021년 데이터에서는 PC = 0.84, Probability of Detection(POD) = 0.89, False Alarm Rate(FAR) = 0.11, Bias = 0.15의 성능을 보였으며, 2022년 데이터에서는 PC = 0.85, POD = 0.87, FAR = 0.10, Bias = 0.15의 성능을 확인하였다. 특히, 육상에 비해 해양에서 더 높은 정확도를 보였다. 본 연구는 제한된 네 개의 밴드만을 사용하여 주간에 고품질의 구름 탐지 알고리즘을 제시하며, 이 알고리즘은 소수의 밴드만을 탑재한 다양한 저궤도 및 정지궤도 위성에도 활용 가능할 것으로 기대된다.

주요어 : 구름 탐지, GOCI-II, 가시 채널, NDWI, NDSI

### 감사의 글

본 연구는 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 "다중위성 기반 해양 현안대응 실용화 기술 개발" 지원을 받아 수행되었습니다. (Grant. 1525012023) 또한, 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 "인공지능 기법을 적용한 환경위성(GEMS) 야간 관측자료 산출 연구" 지원을 받아 수행하였습니다. (NIER-2024-01-02-035)

## InSAR 기법을 이용한 연약지반 지반침하 관측 연구

이슬기\*<sup>1</sup>, Muhammad Fulki Fadhillah<sup>2</sup>, 이창욱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 스마트지역혁신학과([sk\\_lee@kangwon.ac.kr](mailto:sk_lee@kangwon.ac.kr)), <sup>2</sup>강원대학교 과학교육학부

### 요약

본 연구는 매립지와 같은 연약지반에서 발생하는 지반침하를 InSAR 기법을 이용하여 시계열 분석을 수행하였다. 연구지역의 도로를 4곳의 양측으로 분석하여 A-A' ~ H-H' 8개의 프로파일 분석을 수행하였다. 특히 연구지역은 인위적인 원인과 자연적인 침하가 복합적으로 발생한 지역으로 그 영향을 분류하여 파악하였다. 본 연구 결과는 지반침하 발생 시 모니터링 수단으로 InSAR 기법이 필수적으로 활용될 수 있음을 시사하였다.

주요어 : InSAR, 연약지반, 지표변위

### 1. 서론

지반침하는 지질학적 원인이나 인위적인 원인(대규모 개발, 물 파손, 굴착 등)에 의해 발생하며, 이는 직접적인 인명 및 재산 피해로 귀결될 수 있다. 특히, 대도시는 사람들의 이동을 수용하기 위해 도로, 건물, 지하철 등 지반침하에 영향을 미칠 수 있는 많은 종류의 인프라가 구축되어 있어 더욱 큰 피해를 발발할 가능성이 높다. 이에 따라 지속적인 관측이 필요하며, 최근 지반침하 현상을 조사하기 위해 원격 감지 기술이 적극적으로 활용되는 추세이다. InSAR 기법은 광범위한 지역에서 발생하는 지표 변위를 시계열로 분석할 수 있어 침하량의 영향 및 발생 시기, 방법 등을 유추할 수 있다는 장점이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 매립지와 같은 연약지반에서 발생하는 지반침하를 InSAR 기법을 이용하여 시계열 분석을 수행하였다.

### 2. 본론

본 연구는 InSAR 기법을 이용하여 연약지반의 시계열 지표변위를 분석하였다. 연구지역의 도로를 4곳의 양측으로 분석하여 A-A' ~ H-H' 8개의 프로파일 분석을 수행하였다. 특히 연구지역은 인위적인 원인과 자연적인 침하가 복합적으로 발생한 지역으로 그 영향을 분류하여 파악하였으며, 그 결과 일부 지역은 자연침하에 의한 영향이 주요 원인으로 파악된 반면, 일부지역(G-G', H-H')은 인위적인 원인에 의한 영향이 주요하게 나타났음을 파악할 수 있었다.



Fig. 1. 연구지역

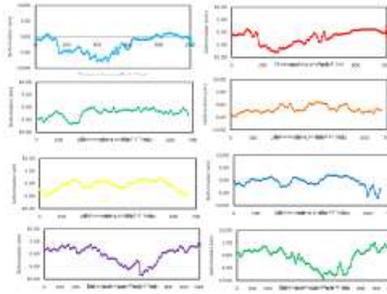


Fig. 2. profile 분석결과

### 3. 결론

본 연구결과 연약지반은 자연침하에 의한 영향도 지속적으로 나타날 수 있는 가능성을 시사할 수 있으며, 인위적인 영향에 의해 급격하게 발생하는 지표변위도 관측할 수 있었다. 이는 향후 지반침하 발생 시 모니터링 수단으로 InSAR 기법이 필수적으로 활용될 수 있음을 기대할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 "위성정보빅데이터활용자원체계개발 사업(RS-2022-00165154)" 지원을 받아 수행하였습니다.

## 캐나다 Kingston의 선캄브리아 시대-캄브리아기 경계 대부정합

### Precambrian-Cambrian boundary great unconformity in Kingston, Canada

박정웅

geoexplorer@hanmail.net

캐나다 동부 온타리오에는 선캄브리아 시대의 조산운동으로 형성된 그랜빌 변성대(Granville Metamorphic Belt)가 있다. 그랜빌 변성대는 북동-남서 방향으로 띠를 이루며, 북미대륙의 Labrador에서 Mexico까지 분포한다. 그랜빌 조산운동은 중원생대(약 12.5~0.98억년 전), 로디니아 초대륙이 형성될 때 일어난 조산운동으로 수렴형 경계에서 산맥이 형성되는 과정에서 많은 암체가 충돌, 부가, 섭입하면서 변형되었고, 화성활동이 활발하였다. 고도가 높아진 옛 산맥은 오랜시간 침식작용으로 낮아졌고, 고생대에 들어서면서 해양 환경에 놓였다. 따라서 중원생대 변성암과 화성암 위에는 고생대 퇴적물이 쌓여 5억년이 넘는 시간 차이를 보이는 대부정합이 형성되었다. 기반암과 고생대 퇴적암이 만나는 부정합은 킹스턴 주변의 도로변과 St. Lawrence 강가 노두에서 확인할 수 있다. St. Lawrence강 상류에 있는 Thousand Islands National Park의 섬들은 대부분 선캄브리아 시대 변성암, 화강암으로 되어 있고, 고생대 퇴적암으로 구성된 섬은 드물다. 캐나다 횡단 고속도로(TCH, 401)와 15번 도로가 만나는 IC와 St. Lawrence 강 주변에서 난정합을 볼 수 있다. 분홍색 결정질 기반암은 빙하의 침식으로 표면이 부드러운 곡면 언덕을 이루고, 표면에는 빙하의 이동으로 형성된 많은 굽힌 자국이 남아 있다. Kingston에서 북쪽으로 약 17km 떨어진 Inverary 도로변에는 선캄브리아 시대의 변성퇴적암과 고생대 퇴적암이 경사부정합으로 만나는 좋은 노두가 있다. 연령이 많은 이 지역의 암석은 지구의 역사와 지각변동을 알려주는 중요한 지질유산으로 교육용 자연학습장으로 활용할 수 있다.

주요어 : 선캄브리아시대-캄브리아기 경계 대부정합, 난정합, 경사부정합, 킹스턴(Kingston), Inverary, Thousand Islands National Park

## InSAR 기법을 이용한 지표 변위 관측-2024년 아이슬란드 화산 분화를 중심으로

김봉찬\*<sup>1</sup>, Arief Rizqiyanto Achmad<sup>1</sup>, 이슬기<sup>2</sup>, 이창욱<sup>3</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 과학교육학과(kbch0211@kangwon.ac.kr),

<sup>2</sup>강원대학교 스마트지역혁신학부,

<sup>3</sup>강원대학교 과학교육학부

### 요약

Interferometry Synthetic Apearture Radar(InSAR)는 여러 레이더 위성영상들을 이용하는 원격 탐사기법 중 하나이다. 본 연구는 2024년 5월 29일부터 6월 22일까지 분화한 아이슬란드 그린다비크 지역의 순드누카기가르 분화구 일대를 InSAR 기법으로 분석하였다. 분석에는 유럽우주국에서 운용하는 Sentinel-1 위성 영상을 사용하였으며 모두 Descending 궤도에서 획득한 위성 영상을 사용하였다. 분석 결과 LOS(Line Of Sight) 방향으로 지표 변위가 발생하는 것으로 나타났다. 화산 분화 직후 분화구 서쪽 지역은 LOS 반대방향으로 최대 34.3 cm 만큼 지표 변위가 발생하였으며 분화구 동쪽 지역에서는 LOS 방향으로 최대 17.4 cm 만큼 지표 변위가 발생한 것으로 나타난다. 그러나 분화 중에는 지표가 LOS 방향으로 3 cm 미만으로 적게 지표 변위가 발생한 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 추후 장기간 분화가 진행되는 화산의 분출된 마그마 양을 분석하는데 활용할 수 있을 것이다.

주요어 : 합성개구레이더, 지표 변위, 화산 분화

### 1. 서론

Interferometry Synthetic Apearture Radar(InSAR)는 여러 레이더 위성영상들의 위상 정보를 이용하여 지표의 변화를 파악하는 원격 탐사 기법이다. InSAR 기법은 수 mm단위의 적은 지표 변위도 탐지할 수 있다. 따라서 많은 연구자들은 화산 분화, 지진, 지반 침하 등 다양한 분야에 InSAR 기법을 적용하고 있다. 본 연구에서는 2024년 5월 29일부터 6월 22일 까지 24일간 분화한 아이슬란드 그린다비크 지역의 순드누카기가르 분화구 일대를 InSAR 기법을 이용하여 화산 분화로 인한 지표 변위의 분석을 수행하였다.

### 2. 본론

본 연구에는 화산 분화 이전인 2024년 5월 8일부터 화산 분화가 종료된 2024년 7월 7일까지 획득한 레이더 영상을 이용하였다. 레이더 영상의 경우 유럽우주국에서 운용하는 Sentinel-1 위성을 통해 획득한 레이더 영상을 이용하였으며 Descending 궤도에서 획득한 영상만을 이용하였다. 이때 영상의 시간 해상도는 12일로 총 6장의 영상을 사용하였으며, 12일간의 시간간격을 가진 영상 쌍들을 이용해 총 5개의 InSAR 자료를 제작한 다음, 이를 이용해 화산 분화 전, 화산 분화 기간, 화산 분화 후 기간의 지표 변위를 분석하였다. 분석 결과 화산 분화 전인 2024년 5월 8일

과 2024년 5월 20일 사이에는 분화구 지역이 LOS 방향으로 4 cm 미만의 비교적 적은 지표 변위가 발생하였다(Fig. 1(a)). 화산 분화 직후 시기인 2024년 5월 20일과 2024년 6월 1일 사이에는 분화구 지역의 서쪽은 LOS 반대방향으로 최대 34.3 cm의 지표 변위가 발생하였고 동쪽은 LOS 방향으로 최대 17.4 cm의 지표 변위가 발생해 연구 기간 중 가장 큰 지표 변위가 발생한 것으로 나타났다(Fig. 1(b)). 화산 분화 중인 2024년 6월 1일과 2024년 6월 13일 사이에는 분화구 지역이 LOS 방향으로 3 cm 미만의 지표 변위가 발생한 것으로 나타났다(Fig. 1(c)). 화산 분화가 진행 중인 2024년 6월 13일부터 2024년 6월 25일과 화산 분화가 종료된 2024년 6월 25일부터 2024년 7월 7일 사이에는 분화구 일대에서 LOS 방향으로 3 cm 미만의 지표 변위가 발생한 것으로 나타났다(Fig. 1(d-e)).

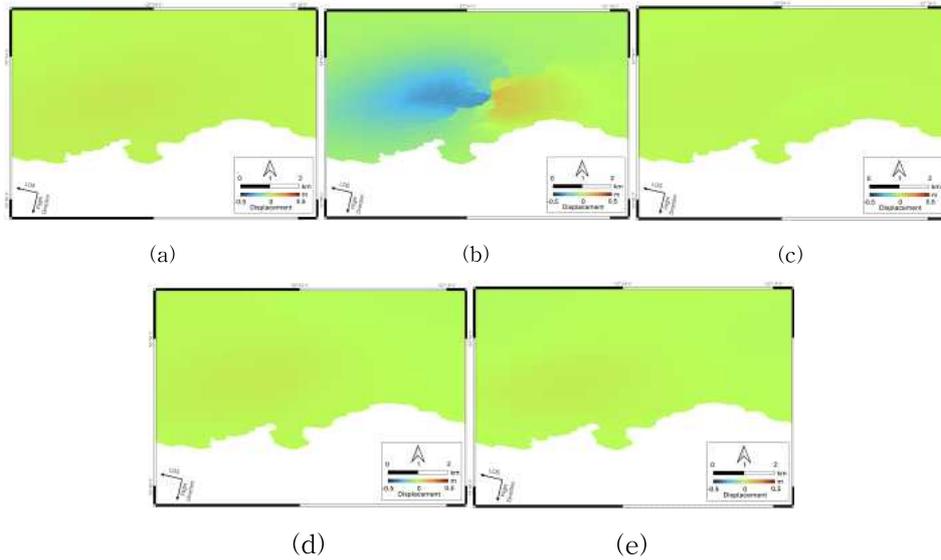


Fig. 1. Displace map of Sundhnúkur crater (a: May 8, 2024–May 20, 2024, b: May 20, 2024–June 1, 2024, c: June 1, 2024–June 13, 2024, d: June 13, 2024–June 25, 2024, e: June 25, 2024–July 7, 2024)

### 3. 결론

본 연구에서는 Descending 궤도에서 획득한 레이더 위성영상을 이용해 2024년 5월 29일부터 6월 22일 까지 분화한 아이슬란드의 그란디비크 지역의 순드누카기 가르 분화구 일대의 지표 변위를 파악하였다. 본 연구 결과 레이더 위성영상을 이용한 InSAR 기법은 지표 변위를 파악하는데 적합하며 특히 화산 분화로 인한 LOS 방향의 지표 변위 파악에 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 단일 궤도의 위성 레이더 영상을 이용하는 경우 위성의 LOS 방향의 지표 변위를 파악하는데에는 효과적이거나, 수직 방향 또는 수평 방향의 지표 변위를 파악하는데에는 어렵다는 한계점이 존재한다. 추후 Descending 궤도에서 획득한 위성 영상과 더불어 Ascending 궤도에서 획득한 위성 영상을 복합적으로 활용한다면 보다 효과적으로 수직 방향 및 수평 방향의 지표 변위를 파악할 수 있을 것으로 판단한다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 "위성정보빅데이터활용자원체계개발

사업(RS-2022-00165154)” 지원을 받아 수행하였습니다.

#### **참고문헌**

- 김태욱, 한향선, 2021, Sentinel-1 SAR 시계열 영상을 이용한 캐나다 앨버타 오일샌드 지역의 지표변위 분석. 대한원격탐사학회지, 38, p.139-151
- 백원경, 정형섭, 2018, 다중개구간섭영상의 이온층 보정을 통한 2016 구마모토 지진의 비행 방향 지표변위 정밀 관측. 대한원격탐사학회지, 34, p.1489-1501
- 송주영, 김덕진, 정정교, 김영철, 2018, SAR 원격탐사를 활용한 Galapagos Sierra Negra 화산의 최근 마그마 활동 추정. 대한원격탐사학회지, 34, p.1555-1565

## 한강 하류 일대의 퇴적환경 복원과 수도 입지와의 관계

신승원

대구대학교 지구과학교육과(seungwon@daegu.ac.kr)

### 요약

서울은 현재 우리나라의 수도이며, 조선시대 이후 지속적으로 수도의 입지를 하고 있다. 그러나 서울 일대의 퇴적환경을 연구한 논문은 많지 않으며, 이번 연구를 통하여 퇴적환경의 변화와 수도의 입지조건을 비교해보았다. 연구를 위하여 용산과 가양동 및 한강 주변의 시추코어를 획득하였다. 연구결과 한강 주변은 MIS 5e 시기에 해당하는 플라이스토세 범람원 퇴적층이 두껍게 발달하고 있으며, 홀로세 퇴적층은 그 상부를 얇게 피복하고 있다.

주요어 : 서울, 수도, 전진퇴적작용, 시추코어, 퇴적환경

### 1. 서론

우리나라의 수도인 서울은 조선시대 이전부터 수도로 활용이 되었으며, 삼국시대의 한성 백제의 수도는 오늘날 하남과 서울 일대로 풍납토성과 몽촌토성, 석촌동 고분군 등이 백제 한성기의 핵심 유적들이 남아있다. 이후 조선시대는 한성으로 한양도성의 4대문에 해당한다. 이 두 지역은 시기상으로는 약 920년이라는 시간이 흘렀으며, 위치상으로는 약 13km 한강의 하류부에 위치하고 있다. 이번 연구에서는 이러한 수도의 입지조건을 지질학 혹은 퇴적학적 관점에서 해석하고자 한다.

### 2. 본론

서울 일대의 지형은 한강을 기준으로 북쪽으로 북한산, 남쪽으로는 관악산과 청계산 등이 있으며, 일부 낮은 구릉선 산지가 분포하고 있다. 한강은 동에서 서로 흘러 황해로 유입되는 한국의 4대강 중에 하나로 다른 강에 비하여 지형구배가 높은 것으로 알려져 있다. 또한 서울 주변은 청계천, 중랑천, 양재천 등이 한강으로 유입되고 있으며, 한강은 현재 사행하천의 형태를 보이고 있다. 그리고 지질학적으로 선캄브리아시대의 변성암류와 중생대 쥐라기의 화강암류가 분포하고 있으며, 한강 일대는 10m 내외의 평지성 범람원 퇴적층이 발달하는 것으로 보인다. 이 밖에 한강 하류에 해당하는 고양시 일대는 과거 해성층이 분포하고 있으며, 조간대 퇴적층이 현재 해수면 아래 퇴적층에서 관찰된다.

이번 연구는 용산 지역에서 획득한 2개의 시추코어 자료와 가양동에서 분석한 퇴적단면 및 한강 주변에서 획득한 3개의 시추자료를 비교하였다. 현재 용산 지역의 코어는 분석이 완료되었으며, 나머지 지역은 분석이 진행중에 있다. 용산 지역의 시추 코어에서 퇴적환경의 변화를 연구하기 위하여 2개의 시추코어를 획득하였으며, 퇴적구조, 입도, 조직 및 색상 등을 고려하여 총 5개의 퇴적단위를 분류하였다. Unit 1은 기반암 풍화대 상면에 분포하는 자갈층으로 역은 원마도가

양호한 원형이 우세하며, 다양한 조성을 하고 있다. Unit 2는 자갈층 상부의 모래층으로 엽층리가 발달하고 서관구조 및 생교란 흔적이 관찰된다. Unit 3는 모래와 머드가 호층을 이루고 하부에는 엽층리, 상부에는 괴상의 구조를 보이는 황갈색 층으로 일부 최상부 구간에서 망간산화물과 토양썩기 구조가 관찰된다. Unit 4는 괴상 혹은 희미한 엽층리가 발달하는 유기물의 함량이 높은 실트질 모래층에 해당된다. Unit 5는 엽층리가 발달하는 모래층으로 국지적으로 잔자갈이 분포한다.

탄소연대측정은 21YS-01 코어 상부 구간에서 총 12개를 대상으로 이루어졌으며, 목탄시료와 퇴적물 내의 유기물을 측정하였다. 그러나 유기물을 이용한 연대측정은 하부층에 비하여 오래된 역전된 결과가 나와 이번 연구의 해석에서는 제외하였고, 목탄만 해석하였다. 시추코어에서 가장 아래 부분인 405cm 구간은 중심연대가 AD 1482년으로 측정되었으며, 상부보다 젊은 결과를 보여주고 있다. 그러나 상부의 398cm는 AD 1355, 388cm는 AD 1413, 360cm는 AD 1562로 연속적으로 젊어지는 값들을 획득하여 신뢰할 만 한 것으로 사료된다. 결론적으로 약 4m 구간을 중심으로 고려시대 말에서 조선시대 초기에 퇴적이 일어난 것으로 해석된다. OSL 연대측정은 총 8 구간을 측정하였으며, 조립질 석영과 세립질 석영을 교차하여 측정하였다. 그러나 모든 시료에서 측정한계를 넘어서는 결과가 나와 최소 11만년보다 오래된 시기로 해석된다.

### 3. 결론

플라이스토세에 해당하는 퇴적층은 하부의 자갈층과 모래층, 황갈색 머드층으로 하천의 자갈사주와 모래사주, 그리고 범람원 퇴적층에 해당된다. 퇴적층은 현재보다 해수면이 낮았던 시기의 하천활동으로 인하여 퇴적층이 형성되었으며, 범람원 퇴적층의 상부는 토양썩기 구조가 관찰되며, 퇴적 후 침식, 삭박으로 인하여 일부 구간이 사라진 것으로 추정된다. 퇴적시기는 약 12만 5천년 이전인 MIS 5e 시기로 상부층과는 부정합면이 존재한다. 홀로세 퇴적층은 유기물의 함량이 높은 실트 혹은 세립질 모래층과 이를 덮는 중립질 모래층에 해당된다. 홀로세 동안 해수면이 상승한 후 형성된 퇴적층으로 하부의 유기물층은 범람원 환경의 배후습지 퇴적층으로 해석된다. 그리고 이를 덮은 을축년 대홍수 퇴적층인 모래층이 분포하고 있으며, 틈상 퇴적체로 해석된다. 홀로세 퇴적층은 탄소연대를 통하여 360-405cm 구간의 중심연대가 AD 1355-1562로 측정되었고, 이 시기보다 오래전부터 형성되며, 이후까지 퇴적작용이 있었던 것으로 추정된다. 결론적으로 침식작용이 활발한 시기 이후 다시 퇴적이 일어난 시기는 고려시대 말에서 조선시대 초기에 해당된다.

# 경기육괴 북서부에 분포하는 석류석+십자석+남정석 운모편암의 변성 압력-온도-시간 경로

이정민\*<sup>1</sup>, 김형수<sup>1</sup>

<sup>1</sup>고려대학교(leejm@korea.ac.kr)

## 요약

경기육괴 북서부에는 페름기-트라이아스기 사이에 발생한 조산운동과 관련된 변성 및 변형작용을 겪은 변성퇴적암이 나타난다. 하지만 이들 암석의 압력-온도-시간 경로는 여전히 불확실하다. 이번 연구에서 경기육괴 북서부 파주 지역에 layer구조로 나타나는 석류석-흑운모 또는 석류석-십자석-남정석을 함유한 변성이질암의 변성 압력(P)-온도(T) 조건을 상평형도 모델링을 통해 제안하고, 저어콘 우라늄-납 연대측정을 통하여 변성 시기 및 변성 퇴적암의 퇴적상한에 대해 논의하고자 한다. 연구지역에서 대표적으로 나타나는 변성이질암은 석류석+흑운모 편암과 석류석+남정석+십자석 운모 편암으로 구분되며, 최고 변성광물조합은 석류석+흑운모+백운모+사장석±녹니석과 석류석+백운모+사장석±십자석±남정석이다. MnNCKFMASH 시스템에서 계산한 상평형도 모델링 결과 석류석+흑운모 편암과 석류석+남정석+십자석 운모편암은 각각 7.3-9.0 kbar/550-580°C와 7.0-8.5 kbar/625-670°C 조건에서 안정한 것으로 보인다. 변성이질암에서 얻은 저어콘의 우라늄-납 동위원소 연대측정 결과 변성작용은 중기 트라이아스기 (ca. 244-239 Ma) 시기에 발생하였다. 이 후 4 kbar이하, 그리고 약 600°C 이하의 압력-온도 조건으로 후퇴변성작용을 겪었다. 따라서 연구지역의 변성이질암은 각섬암상에서 녹색편암상에 이르는 시계방향의 변성 압력-온도-시간 경로를 겪었다. 이러한 변성작용 특징과 산출 암상은 홍성-임진강대의 신원생대-데본기 퇴적상한을 가지는 변성퇴적암에 기록된 것과 거의 유사하다. 따라서 경기육괴 북서부는 홍성-임진강대와 함께 중기 트라이아스기 시기에 발생한 송림조산운동에 의한 변성작용을 겪었을 것으로 추정된다.

