

2025년 한국지구과학회 춘계학술발표회 일정표

지구시스템과학과 행성우주과학의 새시대

● 4월 11일 (금요일)

시간			세부 일정			
09:00	-	09:30	등록 및 포스터 부착			
09:30	-	10:50	학술발표 OS1 (해양) 국립해양박물관 대강당	학술발표 ES1 (교육) KIOST 대강당	학술발표 AT1 (대기) 국립해양박물관 대회의실	학술발표 GH1 (지구유산) / GL1 (지질) 국립해양박물관 국제회의실
10:50	-	11:00	휴식			
11:00	-	12:20	학술발표 OS2 (해양) 국립해양박물관 대강당	학술발표 ES2 (교육) KIOST 대강당	학술발표 GP1 (지구물리) 국립해양박물관 대회의실	학술발표 AS1 (천문) 국립해양박물관 국제회의실
12:20	-	13:20	점심 식사 (한국해양과학기술원 식당) 평의원회 회의 (13:10 - 13:30) (박물관 대강당)			
13:20	-	13:30	개회식 개회사 ▶ 박경애 한국지구과학회 회장 환영사 ▶ 이희승 한국해양과학기술원 원장			
13:30	-	14:00	초청 강연 국립해양박물관 대강당	해양플라스틱 오염: 현황과 전망 ▶ 심원준박사, 전 한국해양과학기술원 책임연구원, 경상국립대학교 초빙교원		
14:00	-	14:30		대기-해양-지면-해빙 결합 지구시스템 예측모형의 개발과 활용 ▶ 안중배교수, 부산대학교		
14:30	-	15:00		우주과학 발전에 따른 우주위험 대응체계 현황과 전망 ▶ 최만수박사, 우주항공청 우주위험대응과		
15:00	-	15:10	단체촬영 및 휴식			
15:10	-	16:10	학술발표 OS3 (해양) 국립해양박물관 대강당	학술발표 ES3 (교육) KIOST 대강당	학술발표 GL2 (지질) 국립해양박물관 대회의실	학술발표 AT2 (대기) 국립해양박물관 국제회의실
16:10	-	16:20	휴식			
16:20	-	17:20	학술발표 OS4 (해양) 국립해양박물관 대강당	학술발표 ES4 (교육) KIOST 대강당	학술발표 GL3 (지질) 국립해양박물관 대회의실	
17:20	-	17:50	포스터 발표 / 고등학생 탐구 논문 발표 (한국해양과학기술원 전시실)			
17:50	-	18:00	고등학생 탐구 논문 시상식 (국립해양박물관 대강당)			
18:10	-	20:30	한국지구과학회 간담회			

● 4월 12일 (토요일) 2025년 한국지구과학회 춘계학술대회 한국지구과학올림피아드 홍보 워크숍

시간			세부 일정
09:00	-	09:10	등록
09:10	-	09:20	개회사 ▶ 박영신 한국지구과학올림피아드 위원장 축사 ▶ 박경애 한국지구과학회 회장
09:20	-	09:30	한국지구과학올림피아드 사업 소개 박영신 위원장
워크숍 (A-D) 소개: 한국해양과학기술원(KIOST)과 함께하는 “바다를 보다” 한국해양과학기술원 김용선 박사 / 한국지구과학회 회장 박경애 교수			
프로그램 A (바다 알아가기)			
09:30	-	10:00	- 흐름을 통해 깊게 보는 바다 : 해류 김용선 박사 (KIOST 해양순환기후연구부)
10:00	-	10:30	- 바다와 기후 함께 보기 : 권민호 박사 (KIOST 해양기후예측센터)
10:30	-	11:00	- 바다를 보는 방법 : 해양물리관측 김은진 박사 (해양순환기후연구부)
프로그램 B (데이터 리터러시)			
11:00	-	11:30	- 태풍 경로 추적 탐구활동 및 소프트웨어 활용 김병길 이사 (문소프트)
11:30	-	11:40	이동
프로그램 C (KIOST 장비 견학)			
11:40	-	12:20	- 해양물리관측 장비 견학 프로그램 오경희 박사 (KIOST 해양기후예측센터)
특별 프로그램 D (박물관 전시해설)			
12:20	-	13:20	국립해양박물관 도슨트 전시 해설 투어 프로그램
프로그램 E (야외 지질답사)			
13:30	-	14:00	답사장 태종대 이동
14:30	-	16:30	부산지질공원: 태종대 지질명소 (부산대 임현수교수)
16:30	-	17:00	지질답사 마무리
17:00	-	18:00	저녁식사
- 별도 휴식시간, 점심시간 없이 진행함 (프로그램 A-D) - 점심 간식 및 샌드위치 제공 예정			

- ▶ 발표장 1 : 국립해양박물관 1층 대강당
- ▶ 발표장 2 : 한국해양과학기술원 1층 대강당
- ▶ 발표장 3 : 국립해양박물관 대회의실
- ▶ 발표장 4 : 국립해양박물관 국제회의실
- ▶ 포스터 : 한국해양과학기술원 1층 전시실
- ▶ 점심식사 : 한국해양과학기술원 구내 식당 (대강당 옆)
- ▶ 저녁식사 : 목장원 5층 오비스타 컨벤션홀

[12일 장소]

- ▶ 국립해양박물관 대강당, 한국해양과학기술원 장비동, 국립해양박물관 전시실, 태종대 부산지질공원

초 청 강 연

- ————— 4월 11일(금) 13:30-14:00
 - ————— 국립해양박물관 대강당: 좌장 임형래 (부산대학교)
- 1) 13:30-14:00 해양플라스틱 오염: 현황과 전망 i
심원준 박사 (전 한국해양과학기술원 책임연구원, 경상국립대학교 초빙교원)
 - 2) 14:00-14:30 대기-해양-지면-해빙 결합 지구시스템 예측모형의 개발과 활용 xvii
안중배 교수 (부산대학교)
 - 3) 14:30-15:00 우주과학 발전에 따른 우주위험 대응체계 현황과 전망..... xxxiii
최만수 박사 (우주항공청 우주위험대응과)

학술발표 OS1 (해양)

- ————— 4월 11일(금) 09:50-10:50
 - ————— 국립해양박물관 대강당: 좌장 김경옥 (한국해양과학기술원)
- 1) 9:50-10:10 확산실험을 이용한 북태평양 아열대 모드수의 남중국해 유입 분석 1
이승태^{*1}, 조양기², 김경옥¹, 서성봉¹ (¹한국해양과학기술원, ²서울대학교 지구환경과학부)
 - 2) 10:10-10:30 후쿠시마 유래 ¹³⁷Cs의 북태평양 확산 양상: 연직 유속 및 연직 확산계수 적용의 차이 2
김경옥^{*1}, 김해진¹ (¹한국해양과학기술원)
 - 3) 10:30-10:50 동해 남서부 해역의 수층 변동 특성을 고려한 최적의 선박 관측 CTD 자료 처리 기법 연구: 열지연 효과 보정(CellTM) 중심으로 3
이경재^{*1}, 서성봉² (¹인천대학교 해양학과, ²한국해양과학기술원 해양순환·기후연구부)

학술발표 OS2 (해양)

- ————— 4월 11일(금) 11:00-12:20
 - ————— 국립해양박물관 대강당: 좌장 강현우 (한국해양과학기술원)
- 1) 11:00-11:20 남극 해빙의 변동성에 대한 수치 모델 연구: 대기 및 해양 강제력 기여도 평가 4
김대혁^{1*}, 김태균², 추성호², 문재홍^{1,2}, 진경³ (¹제주대학교 해수면변동연구센터, ²제주대학교 해양과학대학 지구해양학과, ³극지연구소 정책협력부)

- 2) 11:20-11:40 **해양-빙붕 상호작용을 고려한 남극 로스해 해양순환 모의 시스템: 대륙붕수의 계절변동 특성과 요인** 5
추성호^{*1}, 김태균¹, 김대혁², 문재홍^{1,2}, 진경³ (¹제주대학교 해양과학대학 지구해양학과, ²제주대학교 해수면변동연구센터, ³극지연구소 정책협력부)
- 3) 11:40-12:00 **An eddy-rich northwestern Pacific nested ocean model configuration (NWPAC10)** 6
Sang-Yeob Kim^{*1}, Wonsun Park^{2,3}, Franziska U. Schwarzkopf⁴, Torge Martin⁴, Sebastian Wahl⁴, Joakim Kjellsson⁵, Kyeong Ok Kim¹, Hyoun-Woo Kang¹, and Ho Jin Lee⁶ (¹Korea Institute of Ocean Science & Technology, ²Institute for Basic Science, ³Pusan National University, ⁴GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, ⁵Swedish Meteorological and Hydrological Institute, ⁶Korea Maritime and Ocean University)

학술발표 OS3 (해양)

- 4월 11일(금) 15:10-16:10
 - 국립해양박물관 대강당: 좌장 이준수 (국립수산과학원)
- 1) 15:10-15:30 **동해 최북단 남하 해류 감시를 통한 위기 대응 기획연구** 7
김용선·송규민·이석·신창웅·최진용·노수연·장찬주 (한국해양과학기술원)
- 2) 15:30-15:50 **ENSO 선행 지표 가능성: 서태평양의 북적도해류 수송량** 8
신창웅^{*1}, 강현우¹, 이재학², 김용선¹ (¹한국해양과학기술원, ²(주)오시스시스템리서치)
- 3) 15:50-16:10 **한국해 해양열파: 심화되는 등급별 양극화** 9
여진^{*1}, 최원근^{1,2}, 장찬주^{1,2} (¹한국해양과학기술원 해양순환기후연구부, ²과학기술연합대학원대학교 해양학과)

학술발표 OS4 (해양)

- 4월 11일(금) 16:20-17:20
 - 국립해양박물관 대강당: 좌장 김용선 (한국해양과학기술원)
- 1) 16:20-16:40 **기계학습을 이용한 반폐쇄형 하구에서의 탁도 분포 예측** 10
김남훈^{*1}, 김동현², 박승환¹ (¹한국해양과학기술원 해양영토연구본부 해양재난연구부, ²한국해양과학기술원 동해환경연구센터)
- 2) 16:40-17:00 **캘리포니아 용승해역의 유해미세조류(적조) 발생특성** 11
이민선^{*1,2}, Fiorenza Micheli² (¹국립수산과학원, ²Stanford University)
- 3) 17:00-17:20 **GOCI-II 전구 관측 자료 기반 2023년 필리핀 해상 유출유 탐지** 12
백원경^{*1}, 안재현¹, 배수정¹, 최종국¹ (¹한국해양과학기술원 해양위성센터)

학술발표 ES1 (교육)

- ————— 4월 11일(금) 09:30-10:50
- ————— KIOST 대강당: 좌장 박영신 (조선대학교)
- 1) 09:30-09:50기후변화 위험교육에 대한 지구과학 전공 예비교사의 인식 및 역량 탐색 13
김서현^{*1}, 박영신¹ (¹조선대학교)
- 2) 09:50-10:10기후변화 및 환경교육을 위한 프로젝트 기반 서비스러닝 사례 14
박병열* (단국대학교)
- 3) 10:10-10:30지역기반 기후변화 교육프로그램을 통한 지구과학 예비교사들의 기후변화 대응행
동역량 인식 탐색 15
박영신^{*1}, 이동준¹ (¹조선대학교)
- 4) 10:30-10:50탄소 순환에 대한 시스템 사고 온라인 검사 도구 및 분석 방법 개발 16
전재돈^{*1}, 이효녕², 박상문² (¹경북대학교 과학교육연구소, ²경북대학교 사범대학 지구과학교육
과)

학술발표 ES2 (교육)

- ————— 4월 11일(금) 11:00-12:20
- ————— KIOST 대강당: 좌장 이효녕 (경북대학교)
- 1) 11:00-11:20재해 측면에서의 지진 관련 교육 문헌 분석 연구 17
최영진^{*1}, 신동희² (¹이화여자대학교 해저드리터러시융합교육연구소, ²이화여자대학교)
- 2) 11:20-11:40재해·재난 교육에서 지구윤리학 적용 방안 18
문소영, 문민경*, 신동희 (이화여자대학교)
- 3) 11:40-12:00공학설계를 활용한 생태환경 보드게임 수업에서 학생 질문 분석: 일반 학생과 과
학영재 학생의 비교 연구 19
박애령¹, 이동영^{2*}, 남윤경² (¹엄궁초등학교, ²부산대학교)
- 4) 12:00-12:20한국지구과학올림피아드의 지속가능발전을 위한 이슈와 과제 21
이효녕* (경북대학교)

학술발표 ES3 (교육)

- ————— 4월 11일(금) 15:10-16:10
- ————— KIOST 대강당: 좌장 최윤성 (부산대학교)
- 1) 15:10-15:30디지털 시대 수업혁신에 대한 교사의 인식 22
유은정*, 김미지, 홍선주 (한국교육과정평가원)

- 2) 15:30-15:50 에듀테크 활용 과학 수업에 대한 과학 교사의 인식과 실행 탐색 23
유은정¹, 정수임^{*2} (¹한국교육과정평가원, ²은행고등학교)
- 3) 15:50-16:10 초등과학 지구와 우주영역 모의수업에서 ChatGPT 활용 특성 탐색 24
최윤성* (부산대학교 지구과학교육과 강사)

학술발표 ES4 (교육)

- 4월 11일(금) 16:20-17:20
 - KIOST 대강당: 좌장 남윤경 (부산대학교)
- 1) 16:20-16:40 민주시민 소양과 과학 커뮤니케이션의 관점에서 해양학 및 기상학 주제 과학관 전시물 분석 25
이지연^{*1}, 박영신¹ (¹조선대학교)
- 2) 16:40-17:00 SAQ 주제를 활용한 의사결정 수업에서의 초·중학생들의 '자기환경화' 변화 과정 26
이지희^{*1}, 신동희² (¹해저드리터러시융합교육연구소, ²이화여자대학교 과학교육과)
- 3) 17:00-17:20 융합적 문제해결 상황에서 고등학생들의 집단 의사결정 특성 탐색 27
윤진아*, 남윤경 (부산대학교)

학술발표 AT1 (대기)

- 4월 11일(금) 09:50-10:50
 - 국립해양박물관 대회의실: 좌장 이순환 (부산대학교)
- 1) 09:50-10:10 CMIP6 모델을 활용한 온난화에 따른 ENSO와 대류권 오존의 상관 관계 변화 분석 28
윤세민^{*1}, 정지원¹, 문병권¹ (¹전북대학교 과학교육학부/융합과학연구소)
- 2) 10:10-10:30 2021/2022년과 2023/2024년 동아시아 중국 동부-황해-한국에서의 겨울철 강수량 극값 변동 분석 29
이미레¹, 조재희², 김학성^{*1} (¹한국교원대학교 지구과학교육과, ²국립공주대학교 환경교육과)
- 3) 10:30-10:50 기후공학에 따른 아시아 몬순의 미래기후변화 30
조영주*, 김혜미 (이화여자대학교)

학술발표 AT2 (대기)

- ————— 4월 11일(금) 15:10-15:50
 - ————— 국립해양박물관 국제회의실: 좌장 문운섭 (한국교원대학교)
- 1) 15:10-15:30 정지궤도 기상위성 GEO-KOMPSAT-2A, Himawari-8/9 을 활용한 머신러닝 기반의 시공간 고해상도 동아시아 대기중 CO₂산출 연구 31
이예운^{*1}, 홍성욱^{2,*} (¹세종대학교 환경에너지융합학과, ²세종대학교 환경융합공학과)
- 2) 15:30-15:50 미래 IPCC 기후 시나리오 하에서의 Isoprene 유래 2차 유기 에어로졸 농도 모의 32
조두성^{*1} (¹서울대학교 지구과학교육과)

학술발표 GP1 (지구물리)

- ————— 4월 11일(금) 11:00-12:20
 - ————— 국립해양박물관 대회의실: 좌장 박계순 (한국지질자원연구원)
- 1) 11:00-11:20 배경잡음 토모그래피를 활용한 국지적 퇴적분지 속도구조 모델 연구 33
이상준^{*1}, 조혜정², 이준기², 김성룡³, 강태섭⁴ (¹한국교원대학교(lee.sj@knue.ac.kr), ²서울대학교, ³고려대학교, ⁴부경대학교)
- 2) 11:20-11:40 청양 지구자기 관측소 관측자료 품질 향상을 위한 Baseline 재산출 및 확정자료 보정 34
박소현¹, 오석훈^{2*} (¹강원대학교 에너지·인프라융합학과, ²강원대학교 에너지자원공학과)
- 3) 11:40-12:00 한반도 주변 전 해역에서의 바닷속 공간정보 분포도(해양여지도) 작성 35
허식^{*1}, 강정원¹, 박준용¹, 정의용¹ (¹한국해양과학기술원)
- 4) 12:00-12:20 인공위성 중력으로 관측한 아마존 하구 연간 퇴적양 36
오현경¹, 서기원^{*1}, 전태환², 엄주영³ (¹서울대학교 지구과학교육과, ²서울대학교, 교육종합연구원, ³경북대학교, 지구과학교육과)

학술발표 GH1 (지구유산) / GL1 (지질)

- ————— 4월 11일(금) 09:50-10:50
 - ————— 국립해양박물관 국제회의실: 좌장 김태환 (한국교원대학교)
- 1) 09:50-10:10 제주도 UNESCO 세계지질공원의 외국어 안내문의 개선에 대하여 37
윤성효^{1,2,3,4,*} (¹부산대학교 대학원 지구과학과, ²부산대학교 지구과학교육과, ³부산대학교 화산특화연구센터, ⁴(사)제주화산연구소)

- 2) 10:10-10:30 남극 로스 조산대에 산출하는 망간이 풍부한 변성초트암의 성인 38
김태환*¹ (¹한국교원대학교 지구과학교육과)
- 3) 10:30-10:50 울산광역시 대왕암공원 일대 화성암류에 대한 암석학적 연구 39
문효영¹, 장철우^{2,3}, 윤성효^{2,3,4,*} (¹부산대학교 대학원 지구과학과, ²부산대학교 지구과학교육과, ³부산대학교 화산특화연구센터, ⁴(사)제주화산연구소)

학술발표 GL2 (지질)

- 4월 11일(금) 15:10-15:50
 - 국립해양박물관 대회의실: 좌장 전용문 (조선대학교)
- 1) 15:10-15:30 하와이 킬라우에아 화산의 용암분출 화산활동 41
장철우^{1,2}, 윤성효^{1,2,3,*} (¹부산대학교 지구과학교육과, ²부산대학교 화산특화연구센터, ³(사)제주화산연구소)
- 2) 15:30-15:50 아이슬란드 쉰드호누퀴르(Sundhnúkur) 화산활동과 전조현상 43
장철우^{1,2,*}, 윤성효^{1,2,3} (¹부산대학교 지구과학교육과, ²부산대학교 화산특화연구센터, ³(사)제주화산연구소)

학술발표 GL3 (지질)

- 4월 11일(금) 16:20-17:00
 - 국립해양박물관 대회의실: 좌장 전용문 (조선대학교)
- 1) 16:20-16:40 역사 문헌에 기록된 제주도 화산활동과 비양도 화산활동의 비교 연구 45
전용문*¹, 고기원², 박준범³ (¹조선대학교 지구과학교육과, ²제주특별자치도개발공사 품질연구본부, ³미육군국동공병단 지반환경공학부)
- 2) 16:40-17:00 제주도 단일 용암류에서 관찰된 in-situ fractionation 46
김소연¹, 윤성효^{1,2,3,4,*}, 장철우^{2,3} (¹부산대학교 대학원 지구과학과, ²부산대학교 지구과학교육과, ³부산대학교 화산특화연구센터, ⁴(사)제주화산연구소)

학술발표 AS1 (천문)

- 4월 11일(금) 11:00-12:20
 - 국립해양박물관 국제회의실: 좌장 권우진 (서울대학교)
- 1) 11:20-11:40 ALMA eDisk: a Keplerian Disk and Streamers of IRAS 04169+2702 47
Ilseung Han (한일승)^{1,2}, Woojin Kwon (권우진)*², and the eDisk team (¹Institute of Space Sciences (ICE-CSIC), Spain, ²Seoul National University)

- 2) 11:00-11:20 **Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): Band 3 Observations** 48
 Youngwoo Choi (최영우)^{*1}, Woojin Kwon (권우진)¹ and eDisk team (¹Seoul National University)
- 3) 11:40-12:00 **3D structures of streamers revealed through radiative transfer modeling of polarized dust emission** 49
 Hanju Nam (남한주)^{*1}, Woojin Kwon (권우진)¹, Youngwoo Choi (최영우)¹ (¹Seoul National University)
- 4) 12:00-12:20 **다양한 $w(z)$ CDM 암흑에너지 모형의 관측적 제한과 모형 성능 평가** 50
 박찬경 (전북대학교 사범대학 과학교육학부)

포스터 / 고등학생 탐구 논문 (HR) 발표

- 4월 11일(금) 17:20-17:50
- 해양과학기술원 전시실: 좌장 박찬경 (전북대학교)

- P-OS-01 Sentinel-2 영상을 사용한 인공위성 기반 수심도 산출 51
 이진호^{*1}, 박경애² (¹서울대학교 과학교육과 지구과학전공, ²서울대학교 지구과학교육과)
- P-OS-02 AI 기법 기반 Sentinel-2 위성 탁도 산출 52
 김수란^{*1,2}, 김태성³, 박경애¹, 박재진³, 이문진³ (¹서울대학교, ²상동고등학교, ³선박해양플랜트연구소)
- P-OS-03 정지궤도 인공위성 기반 해수면온도 검증 및 위성천정각 영향 분석 53
 우혜진^{*1}, 박경애¹ (¹서울대학교 지구과학교육과)
- P-OS-04 인공위성 원격탐사를 활용한 부식의 해양 물리적 영향 분석 54
 송승훈^{*1}, 박경애² (¹서울대학교 과학교육과, ²서울대학교 지구과학교육과)
- P-OS-05 해양 관측자료와 재분석자료를 활용한 한반도 주변 해수면온도의 보정 기법 적용 및 장기 추세 분석 55
 강지원^{*1}, 박경애² (¹서울대학교 과학교육과, ²서울대학교 지구과학교육과)
- P-OS-06 한반도 주변해 해양 열파의 장기변동 56
 임채영^{*1}, 박경애² (¹인천진산과학고등학교, ²서울대학교 지구과학교육과)
- P-OS-07 장기 위성 클로로필 데이터를 이용한 표층 해류 추정과 연안 부이 실측 자료와의 비교 57
 김희영^{*1}, 박경애² (¹서울대학교 지구과학교육과, ²서울대학교 지구과학교육과/해양연구소)
- P-OS-08 수형 분류를 활용한 한국 연안 해역 클로로필 번성 시기의 계절적 차이 분석 58
 차나연^{*1}, 박경애² (¹서울대학교 과학교육과, ²서울대학교 지구과학교육과)
- P-OS-09 Characteristics of surface topography and sedimentation before and after typhoons Kompasu and Soulik in the Gochang Donghori intertidal flat, Korea 59
 양우현*, 강솔잎 (전북대학교)
- P-OS-10 홀로세 해수면 변동의 층서 지시자로서 낙동곡 베이헤드 삼각주 퇴적층 60
 양우현^{1*}, 홍석휘², 유동근², 김진철² (¹전북대학교, ²한국지질자원연구원)
- P-ES-01 2022 개정 교육과정 ‘지구과학’의 성취수준 설정 기준 분석 61
 정찬미^{1*} (¹한국교육과정평가원)