주요어 : 변성이질암, 변성 온도-압력-시간 경로, 상평형도 모델링, 저어콘 우라늄-납 연대측정, 퇴적상한

# GRACE 중력 자료 및 ESA CCI 토양 수분 자료를 활용한 호주 빅토리아 남부 지역 지하수 변화 분석

박태준\*<sup>1</sup>, 서기원<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과(ppido@snu.ac.kr)

## 요약

기후 변화와 농업 및 산업 활동의 증가로 인해 지하수 고갈 문제가 심화되고 있어, 보다 넓은 지역에서의 지하수 변동을 정밀하게 모니터링하는 것이 중요해지고 있다. 기존의 지하수 모니터링 방식은 주로 관정 수위 측정이나 펌핑 테스트에 의존하였으나, 이러한 방법으로는 광범위한 지역의 변화를 효과적으로 추적하기 어렵다. 이에 반해, GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment) 데이터를 이용하면 대규모 분지 단위에서 지하수 변화를 추정하는 새로운 접근이 가능하다. 그러나 GRACE 데이터는 지하수 변화 신호만 아니라 호수, 하천 그리고 토양 수분 변화 신호도 포함하고 있어, 지하수 이외 신호들을 제거하기 위한 추가적인 데이터가 필요하다. 본 연구에서는 European Space Agency의 Climate Change Initiative for Soil Moisture (ESA CCI SM) 자료를 활용하여 GRACE 자료로부터 토양 수분 변화를 제거하였다. ESA CCI SM 데이터는 표면 토양층(0-2cm)의 수분 변화를 제공하므로, 이를 바탕으로 뿌리층(0-120cm)의 수분 함량 변화를 추정하였다. 이러한 방식을 호주 빅토리아 남부 지역에 적용한 결과, 해당 지역의 추정된 지하수 변동은 지하수위 실측 데이터와 높은 상관성을 보였다. 본 연구는 GRACE 및 ESA CCI SM 데이터를 통합하여 대규모 지역의 지하수 변동을 추정하는 새로운 방법을 제시하며, 이를 통해 위성 기반 지하수 및 토양 수분 변동 예측의 정확도를 높일 수 있음을 확인하였다.

주요어 : 지하수, GRACE, ESA CCI, 토양 수분

## 극 운동을 활용한 해수면 변화(1992-2016)의 이해

표진주\*<sup>1</sup>, 서기원<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과(ubfjin@snu.ac.kr)

ABSTRACT - 2002년 발사된, GRACE(The Gravity Recovery and Climate Experiment)와 GRACE Follow-On을 통한 중력 측정을 통해, 극지방 빙상, 산악 빙하, 지하수 고갈과 같은 육상 질량 변화가 해수면 변화의 중요한 요인임이 밝혀졌다. 한편, GRACE 관측이 시작되기 전에는 지구의 질량 변화를 직접 관측할 수 없었으므로, 다양한 관측 방법과 모델 자료를 활용하여 2002년 이전의 육상 질량 변화를 이해하려는 연구가 진행되고 있다. 이러한 자료들의 경우, 종합적인 지구 물리 관측을 통해 검증해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 극 운동 관측 자료를 활용하여 지구 질량 변화 데이터의 정확성을 검증하였다. 이때, 극 운동 자료의 경우, 현재의 질량 변화와 빙하 지각 평형 (Glacial Isostatic Adjustment (GIA)) 모두의 영향을 받기 때문에, GIA 효과를 보정해 주어야 한다. 본 연구에서는 GRACE 자료와 극 운동 자료를 활용하여, GIA 효과가 극 운동에 미치는 영향을 추정하였다. 1992년부터 2016년까지의 자료 분석 결과, 다양한 표면 질량 변화 모델과 GIA 추정값을 통해 도출된 극 운동 예측 값이 관측 자료와 상당히 일치함을 확인하였다. 또한, 현재의 질량 변화 요인 중에서, 해수면을 상승시키는 가장 큰 요인은, 산악 빙하 변화(연간 0.69mm)임을 확인할 수 있었다.

## 드론자력탐사장비 개발 및 적용연구

이희순\*<sup>1</sup>, 박계순<sup>2</sup>, 임형래<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(주)지오룩스(yihsoon@geolux.co.kr)

<sup>2</sup>한국지질자원연구원

<sup>3</sup>부산대학교 지구과학교육과

### 드론자력탐사장비의 개발과 국내 적용 연구

자원 및 지질조사에 자력탐사가 많이 활용되고 있으나 육상탐사에는 한계가 존재한다. 때문에 항공자력탐사를 수행하려고 하였으나 높은 단가와 항공인프라로 인하여 항공탐사 또한 한계가 존재한다. 최근 드론의 개발로 이를 활용한 물리탐사 방법들이 제안되고 있으며, 이를 자력탐사에 활용하고자 드론을 활용한 자력탐사장비를 개발하여 실제 국내의 자원탐사에 적용해보았다.

주요어 : 드론자력탐사, 항공탐사, 자력탐사

### 1. 서론

세계적으로 드론의 개발 및 상용화와 드론에 적용되는 다양한 센서들이 상용화되면서 다양한 분야에서의 드론이 활용되고 있다. 현재까지 육상탐사와 높은 고도에서의 항공탐사에 한계가 있었던 자력탐사 분야에 드론이 적용되면 기존 탐사의 어려움을 해소할 수 있을것이라 예상했으며, 드론자력탐사를 하기 위한 탐사장비를 개발하였다.

### 2. 본론

(주)지오룩스에서는 3성분의 자력계를 활용해서 드론에 탑재 가능한 드론자력탐사 시스템과 육상 고정 기준점 베이스 시스템을 개발하였다. 또한 개발한 드론자력탐사 시스템을 드론에 고정시키고, 비행 및 이착륙시 안정성을 위한 전용 스킵드 장치도 함께 개발하였다. 개발한 탐사 시스템을 활용하여 전력 관련 시설이 분포하고 지속적인 바람 영향이 존재하여 기존의 육상 및 항공자력을 수행하기 어려웠던 지역에서 탐사를 수행하였다. 또한 사용된 3축 성분의 자력계의 자기장의 영향범위 및 자력 값의 변화 양상을 파악하기 위해서 교정비행을 수행하였다.



Fig. 1. 자체 개발한 국산화 드론자력탐사 시스템 및 전용 스키드

### 3. 결론

완성된 드론자력탐사 시스템을 활용한 탐사를 통해 기존 외산장비인 버드형의 탐사장비보다는 난이도가 높은 환경에서 안정적인 데이터 취득과 해석이 가능하였다. 또한 교정 비행과 베이스 스테이션 운영 자료를 통한 자료의 보정과 필터링 과정을 거쳐 양질의 해석이 가능했다.

# 기저 변환을 통한 GRACE-FO의 극지 영역의 시간 해상도 개선

## Better Temporal Resolution of GRACE-FO in the Polar Region by Basis Transformation

Daeha Lee<sup>\*1</sup>, Shin-Chan Han<sup>2</sup>, Ki-Weon Seo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

<sup>2</sup>School of Engineering, University of Newcastle, Callaghan, NSW, Australia

### ABSTRACT

The GRACE and GRACE-FO are missions that utilize changes in the distance between a pair of satellites to investigate mass variations on the Earth's surface. These missions have successfully monitored changes in mean sea level, glacier loss in polar regions, and alterations in the Earth's surface mass distribution due to earthquakes. However, these gravity satellites provide data at monthly intervals, which limits the ability to directly observe geophysical signals that vary on shorter timescales. To address this limitation, we propose an improvement to the existing GRACE Level-2 data that does not rely on additional regularization but instead employs a basis transformation. Given that GRACE-FO satellites are in polar orbits and thus pass over polar regions more frequently than equatorial regions, it is possible to achieve shorter temporal resolutions at the same spatial resolution. We achieved this by replacing the global spherical harmonics basis with Slepian basis functions that prioritize mass variations in polar regions and equatorial regions separately. This approach allows us to extract mass variation information in polar regions at shorter temporal intervals.

We rigorously tested this method using synthetic data generated by an Earth System Model to simulate mass changes on the Earth's surface and verify the ability to capture shorter time-scale variations based on actual orbital information. Applying the validated method to GRACE-FO KBR data from March 2019 to December 2022, we were able to identify sub-monthly changes such as ocean tides and heavy snowfall events. Our approach effectively reduces the temporal resolution of GRACE-FO data and enhances the detection accuracy of sub-monthly signals.

## 2015년 이후 지구 자전축의 흔들러 요동 약화 원인

전태환\*<sup>1</sup>, 서기원<sup>2</sup>, 엄국현<sup>2</sup>, 이대하<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 교육종합연구원(naiad123@snu.ac.kr)

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과

### 요약

질량이 끊임없이 순환하는 지구는 매 순간 각운동량을 보존하기 위한 최적의 위치로 자전축을 변경하려 한다. 하지만 지구가 자전하는 물체이기 때문에 자전축은 최적의 위치를 향해 직선적으로 움직이지 못하며, 대신 나선의 경로를 그리며 새로운 위치로 다가간다. 하지만 매 순간 질량이 변하는 지구에서 최적의 위치 또한 고정될 수 없으므로, 이 나선은 결국 연속적인 질량 변동의 자극으로 인해 원운동과 같은 궤적을 유지하게 된다. 이것을 자전축의 요동(wobble)이라 부르며, 이때 요동의 주기는 회전하는 물체의 물성에 따라 일종의 고유한 값을 가진다. 지구는 약 433일의 고유 진동 주기를 가지며, 이를 발견자의 이름을 따 흔들러 요동이라 부른다. 흔들러 요동은 평상시에는 지구의 자전축 운동의 거의 대부분을 차지하는 성분이지만, 지난 1925년에 그 진폭이 크게 줄어든 현상이 보고된 바 있고 최근 2015년에서 2020년 사이에는 거의 0에 가까울 정도로 일시적으로 소멸하였다. 이를 설명하기 위해 본 연구에서는 433일의 주기로 정직하게 진동하는 무거운 추에 비유되는 자유 진동(free wobble) 성분과, 지구 각 부분의 다양한 질량 변동 원인이 만드는 불규칙한 강제 진동(forced wobble)으로 나누어 분석하였다. 그 결과, 흔들러 요동의 진폭이 크게 약화된 1925년 시기와, 진폭이 거의 소멸된 2015년 시기 모두에 대해 두 진동의 상쇄 효과가 크게 관여하고 있음을 확인하였다. 특히 두 시기 모두 다양한 주파수의 질량 변동 신호들이 복합적으로 관여하는 강제 진동의 평균적인 회전 성분 주기가 433일보다 느렸다가 갑자기 가속하는 시점과 맞물려 있음을 발견하였다. 아쉽게도, 현재 사용되는 다양한 지구물리 자료들로는 이에 부합하는 강제 진동의 위상 전이가 효과적으로 재현되지 않았다. 이는 다양한 주기 신호들이 중첩되어 만들어지는 강제 진동의 특성상, 현행 자료의 오차들이 위상 변화에 민감하게 영향을 주기 때문인 것으로 보인다.

**주요어 :** 자전축 변화, 흔들러 요동, 극 운동

## 디지털트윈 기반 핵심광물 탐사 기술

박계순\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원(gyesoon@kigam.re.kr)

### 요약

기후변화 및 기상이변의 심각성이 커짐에 따라 탄소중립의 중요성이 높아지고 있다. 이에 대응하기 위하여 친환경 전기로의 에너지 전환이 빨라지고 있으며, 에너지 전환에 필수적인 핵심광물에 대한 수요가 급증하고 있다. 이에 따라 핵심 광물에 대한 안전하고 지속 가능한 공급망 구축은 재생 에너지, 전기 자동차, 첨단 기술과 같은 신성장 산업의 기반을 구축하고 국가의 지속적 성장을 위해 필수적이다. 한국지질자원연구원 자원탐사개발연구센터에서는 핵심광물의 안정적인 확보를 위해 바나듐과 같은 에너지 저장광물을 포함하는 핵심광물 탐사에 효율적으로 적용 가능한 스마트탐사 기술 및 디지털트윈 기술을 기반으로한 핵심광물 탐사 기술을 구축하고 있습니다. 드론 등을 활용한 스마트탐사 기술을 활용하여 복합 물리탐사를 수행한 후, 3차원 지질 모델링 및 시 기반 예측 분석 기술을 바탕으로 탐사 대상 광화대를 디지털트윈으로 구축한 후 3차원 광체 모델링 및 시추 시뮬레이션 기술을 활용해 탐사 정확도와 효율성을 높일 수 있습니다. 이 기술은 국내 신규 VTM 광체 확보, 산업계 기술이전 등 국내 핵심 광물 공급망 강화에 기여하고 있습니다. 또한, 이 기술을 바탕으로 캐나다, 호주, 몽골 등 핵심광물 주요 국가와의 공동 연구를 수행하고 있으며, 한-아세안협력기금 사업을 통해 ASEAN 국가에 기술 교육을 진행하는 등 스마트탐사 기술 및 디지털트윈 기반 탐사 기술의 글로벌 적용 가능성을 확인하였습니다.

주요어 : 핵심광물탐사, 디지털트윈

## 시헌력에서 달의 지질차 중 출차에 대한 소고

최승언\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교(suchoe@snu.ac.kr)

### 요약

출차(evection)는 프톨레마이어스의 알마게스트에서 달의 지질차를 설명하는 모델(본원-본륜 모델)에서 본원의 중심이 운행하는 또 하나의 주전원(차륜)을 사용하여 상현과 하현 때의 지질차를 설명하였다. 따라서 회회력(알마게스트의 이슬람 버전)에서도, 회회력의 내용을 중심으로 서술한 칠정산 외편에서도 다루었을 것이다.

청 초에는 서양의 역법을 중국화한 시헌력이 시행되는데, 시헌력과 관련된 중요한 책으로는 송정역서(서양신법역서, 신법산서), 역상고성, 역상고성후편이다. 조선은 칠정산 내외편 이후로 1710년에 허원에 의하여 간행된 세초류휘가 있다. 이 책은 송정역서의 내용을 정리한 것이지만 태양의 근지점 운동을 45초 대신 역상고성에서 언급한 61초 남짓을 사용하였고, 역시 23균수 값도 역상고성에서 사용한 표 값과 동일한 값을 사용하였다. 따라서 세초류휘는 역상고성보다 일찍 간행되었지만 역상고성에 실릴 중요한 내용들을 조선의 천문학자들은 이미 알았을 것으로 보인다.

역상고성에서는 달의 경우에 4륜 모델을 이용하고 있기에 여기서는 이 모델에서 보여주는 출차를 다룰 것이다. 그러나 역상고성후편은 1702년 뉴턴이 개발한 달의 운행 추보를 설명하고 있고, 남병길의 시헌기요, 남병철의 추보속해도 이 책의 내용을 정리하고 있다. 따라서 달의 경우 태양의 움직임에 따른 달 궤도의 섭동을 고려한 출차를 설명하고 있어서 역상고성과 다른 점이 있다. 따라서 시헌기요와 추보속해도 이를 따르고 있다.

본 연구에서는 6 책에서 언급되는 출차의 내용을 다루겠지만 그 내용이 중복되기에 세초류휘와 역상고성을 하나로 역상고성후편과 시헌기요 및 추보속해를 다른 하나로 묶어 출차를 어떻게 다루었는지, 무엇이 같고, 무엇이 다른지에 대해 알아 보도록 한다.

주요어 : 출차, 세초류휘, 역상고성, 역상고성후편, 달의 섭동

## Contrasting orientations of magnetic fields in the Class 0 protostellar system L1527 IRS

Hanju Nam (남한주)\*<sup>1</sup>, Woojin Kwon (권우진)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Seoul National University (skagkswn@snu.ac.kr)

### ABSTRACT

We present JCMT SCUBA-2/POL-2 polarization observations toward the Class 0 protostellar system L1527 IRS, which has a well developed bipolar outflow in the east-west direction, with a spatial resolution of 2000 AU. The results show that L1527 has the unique and distinct magnetic fields, whose orientations are aligned with the outflow direction in the western side but perpendicular in the eastern side. Both sides of the bipolar outflow also present contrasting colors in JWST NIRCам observations. In addition, they have different spectral indices measured in sub-millimeter wavelengths. These results suggest that the magnetic fields of L1527 may be related to the differences of the physical properties between the regions such as temperature and density structures.

Keyword : protostellar system, magnetic fields

## The Hourglass-shaped Magnetic Fields and Dust Filaments around the HH 211 Protostellar Envelope

Youngwoo Choi (최영우)\*<sup>1</sup>, Woojin Kwon (권우진)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Seoul National University (cyw3614@snu.ac.kr)

### ABSTRACT

We present ALMA Band 3 and 6 polarized continuum observations toward the Class 0 protostellar system HH 211. Three dust filaments are found around the HH 211 protostellar envelope, two of which are aligned with core-scale magnetic fields. This result suggests that the formation of the dust filaments may be influenced by magnetic fields. We also detect clear hourglass-shaped magnetic fields around HH 211 and toroidal fields in the outflow regions. We estimate the line-of-sight averaged temperature and column density distributions in the HH 211 envelope and find asymmetric temperature and density structures. The column density is higher in the southern and western parts of the envelope, where the dust filaments are located. This suggests that accretion in HH 211 may occur primarily in the southern and western directions, although this should be confirmed through kinematic analysis.

Keyword : Star formation, Protostars, Interstellar magnetic fields,

## Bipolar Outflow Momentum Depending on Misalignment of Outflow Axes and Magnetic Field Orientations

Junyoung Moon (문준영)\*<sup>1</sup>, Woojin Kwon (권우진)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Seoul National University (orioles8@snu.ac.kr)

### ABSTRACT

We present a relationship between bipolar outflow momenta and magnetic field orientations with respect to the outflow directions of protostellar systems located in the Orion molecular cloud. We calculated the outflow momenta for 51 out of 56 protostellar systems using ALMA  $^{12}\text{CO}$  ( $J = 3 \rightarrow 2$ ) data and inferred the magnetic field orientations using ALMA continuum polarimetric data in Band 7 on small scales ( $\sim 10^3$  AU) and JCMT SCUBA2/POL2 polarimetric data in 850 microns on large scales ( $\sim 10^4$  AU). Despite difficulties in determining the directions of magnetic fields on small scales due to magnetic field distortion caused by dynamics of Class 0 Young stellar objects and due to self-scattering, on both small and large scales, we found that outflow momenta are greater when the offset between outflow axes and magnetic fields is intermediate, compared to when they are perpendicular or parallel. Furthermore, analyzing these results, we found a weak trend that the outflow momentum increases with the difference between small and large scale magnetic field orientations.

Keyword : Star formation, Protostellar outflow, Interstellar magnetic fields

## 중·고등학교 천체 망원경 교육 및 활용도 조사

안성호\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>대구대학교 지구과학교육과(발표자 sungho@daegu.ac.kr)

### 요약

망원경은 천체를 관측하기 위한 가장 중요한 도구이며, 천문학 관련 교육 활동에서 천체 망원경을 활용하는 것은 빠지지 않고 등장한다. 하지만 교육과정 개정이 거듭될수록 중·고등학교에서의 망원경 관련 교육과정이 줄어들고 있다. 중·고등학교 과학 실험실에는 망원경이 구비되어 있을 것으로 생각되지만 실제 조사된 바는 아직 없다. 본 연구에서는 중·고등학교 망원경 구비 여부, 활용 빈도, 천체 관측 동아리 여부 등을 조사하여 천체 망원경을 활용한 교육이 어떻게 이뤄지고 있는지 파악하고자 한다. 예비 분석으로 2022년과 2023년 D대학교 재학생이 경험했던 학교 및 대학교 졸업 후 선생님이 재직 중인 학교 약 30곳의 망원경 관련 실태를 조사했다. 이 결과 망원경이 없는 학교도 있었으며, 망원경이 있더라도 50%에 가까운 학교가 망원경을 활용하지 않고 있는 것으로 파악됐다. 2022 개정 교육과정에서 천문학 교과 내용 중 좌표계 개념까지 빠지면서 망원경의 활용도가 급격히 줄어들 것으로 예상되므로 활용도를 높이기 위한 방안 제시가 필요해 보인다.

주요어 : 망원경, 천문학 교육, 천체 관측 동아리

## 가까운 은하 내에 분포하는 젊은 성단들 대한 분광 탐사 소개

임범두\*<sup>1,2</sup>, 구재림<sup>2</sup>, 김현정<sup>2</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 지구과학교육과(blim@kongju.ac.kr),

<sup>2</sup>공주대학교 지구환경연구소

### 요약

본 발표에서는 비교적 가까운 은하에 분포하는 나이가 어리고 무거운 성단들에 대한 분광 탐사 연구에 대해 소개하고자 한다. 이 탐사 관측은 초기질량함수의 보편성을 시험하기 위한 목적으로 수행하고 있다. 일반적으로 별의 초기질량함수는 우리 은하 내에 있는 나이가 어린 여러 성단을 통해 연구가 이루어졌다. 하지만, 질량이 매우 큰 별( $> 100M_{\odot}$ )을 포함하고 있는 성단의 수가 매우 적으므로, 넓은 질량 범위에서 통계적으로 충분한 별의 수를 포함하는 초기질량함수 도출에 한계가 있다. 또한, 우리은하 내에서는 별 생성 환경의 변화가 은하 중심으로부터 점진적으로 일어나기 때문에 초기질량함수의 보편성을 시험하기에는 최적의 시험대라고 보기 어렵다. 비교적 가까운 거리에 분포하는 여러 은하들은 중원소함량과 은하 간 상호작용 측면에서 다양한 별 생성 환경을 포함하고 있다. 따라서 이러한 은하 내에 분포하는 나이가 어리고 무거운 성단의 총합 스펙트럼을 분석함으로써, 초기질량함수의 보편성 또는 다양성에 대한 체계적인 연구가 가능하다. 본 발표에서는 연구 방법과 초기 결과에 대해 보고하고자 한다.

주요어 : 가까운 은하 - 성단 및 성협 - 초기질량함수

## 삼중성계에서 진화한 행성상성운 NGC 7009

형식\*, 이성재

충북대학교(hyung@cbnu.ac.kr)

### 요약

토성 행성상 성운 NGC 7009는 태양 질량 정도의 별에서 적색거성과 접근거성기(AGB)를 거친 후 post-AGB 단계에서 외피와 핵으로 분리되어 전자는 행성상 성운으로, 후자는 그 중심에서 뜨거운 백색왜성으로 진화한 것으로 추정되는 천체이다. 이 행성상 성운은 낮은 여기 선 이미지에서 매듭모양, 필라멘트 모양, 제트 모양과 같은 특징을 가지고 있다. 우리는 주 껍질(main shell) 주변의 두 쌍의 제트 같은 형태가 위도가  $35^\circ$  방향으로 확장되고 있으며, 다른 한 쌍의 핫스팟(hot spots)은 'ansae'와 같은 방향인 위도가  $75^\circ$ 로 확장되고 있음을 발견했다. 이 네 쌍의 제트형 분출은 궤도면이 다른 두 개의 슈퍼 목성과 같은 동반자가 존재한다는 것을 암시하며, 즉 NGC 7009가 삼중계에서 진화했음을 나타낸다.

NGC 7009와 Hubble 12 및 IC 4997과 같은 다른 행성상 성운은 이중 껍질을 가지고 있다. 외피의 일부가 원주 근처에서 매우 높은 이심률을 가진 타원궤도를 공전하는 동반자들로부터 각운동량을 얻고 바깥쪽 배럴 모양의 껍질(outer shell)을 형성한 증거를 발견했다. 반대로, 배럴 껍질을 형성한 외피 가스는 동반자들의 궤도 요소를 변화시켜 이심률  $e$ 가 감소하고 원주 거리가 증가하여 동반자들이 더 이상 외피와 상호 작용하지 않는 고요한 기간을 겪은 후 다시 두 동반성이 안쪽 envelope와 충돌하여 안쪽 밝은 main shell을 형성한 것으로 보인다. 중심별 주위를 돌다가 envelope를 만나서 각운동량을 가스에 전달하면서 두 동반성이 중심을 향한 나선형 운동을 하는 과정에서 궤도를 두 shells에 각인시키고 네 개의 제트를 형성하게 되었는지에 대해 고전 역학적(Lagrangian mechanics)분석 결과를 제시하였다.

주제어: 성간물질, 행성상성운, NGC 7009 삼중성진화, 기조력, CE(공통외피)

## 2023~2024년 해양기후 상태와 추세 및 시범 계절전망

권민호\*, 신지윤, 서옥희, 장연수, 박혁민, 김은진, 김용선, 강현우  
한국해양과학기술원 해양기후솔루션연구본부(mhkwon@kiost.ac.kr)

### 요약

한국해양과학기술원 해양기후예측센터(OCPC)는 지난 2021년부터 동아시아 해역을 중심으로 전지구 해양기후변수들의 월별 기후편차를 분석·진단하고 3개월 전망 정보를 매월 생산하여 웹사이트(<https://ocpc.kr>)를 통해 제공하고 있다. 지난 8월은 황해, 동중국해, 동해를 포함한 동아시아 해역의 해면수온과 해상기온이 역대 8월 중 가장 높았다. 특히 ‘심함’ 등급을 기록한 해양열파가 오랜기간 지속되었다. 또한 음의 남극 진동과 함께 남극 해빙면적은 역대 8월 중 두 번째로 가장 작은 면적을 기록하였다. 본 연구에서는 2023년 시작된 엘니뇨를 중심으로 지난 8월까지의 해양기후 핵심변수들의 월별 상태와 추세를 정리하고, 2024년 가을을 시범 전망하였다.