P-ES-02 2022 개정 교육과정 기후변화교육 내용 분석 및 기후변화 교육과정 체계화 연구	62
황은자 ¹ , 문윤섭 ^{*2,3} , 이철재 ² (¹ 서울난향초등학교, ² 한국교원대 환경교육과, ³ 충청북도탄소중립지원센터)	
P-ES-03 기후위기 대응 지구환경교육에서 인공지능 활용의 교육적 의미와 한계	63
나유나 ¹ , 문윤섭 ^{*1,2} (¹ 한국교원대 환경교육과, ² 충청북도탄소중립지원센터)	
P-ES-04 개선된 합의 모형의 관점에서 수업실행을 통한 지구과학 교사의 개인적 PCK와 실행된 PCK 간의 지식 변환 분석	64
김권중 ^{*1} , 이기영 ¹ (¹ 강원대학교)	
P-ES-05 인공위성 자료와 무선 탁도 센서를 활용한 지구시스템의 상호작용 STEAM 교수·학습 자료 개발	65
김수란 ^{*1,2} , 박경애 ¹ , 김두현 ^{1,3} (¹ 서울대학교, ² 상동고등학교, ³ 성수고등학교)	
P-ES-06 V-WORLD와 지오빅데이터 오픈 플랫폼을 활용한 서울 지역의 지질 학습 방안 탐색 · 66	
구자옥 (한국교육과정평가원)	
P-AT-01 기후 공학에 따른 중위도 지역의 극한 기후 변화	67
고다혜 ^{*1} , 김혜미 ² (¹ 이화여자대학교, ² 이화여자대학교)	
P-AT-02 기후 공학에 의한 ENSO 변화: CESM2 성층권 에어로졸 주입 실험	68
이정은, 김혜미* (이화여자대학교)	
P-AT-03 CAPE index와 실제 날씨 사례 비교·진단 및 태풍과의 관련성 분석	70
장유리 ^{*1} (¹ 이화여자대학교 지구과학교육전공)	
P-AT-04 대기의 강과 호수효과에 기인한 한반도 폭설 사례 연구	71
김성운 ¹ , 문윤섭 ^{*1,2} , 정옥진 ¹ (¹ 충청북도탄소중립지원센터, ² 한국교원대 환경교육과)	
P-AT-05 산풍의 발생 특성 및 주변 지역에 미치는 영향	72
김하영 ^{*1} , 김해동 ² (¹ 계명대학교 일반대학원 환경과학과, ² 계명대학교 공과대학 환경공학과)	
P-AT-06 빌딩군 연직 구조에 따른 지면 복사 변화가 도시 내 기류에 미치는 영향에 관한 수치 연구	73
김지선 ^{*1} , 이순환 ² , 박순영 ³ (¹ 부산대학교 지구과학과, ² 부산대학교 지구과학교육과, ³ 대구교육대학교 과학교육과)	
P-AT-07 연안 지역 중규모 기류 일변화에 따른 오존의 재순환 매커니즘 분석 연구	74
유정우 ^{*1} , 이순환 ² (¹ 부산대학교 환경연구원, ² 부산대학교 지구과학교육과)	
P-GP-01 고밀도 지오폰 탐사자료를 활용한 강원 중부 동해안 지역 최상부지각 특성 연구	75
김동현 ¹ , 천제민 ¹ , 이상준 ^{1*} , 이준기 ² , 김성룡 ³ (¹ 한국교원대학교, ² 서울대학교, ¹ 고려대학교)	
P-GP-02 고해상도 해양 자기이상 자료를 활용한 울릉분지의 지구조 및 진화 과정 연구	76
최성규 ^{1*} , 최한진 ¹ , Jerome Dymant ² , 김창환 ³ (^{1*} 부산대학교 지질환경과학과, ² Institut de Physique du Globe de Paris, ³ 한국해양과학기술원)	
P-GP-03 배호분지의 발달과 해양지자기이상 생성 메커니즘: Tonga-Kermadec을 중심으로	77
김미정 ¹ , 최한진 ^{1*} (¹ 부산대학교 지질환경과학과)	
P-GP-04 완전 합성곱 신경망을 이용한 시간경과 중합 전 자료에 대한 비반복성 잡음 제거	78
박한준 ^{*1} , 이준우 ¹ , 민동주 ^{1,2} (¹ 서울대학교 에너지자원신기술연구소, ² 서울대학교 에너지시스템공학부)	
P-GP-05 다중센서 영상 융합을 이용한 가상 광학 위성영상 생성: 시공간 융합과 영상 변환을 중심으로	80
박노욱*, 박소연 (인하대학교 공간정보공학과)	

P-GL-01 남극 북빅토리아랜드 신생대 알칼리 화산지대의 연대 및 성분 분포	81
김지혁 ^{*1} , 이미정 ² , 이종익 ² , Kyle, Philip R. ³ , Heizler, Matthew ³ , 박정우 ⁴ (¹ 부산대학교 사범대학 지구과학교육과, ² 극지연구소 빙하지권연구부, ³ New Mexico Institute of Mining and Technology, ⁴ 서울대학교 지구환경과학부)	
P-GL-02 쇄설성 저어콘 U-Pb 연령을 통한 남해대륙붕분지 퇴적층의 퇴적시기 고찰	83
최태진 ^{*1} , 성채리 ¹ , Paul O'Sullivan ² (¹ 한국교원대학교 지구과학교육과, ² Geosep Service)	
P-AS-01 Polarization depending on varying luminosity of EC 53	84
Sunghyun Park*, Woojin Kwon, Hanju Nam (Department of Earth Science Education, Seoul National University)	
P-HR-01 휴대폰 카메라를 이용한 산개성단의 측광 관측	85
고현민, 김수겸, 정현, 이호(지도교사) (경기과학고등학교)	
P-HR-02 가이아 데이터를 활용한 궁수자리 왜소 타원 은하의 물리적 및 운동학적 성질 분석 ...	86
민지호, 김우겸(지도교사) (대전과학고등학교)	
P-HR-03 근지구 소행성의 광도곡선 분석을 통한 특성 분석	87
김민수, 박선미(지도교사) (KAIST 부설 한국과학영재학교)	
P-HR-04 노이즈와 지역최소해가 존재하는 해공간에서 Least Squares를 이용한 NEO 정밀 궤도 결정	88
오승민, 이호(지도교사) (경기과학고등학교)	
P-HR-05 경계선의 프랙탈 차원 측정을 위한 선형 프랙탈 차원 측정법(LFD) 알고리즘 개발	89
김명준, 박지환, 안지호, 조형욱(지도교사) (경기과학고등학교)	
P-HR-06 전향력 개념 이해 향상을 위한 물리기반 지구과학 교육 방법 연구	90
홍윤서, 이규현(지도교사) (용인한국외국어대학교부설고등학교)	
P-HR-07 세종시, 하남 교산지구를 이용한 도시의 인간 친화도 분석	91
김한준, 최현정(지도교사) (카이스트 부설 한국과학영재학교)	
P-HR-08 미기상도시모델(ENVI-met.)을 이용한 부산 북항 재개발 전후의 도시 환경변화	92
남윤우, 최현정(지도교사) (한국과학영재학교)	
P-HR-09 성단의 측광학적 데이터 N체 시뮬레이션을 통한 청색 낙오성의 형성과정 추론 및 분석 ·	93
박예준, 김상우, 신진몽(지도교사) (부산과학고등학교)	

Marine Plastic Pollution: Current Status and Future Perspective

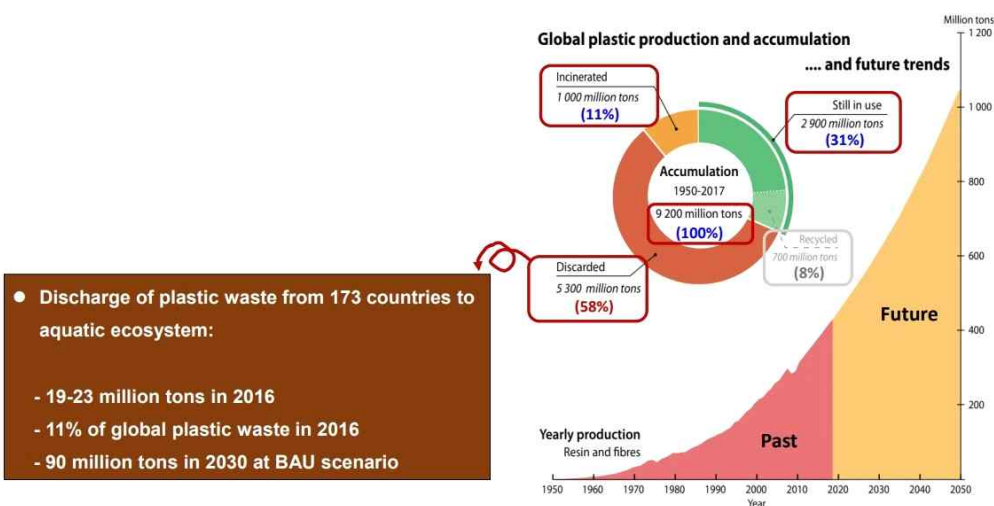
Korean Earth Science Society
National Maritime Museum of Korea, Busan
April 11 2025

Wonjoon Shim, Ph. D

前 Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST)
Geongsang National University



Global production, use and emission of synthetic polymers (1950-2017; in million metric tons)

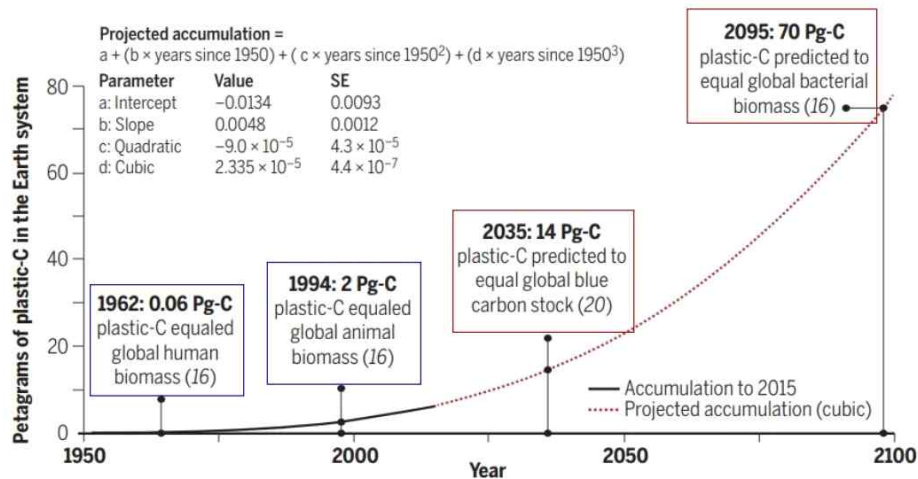


UNEP (2022); Borrelle et al. (2020) Science 369: 1515

MicroERA

1

Plastic carbons in the Earth system



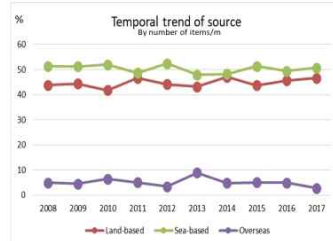
Stubbins et al. (2021) Science 373: 51-55

MicroERA

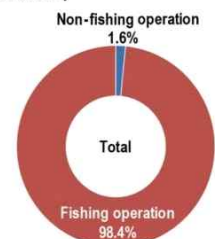
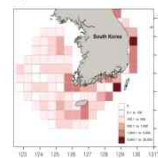
2

Plastic litter origins on beach, sea surface and sea floor of Korea

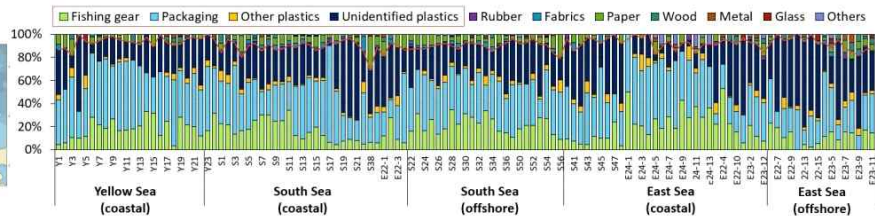
Beach debris



Sea-floor debris (offshore)



Floating debris



MoF/KOEM (2018); Song et al. (2021) Mar. Pollut. Bull. 170: 12228; Jang et al. (Unpublished data)

MicroERA

3

Damage caused by marine plastic debris



Biological and Ecological Effects

- Entanglement and ingestion
- Destruction of habitats

● \$13 billion in the world including ecosystem effects (UNEP)



Aesthetical Effects and Socioeconomic Impact

- Nuisance trash in recreational beach
- Damage on tourism

● \$40 million in Geoje city, South Korea in 2011 (Jang et al. 2014)



Effects on fisheries

- 'Ghost fishing' by derelict fishing gear
- Inhibiting fishing activity

● \$130 million in Gyeongnam Province, South Korea (UNEP-IEEP)



Navigational Hazard

- Screw damage
- Clogging cooling water system

● \$60 million in South Korea (MOF) (*only diver cost)

MicroERA

4

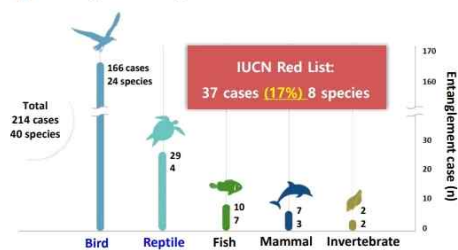
Entanglement of marine wildlife by plastic litters in Korea

Total 214 cases (2004~2022)

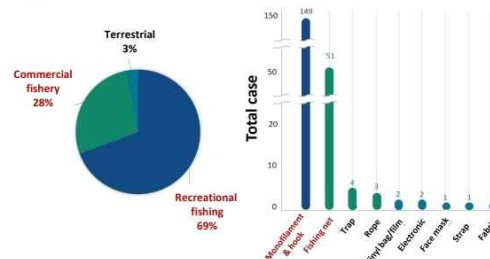
- 40 species
- Vertebrates 212 cases (bird, mammal, reptile, fish)
- Invertebrates 2 cases (crustacea, coral)



Entanglement by taxa



Origin and types of plastic litters

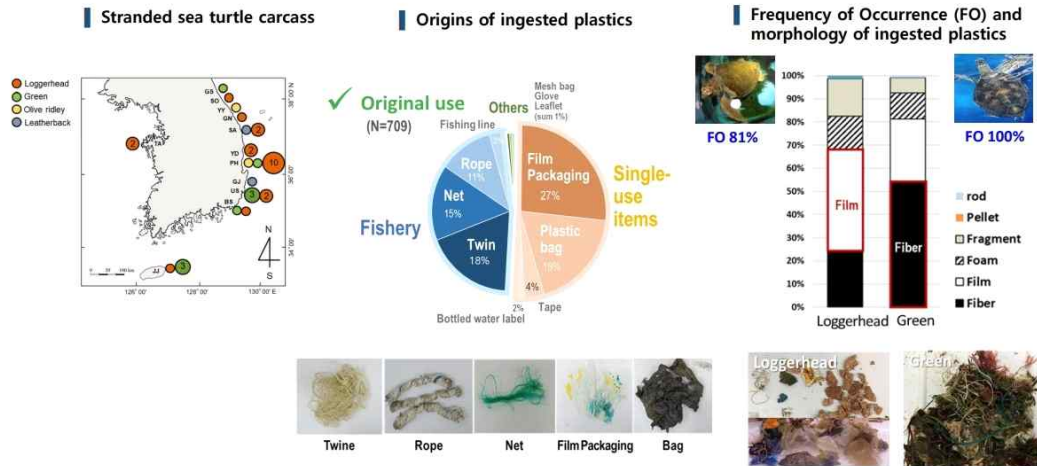


Noh et al. (2025) Mar. Pollut. Bull. 213: 117623

MicroERA

5

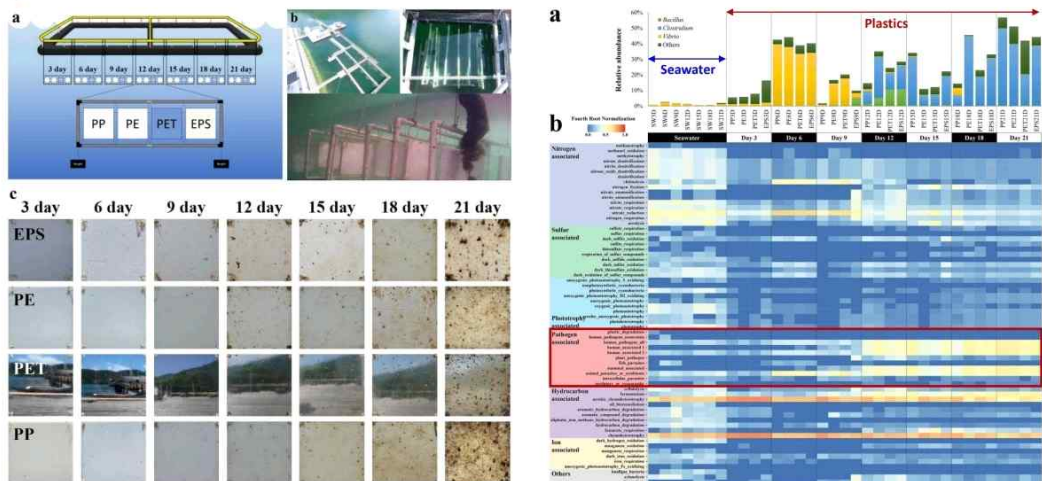
Ingestion of plastic litters by sea turtle carcasses stranded in Korean shorelines

Moon et al. (2022) *Environ. Pollut.* 298: 118849

6

Vectors to long-range transport NIS and pathogens or to prolong their survival period

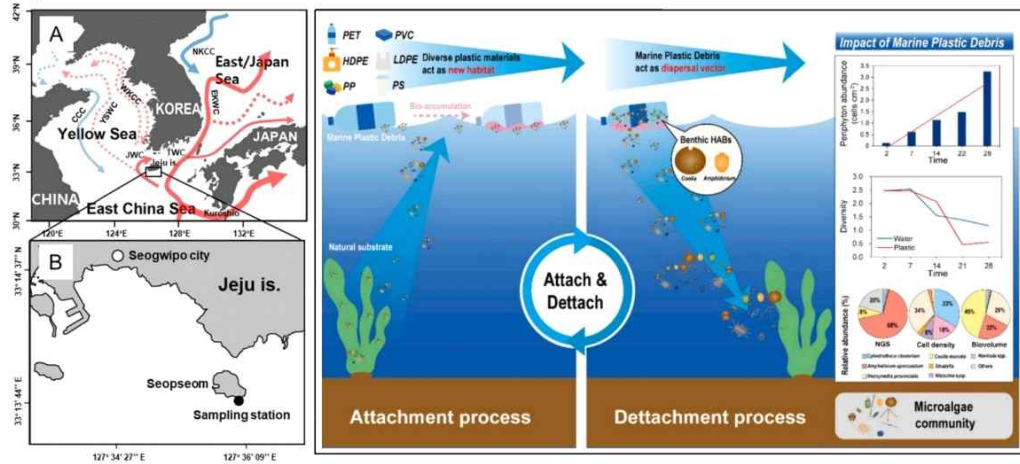
Emergence of potentially pathogenic prokaryotes on the submerged plastics

Jeong et al. (2023) *Mar. Pollut. Bull.* 193: 115149

7

Media to long-range transport NIS and pathogens or prolonged their survival period

Occurrence of benthic HAB algae on the plastic litters including fish-poisoning toxin producers

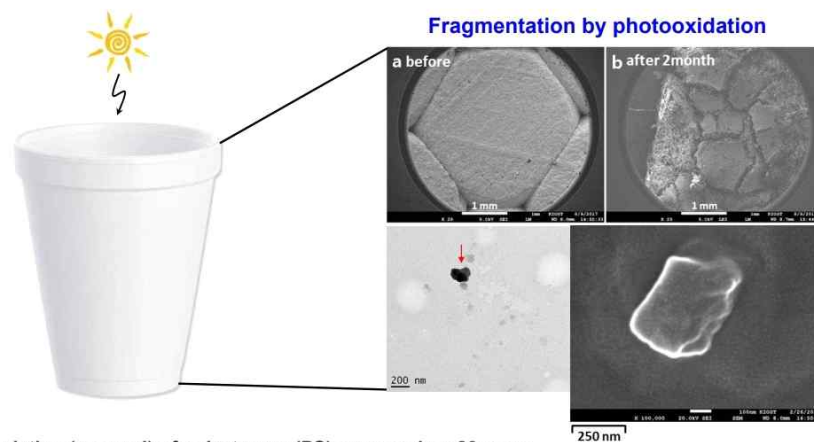


Lim et al. (2022) *J. Appl. Phycol.* 34, 2515; Baek et al. (2024) *Sci. Total Environ.* 946, 174352



8

Biodegradation vs Fragmentation



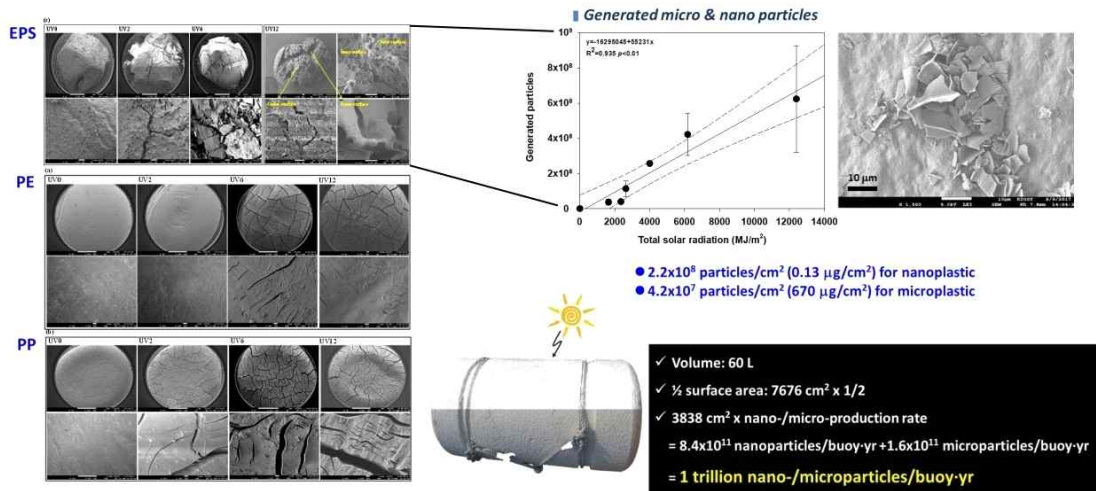
- Biodegradation (removal) of polystyrene (PS) cup requires 80 years

U.S. National Park Service; Song et al. (2020) *Environ. Sci. Technol.* 54: 11191



9

Generation of nano- and microplastics by photooxidation

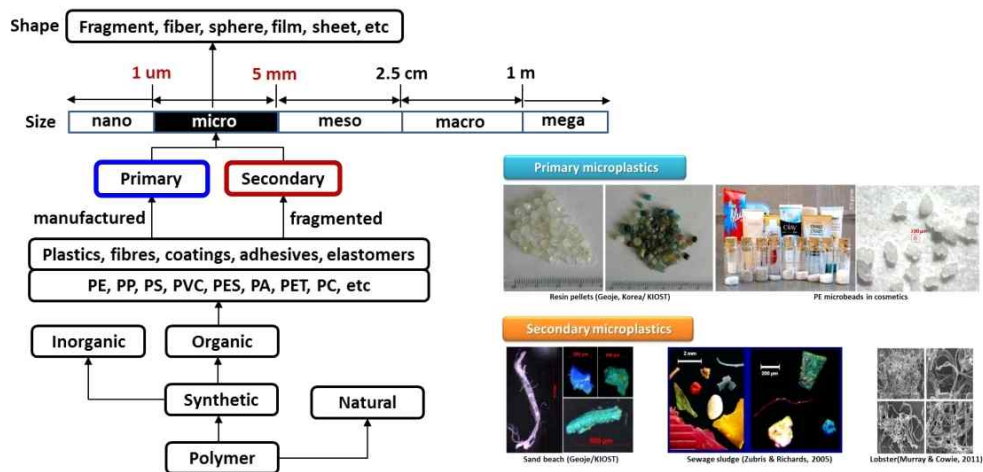


Song et al. (2017) *Environ. Sci. Technol.* 51:4368; Song et al. (2020) *Environ. Sci. Technol.* 54: 11191

MicroERA

10

Microplastic?