월별 해양기후 상태와 추세를 파악하기 위해서 기준기간(1991~2020) 기후평균값에 대한 편차가 표준편차 절반 구간과 비교해서 높거나 낮은 것을 평년보다 높음 또는 낮음으로 진단하였다. 추세의 경우 최근 30년 및 10년의 월별 추세를 산출하였다. 주요 진단 변수는 해수면, 해면수온, 엘니뇨남방진동(ENSO)지수, 인도양쌍극진동(IOD)지수, 해양열파, 해상기온, 해상강수량, 해면기압, 해상풍, 파랑, 해면염분, 장강담수 유입량, 그리고 남반구와 북반구의 고위도 해빙면적이다.

2020년 8월부터 시작된 라니냐(La Niña)의 강세가 오래 지속되었으나, 2023년 3월을 기준으로 엘니뇨남방진동을 나타내는 ONI(Ocean Nino Index)지수가 양의 값으로 역전되었다. 2023년 12월 Niño3.4 해역의 평균 해면수온 편차가 2.0°C 이상으로 엘니뇨가 강하게 발달하였으며, 이는 2024년 5월까지 지속되었다. 2023년은 강한 엘니뇨 현상과 함께 인도양 쌍극진동 지수도 양으로 발달하면서 세계 각지에서 기상이변(가뭄, 홍수, 폭염, 한파 등)이 발생하였다. 이는 2024년까지 이어졌으며 2024년 6월 이후 엘니뇨는 중립으로 전환되었고 올 가을-겨울은 다시 라니냐가 발달할 것으로 예상된다. 전지구적인 변동·변화와 맞물려 심각하게 가속화 되고 있는 동아시아 주변해역의 핵심 기후변수에 대한 월별 상태와 추세 변화를 진단하고, 향후 3개월에 대한 시범 계절전망 체계와 결과를 소개한다.

주요어 : 해양기후, 기후변화, 진단, 계절전망

사사: 본 연구는 한국해양과학기술원 연구인프라운영사업(O0147A)의 지원을 받아 수행됨

## 국립수산과학원 해양 기후변화 대응 연구 현황 및 계획

이준수\*, 김창신, 임병준, 박명희

국립수산과학원 기후변화연구과 (leejoonsoo@korea.kr)

### 요약

국립수산과학원은 우리나라 해역의 기후변화 감시·관측을 위해 조사선박, 인공위성, 실시간 관측 부이등을 이용하여 정기적으로 해양관측을 실시하고 있다. 이를 통해 해양수산 분야의 기후변화 영향 연구를 수행하고 있으며, 기후변화 예측과 전망을 위한 기초자료로 활용하고 있다. 또한, 수치모델 기반의 장·단기 해양변동 예측 연구를 통해 동해 연안 냉수대 예측시스템, 동·서·남해 고해상도 단기 해양예측시스템 등을 구축·운영하고 있으며, CMIP6 전지구 모델의 역학적 상세화를 통해 IPCC 기후변화 시나리오별 장기 예측자료를 생산하여 우리나라 바다의 미래 변화를 전망함과 더불어 수산분야 기후변화 취약성·리스크 평가 연구와 수산업 미래 변화 전망 연구 등에 활용하고 있다. 국립수산과학원은 해양수산 분야의 기후위기에 적극적으로 대응하기 위해 2023년에 새롭게 기후환경연구부를 신설하였으며, 기후변화로 최근 빈발하는 수산재해 피해를 최소화하기 위해 수산재해대응팀을 신설하고 실시간/준실시간의 관측자료와 예측자료를 활용하여 특보 발령과 속보 제공 등을 통해 선제적 피해 대응에 힘쓰고 있다. 2024년 10월 25일 시행예정인 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률(약칭: 기후변화 감시예측법)을 뒷받침하기 위해, 국립수산과학원은 2025년 하반기에 해양 환경 및 생태계 기후요소(수온, 염분, 영양염, 엽록소-a, 동물플랑크톤, 일차생산력 등)에 대한 월별 감시 정보, 1·3개월 중기 예측 정보를 매월 생산하고, 서비스하는 것을 목표로 연구 역량을 집중할 예정이다

주요어 : 기후변화, 감시, 예측, 해양, 환경, 생태계

## 독도 대륙붕 해역 식물플랑크톤의 생물기후학적 특성과 시범 계절전망시스템 소개

강현우\*<sup>1</sup>, 서옥희<sup>1</sup>, 구분화<sup>1</sup>, 권영신<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양기후술루션연구본부(hwkang@kiost.ac.kr),

<sup>2</sup>한국해양과학기술원 부설 극지연구소

### 요약

독도 주변해역은 울릉도 동남쪽 약 87 km 부근에 위치한 두 개의 섬(동도와 서도)과 90여개의 더 작은 섬들로 이루어져 있으며, 수심 200m 이내의 대륙붕이 비교적 잘 발달되어 있다. 인공위성으로 도출한 독도 대륙붕 해역 표층 엽록소a 농도의 계절변동성은 대부분의 중위도 해역과 마찬가지로 봄(4월)과 가을(11월) 두 번에 걸쳐 번성이 나타나며, 봄 번성의 강도가 가을 번성 보다 크다. 여름철 표층에서는 영양염의 고갈과 함께 엽록소a 농도는 최소가 되고 유광층 하부에서 최대가 된다. 본 연구에서는 수심 140m에 설치된 독도모니터링부이 해역을 독도의 대륙붕 해역을 대표한다고 보고 이에 대한 연직 1차원 물리-생지화학 접합 모형(ERSEM-GOTM)을 수립하여 표층 엽록소a 농도의 계절 변동성을 재현하였다. 대기강제력은 ERA5 재분석 자료를 사용하였으며, 수층의 수온 구조는 미국 NRL/HYCOM 실시간 분석 자료를 이용하였다. 모형에서 재현된 엽록소a 농도를 인공위성 도출 엽록소a 농도 자료와 비교한 결과 모형이 대체로 춘계에 과대 모사하고 하계에는 과소 모사하였다. 또한 11월에 나타나는 가을 번성은 상대적으로 잘 재현할 수 없었다. 특히 모형의 여름철(6~10월)의 표층 엽록소a 농도는 거의 0에 가깝게 나타났으나, 인공위성 도출 엽록소a의 농도는 일정 값 이상을 유지하고 있어, 이에 대한 검증이 필요하다. 한편 하계에 유광층 하부에서 잘 발달하는 엽록소a 최대층은 비교적 잘 재현된 것으로 판단된다.

여전히 많은 개선이 필요하지만, 하위생태계 재현성 및 계절예측성 향상을 위해 매월 변동성을 진단하고 3개월 예측장을 생산하는 독도 대륙붕 하위생태계 진단·전망 시스템을 구축하였다. 2009년에서 2018년까지의 월별 10년 평균값을 독도 대륙붕 해역 하위생태계의 기후평균값으로 간주하고 이에 대한 월별 편차 결과를 이용하여 영양염, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 수온, 유기물간의 탄소 순환을 기반으로 해석하였다. 3개월 전망의 경우 대기강제력은 해양-대기 접합 계절예측시스템인 NOAA CFS2 자료를 이용하였으며, 수층구조는 대기에 의해서만 변하는 것으로 간주하였다. ERA5 자료와 HYCOM 수온 자료, 인공위성 도출 엽록소a를 참값으로 가정하고 모형의 예측성을 분석하였으며 오차 원인을 분석하고 향후 개선 방안을 소개하였다.

주요어 : (5개 이내 작성) 독도, 엽록소a, 생물기후학, 계절 전망

사사: 본 연구는 해양수산부 수탁과제로 한국해양과학기술원에서 수행하는 ‘독도의 지속가능한 이용 연구’ 사업(PG54141)의 지원을 받아 수행됨

## 북서태평양 월평균 고해상도 기후평균장 구축과 성능 평가

김용선\*<sup>1,2,3</sup>, 이재호<sup>1</sup>, 석수현<sup>4</sup>, 김성대<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원(yongskim@kiost.ac.kr)

<sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 해양학과

<sup>3</sup>한국해양대학교 해양과학기술전문대학원

<sup>4</sup>APEC 기후센터

### 요약

해양물성에 대한 월평균 기후평균장은 해양 수치 모형의 초기 조건과 경계 조건으로 입력 되어 해양순환 및 기후변화를 모의하고 전망하는데 결정적인 역할을 한다. 미국해양대기청의 World Ocean Atlas 2018 (WOA18)은 전지구를 대상으로 넓은 영향반경을 기반으로 구축된 평균장으로 서안경계류와 열염분전선, 동해중층수 및 고유수 등 우리나라 주변에서 관찰되는 특징적인 물성 및 해류를 잘 모의하지 못하는 특성을 가지고 있다. 본 연구는 한국 주변해인 북서태평양 해역에서 수집된 170만 개의 연직 프로파일 자료를 종합하여 5,500m 수심까지의 월별 수온-염분 기후평균장(ANAS23: Atlas of Northeast Asian Seas 2023)을 1/4°, 1/10° 수평 해상도로 구축하였다. 관측 자료는 중복 검사, 범위 검사, 연직 경도 검사와 밀도 역전 검사를 포함하는 기본적인 품질 검사 과정을 거친 후 각각 56개와 73개 수심으로 내삽 하였다. 이 수심에서 표준 편차 검사를 통해 평균에서 벗어난 이상값을 추가로 제거하였다. 각각의 수심과 격자마다 계산되는 최적 영향 반경을 바탕으로 크리깅 기법을 수행하였다. 수평 내삽된 격자 자료에는 세 번의 Barnes filtering과 9 격자점 평탄화를 수행하여 고주파의 잡음을 제거하였다. 마지막으로, 밀도 역전을 제거하기 위해 Barker and McDougall (2017) 기법을 적용하여 인위적 수괴 형성을 최소화하였다. 일본기상청 137°E 관측과 국립수산과학원의 정선 관측 자료, 기존의 기후장 간의 비교 분석 결과, 본 연구에서 제시하는 수온-염분장에는 해상도에 따라 나타나는 구조적 문제점이 나타나지 않으며, 썩기형 이상치나 밀도 역전과 같은 통계적 오류가 존재하지 않는다. 이 기후장은 쿠로시오나 동한난류, 북한한류와 같은 서안경계류와 염분 최소층인 중층수를 포함하여 한국 주변해역의 해류와 물성을 다른 기후장보다 우수하게 재현한다. 이 기후장을 수치 모형의 초기 입력장으로 활용할 때 보다 정확한 해류 및 물성에 대한 모의가 가능하게 할 것으로 보이며, 한국 주변 지역해의 미래 전망에 대한 예측 성능을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대된다. 향후 본 기후평균장을 모형의 초기 및 경계 조건으로 입력할 때 모형 예측 성능 향상의 정도를 정량적으로 평가할 예정이다.

주요어 : ANAS23, 밀도역전, 초기조건, 예측 성능, 크리깅

## 유속관측과 해수면차이로 산출한 제주해협 수송량

신창웅\*<sup>1</sup>, 민홍식<sup>1</sup>, 이석<sup>1</sup>, 강현우<sup>1</sup>, 최병주<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양순환기후연구부([cwshin@kiost.ac.kr](mailto:cwshin@kiost.ac.kr))

<sup>2</sup>전남대학교 해양학과

### 요약

제주해협 수송량의 변동성과 장기 변화 추세를 파악하기 위하여 한국해양과학기술원은 전남대학교와 공동으로 제주해협 126.8°E 자오선을 따라 2020년 2월 13일부터 5개 정점의 TRBM(Trawl Resistance Bottom Mount)에 ADCP를 장착하여 해류를 관측하고 있다. 이 관측으로 제주해협 북부연안 해류는 동풍이 강할 때 서쪽으로 향하는 연안역류가 나타나며, 제주해협 깊은 골에서는 상층과 반대로 흐르는 제주해협잠류가 존재하는 것을 발견하였다. 제주해협 북쪽 연안이나 해저 골에 나타나는 서향류 수송량은 제주해협 서쪽으로 가면서 동향 수송량에 흡수된다는 가정을 하고 동향 수송량에서 서향 수송량을 제한 순수송량을 계산하였다. 4년 평균 수송량은 0.48 Sv (1 Sv = 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s)이며 연평균은 0.46 Sv(2022년)에서 0.50 Sv(2023년) 범위 안에 있었다. 월평균 수송량은 겨울(12, 1, 2월)에 작고(0.2-0.4 Sv) 여름-가을(6월부터 11월)에 큰(0.4-0.8 Sv) 계절변화를 보였으며, 수송량이 최대가 되는 달은 해에 따라 7월(2021,2023), 8월(2023년), 10월(2020년)로 다르게 나타났다. 일평균 수송량은 바람의 영향을 받아 큰 폭의 변화(-0.54Sv-1.32Sv)를 보였다. 4년간 산출한 수송량의 스펙트럼은 1년 주기와 6개월 주기가 강하게 나타났다. 간접적인 방법으로 수송량을 구하기 위해 제주항과 완도항의 해수면 차이를 이용하였다. 수송량을 구하는 경험식을 얻기 위하여 2020년 2월 12일부터 2023년 12월 31일까지 관측한 표층 유속자료와 수송량을 이용하였다. 관측한 표층 유속과 해수면 차이를 비교한 결과 제주 해수면이 완도보다 56.9 cm 낮았다. 기준면을 보정하여 계산한 지형유속에 제주해협 단면적을 곱하여 지형류 수송량을 구하였다. 지형류 수송량에 대한 관측 수송량의 각 월별 선형 기울기를 이용하여 지형류 수송량을 보정하였다. 1985년부터 2023년까지 평균 수송량은 0.37 Sv 이며 0.005 Sv/year의 증가 추세가 나타났다. 또한 수송량은 PDO 지수와 역상관관계가 나타났다.

주요어 : 제주해협, 연안역류, 제주해협잠류, 수송량, 지형류

## 기후변화 관점에서 우리나라 연안 해수면 상승의 과거와 미래

정광영<sup>\*1</sup>, 서광호, 이화영, 조양기<sup>2</sup>, 한기종<sup>3</sup>, 곽지언<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립해양조사원 해양과학조사연구실(kwangyoung@korea.kr),

<sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부

<sup>3</sup>(주)UST21

지구 온난화에 따른 기후변화와 관련하여 IPCC에서는 지난 2021년 AR6 WG1 보고서를 시작으로 2023년에는 AR6 종합보고서를 발간했다. 이에 발맞추어 해양수산부에서는 제4차 기후변화대응 해양수산부문 종합계획 수립하였으며, 해양수산부 기후변화 대응대책을 추가로 준비하는 등 종합적이고 체계적인 대응·적응 방안을 모색하고 있다. 국립해양조사원은 기후변화의 3대 지표 중 하나인 해수면 상승과 관련하여 적응·대응을 위한 과거 수십 년간 축적된 해수면 높이 관측자료를 분석하고 있으며, 지역 해양기후 수치예측모델(RCOM, Regional Climate Ocean Model)을 이용하여 IPCC 기후변화 시나리오에 따라 미래 2100년까지 전망하는 연구를 수행하고 있다. 이 연구에서는 장기 해수면 관측자료의 분석 방법, 과거 상승 현황과 미래 2100년까지 해수면 상승 전망 결과를 발표하고 향후 계획을 소개하고자 한다.

우리나라 연안 해수면 상승률 산정을 위해 국가해양관측망의 53개 조위관측소 중 30년 이상 해수면 높이 자료가 누적된 21개 조위관측소를 대상으로 1989년부터 2022년까지 1시간 조위 관측자료를 품질처리한 후 해수면 상승률을 분석했다. 해수면 관측자료의 품질을 높이기 위해 조위관측소 이력조사, 잔차 비교, 인접 조위관측소와 비교 및 수직 변위 분석, 결측자료 보간 등 다양한 품질처리 과정을 실시했다. 특히, 해수면 높이 변동을 정밀하게 산정하기 위해 수준측량, GNSS 수직변위, SAR 위성영상 자료 등을 분석하여 구조물(방파제) 및 지반 침하 속도 등 수직 변위를 정량적으로 파악했고, 해수면 상승률의 지역적 대표성을 확보하기 위해 이상 자료와 결측 자료를 과학적 방법으로 보정·보간하여 상승률을 산정했다. 이렇게 전처리 과정을 수행한 자료를 분석한 결과 지난 34년(1989~2022년)간 우리나라 전 연안 평균 해수면 상승률은 3.03 mm/yr로 산정되었으며, 동·남·서해안 연안 별 상승률은 각각 3.44, 2.71, 3.15 mm/yr로 나타났다.

또한, 국립해양조사원에서는 해수면 높이, 수온과 해류 등 주요 해양 요소에 대해 2100년까지 미래를 전망하기 위해 국제 연구에서의 활용도, 계산시간의 효율성, 열팽창 효과, 역학적 타당성 등을 고려하여 고해상도(1/20도, 약 6km 이내)의 지역 해양기후 수치예측모델을 구축했다. 이 연구에서는 과거 재현 성능 평가를 통해 선정된 4종의 CMIP6 전구모델 결과를 역학적 규모 축소법을 이용하여 지역 해양기후 수치예측모델의 개방경계조건으로 사용했다. 하여 전망자료를 생산했다. 과거 30년과 미래 2100년까지 모델을 수행한 결과 SSP 5-8.5 시나리오에서는 우리나라 주변해역에서 최대 82cm까지 상승할 것으로 전망되었다. 이러한 해수면 상승 연구 결과는 연안재해 위험평가에 활용될 뿐만 아니라, 우리나라 연안의 안전 확보와 보전, 개발 등을 위한 정부·지자체의 정책적 결정을 뒷받침 할 것이다.

주요어 : 해수면 높이, 상승 추세, 미래 전망, 기후변화 시나리오

# About Ocean Data Visualization Approaches

신영재<sup>1</sup>, 김계영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>네이버시스템(주)([shin652020@naver.com](mailto:shin652020@naver.com)), <sup>2</sup>주비엔티

## ABSTRACT

Ocean data visualization plays a crucial role in understanding and managing vast and complex oceanographic datasets. This paper provides a comprehensive overview of recent advancements in marine data visualization, focusing on three key areas: the latest technological trends, web-based large-scale numerical model visualization techniques, and forward-looking approaches for future developments.

Keyword : Ocean data, Numerical Model, Data Visualization, WebGL

## 요약

해양 데이터 시각화는 방대하고 복잡한 해양 데이터 세트를 이해하고 관리하는 데 중요한 역할을 합니다. 본 발표는 최신 기술 동향, 웹 기반 대규모 수치 모델 시각화 기술, 미래 개발을 위한 미래 지향적 접근 방식이라는 세 가지 주요 영역에 초점을 맞춰 해양 데이터 시각화의 최근 발전에 대한 포괄적인 개요를 제공합니다.

주요어 : 해양 데이터, 수치모델, 데이터 가시화, WebGL

## 1. 서론

최근 기술 동향 : 본 연구는 해양 데이터 시각화 분야의 현재 기술 혁신을 조사하는 것부터 시작됩니다. 우리는 고성능 컴퓨팅, 고급 그래픽 표현 및 실시간 데이터 통합을 포함한 데이터 처리 및 시각화 도구의 발전을 탐구합니다. 이러한 혁신은 해양 데이터의 시각화 및 해석 방식을 변화시켜 크고 다양한 데이터 세트에서 실행 가능한 통찰력을 도출하는 능력을 향상시킵니다.

## 2. 본론

웹 기반 대규모 수치 모델 시각화 : 그런 다음 해양 환경의 대규모 수치 모델 시각화와 관련된 과제와 솔루션을 다룹니다. 이 섹션에서는 복잡한 수치 시뮬레이션의 대화형 및 확장 가능한 시각화를 용이하게 하는 웹 기반 플랫폼의 개발에 대해 설명합니다. WebGL, JavaScript 라이브러리, 클라우드 컴퓨팅과 같은 핵심 기술이 광범위한 해양 데이터세트를 접근 가능한 방식으로 처리하고 제시하는 데 있어 효율성을 검사합니다.

미래 지향적인 해양 데이터 시각화 접근 방식 : 마지막으로 본 발표에서는 해양 데이터 시각화 발전을 위한 미래 지향적 전략을 제안한다. 여기에는 인공지능, 기계 학습, 증강 현실과 같은 최

신 기술의 통합이 포함됩니다. 우리는 해양 데이터의 해석 가능성과 유용성을 더욱 향상시킬 수 있는 잠재적인 연구 방향과 혁신을 간략하게 설명하여 시각화 도구가 과학적이고 실용적인 응용 분야의 최전선에 있도록 보장합니다.

### 3. 결론

본 발표는 해양 데이터 시각화의 최첨단 기술을 강조하고 현재의 기술적 과제와 솔루션을 식별하며 미래 발전을 위한 비전을 제공합니다. 이번 연구 결과는 해양 데이터의 복잡성을 효과적으로 해결하고 의사결정 프로세스를 개선하기 위해 시각화 기술의 지속적인 혁신이 중요함을 강조합니다.

## 파랑정보 보완을 위한 AI 모델 적용 및 평가 Evaluation of AI Models for Wave Data Imputation

최홍배<sup>1</sup>, 마경림<sup>1</sup>, 한명수<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(주)지오시스템리서치

결측 데이터를 보완하는 방법으로는 평균값 대체, 선형 보간 등의 통계적 방법과 정규분포를 따르는 데이터에 적합한 Multivariate Imputation by Chained Equations(MICE) 모델을 활용하는 방법이 있다. 또한, 물리 현상에 기반한 예측 모델의 결과를 대체하거나, 인공신경망(ANN), 순환신경망(RNN), 장기단기기억망(LSTM)과 같은 머신러닝 모델을 활용한 예측값으로 대체하는 방법도 존재한다. 그러나 통계적 방법은 복잡한 패턴을 처리하는 데 한계가 있으며, 해양 데이터는 일반적인 정규분포를 따르지 않는 경우가 많다. 또한, 기존 머신러닝 모델과 물리적 기반 모델은 학습에 사용된 데이터를 복원할 수 없기 때문에, 결측 데이터 보완 모델로 사용하기에 적합하지 않다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 예측과 보완을 동시에 수행할 수 있으며, 학습 데이터의 결측치도 보완 가능한 SAITS(Self-Attention-based Imputation for Time Series) 모델을 활용하여 파랑 정보를 보완하였다. 연구 대상은 2021년부터 2024년까지 경포대, 망상, 송정, 해운대 해수욕장 부이에서 관측된 유의파고와 파주기 자료이며, 해당 데이터를 학습 및 검보정하였다. 모델의 성능을 평가하기 위해 결측치가 없는 구간에서 일부 데이터를 의도적으로 제거한 후 이를 복원하는 실험을 수행하였으며, 그 결과 유의파고의 경우 RMSE(m)가 0.077~0.126, 파주기의 경우 RMSE(m)가 0.373~0.641로 나타나 모델의 보완 성능을 확인하였다.

KEY WORDS: Self-Attention-based Imputation for Time Series, Wave, Imputation

## 인공위성 Sentinel-2 자료를 활용한 광양만 탁도(Turbidity) 산출

김수란<sup>\*1</sup>, 김태성<sup>2</sup>, 박경애<sup>1</sup>, 박재진<sup>2</sup>, 이문진<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교(sulan0520@korea.kr), <sup>2</sup>선박해양플랜트연구소

### 요약

해수의 탁도를 통해 연안 해역의 광학적 특성과 연안 환경의 변동성을 이해할 수 있다. 한반도의 남해안에 위치한 광양만은 조석의 영향과 육상에서 유래된 쇄설성 퇴적물, 준설, 수산업 등에 의한 영향을 많이 받는다. 따라서 대양이나 다른 해역에서 개발된 알고리즘은 낮은 정확도를 보이므로 광양만에 적합한 위성 반사도 기반의 탁도 산출 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 Sentinel-2 위성 자료와 탁도 현장 관측치 사이의 일치점 데이터 베이스를 생산하였다. 기존 탁도 산출식을 조사하여 정확도를 상호 비교하여 이용하여 광양만 해역에서의 최적 파장대를 선정하여 탁도 산출 알고리즘을 개발하였다. 인공위성 광학 자료를 기반으로 산출된 탁도 산출식은 한반도 연안의 탁도 변동을 이해하고 광범위한 해양 환경 정보를 신속하게 획득하는데 기여할 것으로 기대한다.

주요어 : 탁도 산출, 광양만, Sentinel-2

### 감사의 글

이 연구는 선박해양플랜트연구소 ‘위성 관측 해수 특성 분석 및 수중 탁도 알고리즘 연구’ 지원을 받아 수행되었습니다.