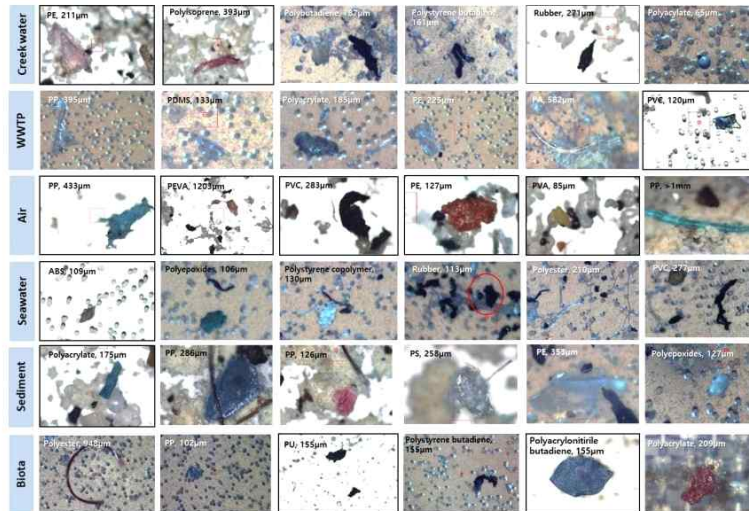


Shim et al. (2018) *Marine Microplastics: Abundance, Distribution and Composition*
 In: *Microplastic Contamination in Aquatic Environments*, Elsevier

MicroERA

12

Microplastics detected in various environmental matrices from Masan Bay, Korea

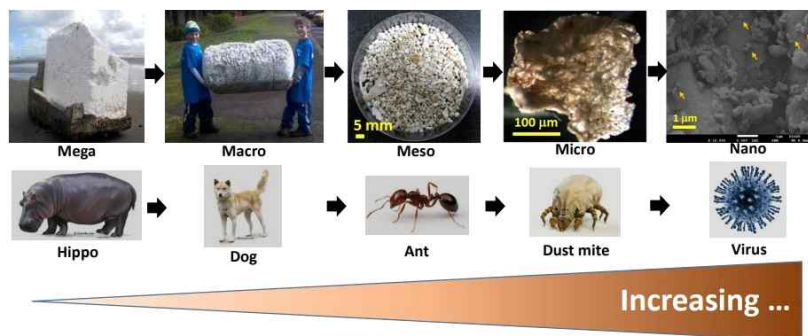


Source: Younsu Cho at KIOST

MicroERA

13

A paradigm shift in marine plastic pollution



- Numbers
- Bioavailability
- Target organisms
- Human exposure
- Toxicity
- Detection difficulty
- Cleanup difficulty

MicroERA

14

Predicted floating microplastic density in global surface seawater



Van Sebille et al. (2015) *Environ. Res. Lett.* 10: 124006; KIOST

MicroERA

15

Here, there and everywhere

- **Marine environments**
 - Coastal sediment and water
 - Water column
 - Deep sea floor
 - Polar seas and ice core
 - Organisms (from zooplankton to sea birds and marine mammals)
- **Terrestrial/Freshwater environments**
 - River water and sediment
 - Freshwater (mountain) lake
 - Soil
 - Sewage and wastewater treatment plant
 - Organisms (insect larvae, bivalve, and fish)
- **Atmospheric environments**
 - Indoor and outdoor air, rain and snow
- **Drinking water and food**
 - Tap and bottled water, beer, coffee, beverage, table salts, honey, vegetables, grains, fruits, seafood stuffs, meat, cheese, eggs, nuts and seeds, potato, yogurt, etc

MicroERA

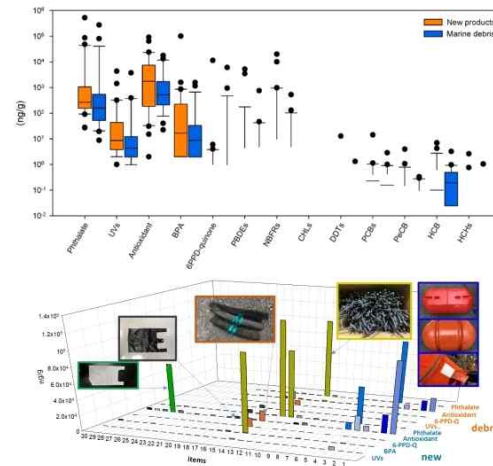
16

Inert solid wastes or chemical cocktails?

Detection of chemicals in marine plastic debris



■ Hazardous chemical additives in marine plastic debris

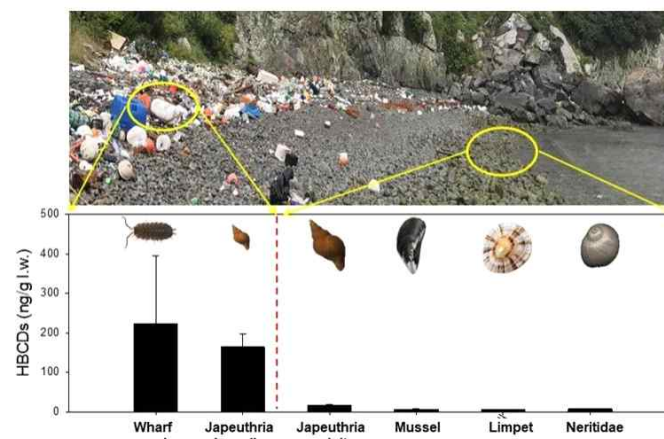


Rani et al. (2015) *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 69: 352; Jang et al. (2024) *J. Cleaner Prod.* 442: 141115



18

Leaching and transfer of additive chemicals to environments and biota



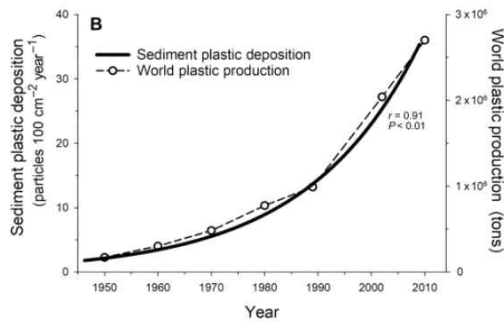
Rani et al. (2015) *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 69: 352; Jang et al. (2022) *Sci. Total Environ.* 856: 158893



19

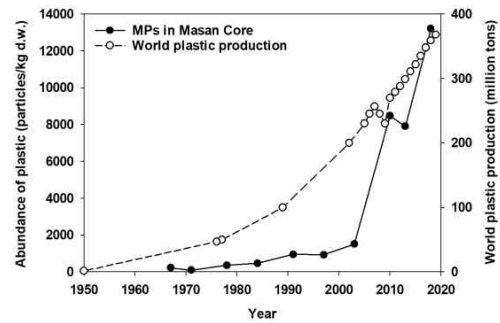
Historical trend of microplastic pollution

■ North East Pacific Ocean, USA



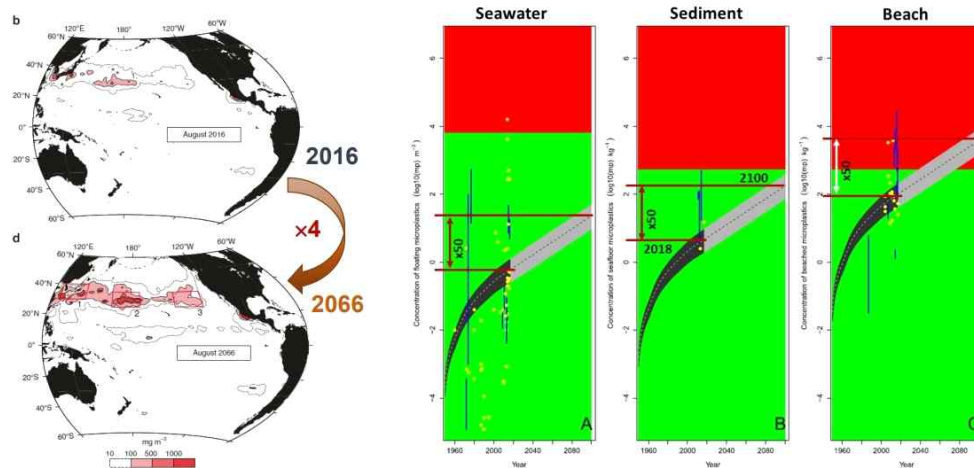
Brandon et al. (2019) *Sci. Adv.* eaax0587

■ Masan Bay, South Korea



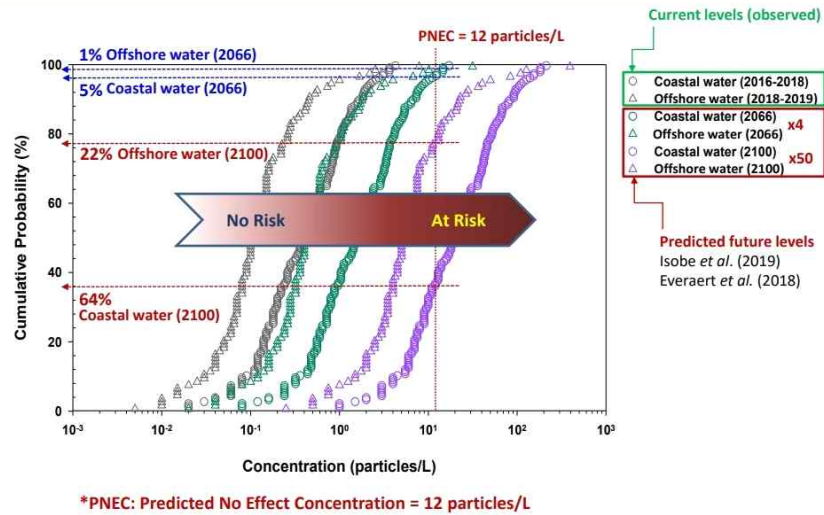
Eo et al. (2023) *Mar. Pollut. Bull.* 193: 115121

Future prediction of microplastic pollution



Isobe et al. (2019) *Nat. Comm.* 10: 417; Everaert et al. (2018) *Environ. Pollut.* 242: 1930

Ecological risk of marine microplastics in Korean waters



Jung et al. (2021) Environ. Pollut. 270: 116217

MicroERA

22

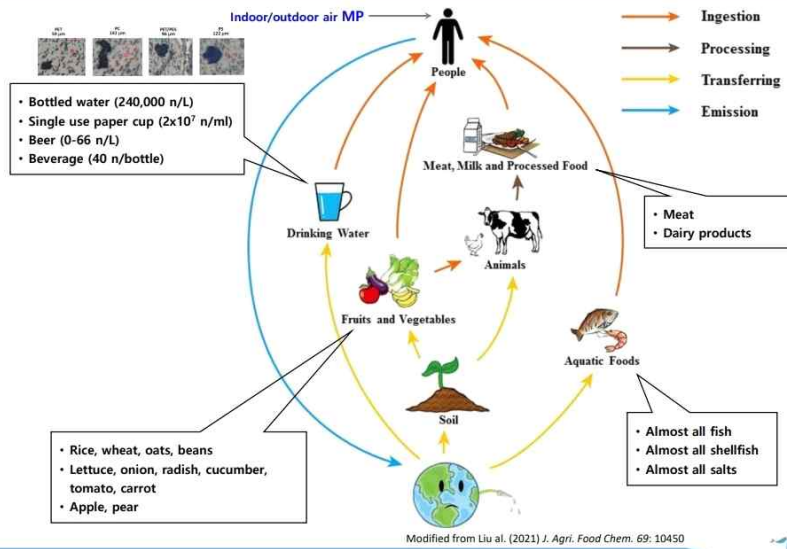
We eat what we throw away! - W.J. Shim -



MicroERA

23

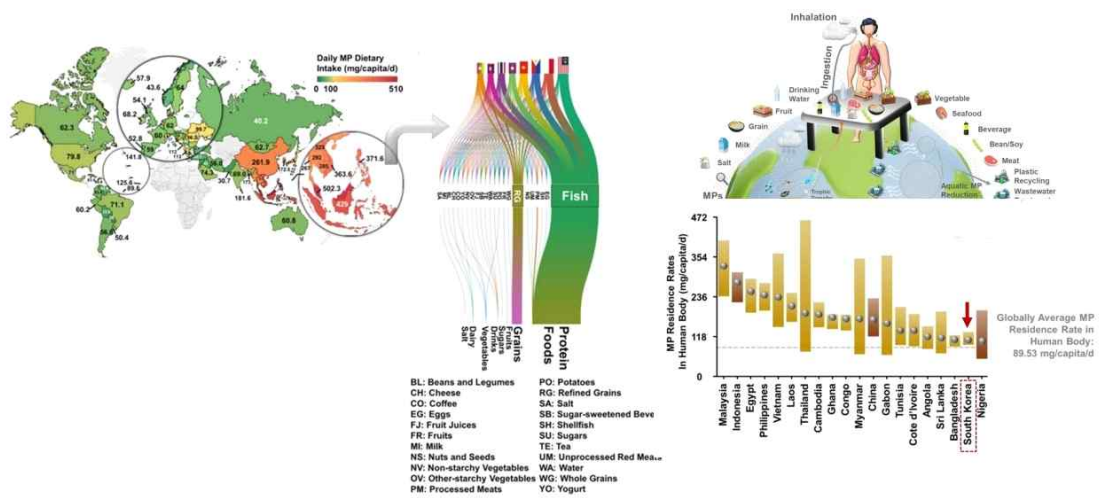
Human exposure to microplastics



MicroERA

24

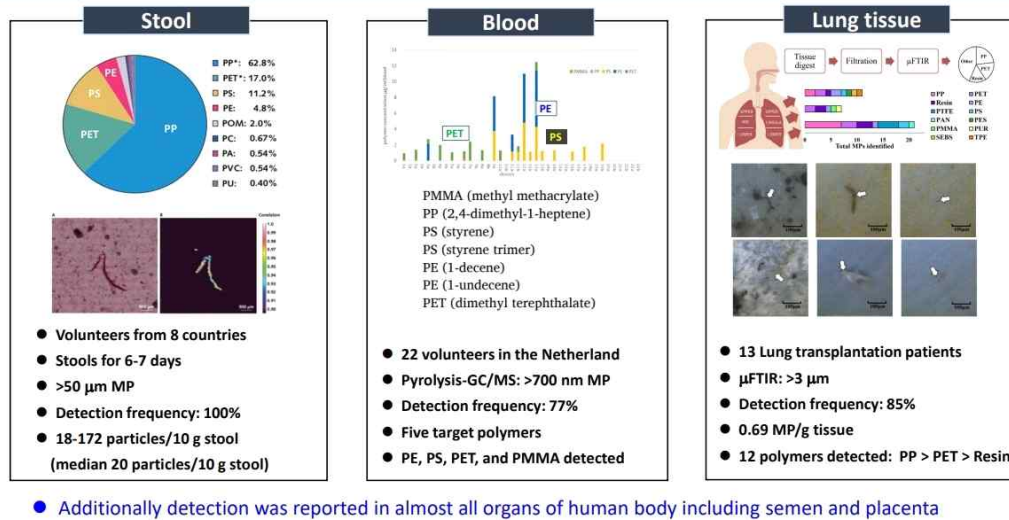
Human exposure to microplastics

Zhao and You (2024) *Environ. Sci. Technol.* 58: 8709

MicroERA

25

Human exposure to microplastics

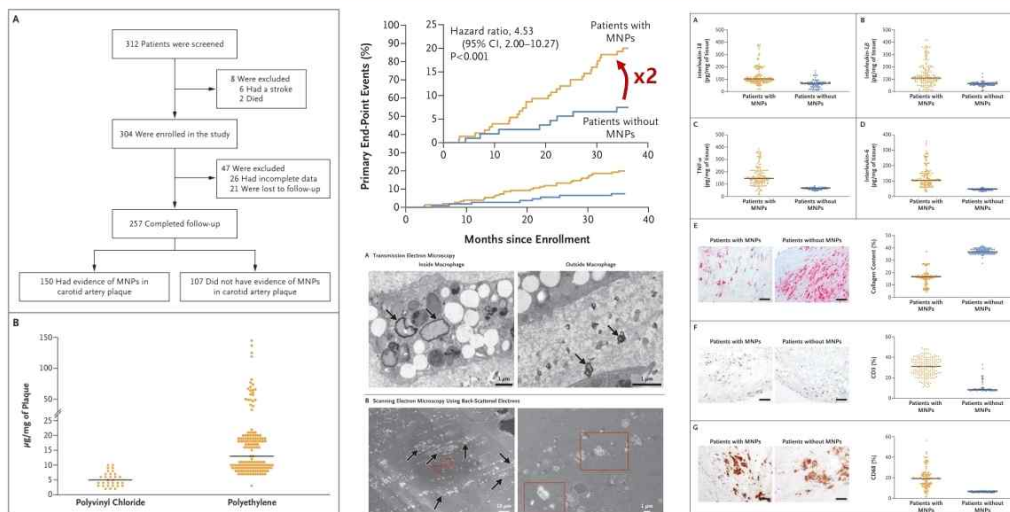


Schwabl et al. (2019) *Annals and Internal Medicine* 171: 453; Leslie et al. (2022) *Environ. Inter.* 163:107199; Jenner et al. (2022) *Sci. Total Environ.* 831: 154907



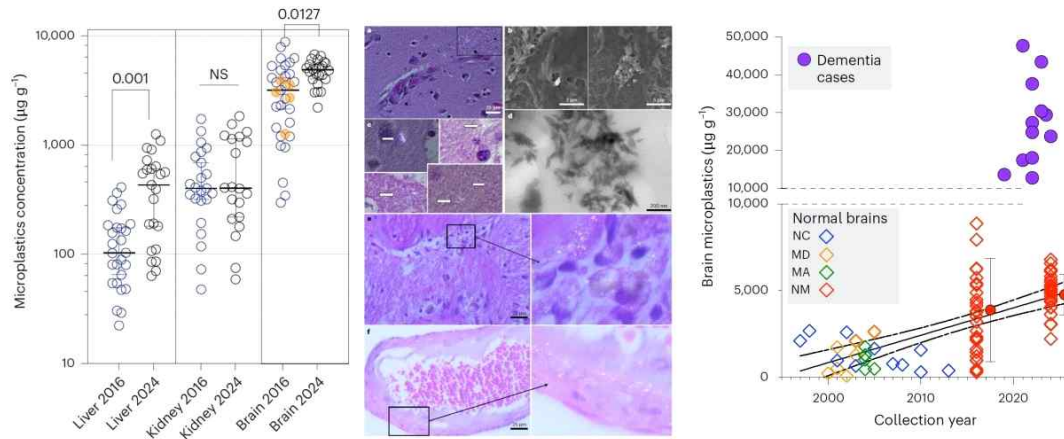
26

MPs/NPs in atheroma showed significant relationship with cardiovascular events

Marfella et al. (2024) *New Eng. J. Med.* 390: 900

27

High accumulation of NPs in human brain showed significant relationship with dementia



Nihart et al. (2025) Nat. Med.

MicroERA

28

Current and future generation

We currently eat
a credit card (5 g) per week



WWF (2019)

Our children and grand children might eat
50 credit cards per week or
2,500 cards per year in 2100

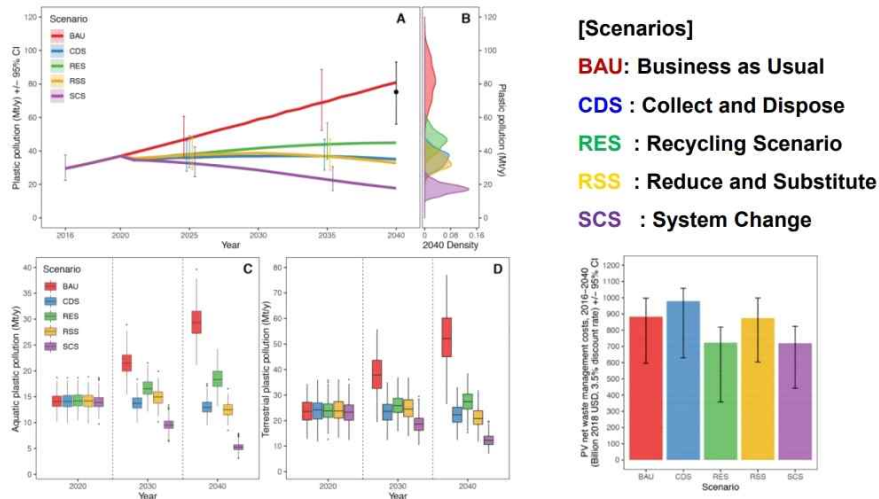


If we keep current increase rate of plastic production (use) and current plastic waste generation rate

MicroERA

29

Breaking the plastic wave



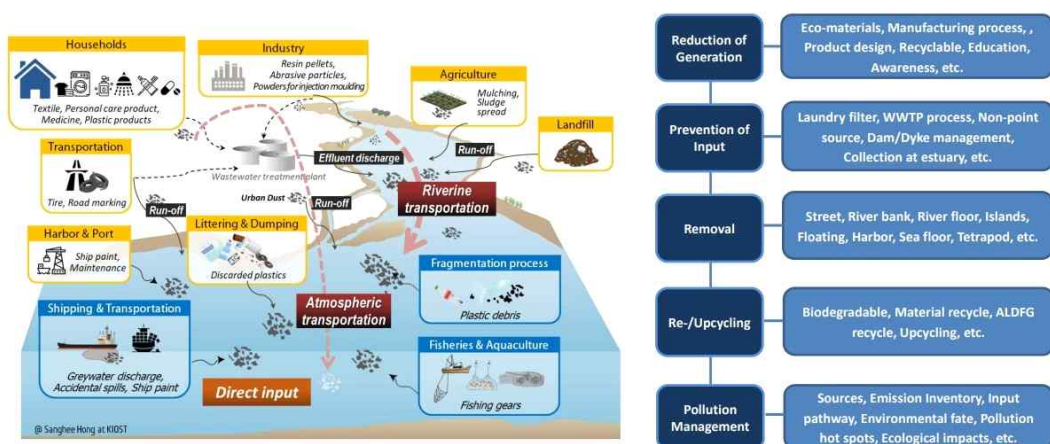
Lau et al. (2020) Science aba9475

MicroERA

30

How does science contribute to break the plastic wave?