## Preliminary Results of Skin–Bulk Temperature in the East Sea and the Northwest Pacific through ISAR Measurements

Ji-won Kang<sup>\*1</sup>, Kyung-Ae Park<sup>2</sup>, Hee-Young Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Science Education, Seoul National University (jiwon503@snu.ac.kr),

<sup>2</sup>Department of Earth Science Education, Seoul National University

### ABSTRACT

The measurement of sea surface temperature (SST) is crucial for examining environmental changes and interpreting oceanic events. SST is commonly measured at depths between 5–10 meters, while skin SST is assessed at approximately 12  $\mu\text{m}$  from the sea surface. The importance of distinguishing between skin and bulk SST to effectively explore spatio-temporal environmental variability has been underscored in various studies. In this study, the skin SST is measured through Infrared SST Autonomous Radiometer (ISAR), which obtains both the sea surface radiance and the downwelling atmosphere radiance. To measure skin SST more accurately, calibration coefficients were calculated in a laboratory using the ISAR calibration kit before applying them to the field measurements. The corrected skin SST data were then compared with bulk SST, which is continuously monitored by a thermosalinograph and satellite data, to analyze the difference between them. This research offers insights into the differences between skin and bulk SST, diurnal variations, and the stratification characteristics of the upper ocean in the East Sea and Northwestern Pacific regions.

## Sentinel-2 인공위성 영상을 활용한 미국 휴스턴 위험·유해물질(HNS) 유출 사고 관측 및 분석

이진호<sup>\*1</sup>, 박경애<sup>2</sup>, 박재진<sup>3</sup>, 김태성<sup>3</sup>, 이문진<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과 지구과학전공(jinhonav@snu.ac.kr),

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과,

<sup>3</sup>선박해양플랜트연구소

### 요약

최근 전 세계적으로 기름 뿐만 아니라 위험·유해물질(Hazardous and Noxious Substances, HNS)의 해상 물동량이 증가하고 있다. 이로 인해 HNS가 해상에 유출되는 사고가 발생할 위험성 또한 높아지고 있다. HNS는 독성을 지닌 경우가 많아 바다로 유출될 경우 심각한 경제적 손실과 대규모 인명피해, 그리고 주변 해양 생태계에 궤멸적인 피해를 야기할 수 있다. 따라서 해상에 유출된 HNS를 신속하게 감시하고 대응하는 것이 매우 중요하다. 하지만 HNS 유출 사고가 발생한 해역은 악기상인 경우가 많아 사람이 접근하기 어려울 가능성이 높다. 이런 경우 인공위성을 사용한 원격탐사는 매우 효과적인 모니터링 수단으로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 2019년 3월 17일 미국 Houston Ship Channel의 ITC 화학탱크 화재로 인해 발생한 벤젠, 자일렌 등의 화학물질 유출사고를 Sentinel-2 인공위성 영상을 통해 관측하였다. 분광혼합분석기법인 Nfindr 알고리즘을 사용해 해당 사고에서 유출된 화학물질의 스펙트럼을 추출하였고 SAM 알고리즘을 통해 HNS의 유출 범위와 특성을 분석하였다.

주요어 : 위험·유해물질(HNS), 인공위성, 원격탐사

## 항공 초분광 원격탐사 실험 기반 선박 스펙트럼 분석 및 탐지

박재진\*<sup>1</sup>, 박경애<sup>2</sup>, 김태성<sup>1</sup>, 이문진<sup>1</sup>

<sup>1</sup>선박해양플랜트연구소 해상안전·환경연구센터

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과

### 요약

최근 해상 교통량 증가 및 연안 중심의 레저활동으로 인해 여러 해양사고가 발생하고 있다. 그 중 선박사고는 인명 및 재산 피해를 유발할 뿐만 아니라 기름 및 위험·유해물질 유출을 동반한 해양 오염사고로 이어질 가능성이 크다. 따라서 해양사고 대비 및 대응을 위한 지속적인 선박 모니터링이 필요하다. 본 연구에서는 해상 선박 모니터링 체계 구축을 위한 초분광 원격탐사 기반의 항공 실험 수행 및 선박탐지 결과를 제시하였다. 한반도 서해 공평항 인근 해역을 대상으로 초분광 항공관측을 수행하였으며, 사전에 다양한 선박 갑판에 대한 분광 라이브러리를 구축하였다. 탐지 방법으로는 spectral correlation similarity (SCS) 기법을 사용하였으며 초분광 영상과 선박 스펙트럼 사이의 공간 유사도 분포를 분석하였다. 그 결과 초분광 영상에 존재하는 총 15개의 선박을 탐지하였으며 최대 유사도에 기반한 선박 갑판의 색상도 분류하였다. 탐지 선박들은 고해상도 digital mapping camera (DMC) 영상과의 매칭을 통해 검증하였다. 본 연구는 해상 선박탐지를 위한 항공 초분광 센서 활용의 기초로서 향후 원격탐사 기반의 선박 모니터링 시스템에 주요 역할을 할 것으로 기대된다.

**주요어** : 선박탐지, 항공관측, 초분광, 원격탐사

### 사사

본 연구는 해양수산부 재원으로 선박해양플랜트연구소 주요사업인 “초분광 원격탐사 기반 선박탐지 및 크기 추정 기술 개발”에 의해 수행되었습니다(PES5330).

## 인공위성 자료를 활용한 해양 부유 부석 분포 분석

송승훈\*<sup>1</sup>, 박경애<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과(songsh@snu.ac.kr),

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과

### 요약

해저 화산 폭발로 분출된 용암이 해수와 만나 급격하게 식으면 밀도가 매우 작아 물에 뜨는 부석(浮石)이 대규모로 형성될 수 있다. 2019년 8월 통가 남서쪽에 위치한 레이트(Late) 섬 부근에서는 이와 같이 형성된 다량의 부석이 약 150km<sup>2</sup> 규모의 섬을 이루고 있는 것이 항해 중인 선박과 인공위성에 의해 관측되었다. 이 연구에서는 Landsat-8 위성 영상과 Sentinel-2 위성 영상을 이용해 부석을 장면 분류하고, 부석 섬의 이동을 추적하였다. 또한 물리적 성질을 함께 확인하여 부유하는 부석이 해양에 미치는 영향을 확인하였다.

주요어 : 부석, 남태평양, 해저 화산, 장면 분류

## 해양 안전 모니터링을 위한 위성영상 활용 연구

유희영\*<sup>1</sup>, 송주영<sup>2</sup>, 김덕진<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 미래혁신연구원(yhy1003@snu.ac.kr),

<sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부

### 요약

해양 안전 모니터링은 바다에서 발생하는 다양한 위험 요소와 사고를 예방하고, 해양 환경과 선박의 상태를 실시간으로 관찰하고 분석하고자 하는 것으로 이를 통해 해양 사고의 위험을 감소시키고, 긴급 상황이 발생할 경우 신속하게 대응할 수 있는 정보를 제공하는 것이 목표로 한다. 지금까지 해양 안전 모니터링을 위해 주로 사용한 방법은 AIS, V-Pass, VTS 등 선박에서 보내는 선박 식별 신호를 이용하거나, 상황 확인을 위해 배를 직접 관심 지역에 보내고 주기적인 해양 순찰을 통해 모니터링을 해왔다. 그러나 선박 식별 신호 송신기기의 고장, 또는 불건전한 목적의 불법 선박이 임의로 신호를 조작하거나 신호를 보내지 않는 경우 선박 탐지가 어렵고, 배를 이용한 모니터링은 사고 발생 시 빠르게 확인하고 대응하거나 광범위한 해양 지역을 지속적으로 모니터링하는데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하고 넓은 해양 지역을 모니터링하기 위해 위성영상을 활용한 많은 기술이 개발되고 있다. 이 연구에서는 해양 안전 모니터링의 여러 가지 분야 중 해상풍, 파도, 해류 등 다양한 해양 기상 요소와 선박의 경로를 결합하여 항로 안전을 감시하는 분야와 해양 시설물을 탐지하고 인접한 해양을 감시하는 분야에서 실제 위성영상의 활용하기 위한 시스템을 소개하고자 한다. 이 연구를 통해 현존하는 SAR/EO 위성영상을 이용해 해양 안전 모니터링을 지원하기 위한 다양한 정보를 추출하여 실제 현업에서 활용하기 위한 예시를 보여주고 또한 향후 발사되는 여러 위성으로부터 높은 시간 해상도의 영상이 수집되어 활용할 수 있다면 해양의 24시간 광역 관측 및 모니터링이 가능하다는 것을 확인하였다.

주요어 : 해양 안전 모니터링, 위성영상, 항로 안전 감시, 해양 시설물 감시

## 표층뜰개 자료에서 계산한 동해 표층 해류장

이재호<sup>1</sup>, 장미진<sup>1</sup>, 김용선<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원(발표자 jaeholee@kiost.ac.kr)

### ABSTRACT

표층 뜰개를 이용하여 실제 표층 해수의 흐름을 따라 움직이는 뜰개의 궤적으로 표층 해류를 관측하면, 전 지구 해류 순환 수치 모형의 예측 오차를 줄일 수 있으며, 이는 해양 순환과 지역 기후 모형의 성능 향상에 중요한 역할을 한다. 본 연구는 NOAA의 GDP (Global Drifter Program)에서 제공하는 1991-2024년까지의 전지구 표층뜰개 자료(386개)와 한국해양과학기술원에서 수행한 뜰개자료(49개)를 수집하여 동해영역에 대한 표층 해류장을 생산하였다. 먼저, 수집한 전지구 표층뜰개 자료에서 동해로 유입되는 표층뜰개만을 추출한 후 품질관리를 수행하였다. 자료의 품질관리는 drouge 유실 검사, stuck 검사( $\vec{V} \leq 0.001\text{m/s}$ ), 이상 유속 및 가속도 검사 등 5단계로 수행하였다. 표층뜰개에서 관측된 유속은 바람에 의한 에크만 성분과 조석 효과가 포함되어 있다. 본 연구에서는 ECMWF에서 제공하는  $1^\circ \times 1^\circ$  해상도 및 6시간 간격의 ERA5 자료를 이용하여 에크만류를 계산하였으며, OSU (Oregon State University)에서 제공하는 TPXO9을 이용하여 조석류를 계산하여 이를 보정하였다. 또한 표층에서 관측된 해류의 평균장을 simple kriging 방법을 통해 시범적으로 제시할 예정이다.

Keyword : 동해, 표층뜰개, 품질관리, 순 유속, simple kriging, 표층 해류장

## 천리안 위성 2A호 RGB 영상 기반 중등학교 교과서 태풍 풍속 데이터 시각화 프로그램 개발

임채영\*<sup>1,2</sup>, 박경애<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1(codud0407@snu.ac.kr)

<sup>2</sup>인천진산과학고등학교, 인천광역시 21342

<sup>3</sup>서울대학교 지구과학교육과, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1

<sup>4</sup>서울대학교 교육종합연구원, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1

### 요약

태풍은 지구 시스템 내의 해양-대기-육상 상호작용을 일으키는 대표적인 현상으로 태풍의 특성 인자 중 하나인 풍속은 중심 기압, 이동 경로, 해수면 온도 등의 매개변수에 의해 복잡하게 변화하여 실제 관측 자료를 기반으로 이해하는 것이 중요하다. 현행 2015 개정 교육과정 기반 중등학교 교과서에서 태풍 풍속은 본문 내용 및 삽화의 형태로 제시되고 있어 풍속에 대한 심층적 이해가 가능한 탐구활동이 무엇보다 필요한 실정이다. 본 연구에서는 교수-학습 과정에서 간단한 조작만으로도 태풍의 풍속을 이해할 수 있도록 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)를 기반으로 한 데이터 시각화 프로그램을 개발하였다. 2023년 발생한 태풍 마와르, 구출, 볼라벤의 천리안 위성 2A호 RGB (Red-Green-Blue) 영상 자료를 입력 자료로 활용하였다. 태풍 주변의 구름 이동 좌표를 입력하여 태풍의 풍속을 산출하고 태풍 중심 기압, 폭풍 반경, 최대 풍속 등의 매개변수를 입력하여 태풍 풍속 분포를 시각화 할 수 있도록 설계하였다. 본 연구에서 개발된 GUI 기반 프로그램은 천리안 위성 2A호로 관측 가능한 태풍에 대해 오류 없이 적용 가능하며 교과서의 시공간적 한계를 벗어난 실제 관측 자료 기반의 과학탐구활동이 가능하다. 학생과 교사는 별도의 유료 프로그램 설치 및 전문적인 코딩 지식이 없어도 실제 관측 자료를 수집, 처리, 분석, 시각화하는 과정을 경험할 수 있으며, 이를 통해 미래 정보화 사회에서의 필수 역량인 디지털 소양을 함양시킬 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 태풍 풍속, 탐구활동, 위성, 디지털 소양, 그래픽 사용자 인터페이스

### 사사

이 연구는 4단계 두뇌한국 BK21 '인포스피어 과학교육연구단'의 지원을 받아 수행된 연구이며, 일부 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. RS-2023-00208935)입니다.

## 한반도 연안 해역에서의 Sentinel-3A/B SLSTR 관측 피층 해수면온도 검증 및 오차 특성 분석

임채영<sup>\*1,2</sup>, 박경애<sup>3</sup>, 김희영<sup>1</sup>, 주희태<sup>4</sup>, 이준수<sup>4</sup>, 양준용<sup>4</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1(codud0407@snu.ac.kr)

<sup>2</sup>인천진산과학고등학교, 인천광역시 21342

<sup>3</sup>서울대학교 지구과학교육과, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1

<sup>4</sup>국립수산과학원, 46083, 부산광역시 기장구 기장읍 기장해안로 216

### 요약

유럽 우주국(ESA)의 Sentinel-3A/B 위성에 장착된 궤적 스캔 복사계 SLSTR은 이중 뷰 스캔 방식을 적용하여 대기의 효과를 더욱 정확하게 보정할 수 있도록 설계되었다. 본 연구에서는 SLSTR로부터 산출된 위성 해수면온도 자료를 수집하여, 한반도 연안 해역에서의 실측 자료와의 일치점을 생산하여 정확도 및 환경적 요인에 대해 분석하였다. 2021년 1월부터 2023년 12월 까지 3개년의 자료를 수집하였고, 총 497개의 일치점을 생산하였다. SLSTR 위성 해수면온도는 해양기상부가 관측 해수면온도와 비교하였을 때 0.42 K의 평균 제곱근 오차와 -0.24 K의 평균 편차를 보였고, 이는 SLSTR 위성 사전 발사 요구사항에 부합하는 수치였다. 주간에는 -0.14 K, 야간에는 -0.29 K의 평균 편차로 야간의 음의 편차가 더욱 크게 나타났으며, 겨울철에는 음의 편차가, 여름철에는 양의 편차가 나타나는 계절적 변동성을 보였다. 해역별로는 동해에 비해서 황해와 남해에서 평균 제곱근 오차의 범위가 넓게 나타났다. 이외에도 연안으로부터의 거리, 풍속, 해수면온도의 공간구배와 같은 요인에 의해 변동하는 특성이 나타났다. 위성 해수면온도는 2 m/s의 낮은 풍속 범위에서 주간에는 양의 편차가, 야간에는 음의 편차가 나타났으며 전반적으로 야간의 편차가 더욱 큰 것으로 나타났다. 연안으로부터의 거리가 멀어질수록 위성 해수면온도의 오차는 감소하는 경향을 보였으며 해수면온도의 공간 구배가 커질수록 평균 제곱근 오차가 증가하였다. 본 연구 결과는 다양한 환경적 요인에 의한 영향을 많이 받는 국지적인 환경에서의 SLSTR 위성 해수면온도를 활용할 때 연안 해역에서 발생할 수 있는 오차 특성을 제시하였으며 각 해역의 특성에 맞는 후속 연구의 필요성을 제안하였다.

주요어 : Sentinel-3A/B, SLSTR, 해수면온도, 정확도, 오차 특성

## MODIS/Aqua 광학 스펙트럼을 이용한 전구 해수 수형 분류

차나연<sup>1</sup>, 박경애\*<sup>2</sup>, 정광영<sup>3</sup>, 권석재<sup>3</sup>, 이기택<sup>4</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과(kapark@snu.ac.kr)

<sup>3</sup>국립해양조사원 해양과학조사연구실

<sup>4</sup>포항공과대학교 환경공학부

### ABSTRACT

해수에 포함된 유기물, 무기 화합물, 그리고 식물성 플랑크톤 농도와 탁도는 해수의 광학적 특성에 영향을 미친다. 이러한 광학적 특성에 따라 수형을 분류하는 작업은 각 해역의 특성을 비교하고 복잡한 해양 환경을 이해할 수 있으며, 해양 생태계와 탄소 순환 과정 이해에 근거를 제공한다. 본 연구는 2018-2022년 5년간 MODIS/Aqua 위성으로 얻어진 원격 반사도 스펙트럼에 따라 표층 해수를 23가지 유형으로 분류하였다. 인공위성의 데이터와 현장에서 관측된 기준 스펙트럼을 비교하기 위해 분광 각도법(SAM) 기법을 활용하였으며, 계산 결과가 10°보다 작은 값만 의미 있는 것으로 판단하였다. 연구 결과 주로 4 이하의 맑은 해수가 대양에서 관찰되었고, 수형 9 이상의 탁한 해수는 수심이 얇은 연안에서 출현하였다. 연안의 수형 분류 결과는 대양과 비교했을 때 표준편차가 더 크게 나타나 시간에 따른 변동성이 더 크다는 것을 보여준다. 연안의 특성만 따로 분석하기 위하여 해안선에서 100km 이내에서 수집된 데이터로만 히스토그램을 그려본 결과, 수형 19가 가장 빈번하게 검출되었다. 광학적 수형 분류 결과는 계절에 따라 다른 양상으로 나타났으며, 전체적으로 연안과 대양의 해수에 차이가 있음을 설명한다. 본 연구와 같은 전세계 해수의 광학적 수형 분류는 해석 자료를 통한 지구 규모의 해양 환경 변화 파악에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그린란드 빙상의 표면질량수지와 빙하 배출량 간 동역학 변화와 이에 대한  
해양-빙권의 상호작용

Changing Dynamics Between SMB and Ice Discharge of the Greenland Ice  
Sheet Influenced by Ocean-Cryosphere Interactions

임영경<sup>1</sup>, 엄주영<sup>2\*</sup>, 윤승태<sup>3</sup>, 김병훈<sup>4</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육학과,

<sup>2</sup>경북대학교 지구과학교육과(eomjy@knu.ac.kr),

<sup>3</sup>경북대학교 해양학과,

<sup>4</sup>극지연구소

오늘날 그린란드 빙상(Greenland Ice Sheet, GrIS)에 대한 표면 질량 수지 (Surface Mass Balance, SMB)와 빙하 배출량의 상대적 계절 변화는 지구 평균 해수면의 장기적 변동을 결정하는 중요한 요소 중 하나이다. 여름철에 형성되는 빙상 표면의 용해수는 지하로 침투해 기반암과 빙상 하부 사이의 마찰을 경감시켜 빙하의 흐름을 빠르게 한다. 겨울철 기온이 하강하면 용해수의 형성이 중지되고, 강설에 의해 SMB가 상승한다. 기반암과의 마찰은 다시 증가하고, 빙속은 느려져 빙하 유출량은 감소한다. 즉, GrIS에서 SMB와 빙하 배출량은 일반적으로 음의 상관관계가 성립한다. 그러나, 최근 몇몇 개별 빙하에서 이러한 상관관계가 일시적으로 작동하지 않는 사례가 보고되었다. 본 연구는 이러한 현상이 그린란드 전역에서 일반적으로 발생하는지 조사하기 위해 지난 20여 년 동안 빙하 배출량과 SMB의 상관관계를 분석하였다. 이를 위해 Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE) 위성으로 관측한 중력 자료와 Regional Atmospheric Climate Model (RACMO 2.3) 수치 모형으로 도출된 SMB 자료를 사용하여 두 물리량의 공간과 시간에 대한 공분산을 분석하였다. 또한, 인접 연안의 수온 변동을 관찰하여 빙상-해양의 상호작용이 두 물리량 간의 상관관계에 미치는 영향을 평가하였다. 그 결과, 2012년 6월부터 2013년 11월의 기간 동안 GrIS의 동남부에서 SMB와 빙하 배출량 간의 일반적인 음의 상관관계가 성립하지 않았고, 동 시기 인접 연안의 이례적인 수온 변화도 확인하였다. 이러한 결과는 2012년 여름철 북극권에서 발생한 이상 고온 현상이 그린란드 빙상 역학에 시차를 두고 영향을 미쳤음을 시사한다. 더 나아가 향후 해수면 예측 상승에 있어서 그린란드 지역의 대기-해양-빙권 간 상호작용이 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다.

## Validation and error characteristics of sea surface temperature from GK-2A geostationary satellite in the Asia-Pacific region

Hye-Jin Woo<sup>\*1</sup>, Kyung-Ae Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과(hyejinwoo@snu.ac.kr)

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과/교육종합연구원

### ABSTRACT

Sea surface temperature (SST) is the most crucial marine environmental variable used in analyzing the spatiotemporal variability of oceanic and atmospheric phenomena. This study definitively assesses the accuracy of SST data produced by South Korea's second geostationary satellite, GK-2A, over its first four years of operation (2019-2023). The root mean square difference (RMSD) between satellite-derived SSTs and in situ measurements was approximately 0.5K, which meets the target accuracy. Errors showed clear latitudinal variations and differed between day and night observations. The SST was found to be overestimated in conditions of weak wind (less than 3 m/s) and underestimated at night. Furthermore, SST estimates were higher in conditions of high atmospheric humidity and lower during dry conditions. In regions with developed oceanic fronts, the intensity of the fronts directly increased the RMSD of the satellite SST. A significant increase in SST uncertainty was observed when the satellite zenith angle (SZA) exceeded 50 degrees. To address this, eight additional SST estimation formulas considering both linear and nonlinear relationships related to the SZA were developed and validated. The newly derived formula effectively reduced the influence of the SZA, especially at high SZA.

## 내진 구조물 설계를 주제로 한 STEAM 교육 프로그램의 개발 및 적용

권덕현\*<sup>1</sup>, 이효녕<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북대학교(wing3360@gmail.com), <sup>2</sup>경북대학교

이 연구의 목적은 중학생의 기술적 태도와 기술적 문제해결성향을 향상시키기 위한 공학적 설계 기반 STEAM 교육 프로그램을 개발하고 적용하여 그 효과를 분석하는 것이다. 구체적인 연구 내용은 다음과 같다. 첫째, 중학생의 기술적 태도와 기술적 문제해결성향을 향상시키기 위한 공학적 설계 기반 STEAM 교육 프로그램을 개발한다. 둘째, 개발한 STEAM 교육 프로그램이 중학생의 기술적 태도에 미치는 효과를 분석한다. 셋째, 개발한 STEAM 교육 프로그램이 중학생의 기술적 문제해결성향에 미치는 효과를 분석한다. 관련 선행연구 조사를 통해 ADBA 모형<sup>1)</sup>을 프로그램의 개발 모형으로 선정하였으며, '내진 구조물 만들기'를 주제로 한 4차시(1차시 45분) 분량의 STEAM 교육 프로그램을 개발하였다. 개발한 프로그램은 광역시 소재의 B중학교 학생 86명을 대상으로 2024년 5월에 적용하였으며, 프로그램의 효과 분석을 위하여 대응표본 t-검증 분석을 실시하였다. 이 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 개발한 공학적 설계 기반 STEAM 교육 프로그램은 다른 내진 설계 주제의 STEAM 프로그램과의 차별화를 위해 내진·제진·면진 구조 등의 내용을 수학·과학적 지식과 함께 통합하여 제시하였다. 또한 해당 내용을 구조물 제작에 적용한 다양한 사례를 제공함으로써 학생들이 문제 해결에 활용할 수 있도록 하였다. 학생들은 동료 학생들과 상호작용하고 협동하며, 주어진 문제의 해결에 도움이 되는 관련 지식이나 사례를 참고함으로써 문제를 수월하게 해결하였다. 둘째, 개발한 프로그램은 중학생들의 기술적 태도의 기술에 대한 흥미, 기술의 중요성과 영향, 기술 관련 진로 등 세 가지 하위 요인을 향상시키는 데 효과가 있었다. 특히 기술에 대한 흥미와 기술 관련 진로 인식이 크게 향상된 것으로 나타났다. 셋째, 개발한 프로그램은 중학생들의 기술적 문제해결성향의 문제해결 자신감과 접근-회피 성향 등 두 가지 하위 요인의 향상에 대해서도 효과가 있었다. 이 연구에서 개발한 공학적 설계 기반의 STEAM 프로그램은 중학생의 기술적 태도와 기술적 문제해결성향을 향상시키는 데 기여하고 대표적인 사례로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: STEAM 교육, 공학적 설계, 기술적 태도, 기술적 문제해결성향, 중학생

### 참고문헌

이효녕, 권혁수, 박경숙, 오희진(2014). 과학 탐구 기반의 통합적 STEM 교육 모형 개발 및 적용. *한국과학교육학회지*, 34(2), 63-78.

1) ADBA 모형은 Analysis(분석), Design(설계), Build(제작) 및 Assessment(평가)의 4단계로 이루어져 있으며, 각 단계의 머리글자를 따서 ADBA 모형이라 명명하였다(이효녕 외, 2014).

## 생성형 인공지능을 활용한 지질시대 대멸종 수업에서의 학생-생성형 인공지능 상호작용과 학생들의 추론 특성

문민경<sup>\*1</sup>, 김정찬<sup>2</sup>, 신동희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>이화여자대학교(1004mmg@ewha.ac.kr)

<sup>2</sup>한국지질자원연구원

### 요약

생성형 인공지능은 우리에게 익숙한 용어가 되었다. 특히 2022년 11월 OpenAI사에서 만든 ChatGPT가 상용화된 이후, 교육 분야에서의 생성형 인공지능의 활용에 대한 연구가 활발해지고 있다. 이 연구는 고등학생을 대상으로 한 지질시대 대멸종 수업에서 나타나는 학생과 ChatGPT 간의 상호작용 및 ChatGPT의 활용 가능성, 추론 시 학생들이 보이는 특성을 알아본다. 서울 소재 고등학생 37명을 대상으로 ChatGPT를 활용한 2차시 과학 교육 프로그램을 진행하였고, 학생들이 각 차시마다 제출한 보고서와 ChatGPT 대화 스크립트를 분석하였다. 사전 검사로는 지질시대와 대멸종에 관한 지식과 추론 능력 검사 문항을 실시하였다. 1차시에서 ChatGPT를 통해 지질시대에 발생한 대멸종을 조사하고 학습하며, 2차시에서는 1차시에서 조사한 자료를 근거로 6차 대멸종의 발생 가능성과 원인을 추론한다. 분석 결과, 학생들이 ChatGPT를 활용하여 조사한 결과를 근거로 추론할 때 다양한 추론 형태를 보였다.

주요어 : 생성형 인공지능, 지질시대 대멸종, 고등학생, 추론

### 감사의 글

이 연구는 2024년도 한국지질자원연구원의 지질자원 표본·기초학술연구와 선도형 R&D 정책/성과 확산 연구 사업 지원을 받아 수행되었음.

## 에듀테크 VR 기반 부산 국가지질공원 야외학습 프로그램 개발 - 금정산, 이기대, 물운대를 중심으로 -

최윤성, 박주영, 조운석, 김민철\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 지구과학교육과 조교수 [igumany@pusan.ac.kr](mailto:igumany@pusan.ac.kr)

### 요약

이 연구는 에듀테크 기반 부산 국가지질공원 가상 야외학습 프로그램의 개발 및 효과를 논의하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 B 대학교의 지구과학 예비교사들이 프로그램 개발에 참여하였다. 학교 교육 현장에서 VR 기반 교육을 실행하기 위해서는 예비교사의 수업 전문성 함양과 교육적 경험의 중요성이 강조되고 있다. 이 연구는 VR을 교육적으로 활용할 수 있는 가상 야외학습 프로그램을 개발함으로써 예비교사들에게 실증적인 경험을 제공하였다. 지질학적 및 지형적 중요성과 접근성을 고려하여, 부산 국가지질공원을 주제로 가상 학습 환경에서 활용할 수 있는 야외 수업을 개발하였다. 선행 연구와 달리, 이 연구의 가장 큰 차별점은 가상 야외학습을 위한 설계 틀과 가상 야외학습 수업 모형을 기준으로 프로그램을 개발하고, 수정된 생소한 경험 공간을 기반으로 한 자기 평가를 통해 프로그램의 효과성을 논의한 점이다. 이 연구는 VR 기반 야외 학습 프로그램 개발을 통해 예비 교사들에게 VR 기반 교육적 경험을 제공했으며, 이는 향후 예비 교사들의 디지털 역량 함양에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

주요어 : 지구과학 예비교사, 에듀테크, VR 가상 야외학습 프로그램

사사 : 본 연구는 2024년도 교육부의 재원으로 부산대 글로벌대학 30 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

## Earth Nullschool과 온라인 협업 도구를 활용한 태풍 탐구 활동 자료 개발

김수란\*<sup>1</sup>, 박경애<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과([sulan0520@korea.kr](mailto:sulan0520@korea.kr)), <sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과

### 요약

태풍은 주요 기상 현상 중 하나로 여름철 한반도의 해양, 대기 환경의 변화를 이해하는 데 필수적이다. 본 연구에서는 2022 개정 과학과 교육과정의 취지를 반영하여, Earth Nullschool (어스 널스쿨)을 활용해 태풍을 주제로 한 탐구 활동 자료를 개발하였다. 해당 자료는 Earth Nullschool과 구글 코랩을 활용하여 태풍의 형성과 발달, 이동에 대해 탐구할 수 있도록 설계되었다. 또한, Earth Nullschool의 사용자 인터페이스와 온라인 협업 도구를 활용해 모듈별로 다양한 태풍 데이터 세트를 생성하고, 이를 프로그래밍 언어로 시각화하고 분석하는 활동이 포함되어 있다. 학습자들이 컴퓨터 스크린에서 태풍 중심의 좌표를 읽고 공유하여 태풍 중심의 이동 경로를 시각화하고, 태풍 중심으로부터 거리에 따른 기압, 풍속, 풍향, 강수량 데이터도 수집한 후 공간 분포를 도시하며, 시계열 자료를 이용하여 태풍을 중심으로 좌측과 우측에서의 풍향의 변화를 추적하고, 해수면온도 편차의 변화 특성을 파악할 수 있도록 데이터 시각화 활동을 구성하였다. 개발된 탐구 활동 자료는 전문가의 검토와 자문을 거쳐 수정·보완되었으며, 협업을 통한 디지털 소양 강화 측면에서 긍정적인 평가를 받았다. 본 연구에서 개발된 탐구 활동 자료는 학생들이 태풍을 심층적으로 이해하는 것을 돕는 동시에, 다른 과학 주제에 대한 탐구 활동에도 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 태풍, Earth Nullschool, 온라인 협업 도구, 해수면온도

### 감사의 글

이 연구는 한국연구재단과 4단계 두뇌한국 BK21' 인포스피어 과학연구연구단'의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## 반응적 교수를 적용한 초등 과학 수업에서 학생의 자원에 대한 교사의 반응

### The Teacher's Responses to Student Resources in the Elementary Science Classroom Taught by Responsive Teaching

배혜림<sup>\*1</sup>, 오필석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>용호초등학교, 경기도 군포시 용호2로 12 (hyerim1226@korea.kr),

<sup>2</sup>경인교육대학교, 경기도 안양시 만안구 삼막로 155 (philoh@ginue.ac.kr)

#### ABSTRACT

Meaningful learning in the classroom occurs through the interaction between teachers and students, who are the main participants in the class. Students reveal their various resources during the class, and it is important for teachers to guide these into scientific concepts through appropriate responses. In this study, responsive teaching was implemented in an elementary science classroom, and the teacher's responses to student resources were examined. After reconstructing the 'Layers and Fossils' unit, class transcripts and surveys were used as analysis data. The results showed that teachers' responses to students' scientific concepts could be categorized into three main types. First, when students revealed scientifically valid concepts, teachers utilized these resources in discussions and asked a series of questions to explore students' thinking. Second, when students revealed scientifically invalid concepts, teachers asked for students' agreement or disagreement and provided opportunities for students to reach a consensus. Teachers also refuted students' thoughts or shared the results of small group discussions. Third, when students showed insufficient concepts, teachers guided them to switch their thinking to different aspects and asked them to add missing elements. Teachers also provided epistemological resources and aimed to provide appropriate resources through questions that expanded thinking. This study suggests that sharing various class cases of responsive teaching can increase teachers' accessibility to responsive teaching in schools.

keyword: Responsive teaching, student's resource, teacher's response, Resource-based view, Layers and Fossils

#### 요약

교실 현장에서의 의미 있는 배움은 교실에 있는 수업의 주체인 교사와 학생의 상호작용 속에서 일어난다. 학생들은 자신들이 가지고 있는 다양한 자원을 수업 중에 드러내게 되고, 교사는 적절한 반응을 통해 이를 과학적인 개념으로 연결되도록 유도하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 '반응적 교수(responsive teaching)'를 통한 초등 과학 수업을 실시하고 학생들의 자원에 대한 교사의 반응을 연구하였다. '지층과 화석' 단원을 재구성하여 수업한 후 수업 녹음 전사본, 설문

조사 등을 분석 자료로 활용하였다. 연구 결과 학생들이 드러내는 과학적 개념에 따라 교사의 반응을 크게 세 가지로 범주화할 수 있었다. 첫째, 학생이 과학적으로 타당한 개념을 드러내는 경우 교사는 학생의 자원을 이용하여 토의에 활용하였다. 또한 학생의 사고를 탐색하기 위해 연쇄적 질문을 하였다. 둘째, 학생이 과학적으로 타당하지 않은 개념을 드러내는 경우 교사는 학생들의 찬성과 반대 의견을 질문하였고, 학생들이 서로 합의할 수 있는 기회를 제공하였다. 또한 교사가 학생의 생각에 반박하거나, 소집단 간의 토의 결과를 공유하였다. 셋째, 학생들의 개념이 미흡한 경우 다른 측면으로 사고를 전환하도록 유도하고, 부족한 요소를 추가할 것을 요구하였다. 또한 인식론적 자원을 제공하였으며, 사고 확장의 질문을 통해 적절한 자원을 제공해주고자 하였다. 본 연구는 반응적 교수에 대한 다양한 수업 사례 공유를 통해 학교 현장에서 반응적 교수에 대해 교사의 접근성을 높일 수 있어야 함을 제안한다.

주요어 : 반응적 교수, 학생의 자원, 교사의 반응, 자원 기반 관점, 지층과 화석 단원

## 공공 데이터를 활용한 지구과학 데이터 시각화 수업 프로그램 개발

최종근

인천과학예술영재학교(millesian1@gmail.com)

### 요약

2022 개정 과학과 교육과정은 교과 맥락에 따른 지식 정보 처리 역량 함양을 통한 창의적 인재 양성을 강조한다. 이에 따라 본 연구에서는 공공 데이터를 활용한 지구과학 데이터 시각화 프로그램을 개발하여 학생들의 지식 정보 처리 역량과 과학 탐구 능력을 함양하고자 하였다. 교육과정을 분석하고, 중학교 과학 '지권의 운동' 단원의 탐구 활동으로 활용될 수 있는 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 기상청 날씨누리의 지진 데이터를 노코딩 시각화 도구인 오렌지를 활용하여 시각화하고 분석하도록 구성되어, 학생들이 지진대와 판의 경계와의 관련성을 과학적으로 이해할 수 있도록 돕는다. 이를 중학생들에게 적용하였으며, 프로그램이 학생들의 지식 정보 처리 역량과 과학 탐구 능력 함양에 긍정적인 영향을 주었음을 확인하였다. 본 연구는 공공 데이터와 시각화 도구를 효과적으로 활용할 수 있는 수업 프로그램을 제안한다. 프로그램에서 경험하는 다양한 방식의 데이터 시각화 및 분석 과정은 학생들이 복잡한 자연 현상을 조금 더 쉽게 이해하는데 도움을 줄 수 있으므로, 이러한 점에서 본 연구의 프로그램이 중학교 과학 수업에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 공공 데이터, 데이터 시각화, 지식 정보 처리 역량, 과학 탐구 능력

## 전문적 학습공동체 프로토콜을 활용한 고등학교 지구과학 교사의 PCK 변화 탐색 : 기후변화 단원을 중심으로

김권중\*<sup>1</sup>, 이기영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>강원대학교(발표자 powering@kangwon.ac.kr)

### 요약

본 연구는 전문적 학습 공동체(Professional Learning Community, PLC) 프로토콜을 활용한 고등학교 지구과학 교사의 기후변화 단원에 대한 PCK 변화를 탐색하였다. 이를 위해 4명의 고등학교 교사를 대상으로 전문적 학습 공동체를 구성하고, 5회에 걸쳐 다음과 같은 PLC 프로토콜을 순차적으로 적용하였다: ① 프로토콜 #1 “오개념에 대한 생각 드러내기”, ② 프로토콜 #2 “오개념 관련 수업 경험 공유하기”, ③ 프로토콜 #3 “학생 오개념 들여다보기”, ④ 프로토콜 #4 “오개념 개념 변화 수업 지도 소양 쌓기”, ⑤ 프로토콜 #5 “오개념 관련 수업 계획 짜기”. 또한, 프로토콜 전후에 참여 교사들에게 CoRe(내용 표상)를 작성하게 하고 이를 분석하여 교사들의 PCK 변화 양상을 4가지 영역으로 구분하여 살펴보았다. 연구 결과는 다음과 같다:

첫째, 과학 교육 과정 지식(KSC) 영역에서는 교사들이 기후변화 요인을 외적 요인과 내적 요인으로 명확하게 구분하고, 이를 바탕으로 학습 계열을 체계적으로 구성하는 능력이 향상되었다. 또한 교육 과정에 맞추어 빅아이디어를 설정하는 능력이 수업 전보다 체계적으로 발전하였다.

둘째, 학생 이해 지식(KSU) 영역에서는 학생들의 오개념을 인식하고 이를 수정하는 교사들의 능력이 향상되었다. 특히, 프로토콜 이후 참여 교사들은 기후변화와 지구온난화에 대한 학생들의 오개념을 교정하고, 학습에서 겪는 어려움을 이해하는 데 있어 보다 깊이 있는 지식을 나타내었다.

셋째, 수업 전략 지식(KISR) 영역에서는 교수 전략이 다양해졌다. 프로토콜 이전에는 제한된 교수 전략만 사용되었으나, 프로토콜 이후 설명, 그림, 영상 등을 활용한 다양한 교수 기법이 도입되었으며, 학생들의 개념 이해를 돕기 위한 다양한 활동이 추가되었다.

넷째, 과학 학습 평가 지식(KAS) 영역에서는 평가 방식이 확장되었다. 프로토콜 이후 참여 교사들은 기존의 단순한 평가 방법에서 벗어나, 그리기, 쓰기 설명, 분류하기 등 다양한 평가 방법을 도입하여 학생들의 학습을 다각적으로 평가하는 능력을 향상시켰다.

본 연구는 과학 교사의 PCK 개발을 위한 PLC 프로토콜의 활용 가능성을 탐색하고, 교사의 집단적 수업 전문성 개발에 시사점을 제공한다는 데 의의가 있다.

주요어 : 전문적 학습공동체, PLC 프로토콜, PCK, 기후 변화

## 과학의 본성 이해를 위한 과학사 롤플레이팅게임 개발 및 활용 가능성 탐색 : 우주 배경 복사 발견의 역사

김호준\*<sup>1</sup>, 이기영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>강원대학교(발표자 khj9633@kangwon.ac.kr)

### 요약

본 연구에서는 고등학교 1, 2학년의 과학의 본성 이해를 돕기 위해 ‘우주 배경 복사’를 주제로 한 과학사 롤플레이팅게임을 개발하고 활용 가능성을 탐색하고자 하였다. 게임 개발 도구로는 코딩이 적고 개발 과정에서 수정이 용이한 ‘RPG Maker MV’로 선정하였으며, 게임 내에 질문을 구성하기 위해 게임을 적용할 학생들을 대상으로 실시한 과학의 본성(VNOS) 검사를 토대로 4개의 과학의 본성 관련 질문을 작성하였다. 이후 선정된 주제와 도구, 질문을 바탕으로 과학사 롤플레이팅게임의 프로토타입을 제작하였고, 2회의 알파테스트와 2회의 베타테스트를 통한 학생 피드백을 반영하여 게임을 수정하였다. 게임 진행 과정에서 제시된 과학의 본성 관련 질문에 대한 학생의 응답을 대상으로 한 언어네트워크분석과 게임 전반에 대한 만족도 조사를 통해 개발된 게임의 활용 가능성을 탐색하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 최종 개발된 게임은 다음과 같은 흐름으로 구성된다; 1) 호일의 ‘정상 우주론’과 가모프의 ‘빅뱅 우주론’의 대립을 다루며, 펜지어스와 윌슨이 전파수신기의 잡음을 발견하고 해결하려는 과정에 학생이 참여하도록 한다. 2) 펜지어스가 천문학회에서 버크를 통해 디키와 피블스를 만나 잡음 문제를 해결하는 과정을 통해, 협력의 중요성에 대해 생각해보게 한다. 3) 이후 논문을 따로 작성하여 천문학회지의 같은 호에 연달아 게재하였으나, 펜지어스와 윌슨에게만 노벨상이 수여된 것에 대한 공정성에 대해 생각해보게 한다. 4) COBE, WMAP, 플랑크 망원경의 관측 자료를 바탕으로 기술이 발달이 우주배경복사 탐구에 미친 영향을 생각하게 한다. 5) 마지막으로 우주배경복사의 발견이 우주론의 논쟁을 해결하는데 어떤 기여를 하였는지 생각해보게 한다.

둘째, 학생의 응답에 대한 언어네트워크분석 결과, 과학의 본성 이해를 촉진하는 게임으로서의 활용 가능성을 확인할 수 있었다. 위세중심성이 높게 나타난 단어를 종합하였을 때, 4개의 질문에 대한 학생들의 응답에서 과학의 본성에 대한 이해를 확인할 수 있었다. 또한, 만족도 분석 결과, 흥미도, 스토리 선호도, 게임 형식의 적합성, 스토리 이해, 공감, 몰입도, 추후 플레이 의향에서 3점 후반에서 4점 중반(5점 리커트 척도)의 만족도를 나타내었다. 특히 스토리 선호도에서는 학생이 직접 참여하고 새로운 형태의 질문이 나타난 부분에서 높은 만족도를 나타내었다.

본 연구를 통해 개발된 과학사 롤플레이팅게임은 실제 학교 과학 수업에서 학생의 과학의 본성에 대한 이해를 목적으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 과학의 본성, 과학사, 롤플레이팅게임, 우주 배경 복사, 언어네트워크분석

# 기후변화 비교과 프로그램을 통한 지구과학 예비교사들의 기후변화 대응 실천역량 인식 탐색

이동준<sup>\*1</sup>, 이지연<sup>2</sup>, 김서현<sup>1</sup>, 박영신<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>조선대학교(803djdjdj@gmail.com),  
<sup>2</sup>국립과천과학관

## 요약

중등학생 및 현직 교사를 대상으로 한 기후변화에 대한 인식·지식·태도 조사를 통해 학생들이 기후변화에 대해 잘 모르고 있으며 교사들도 지식은 잘 알고 있으나 행동에서 학생들과 큰 차이를 보이지 않아 앞으로의 교육에서는 지식과 행동을 함께 높여야 한다는 연구가 진행되어 왔다. 학생들에게 영향을 주는 교사의 역량을 생각하면 특히 대학 교원양성과정에서 있는 예비교사의 기후변화 및 환경 문제에 대한 연구는 시기적절하다고 할 수 있겠다. 이 연구에서는 ‘기후행동가’ 지구지킴이 어벤져스라는 비교과 프로그램을 통하여 중학생들과 활동을 하는 멘토 역할의 지구과학전공 6명의 예비교사의 기후변화 대응 실천 역량 인식이 어떻게 변하는지를 파악하였다. 이를 위해서 8가지의 기후변화 대응 실천 역량 (수업 활동의 효율성, 기후변화 지식, 감수성, 성찰 능력, 통합적 사고, 의사소통, 의사결정, 실천 의지)을 정의한 검사도구를 연구에 목적에 맞게 수정하여 6명의 멘토의 인식을 파악하는데 사용하였다 (8개의 항목, 소항목은 3개로 구성, 전체 24항목). 기후행동가 지구지킴이 어벤져스 프로그램은 기후변화 관련 내용으로 구성되어있으며, 자연재해 (지진, 해일, 산사태), 신재생에너지(원자력, 파력, 수소에너지, 태양에너지), 그리고 지구온난화 (지구온난화, 적정기술) 수업이 이에 해당하며 2주에 한 번씩 3시간 수업이 이루어졌으며 4개월 동안에 진행하였다. 수업은 민주 시민 소양 함양을 목적으로, 실질적인 실험을 위주로 수업하였다. 두 명의 연구자가 강사로 활동하였으며, 6명의 멘토들에게 수업할 내용을 가르치며 멘토로서의 활동에 대해서 지도하였다. 지역사회 교육사업의 하나로 활동하는 것으로 중학생 17명을 대상으로 하여 각 수업마다 밴드를 통해서 성찰일지를 사진과 함께 작성하도록 하였다. 연구자는 6명의 멘토들이 작성한 9회에 걸친 수업의 성찰일지를 코딩작업을 하며 교차점검을 통해서 기후위기 대응 실천역량에 대해서 파악하였다. 자연재해에서는 산사태에서 (8.5>5.8>4.2), 신재생에너지에서는 수소에너지 (5.7>4.8>4.0>3.8)가 실천역량이 높게 나타났다., 하지만 지구온난화 수업에서는 지구온난화 자체 수업과 적정기술은 비슷한 실천역량을 보여주었다 (5.3>5.2). 3개의 주제를 대상으로 비교해보면 자연재해 내용이 신재생에너지 그리고 지구온난화 내용보다 높은 실천역량을 보여주었다 (6.2>4.6>5.3). 이는 각 항목에 대한 소항목이 3개씩 구성되어 전체 실천역량을 총점이 24점으로 보았을때에 최고의 점수인 8.5는 35%에 해당하기에 전반적으로 실천역량이 높게 나타났다고는 할 수 없다. 제일 낮은 점수인 3.8에 대해서는 16%이기에 역시 실천역량의 개선의 여지가 있다고 할 수 있다. 이 연구에서는 4개월 동안의 수업을 하는 동안의 멘토들의 인식변화를 추적하는 것보다는 현 인식이 형성된 정도를 파악한 것이며, 변화보다는 형성에 대해서 결과를 보고하고자 한다. 항목별로 분석한 결과 1번 문항인 본인이 멘토활동을 하면서 중학생들에게 기후변화에 대한 인식변화를 주는데 효율적이었다고 응답한 것이 실천역량 중에서 제일 높게 나타났다 (41%; 19.2/24). 기후변화 대응 실천역량에 대해 전혀 인식하는 정도가 없음

으로 나온 문항은 ‘실천의지’로 나타났다. 기후변화에 대한 지식 (14%)과 기후변화에 대한 감수성(14%)은 그 다음으로 높게 나타난 실천역량 인식이다. 기후변화 대응 실천역량을 설문지로 조사하였을때에는 5점 만점의 리커트 척도에서 평균 모두 4.5가 넘는 것과 비교시 설문지에서 나타난 이론적인 ‘인식’과 성찰일지에서 파악된 실질적인 ‘인식’은 괴리가 있음을 보여주고 있다. 후속연구로는 명시적인 기후변화 대응 실천역량을 위한 구체적인 가이드를 형성하여 앞으로 2개월 후의 인식과 비교하여 변화를 보고자 한다.

주요어 : 기후변화 대응 실천역량, 예비교사 인식

## FastEddy 모델을 활용한 수평적으로 균질한 대류 경계층에 대한 모사결과

구자현\*<sup>1</sup>, 강성락<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립 강릉원주대학교 대기환경과학과 (jesuiskoojh@gmail.com)

### 요약

FastEddy는 미국 국립 대기과학 연구소(NCAR)의 연구 응용 연구소(RAL)에서 개발된 GPU (Graphic Processing Unit) 기반의 큰 에디 모사(Large Eddy Simulations, LES)이다. 큰 에디 모사는 여러 분야에서 널리 사용되며, 특히 대기과학에서는 대기경계층과 중규모 기상현상과 관련한 구름에서 발생하는 난류 현상 연구에 중요한 도구로 자리 잡고 있다. 최근에는 스마트 시티의 다양한 센서로부터 수집된 기상 데이터의 활용, 지상 100 m 이하에서 운영되는 풍력 터빈의 효율적 전력 생산, 그리고 지상 300~600 m 고도에서 운행된 도심항공교통(UAM)을 위해 대기경계층에 대한 심도 있는 이해가 필수적으로 대두되고 있다. 이러한 흐름 속에서 중규모 대기 모델과 큰 에디 모사를 결합한 다중 규모 대기 모델링 연구가 활발히 진행되고 있다. 대부분의 LES는 CPU (Central Processing Unit)만을 사용하여 연산효율이 상대적으로 낮고 처리 시간이 오래 걸리는 한계가 있다. 이에 반해, FastEddy는 상주 GPU 모델로서 모든 예측 계산이 GPU에서 가속화된 방식으로 수행되어 훨씬 빠른 계산 속도를 갖는다.