The UNEA Resolution (Mar 2022) for **End Plastic Pollution: Towards a legally binding instrument**, establishes an INC that will develop the specific content of the new plastic pollution treaty to address the **full lifecycle of plastics**.



MicroERA

31

Take home message

- Microplastics are ubiquitous in world ocean, and Asian marginal seas are 'hot spots'
- Marine microplastic pollution shows obvious increasing historical trend and is predicted to increase in future at BAU scenario
- Microplastics in marine environments are quickly approaching to the effective level for aquatic organisms, and human exposure cannot be avoidable.
- Precautionary approach is highly required to reduce environmental plastic pollution for all the creatures on the Earth including future generation

Acknowledgement



Thank you !



2025 한국지구과학회 춘계학술발표회

한국해양과학기술원, 부산

초청강연

대기-해양-지면-해빙 결합
지구시스템 예측모형의 개발과 활용
Development and Application of
Atmosphere-Ocean-Land Surface-Sea Ice Prediction
System for Operational Purpose

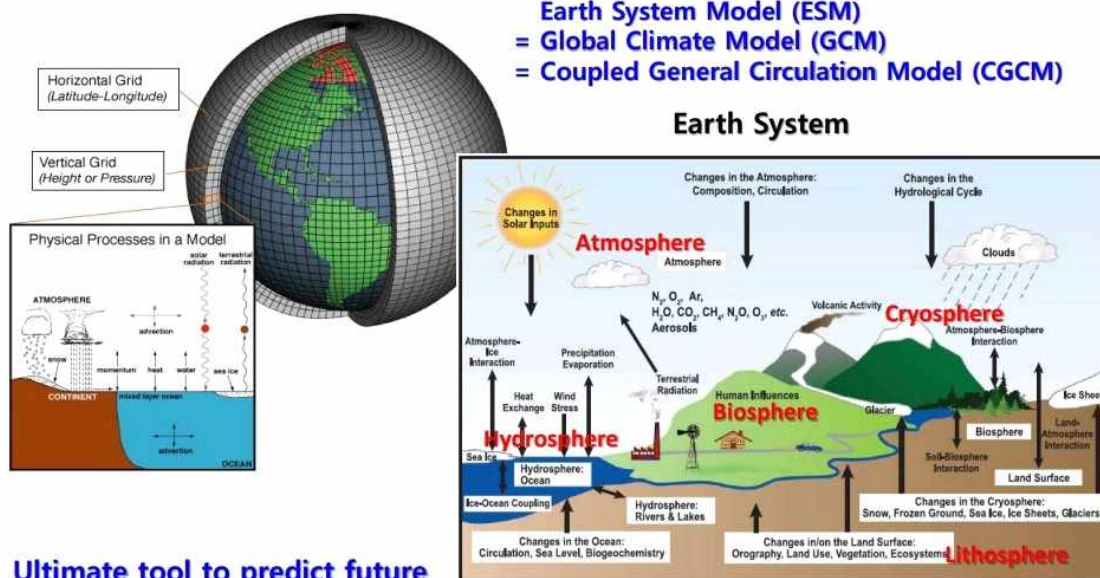
April 11, 2025

안 중 배

부산대학교 대기환경과학과



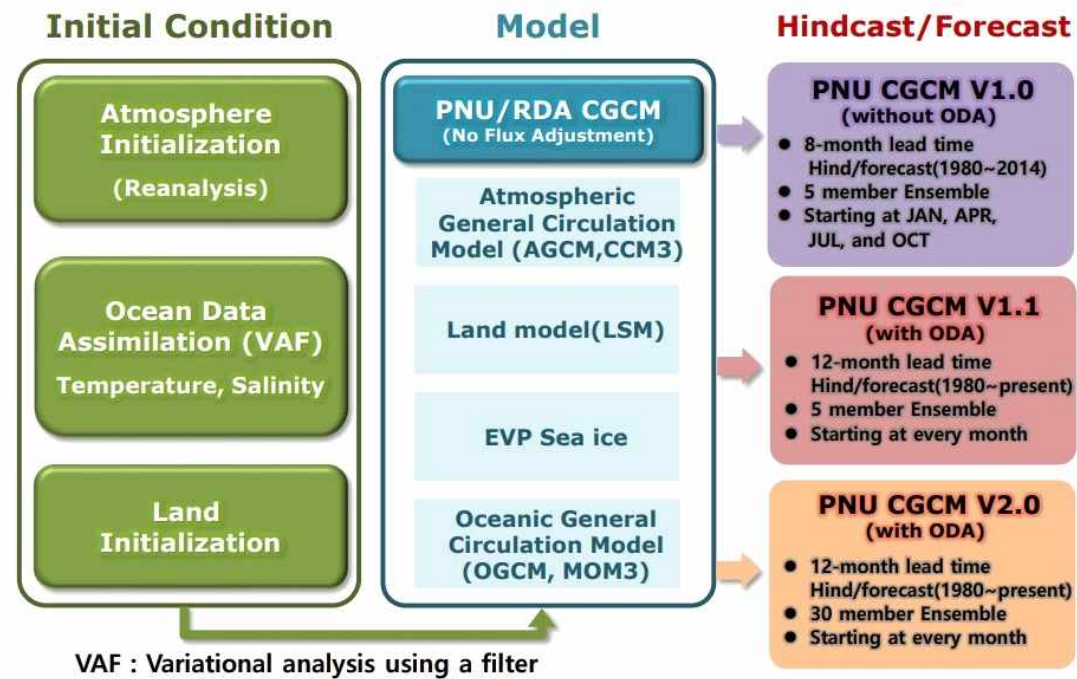
지구시스템의 구성과 모형을 이용한 미래예측



Ultimate tool to predict future
weather and climate (Meehl, 1995)



PNU/RDA CGCM Ensemble Prediction System

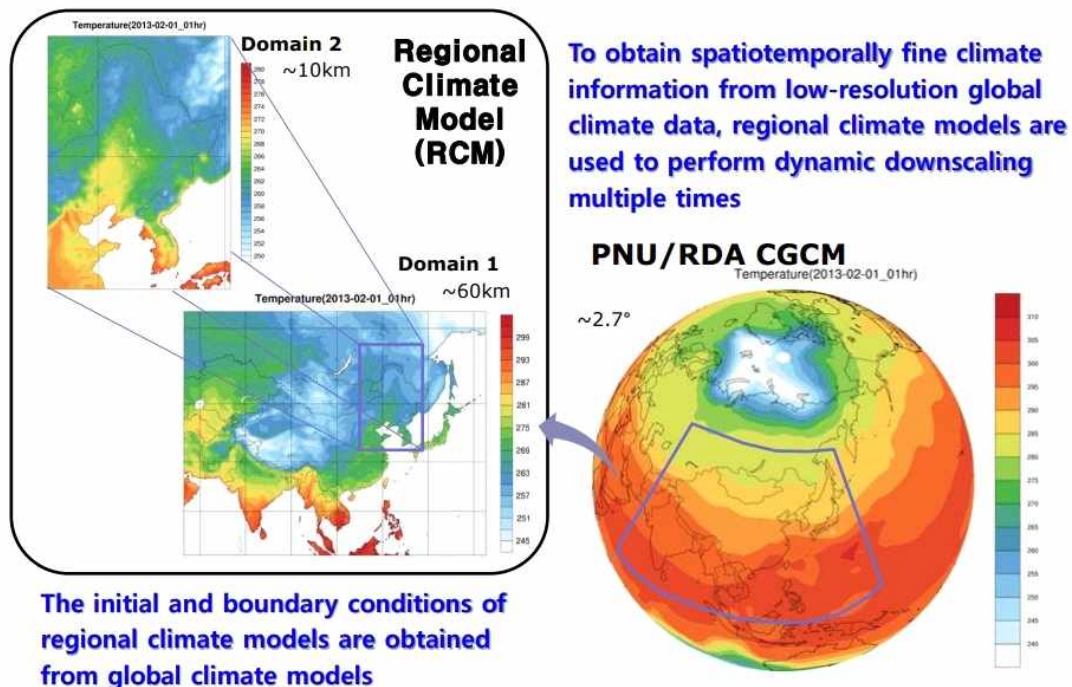


Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



Dynamic Downscaling Method

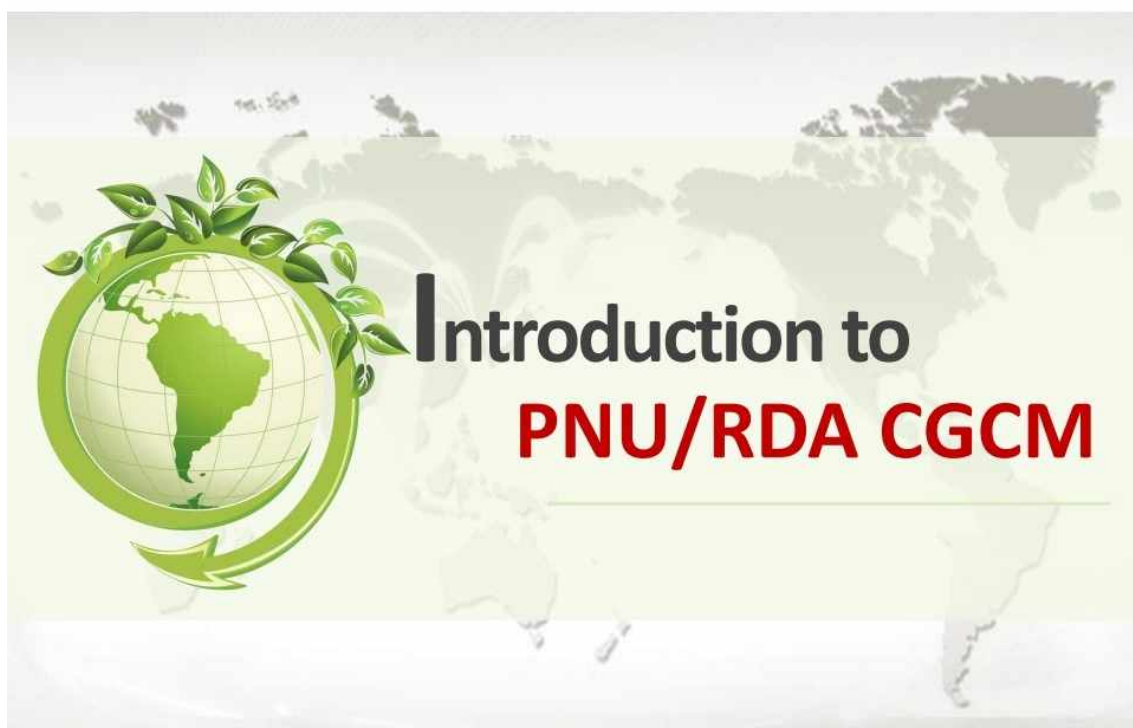
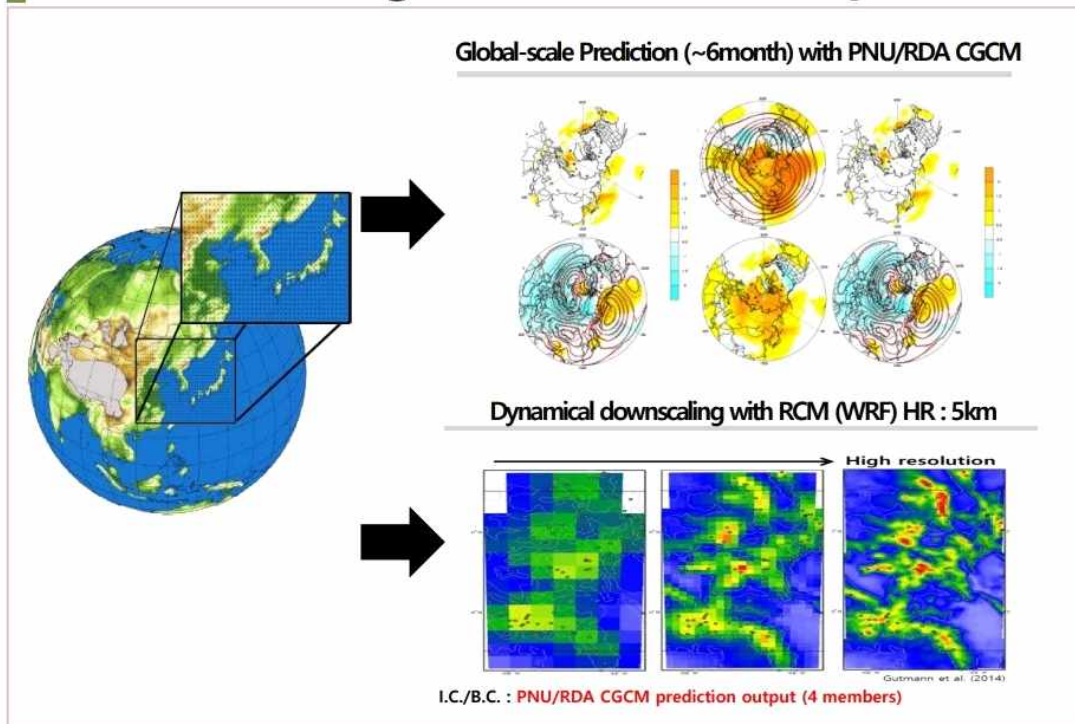


Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



PNU/RDA Long-term Prediction System



Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



Predictability according to ensemble size

Winter temperature over South Korea Temporal Correlation Coefficient – PNU/RDA CGCM & ASOS -

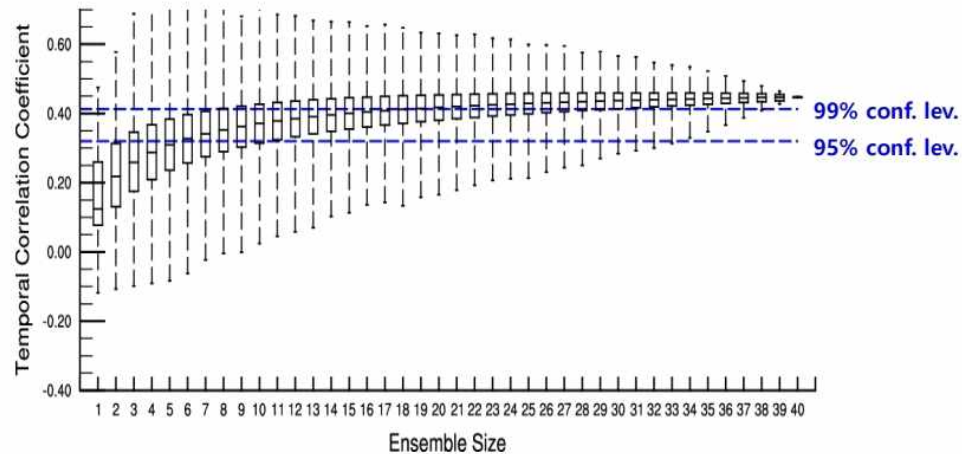
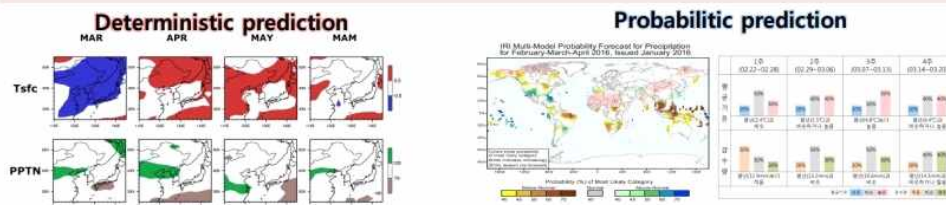
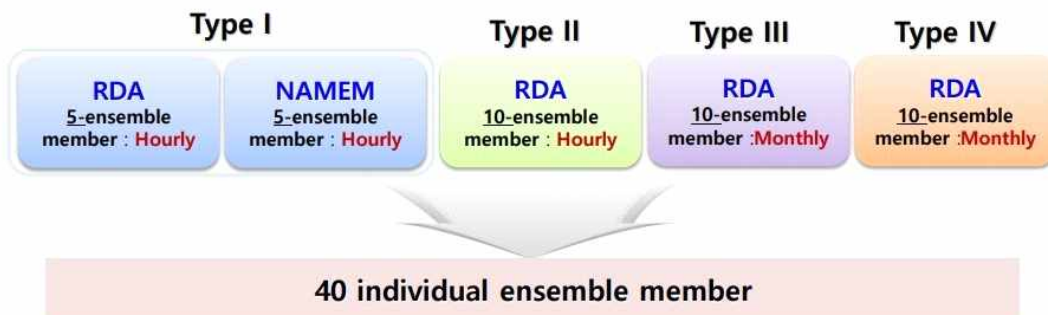


Fig. 2. Temporal correlation coefficients (Y axis) between ASOS and ensemble mean according to ensemble size (X axis). All possible ensemble combinations are calculated without duplication within 40 ensemble members.

PNU/RDA CGCM Ensemble Prediction System

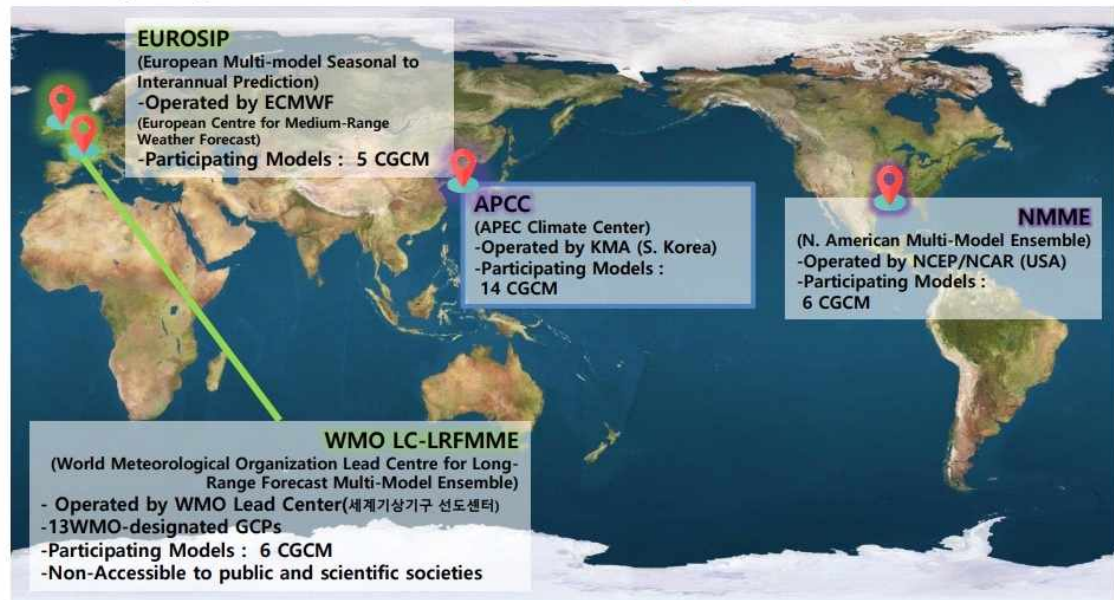
Global 6-month-lead prediction system (V2.0)

4-type of initial conditions according to initialization method for atmosphere and ocean



International Programs for Multi-Model Ensemble Prediction

- **Multi-Model Ensemble Method** (to reduce the uncertainty of a single model prediction)
- **Sharing of High-Cost Climate Information** • **Monthly data bases**



9

기후변동(climate variations)

1. 일변화
2. 계절변화
3. Madden Julian Oscillation(MJO)
4. **Arctic Oscillation (극진동)**
5. **ENSO (엘리뇨/라니냐)**
6. Decadal Oscillation
7. Interdecadal Oscillation
8. Millenium Oscillation
9. Intermillenium Oscillation

Predictability of PNU/RDA CGCM for Arctic Oscillation

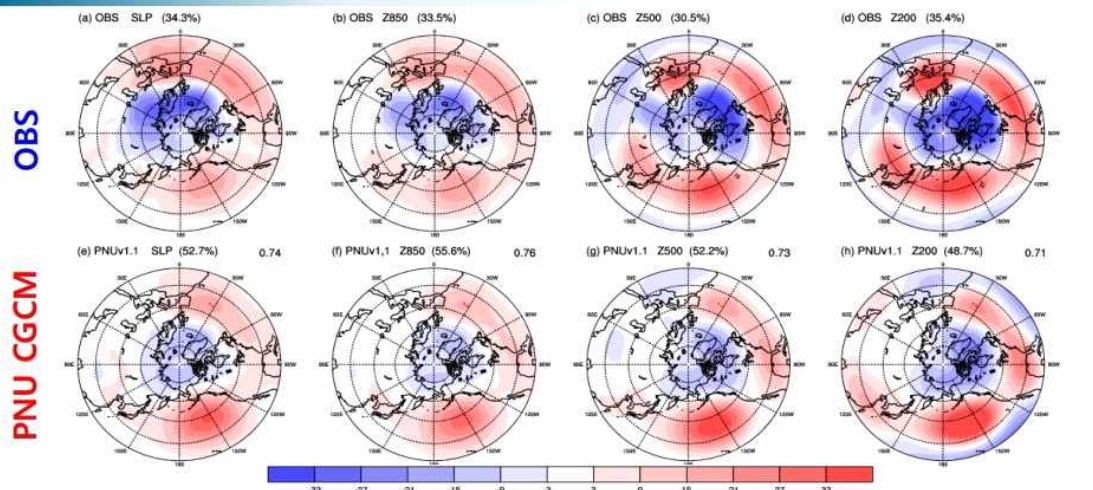


Figure1 Spatial distributions of the leading EOF modes. The values at the top right of each figure are the spatial correlation coefficients between observation and simulation at each level.