국립 강릉원주대학교 다중규모 대기경계층 연구실은 기존 멀티 CPU 리눅스 컴퓨팅 환경에 GPU를 한 개를 추가적으로 설치하여 FastEddy를 구동 및 테스트 해 보았다. 본 연구에서는 FastEddy 모델을 사용하여 대기 경계층에 대한 모의 결과가 합리적으로 모사되는지를 수행하기 위해 맑은 날 주간 대기 경계층인, 대류 경계층(Convective Boundary Layer, CBL)을 모사 해 보았다. 테스트 환경으로는 1 GPU와 1 CPU를 사용하여 FastEddy의 대기 경계층 큰 에디 모사 결과가 기존에 잘 알려진 수평으로 균질한(heterogeneous) CBL에 대한 일반적, 구조적 특성들을 잘 모사하였는지 점검한 결과를 제시한다. 또한, 2CPU를 사용하여 구동한 WRF-LES와 계산 시간 측면에서 비교함으로써 FastEddy 모델의 계산 효율성을 강조한다. 향후 추가적인 GPU를 구입하여 멀티 GPU 환경에서도 FastEddy 모델이 컴퓨팅 속도 성능 측면에서 얼마나 효율적으로 향상되는지에 대해서도 보고할 계획이며, 2CPU를 사용하여 구동한 WRF-LES와 1 GPU와 1 CPU로 구동한 FastEddy 모델을 도메인 크기에 따라 비교하여 수평으로 균질한 CBL의 일반적 특성을 잘 모사하는지 평가하고자 한다.

주요어 : FastEddy, 대류 경계층, GPU, CPU

### 감사의 글

이 연구는 기상청 <한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운영체계 핵심기술개발 (RS-2024-00404042)의 지원으로 수행되었습니다.

## 지역적 토지피복변동에 따른 여름철 도시기후 변동 분석

김성운\*<sup>1</sup>, 문윤섭<sup>1</sup>, 김학성<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충청북도탄소중립지원센터(auulsci@knue.ac.kr),

<sup>2</sup>한국교원대학교 지구과학교육과

본 연구에서는 도시화의 영향을 분석하기 위해 기상관측자료, 재분석자료, WRF-UCM 수치 모의를 활용하여 21년간(2003-2023년) 8월 도시화의 영향을 분석하였다. 연구 대상 지역은 청주시로 하였고 연구 사례일은 8월 1일 0900 KST - 8월 6일 0800 KST 까지로 선정하였고 토지피복자료는 환경부 중분류 토지피복지도를 이용하였다.

청주시의 토지피복변화 분석결과, 시가지의 비율이 2003년과 비교하여 2023년에는 3.1 %p 늘어났다. 기상관측자료와 재분석자료를 활용하여 도시화의 영향을 분석하기 위해 충청지역(충북, 충남, 대전, 세종)의 기상관측소 82곳의 기상관측자료와 ERA5 재분석자료를 활용하였다. 기상관측자료의 2023년과 2003년의 일평균기온 차이는 2.74°C(SD=0.84°C), 주간평균기온 차이는 3.18°C(SD=1.11°C), 야간평균기온 차이는 2.30°C(SD=1.09°C)로 나타났고 ERA5 재분석자료의 일평균 기온 차이는 2.20°C, 주간평균기온 차이는 3.64°C, 야간평균기온 차이는 2.17°C로 나타났다. 기상관측자료와 ERA5 재분석자료의 차이를 이용해 추정된 2003년부터 2023년까지의 21년동안 청주시의 도시화 효과는 야간평균기온에서 2.95°C(SD=1.58°C), 주간평균기온에서 2.52°C(SD=1.30°C), 일평균기온에서 0.40°C(SD=2.19°C)로 추정되었다.

WRF-UCM 수치모의를 활용하여 토지피복변화의 영향을 분석하기 위해 2003년과 2023년의 환경부 중분류 토지피복지도 자료와 LDAPS, FNL자료를 활용해 WRF-UCM 수치 모의를 실시하였다. 2023년 토지피복지도 활용 수치모의 결과와 2003년 토지피복지도 활용 수치모의 결과를 이용해 추정된 2003년부터 2023년까지의 토지피복변화의 영향은 야간평균기온에서 0.15°C(SD=0.70°C), 주간평균기온에서 0.14°C(SD=0.57°C), 일평균기온에서 0.12°C(SD=0.41°C)로 추정되었다. 기상관측자료와 ERA5 재분석자료의 차이로부터 추정된 도시화의 영향과 비교하여 토지피복변화의 영향은 상대적으로 약하게 추정되었다. 이와 같은 결과는 자료의 차이에 의할 수 있으며 WRF-UCM 수치 모의의 초기 및 경계조건 입력자료에서는 2023년 사례기간의 기상자료를 사용했으므로 2003년의 기상조건이 반영되지 않았기 때문으로 생각된다.

## 라디오존데 관측 자료를 활용한 대류경계층 구조 정량화: Haar 웨이블릿 변환 이용

최초롱\*<sup>1</sup>, 강성락<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립강릉원주대학교 대기환경과학과(chorong293@gmail.com)

### 요약

본 연구는 대류경계층(CBL) 구조 분석을 위해 Haar 이산 웨이블릿 변환(DWT)과 온위( $\theta$ )-수증기 혼합비( $r$ ) 공분산 관계를 활용하는 방법을 제시하였다. 웨이블릿 변환은 다중규모 분석 방법으로 시그널을 다양한 규모로 분리하고, 분리된 시그널(segment)의 평균을 구함으로써 각 규모의 변동성을 표현한다. 본 연구는 CBL에서  $\theta$ 와  $r$ 이 급변하는 지점을 찾기 위해 Haar 웨이블릿을 선택하였다. 이를 연직  $\theta$ 와  $r$  프로파일에 활용하여 Haar DWT를 통해 각 변수의 근사 계수와 여러 단계의 상세 계수들을 계산하였다. 그리고  $\theta$ 와  $r$  프로파일로부터 각 단계의 평균이 제거된 편차로부터  $\theta$ - $r$  공분산을 구하였다. 여러 규모 중 지표층 및 혼합층 상단 고도가 segment에 포함되지 않는 가장 작은 규모, 즉 segment 길이가 약  $1.5m$  규모의 변동성이 제거된 편차 프로파일을 활용하였다. CBL에서  $\theta$ - $r$  공분산 구조는 지표층에서 음의 값, 혼합층에서 0, 그리고 유입대에서 양의 값을 가진다. 선정된 맑은 날 32개 사례에서 CBL 내 공분산 구조를 바탕으로 지표층 및 혼합층 상단 고도를 추정하였고, 추정된 고도와  $\theta$  및  $r$  프로파일을 비교함으로써 Haar DWT와  $\theta$ - $r$  공분산 방법을 제안하였다.

주요어: 대류경계층, Haar 이산 웨이블릿 변환, 온위-수증기 혼합비 공분산

### 감사의 글

이 연구는 기상청의 한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술개발(RS-2024-00404042)과 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단(2021R1A6A1A03044326)의 지원으로 수행되었습니다.

## AI 기반 LSTM 모델을 활용한 전지구 이산화탄소 배경 농도 예측 및 시각화

문윤섭\*<sup>1,2</sup>, 김병수<sup>2</sup>, 서은정<sup>1</sup>, 이연진<sup>1</sup>, 이현수<sup>1</sup>, 정다은<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국교원대 환경교육과(ysmoon@knue.ac.kr),

<sup>2</sup>충청북도탄소중립지원센터

본 연구는 인공지능(AI)을 활용하여 전지구적 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배경 농도의 변화를 예측하고 시각화하는 방법론을 제시한다. CO<sub>2</sub> 농도는 기후 변화의 주요 지표로, 미래 농도 예측을 통해 탄소 중립 전략 및 기후 완화 대책을 수립하는 데 필수적인 정보를 제공한다. 본 연구는 특히 심층 학습 기반 시계열 예측 모델인 장기 단기 기억(LSTM, Long Short-Term Memory) 네트워크를 적용하여 2050년까지의 CO<sub>2</sub> 농도 변화를 예측하였다.

먼저, 전 세계 이산화탄소 측정 지점에서 수집된 과거의 일별(또는 월별) 농도 데이터를 정제 및 정규화하고, 이를 바탕으로 CO<sub>2</sub> 농도와 관련된 다양한 기후 요인을 통합한 특징을 생성하였다. LSTM 모델을 훈련시키기 위해 시계열 데이터를 입력 및 출력 시퀀스로 분할하여 사용하였으며, 훈련된 모델은 시간에 따른 CO<sub>2</sub> 농도의 장기적 추세를 성공적으로 학습하였다. 모델 평가를 통해 예측 성능을 확인한 후, 2050년까지의 이산화탄소 배경 농도를 예측하였다.

예측 결과는 공간적으로 시각화되었으며, 예측된 CO<sub>2</sub> 농도 데이터를 기반으로 MP4 형식의 동영상 파일 및 일별(월별) 변화에 대한 그림 파일을 생성하였다. 그림 파일의 RGB 값을 추출함으로써 시각적 분석을 통해 CO<sub>2</sub> 농도의 변화 패턴을 더욱 명확하게 확인할 수 있었다. 또한, 추후 다양한 시나리오(탄소 배출 저감 또는 유지 등)에 따른 농도 변화를 비교 분석하여, 기후 정책이 이산화탄소 농도에 미치는 영향을 평가할 예정이다.

본 연구는 AI 기반 시계열 예측 모델을 기후 변화 연구에 적용할 수 있는 새로운 접근을 제시하며, 2050년까지의 이산화탄소 배경 농도 예측을 통해 기후 정책 수립을 위한 과학적 근거를 제공할 수 있다. 이를 통해 다양한 미래 시나리오에 따른 CO<sub>2</sub> 농도 변화를 정량적, 시각적으로 분석할 수 있으며, 기후 변화 대응 방안 모색에 중요한 기여를 할 수 있을 것이다.

## 중규모 역학 모델과 CFD 모델을 이용한 도시 기류 수치 모의 특성 분석 연구

김지선\*<sup>1</sup>, 이순환<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 지구과학과(jssk@puasn.ac.kr)

<sup>2</sup>부산대학교 지구과학교육과

### 요약

기상청의 '2024년 여름철(6~8월) 기후 분석 결과'에 따르면 2024년 여름은 여름철 전국 평균 폭염일수 역대 3위, 열대야일수가 역대 1위로 전국적으로 기록적인 더위가 나타났다. 여름철 도시 지역은 주변 지역보다 기온이 높게 나타나는 도시열섬(Urban Heat Island, HUI) 현상이 발생하기 쉽고, 인공열과 야간 복사냉각 차이에 의해 열대야 발생에도 취약한 지역이라고 할 수 있다. 또한 도시 개발의 영향으로 밀집한 건물은 도심 기온 상승과 대기 정체에 원인이 될 수 있다.

본 연구는 도시의 지형과 건물을 고려한 고해상도 수치 모델링을 통해 도시 내부의 기상 요소와 열환경 변화를 파악하기 위해 설계되었으며 중규모 기상 모델인 WRF(Weather Research & Forecasting)와 CFD 모델인 PALM(PARallelized Large-eddy simulation Model) 모델을 이용해 수행하였다. 중규모 모델과 CFD 모델을 offline nesting으로 구성해 부산과 주변 지역에 대한 중규모 모델 기상 모의 결과를 CFD 모델의 경계 조건으로 입력되도록 하였고, 건물 정보와 토지피복 등 실제 도시 환경 정보를 CFD 모델의 입력 자료로 사용하여 연안 도시인 부산 도심에서의 주야간 바람 변화를 시공간적으로 파악하였다.

주요어 : CFD, PALM, 도시, 바람길

### 감사의 글

이 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03044834). 또한 이 연구는 2022년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1A2C1093229).

## 푸리에 변환을 통한 다중 규모에서의 스펙트럼 분석

변규리<sup>\*1</sup>, 강성락<sup>1</sup>

<sup>1</sup>강릉원주대학교 대기환경과학과(amncoronarial@gmail.com)

### 요약

푸리에 분석은 대기의 흐름을 무한한 사인(sin)과 코사인(cos)항의 합으로 표현한다. 하지만 실제로 유한한 기간의 데이터를 사용하므로, 유한한 개수의 사인 및 코사인 항들의 합들로 대기현상을 설명할 수 밖에 없다. 대기 현상은 종관규모, 중규모 등의 여러 규모로 나뉘며, 각 규모들은 더 세부적으로 나뉘어 질 수 있다. 이들은 고유한 진폭과 파장을 가지며, 우리가 관측하는 데이터는 이러한 다양한 규모의 진폭과 파장이 중첩된 결과이다. 실제 관측 데이터를 사용하기 앞서, 이상적인 데이터를 사용하여 서로 다른 규모의 파장을 만들어 중첩한 후, 에너지가 어떻게 변하는지 분석하고자 한다.

푸리에 변환을 통한 스펙트럼 분석은 분석 목적에 따라 다양한 변형이 가능하다. 예를 들어, 구한 에너지에 진폭을 곱하거나, x축 또는 y축을 로그축으로 변환하는 방법 등이 있다. 각각의 방법에 따라 장단점이 존재한다. 그에 따라 여러 가지 규모가 합쳐진 경우에는 에너지가 어떻게 변하는지에 대해 확인한다.

주요어 : 푸리에 변환, 규모, 진폭과 파장, 스펙트럼 분석

### 감사의 글

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2021R1A6A1A03044326)

## 에어로졸 직접 효과를 고려한 고농도 초미세먼지 발생 메커니즘 분석

유정우\*<sup>1</sup>, 이순환<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 환경연구원(jungwoo27@pusan.ac.kr),

<sup>2</sup>부산대학교 지구과학교육과

### 요약

국내 대기오염은 오염물질의 직접 배출과 기상 요인, 주변 지역에서의 장거리 수송에 영향을 받는다. 특히 국내 겨울철 고농도 초미세먼지 발생은 풍상측 지역에서 위치한 국외에서 배출되는 오염물질이 국내로 장거리 수송되는 영향을 크게 받는다. 대기 중의 에어로졸은 태양 복사를 산란 및 흡수하는데, 이를 에어로졸 직접 효과라 한다. 에어로졸의 직접 효과에 의해 지표 태양 복사와 기온, 풍속, 대기경계층 고도 등이 감소한다. 에어로졸에 의한 기상의 변화로 지표 대기는 더욱 안정되며 오염물질이 지표에 축적되며 대기질이 악화될 수 있다 (Yoo et al., 2019). Zhong et al. (2019)의 연구에서 겨울철 에어로졸의 직접 효과로 인해 초미세먼지 농도가 최대 70% 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 선행연구들은 에어로졸의 직접 효과에 의한 대기질의 단순 변화만을 살펴보았다. 그러나 국내 초미세먼지를 유발하는 주요 원인인 장거리 수송과 대기정체에 따른 고농도 발생 메커니즘이 다를 수 있기 때문에 이를 정량적으로 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 WRF-CMAQ 결합 모델을 이용하여 에어로졸의 직접 효과에 의한 대기질 변화에 대해 물리적/화학적 프로세스의 기여도를 국내 고농도 초미세먼지를 발생시키는 주요 원인인 장거리 수송과 대기 정체로 인한 축적으로 분류하여 차이를 상세히 분석하고자 한다.

주요어 : 에어로졸 직접 효과, 초미세먼지, 장거리 수송, 대기 정체, CMAQ

### 감사의 글

이 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03044834). 또한 이 연구는 2022년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1A2C1093229).

### 참고문헌

Yoo JW, Jeon W, Park SY, Park C, Jung J, Lee SH, Lee HW (2019) Investigating the regional difference of aerosol feedback effects over South Korea using the WRF-CMAQ two-way coupled modeling system. Atmos Environ 218:116968. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116968>

Zhong J, Zhang X, Wang Y, Wang J, Shen X, Zhang H, Wang T, Xie Z, Liu C, Zhang H, Zhao T, Sun J, Fan S, Gao Z, Li Y, Wang L (2019) The two-way feedback mechanism between unfavorable meteorological conditions and cumulative aerosol pollution in various haze regions of China. Atmos Chem Phys 19:3287 - 3306. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3287-2019>

# WRF Preprocessing System Geogrid의 보간 옵션에 따른 지형 정보 차이 분석

조준호\*<sup>1</sup>, 강성락<sup>1</sup>

<sup>1</sup>강릉원주대학교 (chojun427@gwnu.ac.kr)

## 요약

예측 모델링의 정확도를 높이기 위해서는 지형 데이터의 보간 방법 선택이 중요하다. 특히, 고해상도의 초기 자료를 사용하는 경우, 지형 보간 방식에 따라 모델링 결과가 크게 달라질 수 있다. 본 연구는 WRF Preprocessing System (WPS)의 geogrid.exe를 활용하여 다양한 보간 옵션(interp\_option)을 동일 도메인에 적용했을 때 발생하는 지형 데이터 차이를 분석하고, 도심 항공 모빌리티(UAM) 기상 관측 및 예측 기술 개발에 최적화된 지형 보간 방식을 도출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 울산 울주군 지역을 대상으로 두 개의 도메인(d01: 300m 해상도, 150x150 그리드 및 d02: 100m 해상도, 150x150 그리드)을 설정하고, 다양한 보간 옵션을 적용한 후 각 도메인의 지형 높이 차이를 비교하였다. 이후 WRF 모델링을 통해 지형 높이 차이가 예측 결과에 미치는 영향을 평가하였다.

본 연구는 지형 데이터 보간 방법 선택의 중요성을 강조하며, 향후 WRF 모델링 시 최적의 지형 보간 옵션을 선택하는 데 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : WRF, WPS, GEOGRID, interpolation, UAM

## 감사의 글

이 연구는 기상청 한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술개발 RS-2024-00404042의 지원으로 수행되었습니다.

## 레이더 합성자료를 활용한 강수 강도와 면적의 관계 분석

최유빈\*<sup>1</sup>, 강성락<sup>1</sup>

<sup>1</sup>강릉원주대학교 대기환경과학과(sya0228@gwnu.ac.kr)

### 요약

최근 기후 변화로 인해 집중호우와 같은 극한 강우 사상의 빈도가 증가함에 따라 피해가 커지면서, 보다 정밀한 분석의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구는 기상청의 5분 간격 레이더 합성자료(해상도: 500m)를 활용하여 강수 강도와 면적 간의 관계를 분석하고자 한다. 우선, 각 강수 강도의 면적을 계산하여 비교하고, 강수 강도와 면적 간의 관계를 분석하고자 한다. 그다음으로, 강수 종류를 구름의 종류에 따라 크게 적운형 구름과 층운형 구름으로 나누고 강수 종류에 따른 강도와 면적의 관계를 분석하고자 한다. 본 연구는 각 강수 강도별로 면적의 차이를 정량적으로 계산할 수 있고, 이를 통해 극한 강수의 공간적 특성에 대하여 보다 심층적인 이해를 도모하고자 한다.

주요어 : 집중호우, 강수 강도, 강수 면적, 레이더 합성자료

### 감사의 글

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2021R1A6A1A03044326)

## 충북형 온실가스 감축인지 예산제도 시범도입 연구

오지승\*<sup>1</sup>, 문윤섭<sup>1</sup>, 정옥진<sup>1</sup>, 김성운<sup>1</sup>, 민하서영<sup>1</sup>, 김병수<sup>1</sup>

<sup>1</sup>소속 충청북도탄소중립지원센터(drjiseunbg@knue.ac.kr),

대한민국 정부는 2020년 7월 한국판 그린뉴딜 정책을 발표하였고, 같은 해 12월 「2050 탄소중립 추진전략」을 발표하고 250 탄소중립 실현을 위한 탈탄소 경제사회 전환 대책의 마련을 요구하였다. 대규모 재정이 투입되는 그린뉴딜의 성공적인 추진과 탄소중립 사회 실현을 위해서 온실가스 감축 목표와 정책의 일관성 그리고 예산 지출의 정합성을 유지하는 것이 무엇보다 중요하다고 여러 전문가들은 말하고 있으며, 이미 서울시, 경기도 등을 비롯한 일부 지자체에서는 시범 도입을 추진·운영하고 있다.

온실가스 감축인지 예산제도는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」, 「국가재정법」 및 「국가회계법」 등에 그 법적근거를 두고 있으며, 예산·기금이 투입되는 각종 정책 및 모든 정부 사업의 추진 시 예산이 온실가스 배출에 미칠 영향을 사전에 분석·평가하고 그 결과를 예산 편성과 집행에 반영하도록 하는 제도로 정책, 계획, 사업이 온실가스 배출에 미치는 영향을 평가하는 '기후변화영향평가', 탄소배출 허용 총량을 의미하는 탄소예산(carbon budget)과는 구분되는 개념이며, 탄소인지예산, 기후예산, 녹색예산 등 지방자치단체별로 여러 용어를 혼용하여 사용하였으나, 2023년1월 국가 온실가스 감축인지 예산제도 시행에 따라 '온실가스 감축인지 예산'으로 용어가 통일할 필요가 있다.

충청북도의 예산사업은 본예산을 기준으로 분석하였으며 사업 결과에 따라 온실가스 감축·배출 사업으로 구분하고, 감축사업은 사업의 목적성에 따라 직접감축과 간접감축으로 구분하였다, 또한 온실가스감축사업은 국가 탄소중립 정책과 연계한 10개의 감축사업 유형에 따라 유형별 분류하였으며, 사업의 진행 방향에 따라 온실가스의 변화에 영향을 줄 가능성이 있는 사업은 잠재적 영향사업으로 분류하고 온실가스와 무관하거나, 데이터가 부족하며 영향 여부를 판단하기 어려운 사업은 중립 사업으로 구분하여 2022년 기준 충청북도의 예산사업의 대부분(약 88%)은 중립 사업으로 분석되었다.

현재 충청북도는 2023년부터 제도 도입을 위한 시범사업을 운영 중이며, 본예산 기준 감축사업에 대한 예산서를 작성하였다. 충북형 온실가스 감축인지 예산서의 특징은 사업을 세부사업이 아닌 내역사업을 기준으로 세분류를 하여 예산서를 작성하여 예산이 과평가되지 않도록 하고 있다는 것이다.

## 하천 퇴적물 교란이 상층수 내 중금속 농도 변화에 미치는 영향

이재희<sup>1</sup>, 윤상규<sup>2</sup>, 홍승호<sup>1,3</sup>, 안진성<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 ERICA 건설환경시스템공학과

<sup>2</sup>한양대학교 ERICA 스마트시티공학과

<sup>3</sup>한양대학교 ERICA 건설환경공학과(jsan86@hanyang.ac.kr)

### 요약

하천 퇴적물은 강우 및 태풍과 같은 자연적 요인에 의해 표층 퇴적물이 교란(disturbance) 및 재부유(resuspension) 될 수 있다. 이 과정에서 중금속 등의 오염물질이 상층수로 용출되어 수생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 퇴적물 교란으로 인해 상층수의 중금속 농도에 영향을 미치는지 확인하기 위해 기계식 교반기 기반 장치를 이용하여 중금속의 용출량을 측정했다. 안동(호소) 및 봉화(하천) 지역에서 퇴적물과 상층수를 채취한 후, 퇴적물을 중금속(Cr, Cu, Zn, As, Ni, Cd 및 Pb)으로 인공오염 시켰으며, 지름 20 cm의 아크릴 용기에 각 지역의 퇴적물과 상층수를 각각 10 cm 높이로 첨가했다. 또한, 자연 기원의 교란 현상을 재현하기 위해 퇴적물 표면으로부터 2 cm 깊이의 퇴적물이 교란 가능한 교반속도인 120 rpm을 설정했으며, 24시간 동안의 재부유 실험을 수행했다. 그 결과, 퇴적물 교란에 의해 안동 및 봉화 지역의 상층수 및 퇴적물 공극수 내 용존산소 농도는 모두 증가하는 경향을 나타냈다. 또한, 상층수의 중금속 농도를 대조군(교반 조건을 부여하지 않음)과 실험군으로 비교한 결과, 안동 지역에서 Cu, Zn, Ni 및 Cd의 대조군 용출량은 각각 0.488 mg/L, 20.264 mg/L, 1.627 mg/L 및 0.005 mg/L이며, 실험군에서는 1.163 mg/L, 35.856 mg/L, 3.035 mg/L 및 0.025 mg/L로 증가했다. 봉화 지역의 경우, 대조군에서 Cu, Zn, Ni 및 Cd의 용출량은 각각 1.645 mg/L, 131.774 mg/L, 9.864 mg/L 및 0.277 mg/L이며, 실험군에서는 17.049 mg/L, 701.562 mg/L, 52.033 mg/L 및 1.635 mg/L로 증가했다. Cr의 경우, 안동 지역에서는 용출량 변화가 관찰되지 않았으나, 봉화 지역에서는 대조군에서 14.444 mg/L, 실험군에서 82.883 mg/L로 증가했으며, As 및 Pb의 용출량 변화는 두 지역 모두 관찰되지 않았다. 이와 같이 퇴적물 교란으로 인한 상층수 내 중금속 농도 증가는 두 지역의 상층수 및 퇴적물 공극수 내 용존산소 농도 증가에 의한 퇴적물 내 중금속 함유 광물의 산화성 용해(oxidative dissolution) 영향으로 추정된다.

주요어 : 퇴적물 교란, 재부유, 용존 산소, 산화성 용해, 기계식 교반

### 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미래변화 대응 수자원 안전성 확보 기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2024-00397820).

# 무인항공기를 이용한 대기오염물질 측정에서의 센서 반응시간에 관한 연구

## Study on sensor response time for air pollutant measurement using unmanned aerial vehicles (UAVs)

이영수<sup>\*1</sup>, 김호림<sup>2</sup>, 김근택<sup>2</sup>, 김재영<sup>2</sup>, 정상재<sup>3</sup>

<sup>1</sup>순천향대학교 에너지환경공학과(ys.lee@sch.ac.kr)

<sup>2</sup>서울대학교 건설환경공학부

<sup>3</sup>한밭대학교 건설환경공학과

### ABSTRACT

최근 무인항공기를 활용한 대기오염물질 모니터링 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 무인항공기에 탑재되는 센서의 반응시간은 실시간 데이터의 정확성과 신뢰성에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 체계적인 분석이 필요하다. 본 연구에서는 무인항공기를 이용한 대기오염물질 측정 시 센서의 반응시간 특성을 분석하였다. 다양한 대기오염물질 센서를 선정하여 제조사에서 제공하는 반응시간과 실제 비행 조건에서 나타난 반응시간을 비교 분석하였다. 실험 결과, 센서의 종류와 외부 환경 조건에 따라 반응시간에 유의한 차이가 나타났으며, 측정 대상 대기오염물질별로 반응시간이 다르게 나타났다. 반응시간은 이산화탄소 센서를 기준으로 했을 때, 미세먼지, 휘발성 유기화합물, 일산화탄소, 오존, 이산화질소, 황화수소 순으로 반응 시간이 길어지는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 무인항공기 기반 대기오염물질 모니터링 시스템의 효율성을 높이기 위한 센서 선택 및 운용 전략을 제안할 수 있다. 본 연구는 무인항공기를 활용한 대기오염물질 측정의 정확도 향상에 기여할 것으로 기대된다.

Keyword : 무인항공기, 대기오염물질 모니터링, 이산화탄소, 농도 측정

### 감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1A2C101289914)

## 남극의 빙붕 붕괴 현상이 인근 빙하에 미친 영향

김병훈\*<sup>1</sup>, 최창현<sup>2</sup>, 이춘기<sup>1</sup>, 서기원<sup>3</sup>, 나지성<sup>1</sup>, 윤숙영<sup>1</sup>, 이원상<sup>1</sup>

<sup>1</sup>극지연구소 빙하지권연구본부(bhkim@kopri.re.kr)

<sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학연구원

<sup>3</sup>서울대학교 지구과학교육과

### 요약

남극 아문젠해 (Amundsen Sea) 인근에 위치한 빙하들은 지난 수 십 년간 심층수의 수온 상승과 이에 따른 빙붕 붕괴, 그리고 빙하 말단부의 지지력 감소로 인해 빠르게 질량을 잃고 있다. 특히 파인아일랜드 빙하 (Pinelands Glacier)는 이 지역에서 가장 빠른 속도로 질량이 감소하고 있으며, 이는 연간 약 500억톤으로 남극 전체의 질량 감소의 약 42%에 이른다. 지난 2018년부터 2020년까지 이 빙하 하단에 위치한 파인아일랜드 빙붕 (Pinelands Ice Shelf)에서는 약 26km 길이의 거대한 빙붕 조각들이 떨어져나갔다. 이로 인한 지지력 손실은 빙붕 중간 지역의 속도를 약 12%를 증가시켜, 추가적인 빙하량 손실을 초래했다고 선행 연구에서 보고한 바 있다. 이와 더불어, 본 연구에서는 파인아일랜드 빙붕의 서쪽에 위치한 작은 소규모 빙하지류에서도 급격한 역학적 변화가 있었음을 추가로 발견하였다. 이러한 변화는 소규모 빙하의 입장에서 떨어져나간 빙붕의 크기가 매우 컸기 때문으로 추정된다. 빙붕 붕괴 이후, 빙하 속도의 급격한 증가와 부피 손실은 빙하 내륙으로 약 30km 떨어진 곳에서도 관찰되었으며, 특히 빙하 부피 감소율은 2020년 주요 빙붕 붕괴 이후 2배 더 빨라진 것으로 확인되었다. 추가로 수행한 인공위성 영상 관측을 통해, 이 급격한 변화의 원인에 빙하 지류 간 상호작용과 빙붕의 물성이 약해진 부분이 중요한 역할을 했음을 발견했다. 이는 향후 빙하량 변화 예측에 있어 빙하 지류간의 복잡한 상호작용과 빙붕의 비균질한 물성을 고려한 정교한 모의 과정이 반드시 수반되어야 한다는 점을 시사한다.

주요어 : 남극, 파인아일랜드 빙하, 원격탐사, 해수면 상승

## 북평분지의 형성: 구조적 전단 응력의 흔적

김우현\*<sup>1</sup>, 최한진<sup>1</sup>, 김광희<sup>1</sup>, 김병민<sup>2</sup>, 이준영<sup>2</sup>, 한만호<sup>3</sup>

<sup>1</sup>부산대학교([1030banana@pusan.ac.kr](mailto:1030banana@pusan.ac.kr))

<sup>2</sup>울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

<sup>3</sup>한국원자력환경공단 지구환경도시건설공학과

북평 분지는 강원도 동해시에 위치한 퇴적 분지로, 마이오세 후반에 형성되었다. 2023년 5월 동해시 동쪽 해안에서 발생한 규모 4.5의 지진은 지역 주민들에게 불안감을 주었으며 더 큰 피해를 일으킬 수 있는 지진을 암시하였다. 우리는 분지의 지하 구조와 주변의 구조적 환경을 이해하기 위해 다양한 지표 물리탐사를 실시하였는데, 2차원 전기비저항 탐사, HVSr, 다중 채널 표면파 분석(MASW)을 비교하여 두 데이터 세트 간의 일관성을 조사하고, 분지 내 미고결 퇴적물의 두께 변화를 추정하였다. 결과는 각각의 데이터 세트에서 유사한 깊이 변화를 나타냈고, 분지 남동부 경계에서 저비저항 이상이 확인되며 MASW 결과도 유사한 깊이와 구조에서 저속도 영역을 보여준다. 두 방식의 물리탐사 결과를 통하여 자료의 신빙성을 확인하였고, 이상대의 경향을 따라 우리는 북서-남동 방향의 단층선을 표시하였다. 남동쪽 지역에서 얇은 퇴적층이 관찰되어 앞서 표시한 역단층 구조를 시사했고 HVSr 결과도 이를 뒷받침하였으며, 단층선의 북동쪽 연장지점에서는 더 두꺼운 퇴적물이 분포하였다. 이는 남쪽 지역의 상반에서 북쪽보다 더 높은 응력 환경을 시사하며, 구조적 블록의 회전을 초래했을 가능성이 있다. 역단층의 형성과 분지 진화는 압축력과 퇴적 작용에 의해 발생했을 것으로 보이며, 이는 피기백 분지의 가능성을 시사한다. 그러나 한정된 데이터로 인해 추가적인 지구물리학적 조사가 필요한 상황이다. 본 연구는 북평 분지의 지하 구조에 대한 이해를 높이고, 이 지역에서 발생할 수 있는 지진과 관련 재해의 메커니즘에 대한 중요한 통찰을 제공한다.

주요어 : 북평 분지, 전기비저항 탐사, HVSr, MASW, 역단층

## 자동 절대측정 자료를 활용한 지구자기 관측소의 최적 기저선 산출 분석 연구

박소현<sup>1\*</sup>, 오석훈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 에너지·인프라융합학과(발표자 077psh@kangwon.ac.kr),

<sup>2</sup>강원대학교 에너지자원·산업공학부(교신저자 gimul@kangwon.ac.kr)

### 요약

청양 지구자기장 관측소에서는 프로톤 자력계를 이용해 총자기장 자료를 관측하고, 플럭스게이트 자력계를 통해 각 성분별 자기장 변화를 상시적으로 관측한다. 또한, 매주 1일 관측소를 방문하여 관측자는 절대측정기를 사용하여 매주 편각과 복각을 관측한다. 각 장비에서 수집된 관측 자료의 품질은 변화량 및 기저선으로 계산한 총자기장 자료와 프로톤에서 측정된 총자기장의 차이를 통해서 평가되며, 이 차이를 G라고 한다. G는 0에 근접하며, 1 nT 이내의 범위에서 안정적인 값을 보여야 한다. 안정적인 G를 도출하기 위해서 프로톤 및 플럭스게이트 자력계에서 발생하는 스파이크 현상 및 인공적인 영향을 제거하고 최적의 기저선을 산출해야 한다. 본 연구에서는 최적의 기저선을 산출을 위해 자동 절대측정으로 수집한 편각 및 복각 자료를 활용하고자 한다. 2022년부터 청양 관측소에서 시범 운영 중인 자동 절대측정 장비는 매일 24회의 편각 및 복각을 관측하며, 일변화 및 자기폭풍에 의한 자료의 변동성을 보였다. 또한, 기존 수동 절대측정 시간대는 일변화 변동성이 큰 시간대에 기저선을 산출한 것을 확인했다. 이를 바탕으로 자동 절대측정의 편각 및 복각 자료를 활용하여 일변화가 안정적인 시간대, 변동성이 큰 시간대, 그리고 전체 시간대에 대한 기저선을 각각 산출하고, G를 도출하여 가장 안정적인 G의 분포를 나타내는 조건을 분석하고자 한다.

주요어 : 지구자기장 관측, 자동 절대측정, 편각 및 복각, 기저선, 총자기장

# 남극 장보고 기지 초전도 중력계를 이용한 장기 미세 중력 모니터링

이춘기\*<sup>1</sup>, 김병훈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>극지연구소([cklee92@kopri.re.kr](mailto:cklee92@kopri.re.kr))

## 요약

현존하는 상용 중력계 중 가장 정밀한 중력계인 초전도 중력계는 매우 미세한 중력 변화를 장기적으로 관측하는데 적합하다. 남극 장보고 기지에 설치한 초전도 중력계를 통해 지난 7.5년간 중력 변화를 모니터링하였으며, 2회에 걸친 절대 중력 측정을 통하여 교정을 수행하였다. 인접한 눈에 의한 중력 변화를 제외하고 약 5 $\mu$ Gal 정도의 장기적인 중력 변화가 관측되었으며, 조석 분석을 통해 남극 지역의 조석 모델(tidal loading model)이 매우 부정확함을 확인하였다. 인프라 중력파(infra gravity wave) 대역에 매우 특징적인 반응이 관찰되며, 2022년 관측된 지진 해일에 의한 중력 신호가 특히 이 대역에서 강하게 나타나는 것으로 보아, 남극 주변의 대기-해양-지각의 상호작용에 의해 인프라 중력파 대역에서 강한 신호가 관측되는 것으로 보인다.

주요어 : 초전도 중력계, 남극 장보고 기지, 조석 모델, 인프라 중력파

## 1. 서론

최근 기후 변화에 따라 가속화되고 있는 남극 빙상의 질량 변화에 따른 자체적인 중력 변화 혹은 그에 따른 지각 변형으로 인한 중력 변화 등을 규명하기 위하여 장기적인 중력 변화 모니터링 연구가 진행되고 있다. 남극에서의 장기적인 중력변화를 모니터링하기 위하여 2016년 초에 남극 장보고 기지에 초전도 중력계를 설치하였으며, 2023년 8월까지 약 7.5년간의 연속 자료를 획득하였다. 조석 분석 및 보정, 스펙트럼 분석 등을 통하여 관측기간 동안의 미세 중력변화를 산출하였으며, 지진해일에 의한 중력 신호 등 인프라 중력파 대역의 신호를 분석하였다.

## 2. 본론

2회에 걸친 절대 중력 측정을 통해 초전도 중력계 자료를 중력 단위로 변환하였으며, 대기효과, 조석 효과, 극 운동 효과 등을 제거하여 장기 미세 중력 변화를 산출하였다. 중력 변화에 나타나는 매우 큰 연변화는 주변에 적설된 눈의 중력 효과로 보이며 눈의 효과가 미미한 여름철의 중력 변화로부터 수년에 걸쳐 5 $\mu$ Gal 정도의 중력변화가 발생하고 있음을 확인하였다. 인프라 중력파(infra gravity wave) 주파수 대역 중 약 4분 주기의 대역에 강한 신호가 관측되는데, 이는 일본 남극 쇼와기지에서 운영되고 있는 초전도 중력계 자료에서도 공통적으로 나타나는 특징적인 현상이다. 이는 지구의 자유진동에 의한 신호와 구별되는 것이며, 지진해일에 의한 신호 역시 이 대역에서 증폭되는 것으로 보아 대기-해양-지각의 상호작용에 의한 것으로 생각된다.

## 3. 결론

초전도 중력계를 이용한 남극 장보고 기지에서 중력 자료를 획득하였으며, 장기적인 미세 중력의 변화를 관측하였다. 장기적인 중력변화는 주변 빙상의 변화에 기인하는 것으로 보이며, 4분 주기의 인프라 중력파 대역에서 대기-해양-지각의 상호작용에 의한 특징적인 강한 신호가 관찰되나, 향후 그 원인에 대한 추가적인 연구가 수행되어야한다. 7.5년간 장기적으로 획득된 초전도 중력계 자료는 최근 국토지리원과 국가수리과학연구소에서 진행 중인 국내 초전도 중력 모니터링 사업에서 산출될 자료와의 비교 연구를 통해 미세 중력 분야 연구에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

## 다변량 지구통계학과 환경 공간정보를 이용한 멧돼지 서식밀도 추정

정승규<sup>1</sup>, 김유진<sup>2</sup>, 황인재<sup>2</sup>, 박소연<sup>2</sup>, 박노욱<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>국립생물자원관 기후·환경생물연구과

<sup>2</sup>인하대학교 공간정보공학과(nwpark@inha.ac.kr)

멧돼지(*Sus scrofa*)는 서식지 적응에 유연하며 번식 속도가 빠른 국내 대표적인 대형 포유동물로, 아프리카돼지열병의 전파 매개 생물이다. 최근 도심과 농경지의 멧돼지 출몰 증가는 서식환경 변화, 인위적 서식지 교란 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 멧돼지 개체군 관리를 위한 전국 단위의 멧돼지 서식지 유형과 구조 파악을 위해서는 서식밀도 등 기초 정보가 필요하다. 국립생물자원관에서는 조사 격자를 대상으로 흔적조사를 통해 서식밀도를 추정하고 있는데, 전수조사의 어려움으로 인해 미조사 격자의 값 추정에 불확실성이 포함된다.

이 논문에서는 현장조사 기반 멧돼지 서식밀도 추정의 한계를 극복하기 위해 멧돼지 서식환경과 관련된 환경 공간정보를 현장조사 자료와 통합하는 다변량 지구통계학 기반 멧돼지 서식밀도 추정 방법론을 제안하였다. 이 연구의 목적은 현장조사를 통해 얻은 일부 저해상도 격자에서의 밀도를 멧돼지 서식과 관련 있는 고해상도 환경 공간정보를 이용하여 고해상도로 변환하고, 미조사 격자에서의 밀도를 예측하는데 있다. 방법론으로는 환경 공간정보를 부가자료로 이용하기 위해 저해상도 공간자료의 고해상도 변환에 적합한 area-to-point kriging을 확장한 area-to-point regression kriging(ATPRK)을 적용하였다. ATPRK은 1단계에서 저해상도에서의 회귀분석을 통해 얻어진 서식밀도와 환경 공간정보의 정량적 관계성을 고해상도 환경 공간정보에 적용하여 고해상도 경향성분을 추정한다. 2단계에서는 1단계의 회귀분석에서 얻어진 저해상도 잔차성분의 고해상도 변환을 통해 고해상도 잔차성분을 추정하며, 2단계의 고해상도 잔차성분을 1단계에서 얻어진 고해상도 경향성분과 합해 최종적으로 고해상도에서의 밀도 분포도를 제작하게 된다. 제안 방법론의 적용성 평가를 위해, 강원도 정선과 평창 일대에서 수집된 멧돼지 흔적조사 자료를 기반으로 사례연구를 수행하였다. 우선 멧돼지 서식과 관련된 환경 공간정보로는 지형(고도, 경사 등), 먹이자원(수종, 식생지수 등) 및 기타(도로와 수계로부터의 거리)로 구분하여 30m 공간해상도의 자료로 구축하였다. 이후 흔적조사 자료를 기반으로 계산된 밀도를 대상으로 ATPRK를 적용하였다. 사례연구 결과, 멧돼지 밀도는 고도, 식생지수, 경사 순으로 관련성이 높은 것으로 나타났다. 연구지역에서 전역적으로 이용이 가능한 환경 공간정보를 이용함으로써 미조사 격자에서의 밀도 추정이 가능함을 확인할 수 있었다. 향후 제안 방법론의 타지역으로의 확장 적용과 정량적 검증 결과 비교 연구를 수행할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 국립생물자원관의 '원격탐사를 이용한 멧돼지 서식밀도 지도 구축' 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 고해상도 해저지형자료와 자기이상도를 이용한 서필리핀분지의 진화 연구

신현욱\*<sup>1</sup>, 최한진<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 지질환경과학과(gusdnr12@pusan.ac.kr)

### ABSTRACT

서필리핀분지는 필리핀판의 절반을 차지하고 있는 거대 해양분지로 현재 류큐섬입대와 필리핀 섬입대 아래로 섭입하고 있다. 이 분지의 대부분이 공해상에 위치해 있어 많은 연구가 이루어지지 않았다. 우리는 이 분지의 진화 과정을 규명하기 위해 다중빔음향측심 자료를 이용하여 고해상도 해저지형 자료와 지금까지 획득된 선상 삼성분 자력이상 자료를 포함한 자력이상도를 제작하여 분석을 수행하였다. 해저지형자료와 중력이상자료를 이용하여 해령전파(ridge propagation) 과정에서 형성된 비변환불연속 구조와 심해언덕 주향의 변화를 관찰하였고, 이러한 지형 분석 결과를 토대로 고해상도 자력이상도를 분석하여 서필리핀분지의 시대별 진화특성과 분지 확장 과정의 시공간적 변화를 재구성하였다. 이를 통해 분지 내에서 관찰되는 비변환불연속 구조의 형성 시기와 필리핀해판의 급격한 확장 방향 변화 및 드리프트 사이의 연관성을 제시하고자 한다. 본 연구는 고해상도 해저지형 자료와 자력이상도 분석의 통합적 접근을 통해 서필리핀분지의 복잡한 확장 역사를 새롭게 조명하여 서필리핀분지뿐만 아니라 주변 유라시아판과 필리핀해판내 다른 해양분지의 진화 과정에 대한 이해를 심화시키는 데 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

## 드론 자력탐사 자료처리 알고리즘 개발

정경서\*<sup>1</sup>, 최한진<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 지질환경과학과(rudtj8282@pusan.ac.kr)

자력탐사는 지질구조 조사, 지각의 물리적 특성 파악, 판구조 운동의 이해와 같은 다양한 지구조 연구에 중요한 역할을 한다. 최근 무인체를 이용한 탐사법이 발달함에 따라 드론을 기반으로 한 지구물리탐사 적용이 늘어나고 있는 추세이다. 특히 드론을 이용한 자력탐사는 짧은 시간동안 넓은 지역에서 방대한 데이터를 획득할 수 있고, 식생이 밀집되어 있거나 탐사가 어려운 지형조건에서도 저고도 탐사가 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서 측정에 활용한 플럭스게이트 자력계는 상대적으로 분해능이 낮은 반면, 자기장의 벡터 삼성분을 측정할 수 있다는 큰 장점이 있다. 하지만, 드론의 본체와의 거리가 가까워 드론의 유도자화, 잔류자화, 그리고 드론운용으로부터 발생하는 전자기장 잡음이 동시에 기록되기 때문에 까다로운 보정 절차가 필요하다. 이에 본 연구에서는 기존의 벡터 삼성분 자력이상 보정법을 벤치마킹하고 각 보정법의 차이를 비교분석하였다. 또한, 드론의 자세자료와 자력계 간의 서로 다른 시간 지연으로 인한 문제점, 필터링 최적화 방법 등 효율적인 자료처리 알고리즘을 고안하였다. 우리는 해당 보정법이 삼성분자력계를 활용한 드론기반의 자력탐사를 효과적으로 이용 가능하게 할 뿐만 아니라 단층의 위치 및 지질구조 연구, 자원 개발 등 탐사의 정확성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

# Land Subsidence Trend Analysis and Relationship with Groundwater Condition in Bangkok: An Integrative Approach Using Multisensor Time Series InSAR

## 방콕의 토지 침하 추세 분석 및 지하수 조건과의 관계: 다중 센서 시계열을 이용한 통합적 접근법 InSAR Series InSAR

무하마드 풀키 파딜라<sup>1</sup>, 김봉찬<sup>1</sup>, 이슬기<sup>1</sup>, 이창욱\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>강원대학교, (fulkifadhillah@kangwon.ac.kr),

<sup>1\*</sup>강원대학교, (cwlee@kangwon.ac.kr)

### ABSTRACT

Land subsidence in Bangkok has been a serious concern for the past few decades, mainly related to excessive groundwater extraction. This study aims to analyze the subsidence trend from 1980 to 2010, focusing on the relationship between groundwater level and land subsidence. Historical data shows that the subsidence rate was very high in 1980, but showed a significant decline in 1990 and continued to decline until 2010. This decline is in line with the change in groundwater extraction behavior, from uncontrolled to more regulated. In this study, we used data from various satellites with different acquisition times to conduct time series analysis using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) technology. The utilization of radar-based satellite has increase recent years due to improvement of data acquired from SAR satellite. We use the ALOS-1 L-band and Sentinel-1 SAR satellite around Bangkok to analyze the surface deformation based on time series InSAR technique. This analysis was combined with groundwater level trends obtained from field measurements. The results obtained showed a strong correlation between groundwater level decline and land subsidence in Bangkok. These findings are important for stakeholders and policy makers when formulating sustainable groundwater management strategies in Bangkok. This study also provides new insights into the importance of integrating satellite data and field observations to understand and address geotechnical environmental problems in urban areas.

**Keyword** : land subsidence, Bangkok, groundwater extraction, InSAR, groundwater level trend.

## 요약

방콕의 토지 침하는 지난 수십 년 동안 주로 과도한 지하수 추출과 관련된 심각한 우려 사항이었습니다. 이 연구는 1980년부터 2010년까지의 침하 추세를 지하수 수위와 토지 침하 사이의 관계에 초점을 맞춰 분석하는 것을 목표로 합니다. 과거 데이터에 따르면 1980년에는 침하율이 매우 높았지만 1990년에는 크게 감소하여 2010년까지 계속 감소했습니다. 이러한 감소는 통제되지 않는 지하수 추출 행동에서 규제를 강화하는 행동의 변화와 일치합니다. 본 연구에서는 획득 시간이 다른 다양한 위성의 데이터를 사용하여 간섭계 합성 조리개 레이더(InSAR) 기술을 사용하여 시계열 분석을 수행했습니다. 레이더 기반 위성의 활용도는 SAR 위성에서 획득한 데이터의 개선으로 인해 최근 몇 년 동안 증가하고 있습니다. 시계열 InSAR 기법을 기반으로 표면 변형을 분석하기 위해 방콕 주변의 ALOS-1 L-밴드 및 Sentinel-1 SAR 위성을 사용합니다. 이 분석은 현장 측정에서 얻은 지하수 수위 추세와 결합되었습니다. 얻은 결과는 방콕의 지하수 수위 감소와 토지 침하 사이에 강한 상관관계가 있음을 보여주었습니다. 이러한 결과는 방콕에서 지속 가능한 지하수 관리 전략을 수립할 때 이해관계자와 정책 입안자에게 중요합니다. 이 연구는 또한 도시 지역의 지반 환경 문제를 이해하고 해결하기 위해 위성 데이터와 현장 관측을 통합하는 것의 중요성에 대한 새로운 인사이트를 제공합니다.

주요어 : 토지 침하, 방콕, 지하수 추출, InSAR, 지하수 수위 추세.

## 감사의 글

"본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 "'위성정보빅데이터활용자원체계개발사업 (RS-2022-00165154)'" 지원을 받아 수행하였습니다.

# Land Subsidence Time-Series InSAR Analysis using SBAS algorithm in Bandung, Indonesia

## SBAS를 이용한 인도네시아 반둥 지역의 지반 침하 시계열 InSAR 분석

아리프 리즈키안토 아흐마드<sup>1\*</sup>, 이창욱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 과학교육학부 (e-mail : ariefrizqiyanto@kangwon.ac.kr)

<sup>2</sup>강원대학교 과학교육학부 (e-mail : cwlee@kangwon.ac.kr)

### ABSTRACT

In 2018, the Indonesian government presented Presidential Regulation on the Urban Area Spatial Plan of Greater Bandung, where it targeted rural area in southern area of Bandung for development. These urban expansion could lead to an increase in urban hazards, such as land subsidence that could poses a significant threats to the environment and local communities, making it essential to study and mitigate its effects. This study aims to investigate the land subsidence phenomena in Bandung, Indonesia using distributed scatterer-based MintPy algorithm. The time-series deformation generated by shows that the deformation occurred in southern part of Bandung exceed 10 cm/year where developed areas are recently built.