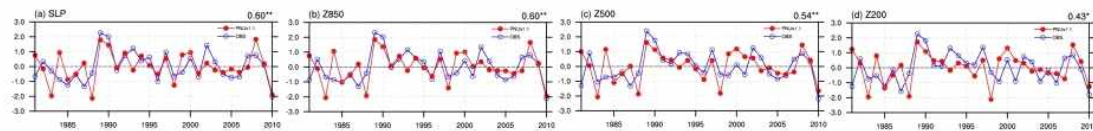


Figure2 Normalized time series of the AO indices at different levels. The value at the top right of each row are the temporal correlation coefficients between the observation and simulation at each level. The observed AO indices are defined as the time components of the first leading EOF modes. The model AO indices are obtained by projecting the simulated anomaly onto the observed leading EOF modes.

Sun and Ahn (Int. J. of Climatology, 2014)



Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



Role of Ocean (Ocean Data Assimilation)

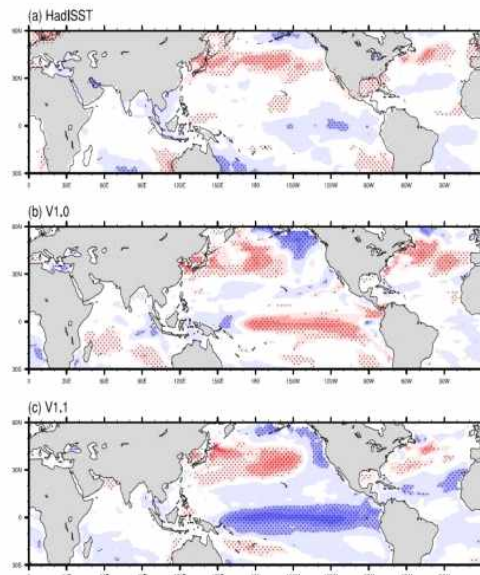


Figure 6. Sea surface temperature (SST) regressed on the AO index during 842 the boreal winter for observation (top), V1.0 (middle) and V1.1 (bottom). The unit of SST is $^{\circ}\text{C}$. The dotted pattern indicates the significant area over the 95% confidence level.

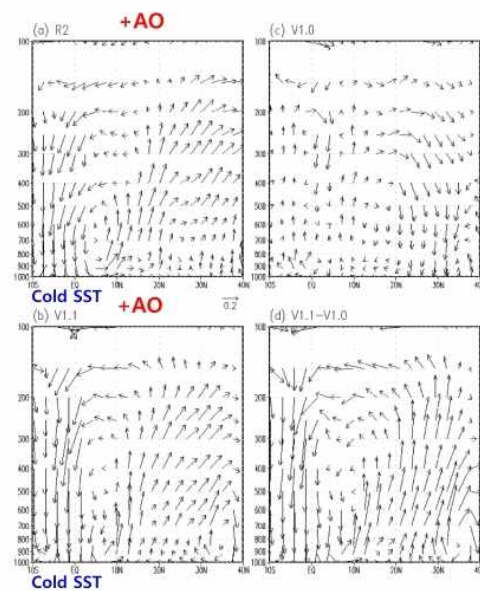


Figure 8. Same as in Figure 6, but for the Hadley circulation by averaging meridional wind and vertical velocity between 120°E and 100°W .

Kim and Ahn (J. of Climate, 2015)



Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



Role of Solar Constant

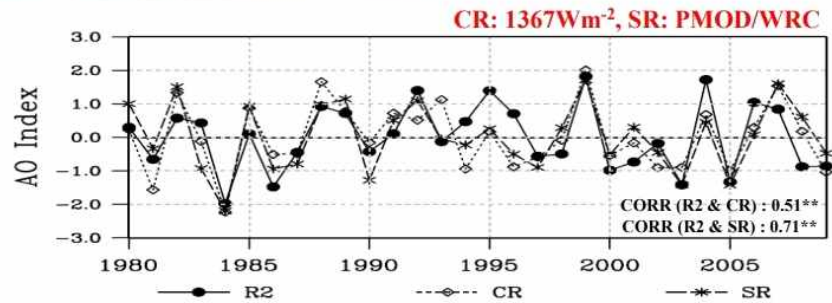


Figure 1. Temporal variation of the AO index during 1980–2009. Solid, dotted and dashed lines represent the observation, CR and SR, respectively.

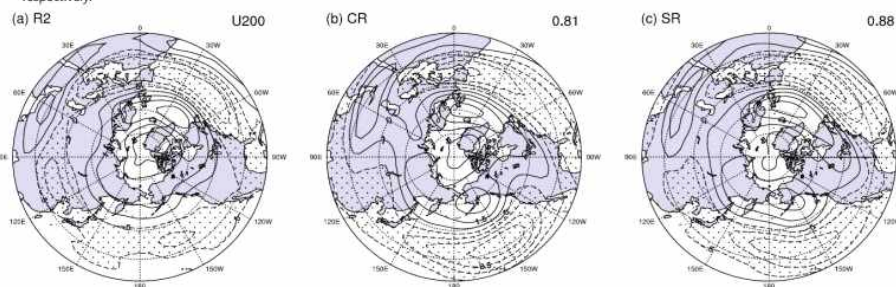


Figure 2. Regressed fields of 200 hPa zonal wind against the time series of the AO index. The right-angled corner value above each plot's upper boundary indicates the spatial correlation co-efficient between the observation and the model output. Stippling indicates areas where anomalies are negative. Contour interval is 1.0 m s^{-1} .

Ahn and Kim, 2014

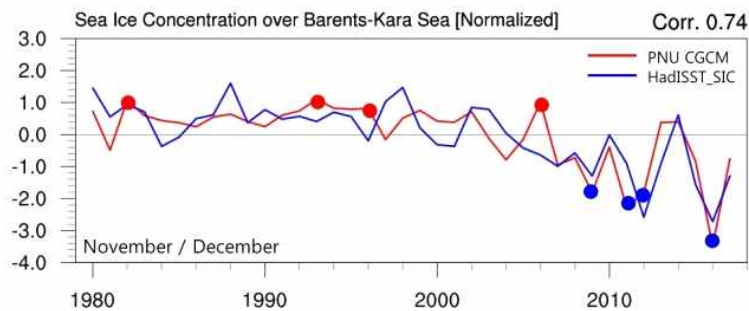


Pusan National University

Climate Prediction Laboratory

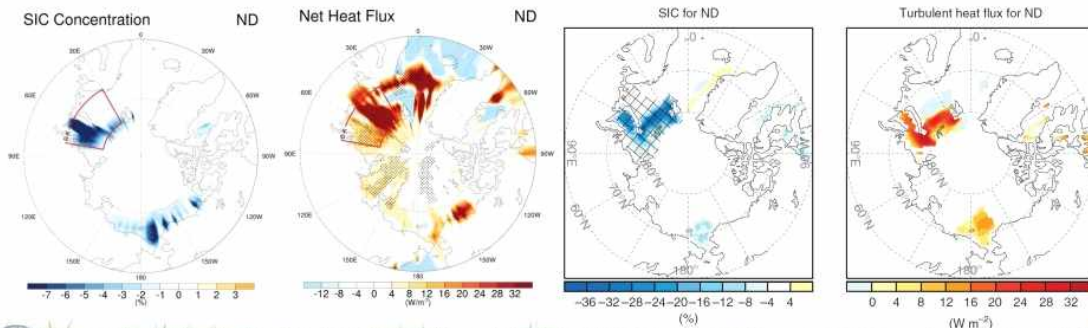


Role of Sea-Ice in Arctic Ocean



PNU CGCM

Kim et al., 2014; Nature Communications

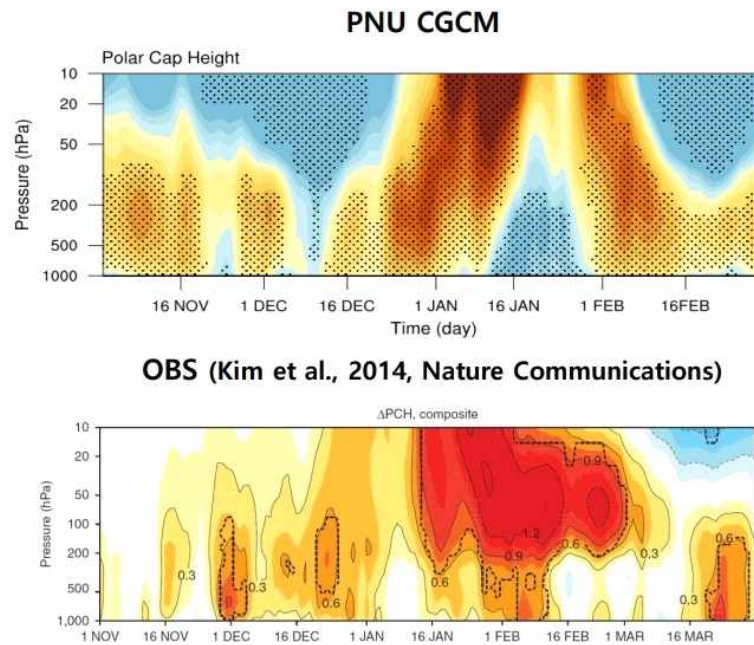


Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



Role of Sea-Ice in Arctic Ocean



Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



Hindcasted Cold Surges over S. Korea

Table 2 Summary of the cold surges over South Korea observed and model-simulated in the winters of 1980/81–2021/22 in (a) OBS and (b) PNU CGCM

Type	Non-blocking (Wave-train)	Blocking		Total
		Ural	Okhotsk	
(a) OBS				
Cases	117	9	25	151
Days	296	54	169	519
Duration	2.5	6	6.8	3.4
Ics*	−2.6	−4.7	−4.4	−3.0
(b) PNU CGCM				
Cases	153	10	21	184
Days	377	62	106	545
Duration	2.5	6.5	5.2	3.0
Ics*	−2.7	−3.7	−3.7	−2.9

*Ics, intensity of cold surge: temperature anomaly averaged during cold surge period (unit: °C)

Kim and Ahn (Int'l. J of Clim, 2023)



Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



Hindcasted Composite of 2m-temperature

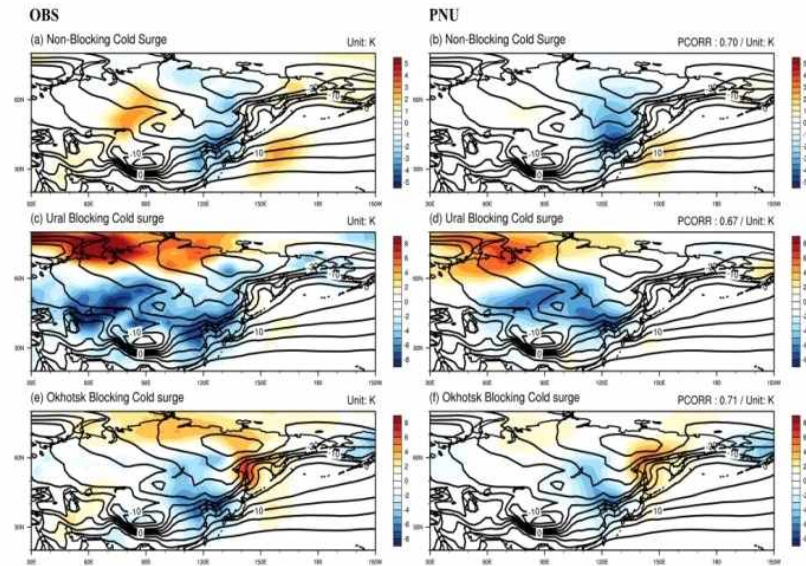


Fig. 2 Composites of T2m anomalies (shading) and climatology of T2m (contours); contour interval is 5°C for (a, b) nB_CS, (c, d) UR_CS, and (e, f) OK_CS in (a, c, e) OBS and (b, d, f) PNU CGCM

Kim and Ahn (Int'l. J of Clim, 2023)



Pusan National University

Climate Prediction Laboratory



Western Pacific Pattern predictability of APCC models

Hindcasted Boreal Winter WP Predictability

Models	Correlations (w/o SEN)
MME	0.57** (0.35)
CWB_TCWB1Tv1.1	0.45* (0.15)
KMA_GLOSEA5GC2	0.48* (0.36)
NASA_GEOS-S2S-2.1	0.45* (0.25)
NCEP_CFSv2	0.41 (0.17)
PNU_CGCMv2.0	0.61** (0.43*)

**, *: 99, 95% confidence level

Kim and Ahn, Atmosphere (2022)

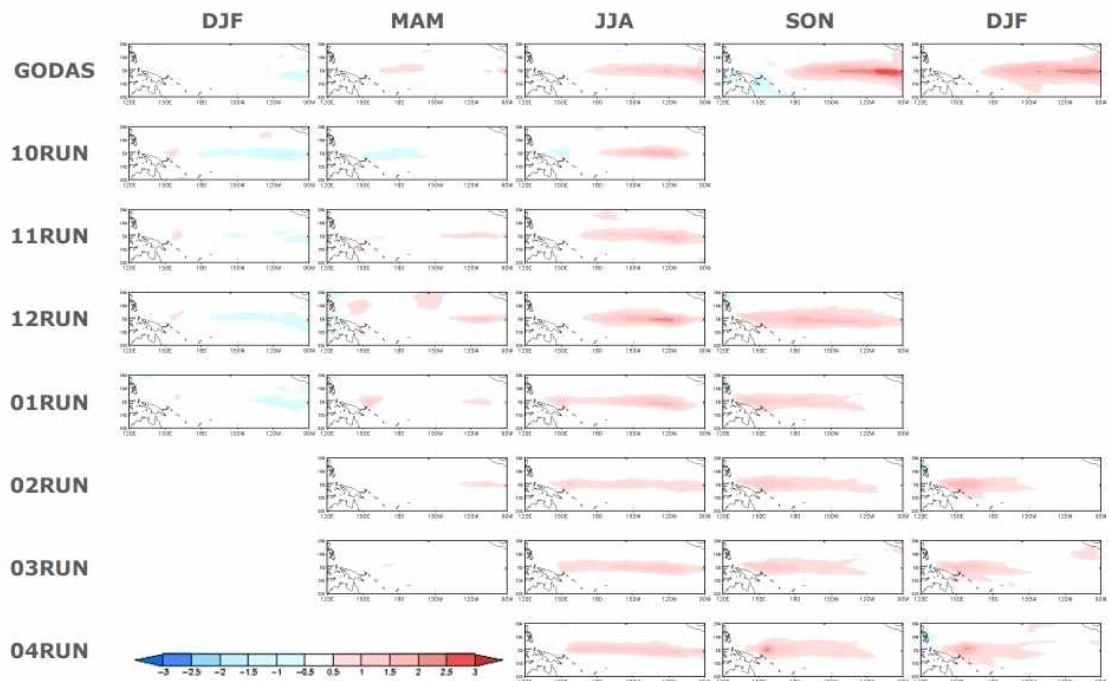


Pusan National University

Climate Prediction Laboratory

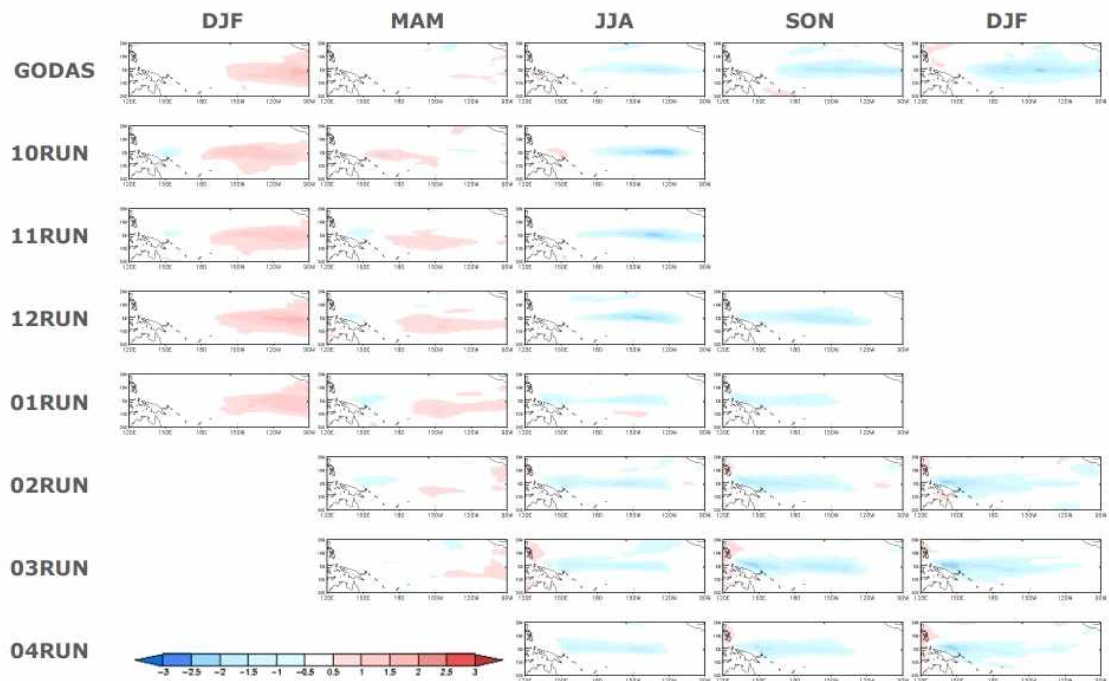


Long-term prediction for El Nino/La Nina using PNU/RDA CGCM Ensemble mean – El Nino Case (120E~90W,20S~20N) 97/98

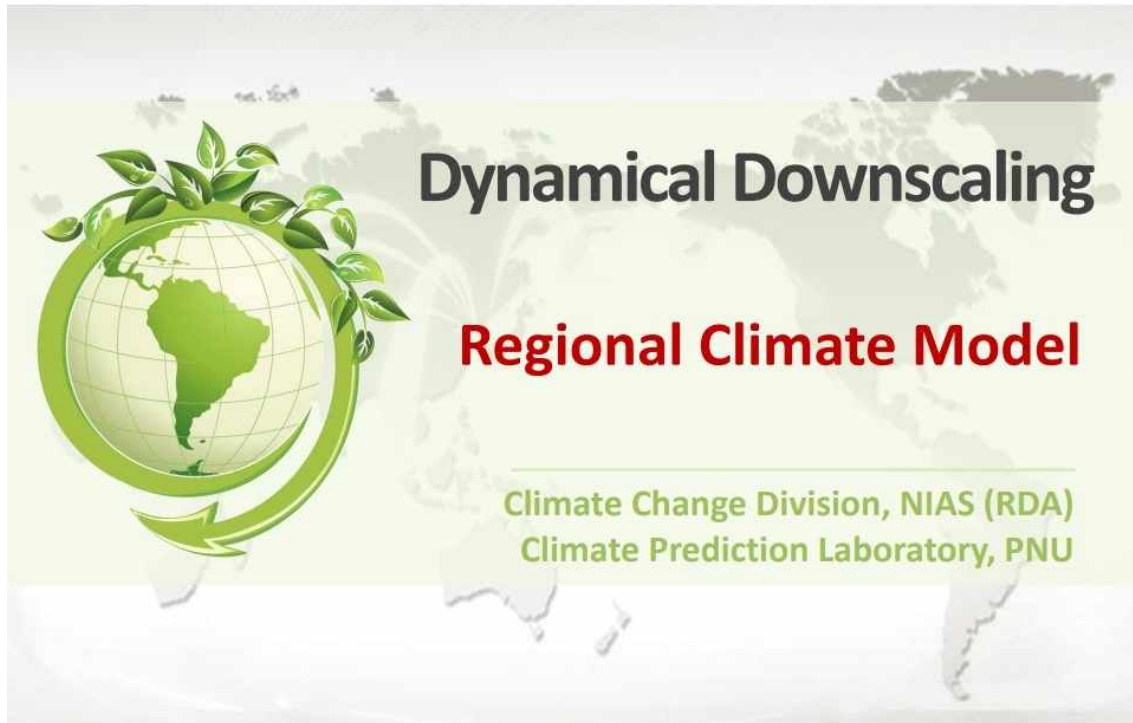


Pusan National University Climate Prediction Laboratory

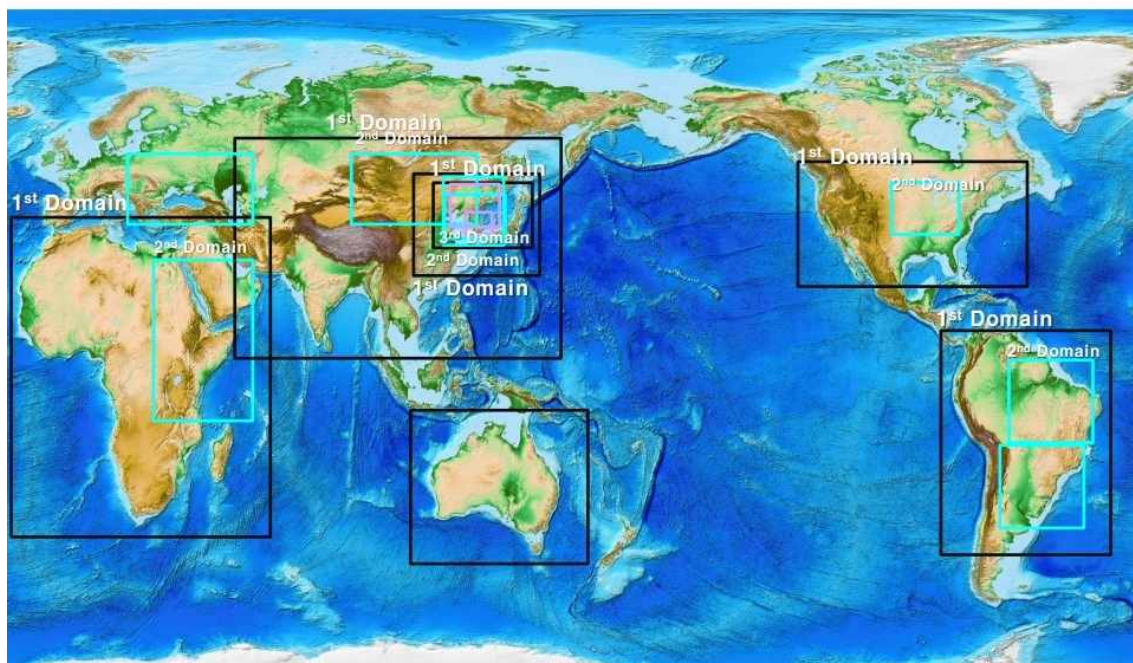
Long-term prediction of El Nino/La Nina using PNU/RDA CGCM Ensemble mean – La Nina Case (120E~90W,20S~20N) 98/99