Keyword : Land subsidence, Time-series InSAR, Bandung, Indonesia, synthetic aperture radar

### 요약

2018년 인도네시아 정부는 반둥 대도시권의 도시 지역 공간 계획에 관한 대통령령을 발표하였으며, 반둥 남부의 농촌 지역을 개발 대상으로 지정하였다. 이러한 도시 확장은 지반 침하와 같은 도시 재해의 증가로 이어질 수 있으며, 이는 환경과 지역 사회에 중대한 위협을 가할 수 있어 그 영향을 연구하고 예방하는 것이 필수적이다. 본 연구는 분산 산란체 기반 MintPy 알고리즘을 활용하여 인도네시아 반둥에서 발생하는 지반 침하 현상을 분석하는 것을 목적으로 한다. 생성된 시계열 변형 데이터에 따르면, 반둥 남부의 개발된 지역에서 연간 10cm를 초과하는 변형이 발생한 것으로 확인되었다.

주요어: 지반 침하, 시계열 InSAR, 반둥, 인도네시아, 합성개구레이더

### 1. Introduction

The urban development is one of the main factors of land subsidence occurrence as it increases the pressure on the environment, such as the compaction of sediment under its own weight from above-ground construction. These effects exist in a lot of developing countries such as Indonesia, where a lot of cities suffer from land subsidence, such as Jakarta, Semarang, Medan, and Bandung (Chaussard, E., et al, 2013). This development makes Bandung susceptible to land subsidence from the extensive conversion of agricultural land into non-agricultural land and will also lead to increase in the use of

groundwater for new residential and industrial area. In this study, we applied the distributed scatterer-based of MintPy algorithm (Yunjun, Z., et al, 2019) measurement in Bandung area using Sentinel-1 data from 2018 to 2024 to generate time-series InSAR for detecting surface deformation due to land subsidence in study area.

## 2. Results

Overall, vertical deformation has occurred in the study area located in the southern part of Bandung city as seen in Fig. 1a, deformation occurred due to the land reclamation from agricultural areas to residential areas due to city development in the southern part of Bandung.

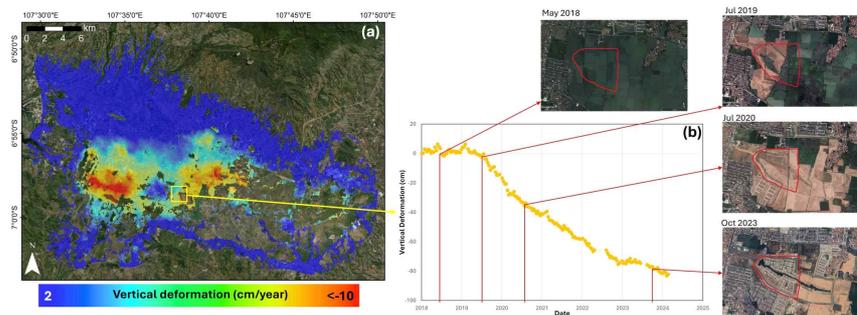


Fig. 1. (a) MintPy SBAS mean vertical deformation rate map and (b) time-series deformation of selected point

Further analysis from selected InSAR point shows in Fig. 1b suggest that the deformation occurred in this area from city development. It shows deformation in P1 area that there are stability during 2018 until mid-2019 followed with deformation until 2024, with mean deformation of about 14.76 cm/year suggesting deformation occurred due to new residential development in the area.

## 3. Conclusion

The urbanization in Bandung city during 2018–2024 indicates that land subsidence occurred due to compaction owing to loads from building and construction from urban development as one of the driving factors.

## Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (Ministry of Science and ICT) (RS-2022-00165154, "Development of Application Support System for Satellite Information Big Data").

## References

- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., and Hong, S.H.. 2013, Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction, *Remote Sensing of Environment*, 128, 150–161.
- Yunjun, Z., Fattahi, H., and Amelung, F., 2019, Small baseline InSAR time series analysis: Unwrapping error correction and noise reduction, *Computers & Geosciences*, 133, 104331.

## Land Subsidence Analysis based on Multi-Temporal InSAR and Susceptibility Mapping in Jakarta, Indonesia

### 자카르타, 인도네시아의 다중 시계열 InSAR 및 감수성 매핑을 기반으로 한 지반 침하 분석

Wahyu Luqmanul Hakim<sup>1</sup>, Bongchan Kim<sup>1</sup>, Seulki Lee<sup>1</sup>, Chang-Wook Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 과학교육학과(발표자 wahyulhakim@gmail.com),

<sup>2</sup>강원대학교 과학교육학부

#### ABSTRACT

Global sea level rise due to climate change is a critical problem for coastal cities. Especially the coastal cities that suffered from land subsidence. Land subsidence was known to be a critical issue in the Coastal Cities around Indonesia. Jakarta has long been known as an area that has a serious threat of land subsidence, this has resulted in areas bordering the sea being submerged by sea water. Monitoring land subsidence in Jakarta becomes essential to prevent the coastal inundation which leads the city to be submerged by seawater. In this study, land subsidence in Jakarta was monitored using time-series analysis based on improved combined scatterers interferometry with optimized point scatterers (ICOPS) on the Sentinel-1 SAR (Synthetic Aperture Radar) data. The ICOPS algorithm exploited time-series interferometry SAR (InSAR) based on the combination of persistent scatterer (PS) and distributed scatterer (DS) points were optimized using the CNN algorithm to find the optimal measurement points that were not affected by outliers from noisy data and spatially clustered using optimized hot spot analysis (OHSA) to identify the measurement points with a high confidence level statistically. The results of time-series deformation in both areas were compared with the global positioning system (GPS) station measurements and the result shows a good correlation in deformation patterns between time-series InSAR and GPS measurements. Our study revealed that the land subsidence in both cities occurred mostly in settlement areas under the young alluvium soil that is compacted due to the loss of pore pressure that is affected by the excessive groundwater extraction in the settlement areas. The ICOPS time-series InSAR method in this study can be applied to monitor land subsidence in any other area. Further analysis was also conducted to predict future land subsidence in Jakarta using susceptibility mapping. The result from the time-series InSAR will be used as the inventory map and 10 conditioning factors that contribute to land subsidence will be used for analysis. Finally, the land subsidence susceptibility map will be predicted using deep learning algorithms based on convolutional neural networks (CNN) and long short-term memory (LSTM). The result from the area under the curve shows that the LSTM (0.965) has a little bit higher accuracy compared to the CNN (0.951) algorithm. Thus, the land subsidence susceptibility map based on LSTM algorithm can be used by the city officials to proactively prevent the future

spread of land subsidence occurrence in Jakarta.

Keyword : InSAR, CNN, LSTM, Susceptibility Mapping, Jakarta

## 요약

기후 변화로 인한 전 지구적 해수면 상승은 해안 도시들에게 심각한 문제입니다. 특히, 지반 침하를 겪고 있는 해안 도시들은 더욱 큰 피해를 입고 있습니다. 인도네시아 해안 도시들, 특히 자카르타는 오랫동안 심각한 지반 침하 문제를 겪어왔으며, 이는 해안 지역이 바닷물에 잠기는 결과를 초래했습니다. 자카르타에서 지반 침하를 모니터링하는 것은 도시가 해수에 침수되는 것을 방지하기 위해 필수적입니다. 본 연구에서는 자카르타의 지반 침하를 Sentinel-1 SAR(합성 개구 레이더) 데이터를 이용한 개선된 결합 산란체 간섭 기법(ICOPS)에 기반한 시계열 분석을 통해 모니터링했습니다. ICOPS 알고리즘은 지속적인 산란체(PS)와 분포된 산란체(DS) 포인트의 조합을 기반으로 시계열 간섭 SAR(InSAR)을 활용하며, CNN 알고리즘을 이용해 노이즈 데이터로부터 영향을 받지 않는 최적의 측정 포인트를 찾아내고, 공간적으로 최적화된 핫스팟 분석(OHSA)을 통해 통계적으로 높은 신뢰도를 가진 측정 포인트들을 식별했습니다. 두 지역의 시계열 변형 결과는 GPS 측정소와 비교되었으며, 시계열 InSAR과 GPS 측정 결과 간에 좋은 상관관계가 있음을 보여주었습니다. 연구 결과, 두 도시의 지반 침하는 주로 젊은 층적층의 정착 지역에서 발생했으며, 이는 정착 지역에서의 과도한 지하수 추출로 인해 공극 압력이 감소해 토양이 압축된 결과로 나타났습니다. 본 연구에서 사용된 ICOPS 시계열 InSAR 방법은 다른 지역에서도 지반 침하 모니터링에 적용될 수 있습니다. 또한, 자카르타에서의 미래 지반 침하를 예측하기 위한 감수성 매핑 분석도 수행되었습니다. 시계열 InSAR 결과는 인벤토리 맵으로 사용되며, 지반 침하에 기여하는 10가지 조건 요인들이 분석에 사용되었습니다. 마지막으로, CNN과 장단기 메모리(LSTM) 기반의 딥러닝 알고리즘을 통해 지반 침하 감수성 맵이 예측되었습니다. 곡선하의 면적(AUC) 결과에 따르면, LSTM(0.965)이 CNN(0.951) 알고리즘보다 약간 더 높은 정확도를 보였습니다. 따라서, LSTM 알고리즘에 기반한 지반 침하 감수성 맵은 자카르타에서 지반 침하 발생을 사전에 방지하기 위해 도시 당국이 사용할 수 있습니다.

주요어 : InSAR, CNN, LSTM, 감수성 매핑, 자카르타

## 감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (Ministry of Science and ICT) (RS-2022-00165154, "Development of Application Support System for Satellite Information Big Data").

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과제명 (주제)	기상풍선 활용 고도별 뮤온 관측을 통한 시간 지연 효과 검증
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	박하람, 안선우, 이의준
지도교사	이호
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input type="checkbox"/> 해양과학, <input checked="" type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)
<p>요약 (탐구의 목적, 방법, 결과, 성과 등; 500자 내외)</p> <p>뮤온 관측은 그 관측 결과가 고전역학적 관점에서의 예측값과 상이한 결과를 나타내기에 상대성 이론에서의 시간 지연 효과를 직관적으로 검증할 수 있는 방법 중 하나이다. 그러나 뮤온의 실제 속력을 에너지를 바탕으로 구하는 기존의 방식은 정밀한 장비와 높은 비용적 진입장벽이 존재하였다. 따라서 본 연구에서는 뮤온의 실제 속도 측정을 위해 고고도 관측을 활용하는 방법을 기상 풍선에 결합하였다. 고고도 대기의 뮤온 검출량을 비롯한 여러 물리량을 기상 풍선을 통해 저비용, 고효율로 측정하고 이를 분석하고자 하였다. 이를 위해 뮤온 및 오존, 압력, 고도 등 센서 시스템을 구성, 탑재체를 제작하고, 이를 기상풍선에 연결하여 부양시킴으로써 직접적인 데이터 관측을 수행하였다. 탑재체는 성층권에 도달, 뮤온을 비롯한 센서 데이터를 기록하였으며 회수에 성공하여 데이터를 확인하였다.</p> <p>이를 바탕으로 뮤온의 분포를 계산하고자 운동 모델 및 뮤온 해석 모델을 설계하였으며, 뮤온의 속력, 대기의 광학적 깊이를 구하여 상대론 검증 및 초단파장 우주 관측의 기준을 제안하는 가능성을 보였다.</p>	

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	Production of a Simple GPS System Using the Altitude of the Sun
소속학교	경기과학고등학교 (한국), National Junior College (싱가포르)
학생성명	장민서, 이영운, Bernice Teow, Chloe Chee
지도교사	이 호
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input type="checkbox"/> 해양과학, <input checked="" type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)
<p>Previously, the Eratosthenes experiment has been done through measuring the sun’s altitude at two different places on the same day and time and the distance between the two locations in order to find the circumference of the Earth. However, these experiments would just stop there and not advance to create or develop something more.</p> <p>The Global Positioning System (GPS) has become essential in modern society. It helps citizens to locate their position on earth and navigate to places. GPSs operate based on satellite signals, hence they cannot be used in situations where satellite signals cannot be received or in poor environments. Therefore, we plan to develop a simple GPS system with reference to the methods of the Eratosthenes experiment (Gyeonggi Science High School for the Gifted (2023). This GPS will not require satellite communication and hence help people in environments with no or poor satellite signals to help them navigate their way and find their locations.</p> <p>The experiment has been conducted before in Bundang Jungang High School and Pohang Jecheol Middle School, South Korea by a group of Astrology students and teachers. It was conducted over a duration of 3 hours (1100-1400 KST). However, they only conducted the Eratosthenes’ Experiment to collect the shadow lengths and thus the latitude and longitude. Our experiment on the other hand aims to program a GPS after finding the latitude and longitude using Python so we will be conducting the same experiment but adding on to the methodology.</p>	

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과제명 (주제)	Diametric Magnet Pair Trap을 활용한 간이 지진계 및 경사계 설계
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	김재우, 오승민, 최정민
지도교사	이호
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input type="checkbox"/> 해양과학, <input checked="" type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)

요약 (탐구의 목적, 방법, 결과, 성과 등; 500자 내외)

직경 방향으로 자성이 정렬된 원기둥형 자석을 Diametric Magnet(DM)이라 하며, 두 DM을 직경 방향으로 나란히 정렬시킨 계를 Diametric Magnet Pair(DMP)라 한다. 본 연구에서는 지반의 미세한 진동과 경사의 변화가 복합적으로 나타나는 상황을 분석하기 위해, DMP Trap 위에 놓인 작은 원기둥형 반자성체가 자기력과 중력에 의해 안정 평형을 이루는 물리 현상을 이용하여 간이 지진계 및 경사계를 제작하였다.

탐구에서 사용된 DM의 축 방향 거리에 따른 자기장과, DMP Trap 위에 놓인 반자성체의 평형 높이를 측정해 DM의 자화 밀도와 자화율을 구했다. 이후 수치해석을 진행해 DMP Trap의 고유 진동수를 결정하였다. 진동 가진기로 1.4Hz ~ 4.0Hz 범위의 진동수와 일정한 진폭을 가진 사각파를 DMP Trap에 가할 때, 이미지 프로세싱을 통해 Trap의 진동 주기와 진폭을 얻어 이론적인 결과와 일치함을 보였다. 나아가 DMP Trap에 가한 경사에 따른 반자성체의 평형 위치 변화를 수치해석으로 유도하였다. 이를 통해 진동과 경사를 가했을 때 DMP Trap 위에 놓인 반자성체의 운동을 수치적으로 나타냈다.

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	2차원 조파수조에서 불규칙파 생성 가능한 조파기 개발
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	김태균, 김호현, 이승현
지도교사	박기현
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input checked="" type="checkbox"/> 해양과학, <input type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)
<p>요약 (탐구의 목적, 방법, 결과, 성과 등; 500자 내외)</p> <p>1. 탐구의 목적 현재 본교의 2차원 미니 조파 수조는 규칙파만을 생성 가능하다. 현재 존재하는 조파기 구동 소프트웨어에 불규칙파 생성 소프트웨어를 추가하기 위해 이러한 불규칙파 생성 소프트웨어에 대해 연구할 필요가 있다.</p> <p>2. 방법</p> <p>2.1. 모터 기존 시스템에서 사용하던 스텝모터를 DC 서보모터로 대체한다.</p> <p>2.2 제어 장치 DC 서보모터와 호환되는 제어 프로그램을 개발하여, 불규칙한 파동을 생성할 수 있도록 한다. 이 프로그램은 파동의 주기와 파고를 세밀하게 조절할 수 있는 기능을 포함하며, 연구자가 쉽게 조작할 수 있도록 직관적인 사용자 인터페이스를 제공한다.</p> <p>3.결과 본 연구를 통해 불규칙한 파동을 생성할 수 있는 조파 수조 시스템을 성공적으로 구현할 수 있을 것으로 기대된다.</p> <p>4. 성과 불규칙 파동 생성 시스템의 성공적인 구현과 기존 인터페이스의 개편을 통해, 해양 공학 실험의 범위가 크게 확대될 것으로 기대된다.</p>	

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과제명 (주제)	소형 망원경을 이용한 도심에서 항성의 분광 관측 및 분석
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	김현주, 박현준, 조현성
지도교사	박기현
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input checked="" type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input type="checkbox"/> 해양과학, <input type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)
<p>본 연구는 경기과학고등학교에서 보유한 천문학 관측 장비를 활용하여 분광 관측을 통해 수집한 데이터를 전처리하고 분석하여 스펙트럼을 포함한 다양한 정보를 획득하는 것을 주요 목표로 한다. 분광 관측은 Shelyak Alpy600 분광기와 ASI 183 MM Pro 카메라 등을 사용하여 이루어지며, 관측 결과는 FITS 파일 형식으로 저장된다. 이후 파이썬 코드를 이용해 전처리 및 이미지 분석을 진행하여 항성 스펙트럼을 분석한다. 전처리 과정에서는 Bias, Dark, Flat 이미지를 이용한 보정 작업이 포함되며, 이를 통해 오차를 보정한 이미지를 도출할 수 있다. 이 연구를 통해 우주에서 관측되는 별들의 분광형을 파악하여 그들의 화학적 구성 성분과 물리적 특성을 분석할 수 있으며, 다양한 별들의 스펙트럼을 비교하고 검증할 수 있다. 이 연구의 목적은 별의 특성을 이해하고 이후 천문학 연구에 필요한 기초 자료를 제공하는 것이다.</p>	

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과제명 (주제)	태양광 패널 상단의 렌즈 배열 부착을 이용한 발전량 증대 효과에 대한 연구
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	손찬혁, 허준서
지도교사	전영준
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input type="checkbox"/> 해양과학, <input checked="" type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)

#### 요약 (탐구의 목적, 방법, 결과, 성과 등; 500자 내외)

현재의 태양광 패널은 표면에 광전자를 운반하는 전선들인 bus bar들과 finger들이 있어 이들에 의한 면적 손실이 6%, 전력 손실이 10%에 달하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 우리는 패널 상단에 렌즈 배열을 이용하여 finger들이나 bus bar들로 들어가는 광선을 굴절시켜 패널의 다른 부분에 입사시키는 방법을 생각해 내었다. 광량의 손실을 최대한 줄이기 위한 렌즈의 곡률을 찾아내는 식을 만들어 이를 sympy, mathematica 등의 수치해석 프로그램들을 통해 식을 풀어보는 연구를 하였다. 식이 매우 복잡하여 일반적인 방법으로는 해가 구해지지 않았고, 컴퓨터가 처리하기 힘든 함수들을 테일러 급수나 파데 급수를 사용하여 단순화하는 등 여러 방법들을 시도해 보았지만, 아직 풀어지지 않는 상황이다. 또한, 실제 태양광 패널에 렌즈를 부착하는 실험을 준비하여 레진으로 렌즈를 실제 제작해 보았으며, 아두이노 기판을 설계하여 태양광 패널에서 생산되는 전압, 전류, 전력량을 측정해보았다.

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과제명 (주제)	적도의식 가대 극축 자동 정렬 시스템 제작
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	이효녕, 전민준, 한성운
지도교사	전영준
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input checked="" type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input type="checkbox"/> 해양과학, <input type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)
<p>천체 관측의 정확도에 큰 영향을 미치는 극축 정렬을 기존에는 사용자가 수작업으로 해야 했다. 매번 관측 시마다 직접 조정이 필요하며, 수작업이 발생시키는 인적 오류를 해결할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 적도의식 가대의 극축 정렬 과정을 자동화하기 위한 시스템을 개발하였다. 극축 정렬을 위해 필요한 극축 오차 데이터를 수집하기 위해, 3 point alignment method를 적용한 N.I.N.A. 프로그램을 이용했다. 3 point alignment method는 망원경의 위치에서 찍은 임의의 하늘 사진 3장을 성도와 비교하여 극축 오차 데이터를 받아낸다. 계산된 오차 데이터는 pyserial 모듈을 통해 아두이노로 전달되어 스텝 모터를 구동하는데 사용된다. 스텝 모터는 망원경의 방위각, 고도를 각각 조절하도록 2개가 배치되었고, 스텝모터와 망원경에 부착된 각각의 톱니 2개가 서로 맞물리며 일정한 기어비를 가지고 회전하도록 설정하였다. 이를 통해 극축 오차를 지속적으로 입력 받아 일정한 오차 범위 이내로 오차가 줄어들 때까지 극축 오차를 자동으로 정렬해주는 프로그램을 만들었다.</p>	

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과제명 (주제)	도심에서 600mm 소형 망원경을 이용한 외계 행성 트랜짓 분석
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	신재현, 조운성, 박주찬
지도교사	박기현
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input checked="" type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input type="checkbox"/> 해양과학, <input type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)

#### 요약 (탐구의 목적, 방법, 결과, 성과 등; 500자 내외)

본 연구는 도심에 위치한 경기과학고등학교의 600mm 소형망원경을 활용하여 Transit 현상을 이용해 외계행성을 찾아내고자 한다. 이 연구는 도심 속에서 트랜짓 관측을 최초로 시도할 수 있는 기반을 마련하는 데 의의가 있다. 게다가 단순한 이론적인 접근을 넘어 실제로 방대한 양의 데이터를 수집, 분석함으로써 과학적 발견의 가능성을 높일 수 있다.

연구에 사용하는 망원경은 RiLA600과 GSON300이고, CCD는 각각 STX-16803, STF-8300M이다. 관측을 하기에 앞서 적절한 관측 대상을 찾는 것이 중요하다. 고도가 너무 낮거나 밝기등급이 너무 클 경우 트랜짓 현상의 관측이 어려울 수 있다. 이에 이미 관측 데이터가 존재하는 외계행성 후보군 중 망원경의 성능과 관측가능 시간을 고려하여 관측 대상을 적절하게 선정하였다.

앞서 선정된 대상들에 대하여 측광관측을 수행하고, 전처리를 하기 위해 필요한 dark, bias, flat 이미지도 촬영한다. 이 과정에서 날씨의 영향을 고려하여 관측했지만 데이터를 얻을 수 없는 이미지들을 폐기한다. 파이썬 코드를 이용하여 최초 관측 데이터에 dark, bias, flat 전처리를 수행하여 전처리된 이미지를 얻는다.

모든 전처리가 완료된 이미지들에 대하여 외계행성의 모항성이 존재하는 픽셀 값들을 구해 광도곡선을 그려내고, 이를 통해 외계행성 트랜짓 현상을 관측하는 것을 목표로 한다. 또한 이를 통해 외계행성의 공전주기, 반지름까지 추가적으로 얻고자 한다.

### 탐구 논문(포스터) 요약서

과제명 (주제)	ENSO 시계열 데이터 분석 모델의 성능 비교 및 ONI 예측
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	권현민, 김도윤, 박하람, 이서진, 이준영
지도교사	김현종
분야 (택1)	<input type="checkbox"/> 대기과학(기상), <input type="checkbox"/> 우주과학(천문), <input type="checkbox"/> 지질과학, <input type="checkbox"/> 해양과학, <input checked="" type="checkbox"/> 지구과학 관련 융합(STEAM)
<p>엘니뇨 남방 진동 현상은 남반구의 워커 순환에서 발생하는 이상현상이다. 이 근방의 국가는 주로 농수산업을 종사하여 이런 날씨의 영향을 크게 받고, 현재는 한국에 미치는 영향마저도 분석되고 있다. 최근 들어 이러한 남방진동의 진폭이 강해지면서 기후 변화의 결과라고도 주장되어지고 있다. 이러한 엘니뇨 남방진동을 예상하기 위해서 ENSO 시계열 데이터와 표층 수온 및 수온 이상을 활용하여 딥러닝 방식으로 이를 계산하고 예측하였다.</p> <p>본 연구는 ENSO 시계열 데이터를 분석하여 ONI(남방진동지수)를 예측하는 모델들의 성능을 비교하였다. MLP, CNN, RNN, LSTM, CNN-LSTM, GRU, TCN 등의 7가지 딥러닝 모델을 사용하였고, 각 모델의 training loss와 validation loss를 비교하여 수렴성과 과적합 여부를 평가했다. 모델 간의 loss 값 비교 시, 대체로 우수한 성능을 보였으나 CNN이나 TCN model의 경우에는 epoch 진행 과정에서 불안정해지거나 오히려 증가하는 등의 모습을 보인 반면에 GRU model은 가장 우수한 성능을 보였다. ONI 예측에서는 LSTM과 GRU model이 다른 모델들에 비해 전 구간에서 안정적인 예측값을 제시하였다. 따라서, 본 연구에서는 LSTM과 GRU model이 가장 뛰어난 성능을 보였다고 판단하였으며, 해당 모델의 결과값을 기반으로 ONI 값의 증가량이 점차 감소할 것이라는 결론에 도달할 수 있었다.</p>	