Pusan National University Climate Prediction Laboratory

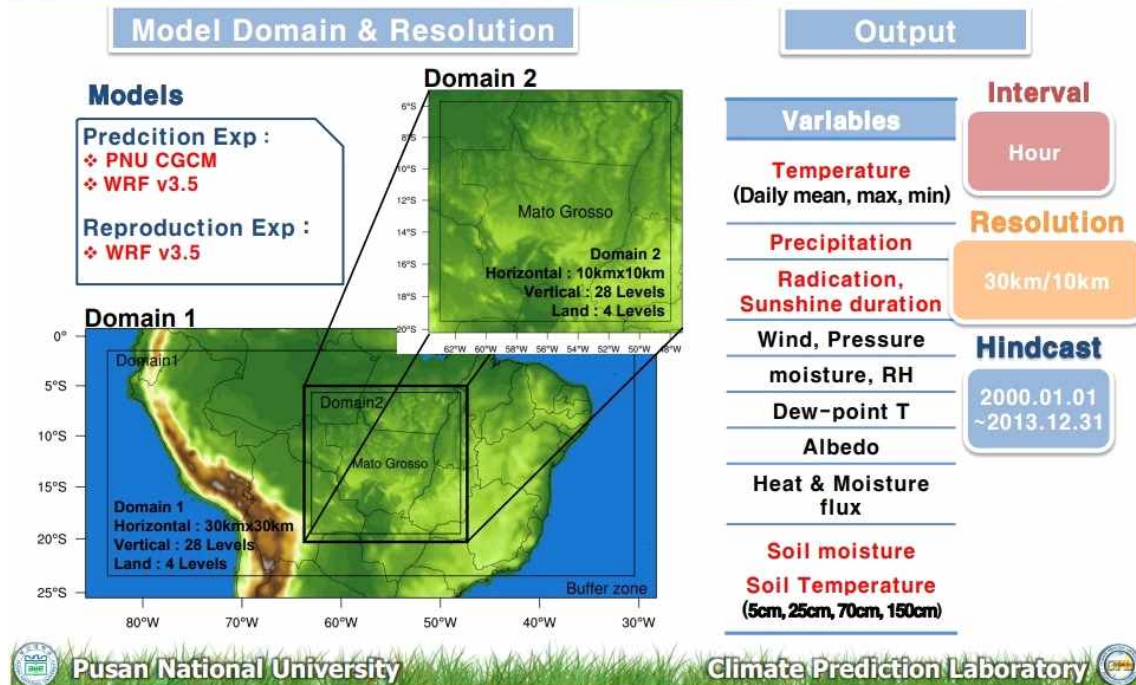


Regional Climate Prediction using Dynamic Downscaling

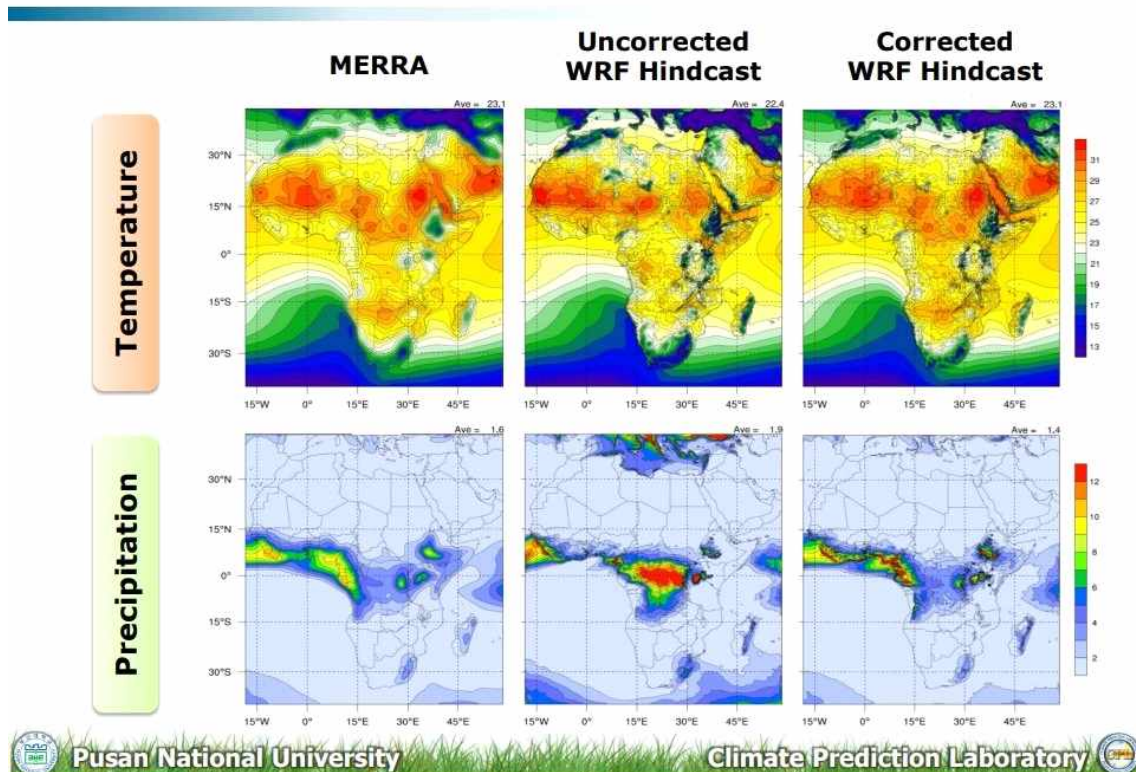


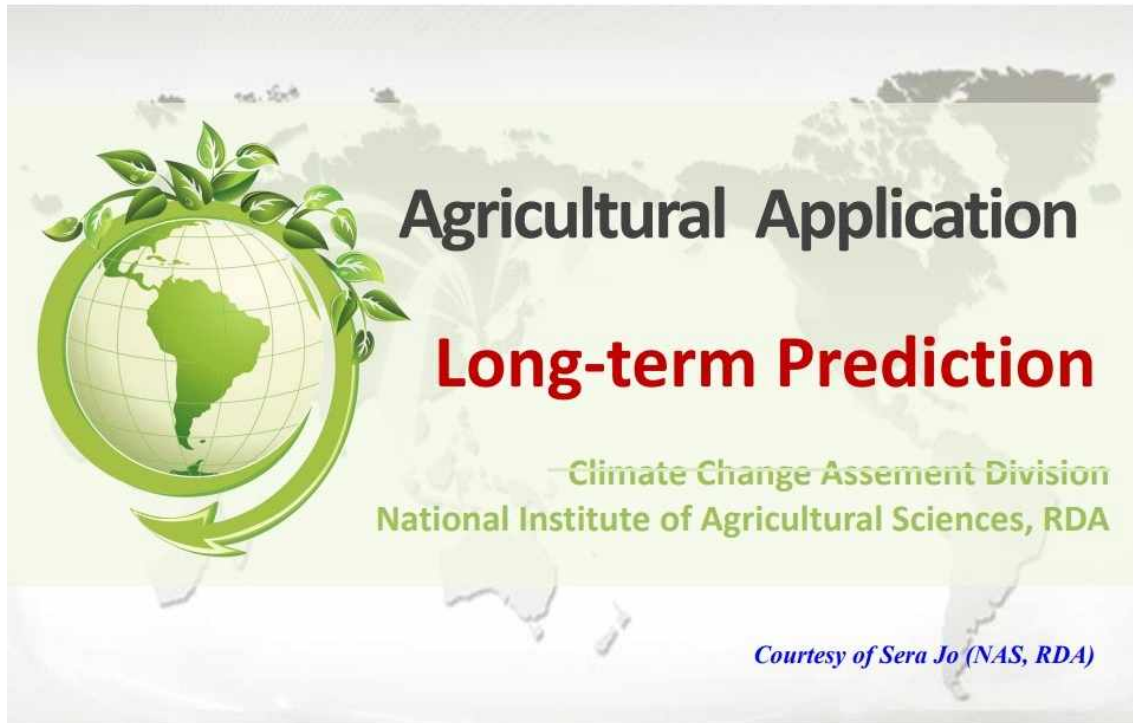
Climate Prediction for Major Grain-Producing Countries

6-month-lead Hindcast & Prediction using Dynamical Downscaling



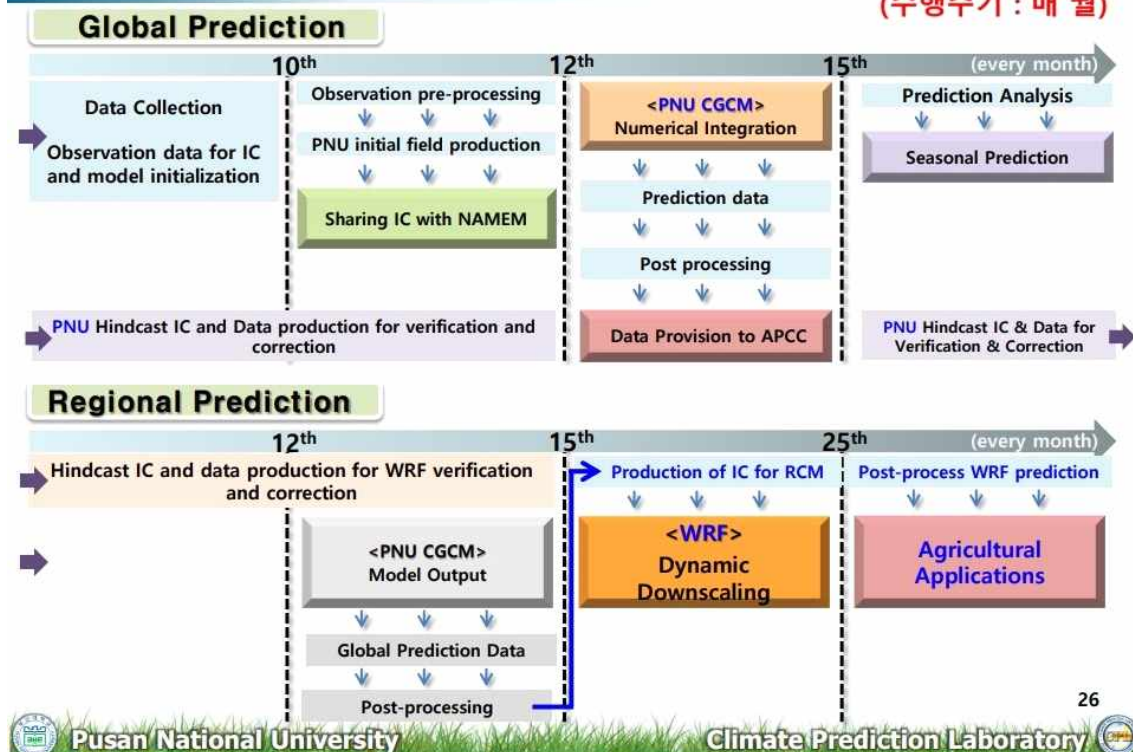
Systematic Bias Estimation and Correction





Time Schedule for the Operation of the Prediction System

(수행주기 : 매 월)



Long-range forecast (~6month) of CGCM

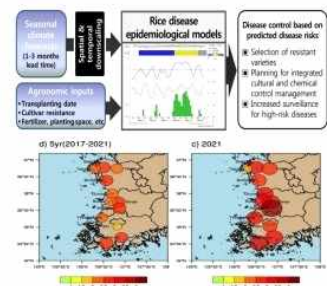
Dynamical downscaling with RCM (WRF)

(horizontal resolution : 5km)

High resolution

I.C./B.C.: PNU/RDA CGCM with in-direct land initialization run (4 members)

Crop disease model



강화약쑥 재배지 국지 환경특성 분석 및 재배적지 설정 [예]



강화지역 국지 기후도 작성

강화도 평균 상세기후값 (100mx100m)

	평균기온(°C)	일교차(°C)	강수(mm)	바람(m/s)	일조시간(h)
연평균	11.5	9.5	1306	1.9	2910
봄	10.8	10.2	217	2.4	945
여름	23.3	8.1	753	2.1	853
가을	13.6	10.1	243	1.6	624
겨울	-1.8	9.4	93	1.6	486

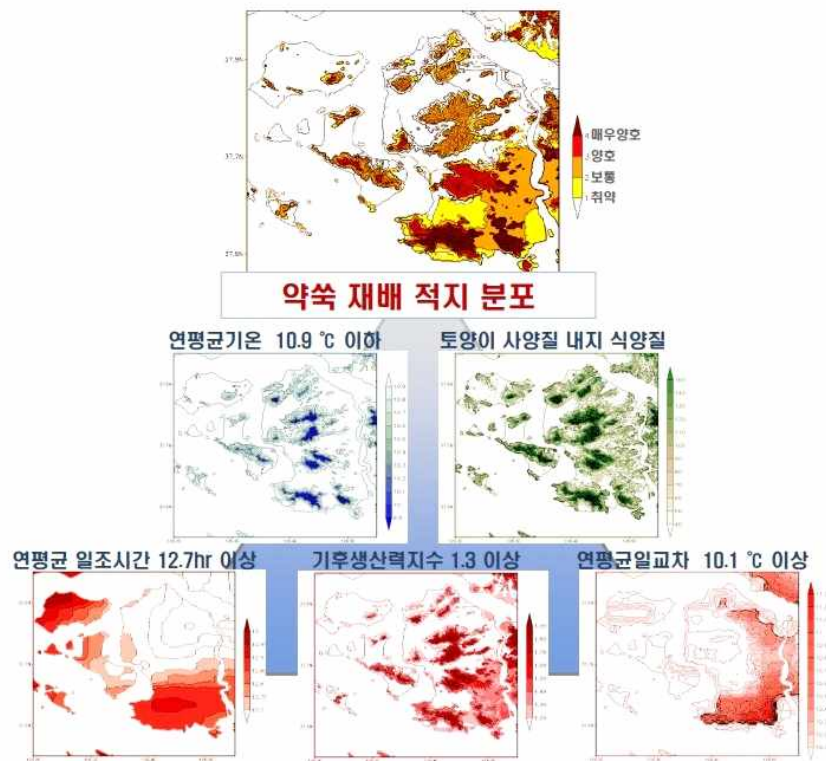
지상기상관측소에서 관측된 기상요소들

	평균기온(°C)	일교차(°C)	강수(mm)	바람(m/s)	일조시간(h)
연평균	11.1	9.6	1293	1.8	2449
봄	10.3	10.4	216	2.2	708
여름	22.5	8.0	784	1.9	592
가을	13.4	10.4	231	1.6	584
겨울	-1.7	9.8	62	1.6	565

모형실험에서 생산된 관측소 인근 격자점 자료

	평균기온(°C)	일교차(°C)	강수(mm)	바람(m/s)	일조시간(h)
연평균	11.4	9.8	1344	2.3	2904
봄	10.8	10.5	234	2.8	944
여름	23.2	8.1	782	2.4	846
가을	13.4	10.6	249	1.9	622
겨울	-1.7	9.9	79	1.9	492

모형이 추정한 강화약속 재배적지 분포도



Summary

PNU/RDA CGCM 은 엘니뇨, 북극진동, Western Pacific pattern 등 한반도 기후변동에 영향을 미치는 주요 기후현상들의 주기, 강도, 지속시간, 공간구조 등을 적절히 예측할 수 있는 예측성을 가지고 있다.

예측시스템에 의해서 생산된 고해상도 시공간 예측자료는 여러 분야에 걸쳐 다양한 목적으로 활용될 수 있다.

개발된 PNU/RDA 지구시스템 장기 예측시스템은 지난해 농업진흥청 국립농업과학원(NAS, RDA)에 이관되어 농업적 활용을 비롯한 다양한 목적을 위해 현업적으로 활용되고 있다.







“우리나라는 빠른 속도로 추격하고 있지만, 선진국과의 격차를 줄이기 위한 전략이 필요”

대한민국 우주개발의 역사

- 한국최초 인공위성 **우리별 1호** 발사 (1992.8)
- 국내 최초 다목적 실용위성 **아리랑 1호** 발사 (1999.12)
- 한국 최초 액체추진과학로켓(KSR-III) 발사 (2002.11)
- 고흥 **나로우주센터** 준공 (2009.6)
- **나로호 3차 발사** 성공 (2013.1)
- **누리호 2차 발사** 성공 (2022.6.21)
- 한국 첫 달 탐사선 '**다누리**' 발사 성공 (2022.8.5)
- 차세대 소형위성 2호 발사 **누리호 3차 실전발사** 성공 (2023.5.25)



“ 누리호 2차 발사 (2022.6.21) ”

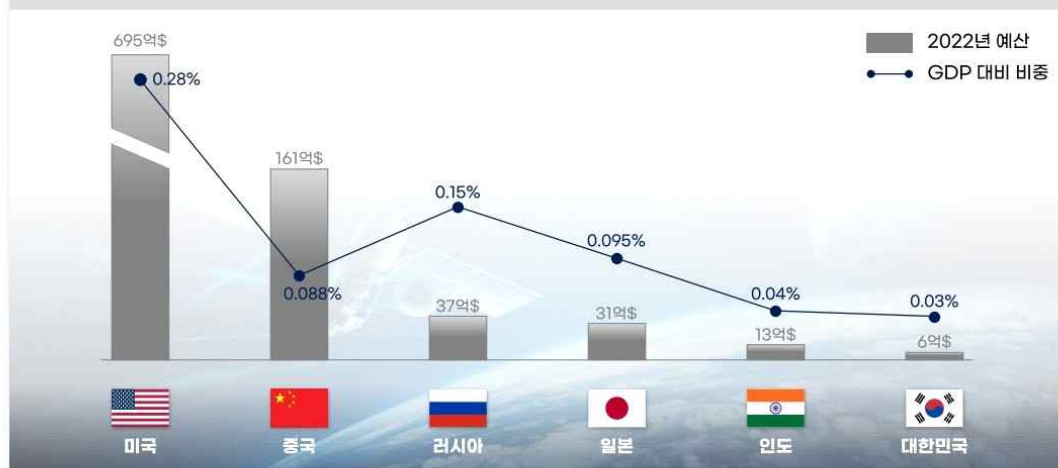


우주경제시대 우주항공청 정책방향

5

“ 우리나라는 빠른 속도로 추격하고 있지만,
선진국과의 격차를 줄이기 위한 전략이 필요 ”

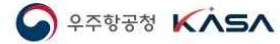
2022년 국가별 우주개발 예산



* 2023 우주산업 실태조사

우주경제시대 우주항공청 정책방향

6



“ 우주항공 전담 컨트롤타워의 필요성 ”

- * 전 세계 70여 개국이 우주전담기관을 운영 중이며, 대다수(86%)가 정부기관 형태
- * 유럽우주청(ESA) 등 지역별 우주기구도 다수 운영 중
- * '23년 스페인우주청(AEE)를 포함하여 최근 5년간 12개국에서 우주 전담기관을 신규설립

국가별 우주전담기관



미국 NASA



프랑스 CNES



독일 DLR



일본 JAXA



유럽 ESA



아태 APSCO



중국 CNSA



인도 ISRO



캐나다 CSA



영국 UKSA



러시아 ROSCOSMOS

.....

신규 설립



스페인 AEE('23)



대한민국 KASA('24)

우주경제시대 우주항공청 정책방향



“ 우주항공청 조직구성 : 임무지향적 유연한 조직 ”



“ 국가 우주항공 거버넌스 개편 : 국가우주위원회 총괄·조정기능 강화 ”



비전

“우주항공청이 대한민국의 세 번째 기적을 창조하겠습니다”

목표

우주항공 5대 강국 실현 및 국가 주력산업화

투자 확대

- 예산 1조 5천억원 이상 ('27)
- 국가투자 100조원 유치('45)
(민간+공공)

우주항공 경제 창출

- 세계시장 점유율 10%달성 ('45)
- 기업 2천개 이상 육성 ('45)
- 우주항공 일자리 50만명 이상 창출 ('45)
- 10대 기업 월드클래스 진입 ('45)

최고 수준 연구·산업환경

- 우주항공 임무센터지정 ('24~)
- 우주항공산업 삼각 클러스터 구축 (~'28)

우주경제시대 우주항공청 정책방향

11

“뉴스페이스 시대, 우주수송 시장을 선도하겠습니다”

다양한 임무수행을 위한 우주발사체 확보

재사용발사체 체계 개발

- 경제성 향상을 위한 체계 설계
- 국내 산업체 주도, 뉴스페이스 지원

차세대 발사체 개발

- 첨단 1단 엔진 (다단 연소사이클)
- 우주탐사 주력 담당

누리호 반복발사

- 4차('25)·5차('26)·6차('27)

우주항(Spaceport)으로 나아가는 발사장 인프라 확충

나로우주센터

민간로켓 발사장 추가, 우주항으로 확장

제2 우주센터

후보지 탐색 (육상발사 또는 해상발사)

우주경제시대 우주항공청 정책방향

12

“ 위성개발·활용 생태계를 조성하겠습니다 ”

신기술 선점을 위한 첨단위성 개발

초고해상도 위성 세계 수준의 해상도(15cm)를 갖춘 첨단위성 개발

미래 위성기술 우주광통신·우주인터넷 등 선점

위성정보 활용 활성화를 통한 신산업 창출

위성정보 빅데이터화·기술 융합 인공지능(AI) 적용·산업활용도 증대 촉진

민간주도 신산업·신서비스 민간서비스용 위성정보 플랫폼 개발



위성항법 시스템 기반 구축

한국형 위성항법시스템 개발 (KPS 개발)

- 국가항법정보체계 기본법 제정
- KPS 활용 종합 시험센터 설립

우주경제시대 우주항공청 정책방향

13

“ 달을 넘어 화성 등 심우주탐사를 확대하겠습니다 ”

우주탐사 로드맵 마련 및 선도사업 추진

우주탐사 로드맵 달·화성 등 우주탐사를 체계적으로 추진

L4 태양관측 국제협력을 통해 '태양관측 L4* 탐사선' 개발 추진

* (라그랑주점) 태양과 지구의 중력과 위성의 원심력이 상쇄되는 평형점으로 L1~L5까지 있으며, L4는 타국이 탐사하지 않은 미개척지



대한민국 우주지평을 심우주로 확장

달 탐사

- 달 착륙선 발사('32)
- 달기지 구축(40년대)

화성 탐사

- 화성 관측 궤도선('35)
- 화성 착륙선('45)

소행성 탐사 아포피스 소행성 탐사 도전('29)



우주경제시대 우주항공청 정책방향

14

우주항공청 KASA

“新 항공산업의 주도권을 확보하겠습니다”

글로벌 신시장 선점을 위한 미래항공 핵심기술 개발

미래항공 모빌리티 하이브리드 미래항공모빌리티(AAM*) 개발
* Advanced Air Mobility

첨단엔진 대형 가스터빈 엔진 등
민군 공동개발

항공부품 세계 생산 기지화를 위한 생태계 구축

소재부품장비 항공기 관련 소재·부품·장비
핵심기술 확보

군용기 수출연계 및 항공부품 분야
상생협력 지원

민군협력 및 국제공동개발 확대

무인기 군용 무인기의 민수화 추진

군용기 완제기 수출 확대 및
부품산업 동반 육성 추진

우주경제시대 우주항공청 정책방향

15

우주항공청 KASA

“우주항공경제를 본격적으로 창출하고 우주항공 주권을 확보하겠습니다”

뉴스페이스 시대, 우주항공산업 클러스터 구축 본격화

우주항공산업 클러스터 세계 수준의 우주항공산업 클러스터 삼각체제 구축
* 경남 위성, 전남 발사체 대전 연구/인재

우주항공청 본청 건립 문화 융·복합 기능 등을 갖춘 우주항공청 본청 건립 본격화

글로벌 소통 허브, 우주협력 네트워크 구축

양자협력 국제프로젝트, 양자 대화체 및 위성항법 포럼 운영 등

다자협력 유엔 우주사무국 등 국제기구와 협력 강화

우주안보 강화

우주안보

- 한국형 통합우주상황인식시스템 (K-SSA*) 구축
* Space Situational Awareness
- 민군 우주감시자산 공동구축 및 활용

우주경제시대 우주항공청 정책방향

16

“ 국가 우주항공 정책 컨트롤타워 기능을 강화하겠습니다 ”

국가 우주항공 정책 총괄 및 정부혁신 선도모델 운영

거버넌스

- 국가우주위원회 격상
(위원장 : 대통령)
국가 주요 우주항공정책 방향 논의
(정례적 개최)

투자

- 1조5천억원 이상
투자 확대 ('27)
- 국가투자 100조원 유치 ('45)
(민간+공공)
- 우주항공기금 설치 운영

우주항공청의 혁신

- 임무지향적 유연한 조직 운영
- 전 직원의 전문성 지향
- One-Team (우주항공청,
출연연 등) 체제로 업무추진

우주경제시대 우주항공청 정책방향

17









미래를 지키는 눈, KASA 우주항공청

근지구 우주물체 관측시스템

SPACE SITUATIONAL AWARENESS ACTIVITIES IN KOREA

NEAR EARTH OBJECT OBSERVATION

01 KMTNet
(Korea Microlensing Telescope Network) :
1.6m wide-field optical telescope located in Chile, South Africa and Australia in the southern hemisphere, 24hour observation IAWN Asteroid observation campaign participation

02 Near Space Optical Survey-Alpha (NSOS- α) (2027~)
The first dedicated observation facility for NEO survey in the southern hemisphere using a 1.5-meter class telescope



South Africa Chile Australia

NSOS- α

미래를 지키는 눈, KASA 우주항공청

전천 우주물체 모니터링 시스템

SPACE SITUATIONAL AWARENESS ACTIVITIES IN KOREA

ALL-SKY SPACE OBJECT MONITORING SYSTEM

Fly eye type multiple camera observation system for large artificial space object monitoring



USA LEMMON MOROCCO OUKAIMEDEN ISRAEL WISE MONGOLIA SONGINO KOREA BOHYUN KOREA HQ/TESTBED

미래를 지키는 눈, KASA 우주항공청

유성체 감시 네트워크 시스템

SPACE SITUATIONAL AWARENESS ACTIVITIES IN KOREA

KOREA METEOR MONITORING AND OBSERVATION NETWORK (K-M²ONET)

Observation of meteors falling down over the Korean peninsula
Detection of fireballs and generation of information for the estimation of their falling trajectories and impact areas

By 2022, 16 monitoring stations are going to be installed over the southern part of the Korean peninsula.



- Publicity at the national level that also contributes to science gifted education
- Plan to join the international meteor observation network

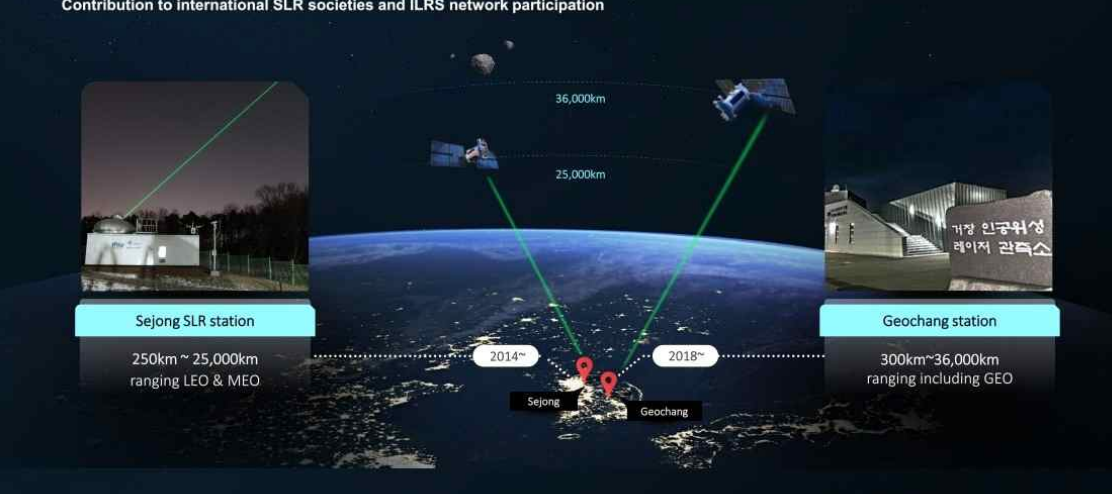
미래를 지키는 눈, KASA 우주항공청

인공위성 레이저추적 시스템

SPACE SITUATIONAL AWARENESS ACTIVITIES IN KOREA

SLR (SATELLITE LASER RANGING SYSTEM)

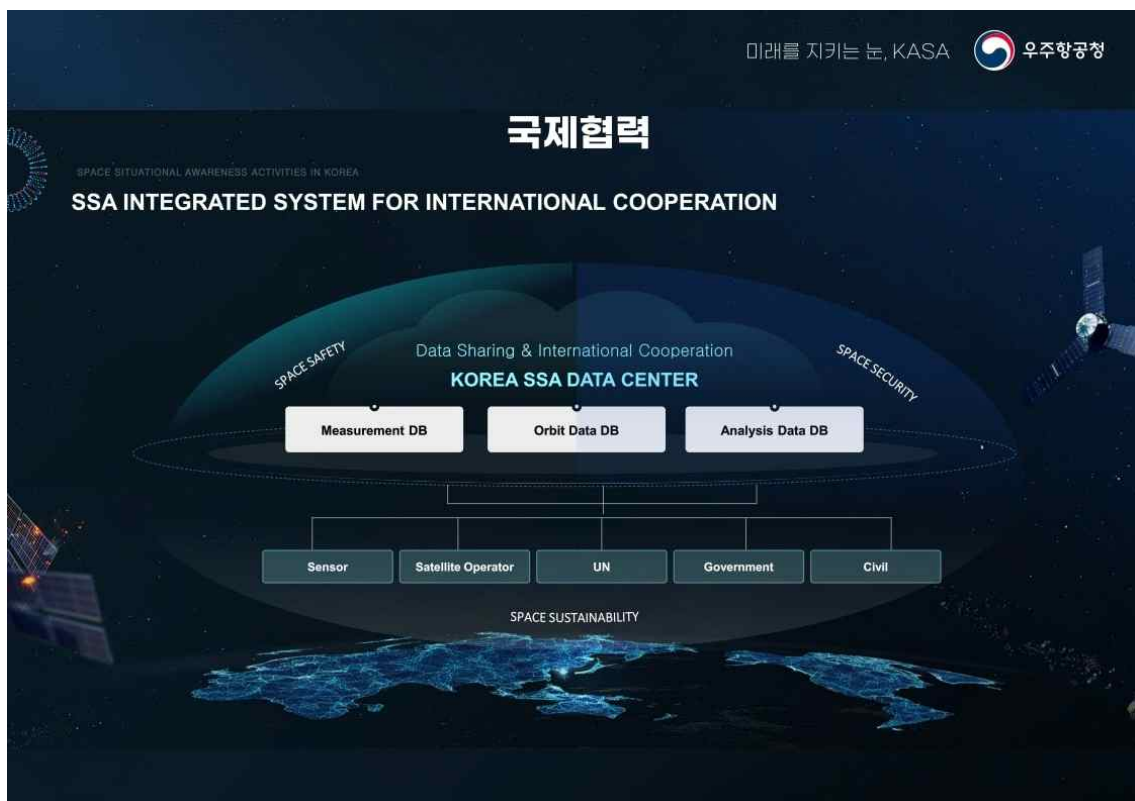
Precise orbit determination through laser ranging measurement
Contribution to international SLR societies and ILRS network participation



Sejong SLR station
250km ~ 25,000km ranging LEO & MEO

Geochoang station
300km ~ 36,000km ranging including GEO







확산실험을 이용한 북태평양 아열대 모드수의 남중국해 유입 분석

이승태^{*1}, 조양기², 김정옥¹, 서성봉¹

¹한국해양과학기술원(yongskim@kiost.ac.kr)

²서울대학교 지구환경과학부

요약

루손 해협은 북태평양과 남중국해를 연결하는 중요한 해역이다. 북태평양 중층에 존재하는 다양한 수괴 중에서도 쿠로시오 확장역에서 형성되어 표층아래에서 시계방향으로 이동하는 아열대 모드수(Subtropical Mode Water, STMW)의 남중국해로의 유입 경로는 명확히 밝혀지지 않았다. 2011년 3월 후쿠시마 발전소 사고 이후 해양으로 방출된 방사성 세슘(^{137}Cs)은 초기 STMW 형성 지역에서 주로 검출되었으며, 이는 STMW의 수송 경로를 추적하는 유용한 지표로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 삼차원 해양 수치 모델(ROMS)을 이용하여 루손 해협을 통한 ^{137}Cs 의 남중국해 유입 과정을 분석하고, 특히 STMW 밀도층 내에서의 이동에 초점을 맞추었다. STMW 수송의 영향을 분리하기 위해 해양 방출 시나리오를 적용하여 분석을 수행하였다. 연구 결과, 사고 발생 약 7년 후부터 STMW 밀도층 내 ^{137}Cs 농도가 증가하기 시작하였다. 대규모 아열대 순환을 따라 표층 ^{137}Cs 가 루손 해협에 도달하기 전에, STMW 밀도층을 따라 수송된 중층 ^{137}Cs 가 먼저 남중국해에 도달하는 것으로 나타났다. 또한, 루손 해협 서쪽에 위치한 반사이클론성 소용돌이(anticyclonic eddy)의 중심부에서 STMW 밀도층 내 ^{137}Cs 가 포착되었으며, 이는 소용돌이에 의해 밀도층이 깊어지는 현상과 밀접한 관련이 있었다. 루손 해협 서쪽에 위치한 반사이클론성 소용돌이에 갇힌 ^{137}Cs 는 소용돌이가 분리되면서 남서쪽으로 이동하여 남중국해로 유입되었으며, 소용돌이가 약화됨에 따라 STMW에 포함된 ^{137}Cs 가 점진적으로 확산되는 양상을 보였다. 본 연구는 STMW가 방사성 세슘의 남중국해 중층 수송 경로에서 중요한 역할을 함을 강조하며, 또한 반사이클론성 소용돌이가 그 수송을 조절하는 데 중요한 기작임을 시사한다. 향후 연구에서는 루손 해협에서 분리된 소용돌이의 이동 및 확산 메커니즘을 보다 심층적으로 규명할 필요가 있다.

주요어 : STMW, 루손 해협, 남중국해, ^{137}Cs , 확산수치모델링

후쿠시마 유래 ^{137}Cs 의 북태평양 확산 양상: 연직 유속 및 연직 확산계수 적용의 차이

김경옥*¹, 김해진¹

¹한국해양과학기술원(kokim@kiost.ac.kr)

요약

후쿠시마 원전 사고 이후 방사성 세슘(^{137}Cs)의 해양 확산을 예측하기 위한 다양한 수치 모델링 연구가 수행되었으며, 특히 해양 순환의 정확성이 예측 결과의 신뢰성을 결정하는 핵심 요소로 지적되었다. 기존 연구들은 주로 서태평양에서의 단기 확산에 집중했지만, 북태평양 전반에 걸친 장기 확산 연구는 제한적이었다. 이러한 연구의 공백을 해소하고 보다 정밀한 예측을 수행하기 위해, 본 연구에서는 북태평양 전체를 대상으로 세슘 확산을 시물레이션하고, 해양 내부에서의 거동을 결정하는 주요 요인인 연직 유속과 연직 확산계수가 시물레이션 결과에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

이를 위해 한국해양과학기술원에서 구축한 북태평양 재분석 해류자료와 라그랑지안 입자 추적 모델을 활용하였다. 사용된 모델은 원자력 사고와 같은 비상 상황에서 신속한 대응을 위한 시물레이션을 목표로 하며, 정확성과 계산 효율성의 균형을 고려하여 설계되었다. 본 연구는 사고 초기 2년 동안 세슘의 연직 침투에 대해 논의했던 이전 연구(Kim et al., 2023)를 확장하여, 북태평양에서의 장기 확산을 평가하였다. 이를 위해 현재 이용 가능한 관측 데이터를 바탕으로 모델 성능을 검증하고, 연직 속도와 연직 확산계수가 북서태평양 및 북동태평양에서 세슘의 해양 내부 확산에 미치는 차이를 분석하였다.

그 결과, 현실적인 방사성 물질 확산 예측을 위해 적절한 연직 유속의 반영이 필수적임이 확인되었으며, 이는 향후 방사성 물질 유출과 같은 비상 상황에서 효과적인 대응 전략 수립에 기여할 것으로 기대된다.

주요어 : ^{137}Cs , 후쿠시마, 방사능, 입자추적모델, 북태평양

참고문헌

Kim, H., Jin, H., Kim, Y.H., Jung, K.T., Kim, K.O., (2023). Origin and pathway of a subsurface maximum of ^{137}Cs detected in the winter of 2012 after the Fukushima accident. Mar. Pollut. Bull. 195, 115463.

동해 남서부 해역의 수층 변동 특성을 고려한 최적의 선박 관측 CTD 자료 처리 기법 연구: 열지연 효과 보정(CellTM) 중심으로

이경제^{*1}, 서성봉²

¹인천대학교 해양학과(kjlee83@inu.ac.kr)

²한국해양과학기술원 해양순환·기후연구부

최근 기후 변화에 따라 해양에서 수괴 및 수직 물성 구조의 장기적인 미세 변화를 제대로 모니터링 해내는 것이 더욱 중요해지고 있다. 해양에서 중요한 물성 중 하나인 수온, 염분 변화를 측정하기 위해 SBE사에서 제작한 CTD 장비가 널리 활용되고 있으며, SBE CTD 장비의 수온 센서와 전기전도도 센서는 각각 0.001°C, 0.003 g/kg의 높은 수온, 염분 정확도를 가진다. 이러한 정확도를 유지하며 기후 변화에 따른 미세한 변화를 제대로 감지해 내기 위해서는 획득한 CTD 자료의 적절한 후처리 과정이 필수적이나, 기존에 연구된 후처리 방법들의 경우 이상적인 실험실 조건이나 특수한 해양 조건을 가정하여 실제 해양 현장에 적용하였을 때 제대로 된 후처리 결과를 도출하기 어려운 경우가 많다. 또한 선박에서 윈치를 통해 CTD 장비를 하강, 상승시키며 운용하는 장비의 특성상 특히 수온약층 부근에서 전기전도도 값에 열지연 효과가 발생하며, 이러한 효과는 부정확한 염분 구조나 밀도 역전을 유발하여 정확한 수층 구조의 분석을 어렵게 한다. 본 연구에서는 CTD 자료의 여러 후처리 과정 중 열지연 효과 보정(CellTM)에 초점을 맞추어, 특히 계절 변동성이 큰 동해 남서부 해역에서 수층 구조 특성과 계절 변화를 고려한 최적의 보정 계수 산출 방법을 다루었다. CellTM을 위해 열편차 진폭(α)와 열편차 시간상수(τ)를 합쳐 열 편차(Thermal anomaly)라는 개념을 도입하였으며, 동일한 해역, 같은 계절임에도 불구하고 수층 구조 변화에 따라 열 편차의 차이가 크게 나서 별도의 보정 계수 산출이 필요함을 확인하였다. 이러한 차이를 고려하지 않고, 기존 연구들에서 제시한 보정 계수를 단순히 활용할 경우 후처리된 자료로 염분 약층을 추정할 때 수 십 m 이상의 수심 차이를 유발할 수 있다. 본 연구 결과는 한반도 주변 해역에서 수집되는 모든 CTD 자료의 후처리 결과를 향상시키는 데 기여할 수 있으며, 이를 통해 공개 자료의 신뢰성을 높이고, 향후 관련 자료를 활용한 연구의 정확도를 개선하는 데 도움을 줄 것으로 기대한다.

주요어 : 동해, CTD, 후처리, 열지연 효과, CellTM

남극 해빙의 변동성에 대한 수치 모델 연구:

대기 및 해양 강제력 기여도 평가

김대혁^{1*}, 김태균², 추성호², 문재홍^{1,2}, 진경³

¹제주대학교 해수면변동연구센터

²제주대학교 해양과학대학 지구해양학과

³극지연구소 정책협력부

요약

해빙은 지구 표면의 최대 7%를 차지하는 세계 해양의 주요 구성요소로, 다양한 해양 생물의 서식지를 제공할 뿐만 아니라 해양 순환과 지구 기후 패턴을 주도한다. 지난 수십 년 동안 남극 해빙 면적은 지구 평균 기온이 증가함에도 불구하고 지속적으로 증가하지만, 2010년대 중반 이후로 급격하게 감소하였다. 이런 해빙의 면적 및 두께 변화는 SAM(Southern Annular Mode), ASL(Amundsen Sea Low), Zonal Wave Three(ZW3), ENSO, 남극 강수량, 바람에 의한 해빙 수송 등 다양한 기후 시스템에 의해 영향을 받는다. 남극 해빙의 변동성은 매우 복잡한 물리 과정과 얽혀 있어 해빙 변동성의 메커니즘을 간단하게 분석하기에는 쉽지 않다.

해빙의 변동성을 쉽게 이해하는 가장 좋은 방법은 독립형 해빙 수치 모델(standalone sea ice model)을 사용하는 것이다. 본 연구에서는 독립형 해빙 수치 모델을 사용하여, 최근 급격한 해빙 변동성에 대한 대기 및 해양 강제력의 기여도를 분석하였다. 독립형 해빙 수치 모델 결과, 지난 수십 년 동안 남극 해빙의 연간 변동성은 대기 강제력만으로도 2010년대 중반까지 남극 해빙의 증가 추세와 2010년대 급격한 해빙의 감소 등이 전반적으로 잘 재현되었다. 남극 주변 지역에 따라 대기 및 해양 외력장에 대한 기여도는 서로 차이가 있다. 웨델해(Weddell Sea)의 경우, 대기 외력장만 적용한 실험에서도 최근까지 경년변동성은 약 0.82로 높은 상관계수를 가지면서 잘 재현된다. 반면에 로스해(Ross Sea)와 아문젠해(Amundsen Sea)에서는 관측과의 상관계수가 각각 약 0.36, 0.26으로 낮은 상관성이 나타난다. 특히, 로스해와 아문젠 해에서는 남극 해빙은 2020년까지 다시 증가하다가 감소하는 추세가 나타나지만, 대기 외력장만 고려한 수치 실험에서는 남극 해빙은 지속적으로 증가하는 추세가 나타난다. 2020년 이후 남극 해빙 경년 변동 추세의 불일치는 해양의 외력장을 함께 고려하였을 때 재현성이 향상됨을 보였다. 이는 최근 들어 남극 해빙의 경년 변동성에 있어 해양 강제력의 기여도가 점점 더 중요해지고 있음을 시사한다.

해양-빙붕 상호작용을 고려한 남극 로스해 해양순환 모의 시스템: 대륙붕수의 계절변동 특성과 요인

추성호^{*1}, 김태균¹, 김대혁², 문재홍^{1,2}, 진경³

¹제주대학교 해양과학대학 지구해양학과 (tigerchoo@gmail.com)

²제주대학교 해수면변동연구센터

³극지연구소 정책협력부

요약

로스해에서 형성되는 고밀도 대륙붕수(Dense Shelf Water, DSW)는 대륙 사면을 따라 침강하면서 남극저층수(Antarctic Bottom Water, AABW)를 형성하고, 이 중 대부분은 남극 태평양 섹터의 저층을 차지하며 저위도를 향해 흐른다. DSW의 형성에는 해빙 빙결 과정의 염분 방출로 형성되는 고염분 대륙붕수(High Salinity Shelf Water, HSSW)와 빙붕 기저면의 용융으로 생성되는 빙붕수(Ice Shelf Water, ISW) 혼합이 중요하기 때문에 해빙 프로세스와 해양-빙붕 상호작용을 고려하는 것은 DSW의 형성과 변형에 중요한 물리적 과정이다. 또한, 대륙 사면을 가로질러 유입되는 환남극 심층수(Circumpolar Deep Water)의 변동성과 로스해 동쪽에 인접한 아문젠해에서 유입되는 해류는 로스해의 해수 특성 결정에 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 DSW 형성에 필수적 물리과정인 해빙 프로세스와 해양-빙붕 상호작용을 고려한 3차원 해양순환모델을 구축하여 로스해 DSW의 형성 과정 및 계절적인 변동성을 분석하였다. 겨울철에 대륙붕 해역의 연안 폴리냐에서 활발하게 나타나는 해빙 형성 과정은 대량의 HSSW를 전체 수층에 공급하였다. 또한 고밀도의 해수 공급으로 강제된 로스 빙붕 하부의 순환은 ISW의 생성 증가로 이어졌다. 반대로 여름철에는 태양복사 증가와 이에 동반되는 해빙과 빙붕의 용해수 공급으로 인하여 표층부의 성층이 강화되고 로스 빙붕 북부의 빙단 구역에 한하여 높은 용융률이 나타났다. 평균 3.1만 km^3 의 부피로 분포하는 DSW ($\gamma^n > 28.27 kg/m^3$, $\theta < -1.85^\circ C$)는 계절변화에 따른 해수 변형 과정의 결과로 9월에 최대 부피 4.6만 km^3 을 보인 이후 여름철까지 감소하여 4월에 2.0만 km^3 의 최소 부피를 보였다. HSSW는 전체 DSW 부피의 약 80%를 차지하면서 변동성을 주도하였다.

주요어: 로스해, 대륙붕수, 빙붕-해양 상호작용, 해빙 프로세스

An eddy-rich northwestern Pacific nested ocean model configuration (NWPAC10)

Sang-Yeob Kim^{*1}, Wonsun Park^{2,3}, Franziska U. Schwarzkopf⁴, Torge Martin⁴, Sebastian Wahl⁴, Joakim Kjellsson⁵, Kyeong Ok Kim¹, Hyoun-Woo Kang¹, and Ho Jin Lee⁶

¹Korea Institute of Ocean Science & Technology (sangyeobkim@kiost.ac.kr)

²Institute for Basic Science

³Pusan National University

⁴GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

⁵Swedish Meteorological and Hydrological Institute

⁶Korea Maritime and Ocean University

ABSTRACT

Ocean dynamical and thermodynamical processes in the North Pacific, such as in the Kuroshio Extension region, are closely connected to large-scale climate variability, for instance to the Pacific Decadal Oscillation. Therefore, the simulations of upper-ocean variability and its connection to the large-scale ocean must be effectively incorporated into ocean models for more reliable climate projections. Here, we present an eddy-resolving ($1/10^\circ$) nested ocean configuration for the northwestern Pacific region interactive with the global ocean, namely NWPAC10 (northwestern Pacific $1/10^\circ$). The ocean component is NEMO4.2 with a global horizontal resolution of 0.5° (ORCA05) and applies the two-way nesting method AGRIF for the northwestern region (105°E – 180° , 0° – 65°N); the vertical grid is described by 46 z-star levels. We evaluate the model performance by comparison with observational data. Preliminary results will be presented, including key climate variables and the upper ocean state, such as the North Pacific subtropical mode water and its seasonal-to-interannual variability in the northwestern Pacific region.

Keyword : mesoscale ocean dynamics, northwestern Pacific, upper-ocean variability, western boundary current, NWPAC10

동해 최북단 남하 해류 감시를 통한 위기 대응 기획연구

김용선·송규민·이석·신창웅·최진용·노수연·장찬주

한국해양과학기술원(yongskim@kiost.ac.kr)

요약

동해는 한반도, 일본, 러시아에 둘러싸인 반폐쇄성 해역으로 대서양과 유사한 자오순환을 구조를 가지는 등 기후변화에 따른 전지구 해양변화를 확인하거나 전망하는 자연실험실의 역할을 하고 있다. 동해의 해수순환은 북서태평양 쿠로시오 해류로부터 분지되어 동해로 유입되는 대마난류나 동한난류에 초점이 맞춰져 있었으며 상대적으로 러시아 연안에서 형성되어 동해연안을 따라 남하하는 북한한류의 해류의 세기나 수송량, 그 변동성 및 역할을 제시한 연구는 극히 드물다. 대마난류와 함께 동해의 수평 및 자오 해양 순환의 주축인 북한한류는 차갑고 염분이 낮은 해수를 유입시켜 한류성 어종의 서식환경을 결정하고 동해 조경 해역의 형성과 동해 연안의 해양생산성을 조절한다. 남하 해류를 따라 북한 기원 해양 쓰레기나 부유물, 표류 어선 등이 우리나라 관할해역으로 유입되고 있어 환경오염 및 안보 문제를 유발하기도 한다. 동해 연안을 따라 해양 성층을 결정할 수 있어서 열파 혹은 냉수대 발생에 기여할 수 있다. 본 발표에서는 북한한류에 대한 기존 연구 결과를 개관하고, 이를 종합적으로 감시할 수 있는 동해 관할해역 최북단 해역에서 실시간 입체관측망 구축 기획 연구의 성과 및 연구사업의 방향성을 토의할 예정이다. 본 연구를 통해 동해 기후변화와 현안 문제 대응 측면에서 북한한류의 역할을 조명할 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 북한한류, 동해중층수, 동한난류, 복합기후재해

ENSO 선행 지표 가능성: 서태평양의 북적도해류 수송량

신창웅^{1*}·강현우¹·이재학²·김용선¹

¹한국해양과학기술원(cwshin@kiost.ac.kr)

²(주)오시스템리서치

요약

북서태평양의 ENSO와 열대 해류 사이의 관계를 조사하기 위해 1993년 1월부터 2020년 5월까지의 월평균 재분석자료(GLORYS12V1)를 분석하였다. 재분석자료의 북적도해류(NEC) 재현성은 2017년부터 2020년까지 관측된 131°E 단면의 CTD와 ADCP 자료를 비교하여 확인하였다. NEC와 북적도반류(NECC)의 용적 수송량(VT)은 NEC와 NECC가 평균적으로 나타나는 위도(7.5°N<NEC<18.5°N, 3°N<NECC<7.5°N)에서 수심 300m까지의 유속으로 계산하였으며, 두 해류의 VT는 밀접한 상관관계가 있었다($r=0.67$). 12개월 이동 평균한 NEC VTA는 Nino3.4 지수보다 6개월 앞서 변화했으며 상관 계수는 0.46이었습니다. 반면, NECC VTA는 Nino3.4 지수보다 4개월 앞서 변화했으며 상관 계수는 0.63이었습니다. 이것은 서태평양 131°E 단면의 NEC와 NECC는 2개월 시간 지연이 있으며, ENSO 신호에 반영된다는 것을 의미합니다. 이 결과는 NEC VTA가 ENSO의 선행 지표로 사용될 수 있음을 시사한다.

주요어 : 북적도해류, 북적도반류, ENSO, 용적 수송량

한국해 해양열파: 심화되는 등급별 양극화

여진^{*1}, 최원근^{1,2}, 장찬주^{1,2}

¹한국해양과학기술원 해양순환기후연구부(yeojin006@kiost.ac.kr)

²과학기술연합대학원대학교 해양학과

요약

해양열파는 수일에서 수년 동안 수온이 평년보다 비정상적으로 높게 유지되는 극한 현상으로, 최대 수천 km 정도 넓은 해역에 영향을 미친다. 이러한 해양열파는 해양생물의 서식지 이동을 유발하고 생물다양성을 감소시키며, 양식 어류의 대량 폐사를 초래하는 등 해양생태계에 다양하고 심각한 영향을 미친다. 최근 들어 온난화로 인해 전 세계적으로 해양열파의 발생횟수, 지속시간, 세기가 증가하는 추세를 보이며, 이러한 증가 경향은 앞으로 더욱 심화될 것으로 예상된다. 기존 연구에서는 주로 해양열파의 평균 특성을 분석하여 전체적인 변화 경향 파악에 중점이 있었다. 그러나 해양열파는 등급에 따라 그 특성이 서로 다른 경향을 나타낼 가능성이 있다. 본 연구에서는 해양열파를 등급별로 구분하여 등급별 특성 변동 경향을 분석하고, 해역별 차이를 이해하고자 한다. OISST (The Optimum Interpolation Sea Surface Temperature) 재분석 자료를 이용하여 1982년부터 2024년까지 43년 동안 한국해(동해, 황해, 동중국해)에서 발생한 해양열파를 분석하였다. 해양열파를 보통(moderate), 강함(strong), 심함(severe), 극심함(extreme) 네 가지 등급으로 분류하고, 각 등급별 발생일수, 지속시간, 발생횟수, 평균세기, 누적세기의 연평균 변화와 해역별 차이를 비교하였다. 보통 등급의 해양열파는 43년 동안 가장 낮은 증가율을 보였으나, 발생횟수는 다른 등급보다 두 배 이상 증가한 것으로 나타났다. 반면, 심함과 극심함 등급 해양열파는 43년 동안 평균세기가 각각 8%, 50% 증가했고, 누적세기는 8배, 30배 증가하였다. 특히 극심함 등급은 지속시간이 7배로 가장 큰 증가 경향을 보였다. 이러한 결과는 상대적으로 낮은 등급(보통, 강함)의 해양열파는 더 빈번하게 발생하면서 지속시간이 짧아지는 경향을 보이는 반면, 강한 등급(심함, 극심함)의 해양열파는 더 강해지고 오래 지속되는 경향이 있음을 나타낸다. 결론적으로 지구온난화에 따라 해양열파 특성이 더욱 양극화될 가능성이 높으며, 특히 강한 등급의 해양열파가 지속시간과 세기가 증가할 것으로 전망된다.

주요어 : 극한고수온, 해양열파등급, 한국해, 해역비교, 등급비교

기계학습을 이용한 반폐쇄형 하구에서의 탁도 분포 예측

김남훈^{*1}, 김동현², 박승환¹

¹한국해양과학기술원 해양영토연구본부 해양재난연구부 (nhkim0426@kiost.ac.kr)

²한국해양과학기술원 동해환경연구센터

요약

반폐쇄형 하구에서의 퇴적물 거동은 담수 방류와 해수의 상호작용에 의해 복잡한 역학적 특성을 보이며, 조석 변동과 인위적 방류가 혼합과 성층을 반복적으로 발생시키면서 탁도 변화를 유발한다. 본 연구에서는 YODA profiler와 ADCP를 활용한 Moving Vessel Profiling (MVP) 관측 기법을 이용하여 약 2년간 총 20회의 측선 관측으로부터 획득한 유속, 밀도, 용존산소, 엽록소-a 등의 하구 환경 변수들을 입력으로 활용하여 응답 변수인 탁도를 예측하는 다층 퍼셉트론 신경망(MLP-NN)을 구축하였다. 학습 네트워크는 일련의 성능 검증을 거친 후, 학습에 활용하지 않은 시기의 탁도 예측에 적용하였다. 그 결과, 조석 변동에 따른 퇴적물의 침강 및 재부유 특성을 성공적으로 재현하였으며, 특히 낙조 및 창조 시기의 경압성(baroclinic) 및 순압성(barotropic) 흐름에 의한 퇴적물 거동 특성이 공간적으로 잘 재현이 되었음을 확인하였다. 반면, 측선 관측 기간 동안 발생한 준설 작업과 같은 인위적 요인으로 인해 일부 지역에서는 예측 정확도가 다소 저하되는 경향을 보였다.

주요어 : 반폐쇄형 하구, 측선 관측, 다층 퍼셉트론 신경망, 탁도 예측, 퇴적물 거동

캘리포니아 용승해역의 유해미세조류(적조) 발생 특성

이민선^{*1,2}, Fiorenza Micheli²

¹국립수산과학원, ²Stanford University

유해미세조류(적조)는 어업 뿐 아니라 바다를 즐기는 모든 사람들에게 큰 영향을 주어왔다. 급격하게 변하는 기후와 함께 적조가 어디서 얼마나 강하게 발생하게 될지는 큰 관심사이다. 적조가 발생할 수 있는 기작은 다양하고, 지역마다 다른 발생 특성을 가지므로 아직 많은 연구가 필요하다. 용승해역에서 해저의 영양염이 표층으로 공급되어 적조가 발생하는 사례와 적조가 발생한 후 해저에서 저산소수괴가 생성되어 해저생물들이 폐사하는 등의 사례들은 널리 알려져 있다. 이번 연구는 용승으로 유명한 캘리포니아해류역에 설치한 수온-용존산소 측정 네트워크자료와 실측자료로 검증한 위성원격탐사기법(Normalized Red Tide Index (NRTI), Lee et al. (2021))를 활용하였다. 2018년 바하캘리포니아에서 발생한 적조는 *Prorocentrum micans*가, 2019년 몬트레이베이에서 발생한 적조는 *Akashiwo sanguinea*가 우점종이었으며 적조 종들의 개체크기에는 큰 차이가 있었다. 1nm간격으로 측정한 분광도는 두가지 적조모두 유사한 파장에서 두 개의 봉우리 모양형태를 나타내었고, NRTI를 적용한 결과는 각 적조 종의 밀도에 대해 강한 양의 상관관계를 보였다. 서로 다른 종은 각각의 상관관계를 보이긴 하였지만, 개체수 밀도가 커지면 NRTI가 상승하는 것은 동일하였다. NRTI는 해색위성 대부분에 적용이 가능하며, 그 중 가장 안정적으로 장기간 지구를 모니터링해 온 MODIS에 적용가능한지 확인해보았다. 적조의 두가지 봉우리 중에 600-700nm 사이에 있는 봉우리를 나타내는 데는 1nm 자료에 비해 부족함이 있긴 했지만 적조밀도와 양의 상관관계는 계속 유지되었다. 수온-용존산소 측정망을 통해 용승이 봄-여름에 발생하면서 용존산소농도가 내려가고, 그 후 저산소수괴가 오랜기간 유지되는 곳과 빠르게 원래용존산소농도로 회복되는 곳이 있다는 것을 발견하였다. 저산소수괴가 오래 지속되어 저서생물들의 집단폐사가 보고된 곳들은 위성적조영상에서 값이 높게 나오는 곳과 일치하였다. MODIS는 20년 이상의 자료가 축적되어 있어 기후변화와 적조가 어떤 관계가 있는지 보는데 적합하였다. 캘리포니아해류역은 엘니뇨-라니냐에 의해 변화하는 풍향에 따라 용승의 세기가 달라지며, 이는 적조발생에도 영향을 준 것으로 추정된다. 이 연구를 통해 캘리포니아용승해역에서의 적조발생기작과 저산소수괴와의 연관성을 볼 수 있었다. 엘니뇨-라니냐 전망을 이용한다면 캘리포니아해역에서의 적조와 저산소수괴에 의한 피해를 예상하고 미리 대비하여 어업, 주민, 관광객들의 피해를 줄일 수 있을 것이다.

주요어 : 적조, 용승, 저산소수괴, 위성원격탐사, 엘니뇨-라니냐

Lee, M. S., Park, K. A., & Micheli, F. (2021). Derivation of red tide index and density using geostationary ocean color imager (GOCI) data. Remote sensing, 13(2), 298.

GOCI-II 전구 관측 자료 기반 2023년 필리핀 해상 유출유 탐지

백원경^{*1}, 안재현¹, 배수정¹, 최종국¹

¹한국해양과학기술원 해양위성센터(wk.baek@kiost.ac.kr)

요약

해상 유출유 탐지 및 공간적 변화 분석은 환경적, 생태적, 경제적 측면에서 중요한 연구 분야이며, 방재 및 대응 전략 수립을 위한 필수 자료로 활용될 수 있다. 2023년 필리핀 민도로 섬 인근 해역에서 산업용 기름 약 80만 리터를 적재한 선박이 침몰하면서 2개월 이상 장기적인 기름 유출이 발생하였고, 이로 인해 광범위한 지역의 산호초, 맹그로브, 수중 식물 서식지가 오염되는 환경 피해가 보고되었다. 이에 따라 다양한 위성 활용 기관에서 Sentinel-1, -2, WorldView-3, RADARSAT-2, GaoFen-3, IceEye, Landsat-9, SkySat, TanDEM-X 등의 위성 자료를 이용하여 유출유 확산 범위를 탐지하고 분석하는 연구를 수행하였다. 다종의 위성을 활용함으로써 비교적 짧은 주기로 유출유 확산 범위를 확인할 수 있었으나, 개별 위성 기반의 탐지 연구는 장기적인 확산 변동성을 파악하는 데 한계가 있으며, 극궤도 위성의 특성상 특정 시기에 적절한 관측이 어려운 문제가 존재한다. 본 연구에서는 GOCI-II 전구 자료를 활용하여 해상 유출유 탐지 기법을 제안하고, 이를 통한 시계열적 분석의 가능성을 검토하였다. GOCI-II는 저해상 광학위성으로 고해상 위성에 비해 정밀한 확산 분포 분석에는 제약이 있지만, 매일 동일한 기하조건에서 자료를 획득할 수 있어 장기적인 해상 유출유 확산 분석에 유리한 특징을 갖는다. GOCI-II 촬영 밴드에 대해 해상유출유 탐지를 위한 머신러닝 모델을 학습하였다. 해당 머신러닝 모델은 해상유출유와 유사체(Lookalike)의 명확한 구분이 어려워 다수의 오탐지를 초래하는 한계를 보였으며, 이를 보완하기 위해 형상 분석 및 텍스처 정보를 활용하여 오탐지를 저감하였다. 그 결과 유사체에 의한 오탐지를 크게 저감할 수 있었으나 여전히 유사한 특징을 가진 유사체를 완전히 제거하는 데는 한계가 존재하였다. 향후 연구에서는 추가 분광지수를 활용하여 탐지 결과의 신뢰도 개선할 계획이다. 본 연구는 GOCI-II를 활용한 해상 유출유 탐지 가능성을 최초로 검토한 연구로써, 장기적인 유출유 확산 모니터링 및 환경 피해 평가를 위한 새로운 접근법을 제시한다.

주요어 : GOCI-II, 해상유출유 탐지, 머신러닝, 오탐지 저감

기후변화 위험교육에 대한 지구과학 전공 예비교사의 인식 및 역량 탐색

김서현*¹, 박영신¹

¹조선대학교(hjek0307@naver.com)

요약

자연재해로 인한 위험뿐만 아니라 과학기술의 발달로 인한 ‘생산된 위험’이 증가하고 있다(이현주 et al., 2024). 과학기술은 불확실성과 기후변화처럼 과학기술로의 해결범위를 뛰어넘고 있는 위험들이 존재하고 있다. 이에 학생들이 위험에 대해 합리적으로 대응하도록 하기 위한 교육이 과학교육에서 요구되고 있다. 이를 위해 위험 문제에 대해 합리적인 의사결정을 내릴 수 있도록 지도하기 위한 교사들의 역량이 선호되고, 더 넓은 관점에서의 위험 관련 교육이 제공될 필요가 있겠다(이현주 et al., 2024). 따라서, 본 연구는 우선 지구과학전공 예비교사들이 인지하는 기후변화 위험교육은 무엇인지 알아보는 것이 목적이다. 이를 위해 기후변화에서의 위험교육 7가지 요소(황요한 et al., 2024)를 이용하여 설문지를 다음과 같은 순서로 개발하였다, 연구자들은 기후변화 관련 위험요소에 해당하는 내용을 현장의 교사들이 교수할 수 있는지를 먼저 파악하였다. 기후변화 위험교육의 각 요소에 따른 정의와 사례를 설문내용으로 전환하고, 지구과학교육 전공자인 초등학교, 중학교 및 고등학교 교사를 섭외하여 주어진 초기의 54문항 기후변화 내용으로 교수가 가능한지 파악하였다. 3명의 교사들은 교수경력이 20년이 넘는 경력교사이며 초등학교의 경우는 수석교사이다. 3명의 교사 모두 가르칠 수 있다고 체크된 기후변화 위험교육 설문 항목이 있고, 초등학교인 수석교사만 교수가 가능한 항목도 있었으며 고등학교 교사만 교수가능하다고 파악된 항목도 있었다. 모든 항목의 교수가 가능하다고 응답한 초등학교의 경우는 기후변화교육 관련 다수의 교사연수에 참여한 경력을 지니고 있었으며, 중학교의 경우는 현 교육과정의 교과서에 포함된 내용은 교수가 가능하지만 포함되지 않은 내용의 경우 교수가 가능하지 않다고 하였다. 내용타당도를 위해서 연구자와 교사간 토의를 통해 문항개선이 이루어졌으며, 중복되는 내용을 삭제하거나 윤문을 거쳐서 25개의 기후변화내용 위험교육 설문지를 완성하였다. 이를 투입하여 탐색한 지구과학전공 예비교사들의 기후변화 위험교육 인식을 소개하고자 한다.

주요어 : 기후변화, 위험교육, 지구과학, 예비교사, 인식

기후변화 및 환경교육을 위한 프로젝트 기반 서비스러닝 사례

박병열*

단국대학교(bypark2025@dankook.ac.kr)

ABSTRACT

Recently, extreme weather events such as flooding accompanied by heavy rainfall and water shortages due to droughts have been occurring frequently on an international scale. These events are causing various climate and social problems. In particular, the new types of extreme weather, which differ from those in the past, highlight the severity of climate change and demand immediate action from humanity. The purpose of this study is to introduce project-based service learning in higher education to address climate change and environmental issues. Twenty students from various majors participated in a semester-long course, during which they identified climate change and environmental issues in their community and proposed solutions through projects. By engaging and collaborating with the community, they developed strategies to solve the problem for five topics and applied them to actual problem situations. This project-based service learning offers significant educational insights by practically addressing various climate change-related issues within the community.

Keyword : climate change, community, environmental issues, project-based, service learning

요약

최근 국제적으로 폭우를 동반한 침수, 가뭄으로 인한 물부족 등의 이상기상이 빈번하게 발생하고 있으며, 이는 각종 기후환경문제와 사회문제를 야기하고 있다. 특히, 과거와는 다른 형태의 이상기후는 기후변화의 심각성으로 더욱 심각해지고 있으며 인류의 즉각적인 대응을 필요로 한다. 이 연구의 목적은 기후변화와 환경문제에 대응하기 위한 대학교육에서의 프로젝트기반 서비스러닝을 소개하는데 있다. 20명의 다양한 전공의 학생들은 한 학기 동안의 수업을 통해 지역사회에서 기후변화와 환경관련 문제를 발견하고 프로젝트를 통해 문제를 해결하기 위해 대안을 제시하였다. 이들은 문제해결을 위한 지역사회의 참여와 협력을 통해 다섯 가지 주제에 대해 문제해결책을 제시하고 실제로 문제상황에 적용하였다. 이러한 프로젝트 기반 서비스러닝은 지역사회 현장에서 기후변화와 관련된 여러가지 문제를 실질적으로 해결한다는 측면에서 교육을 위한 중요한 시사점을 제공하고 있다.

주요어 : 기후변화, 지역사회, 환경문제, 프로젝트기반, 서비스러닝

이 연구는 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2021S1A5C2A04089214)

지역기반 기후변화 교육프로그램을 통한 지구과학 예비교사들의 기후변화 대응행동역량 인식 탐색

박영신^{*1}, 이동준¹

¹조선대학교(parkys@chosun.ac.kr)

요약

목적샘플링을 통하여 지구과학교육 재학생 6명을 선정하여 기후변화수업을 멘토로서 활동을 하게 하였다. 멘토의 역할은 중학생 3-4명씩 담당하여 이들의 수업참여를 권장하며 기후행동가 관련 수업 (자연재난, 기후변화, 신재생에너지)을 보조강사로서 수업을 하도록 하였다. 중학생 학생들과의 상호작용을 통해서 본 재학생 6명이 기후위기에 대해서 어떠한 인식을 하고 있으며, 이러한 인식이 수업을 하고 수업을 준비하는 동안 어떻게 변화하는지를 탐색하도록 하였다. 주강사는 연구자로서 프로그램을 개발하여 과학교육정책의 민주시민소양 및 컴퓨팅사고를 반영하여 기후변화, 자연재난, 신재생에너지를 개발 투입하였다. 설문지는 기후변화 대응 실천역량 설문지를 활용하도록 하였으며 (백성희 외, 2021). 그 외의 인식형성은 설문지기반 수업관찰과 성찰지를 통한 자료에 근거 코딩을 하여 인식관련 특징을 추출하도록 하였다. 결과를 살펴보면 전반부의 '기후변화 대응실천역량'의 인식은 모두 4.5 이상으로 높이 나타났다. 하지만 성찰지를 통한 실질적인 실천역량은 상당한 괴리가 있는 것으로 나타났다. 후반부에 나타난 설문지의 실천역량은 전반부의 설문지의 평균보다 모든 영역에서 높게 나타났다 (4.5이상). 하지만 후반부의 성찰일지의 분석결과로 나타나는 실질적인 실천역량과의 관계는 역시 상당히 큰 괴리가 나타났다. 설문지를 통해 이론적으로 '확신'이 있었지만 전반부나 후반부에 나타나는 실질적인 '실천역량'은 이론적으로 나타나는 그 확신과 차이를 보여주고 있다. 후반부에 연구자가 성찰일지에 '기후변화'관련된 행동가로서 우리 학생들이 무엇을 할 수 있는지에 명시적으로 언급하면 좋겠다라는 처치를 하였지만 지속적인 처치를 하지 않은 상태에서 멘토들의 성찰일지에 반영되는 실천역량은 제한적임을 알 수 있다. 다양한 주제에 따라서 나타나는 기후변화 대응실천역량은 다양하다며 자연재해의 내용이 다른 어느 주제보다 높은 실천역량이 나타나는 것은 멘토들이 본인들의 경험에서 또는 실질적으로 미디어를 통해서 항시 접하는 내용이기에 설문지에서나 성찰지에서 좀 더 적극적으로 인식을 하는 것으로 해석할 수 있다. 멘토들이 모든 주제에 익숙해질 수 있도록 연구자의 입장에서 사전 교육이 필요한 것으로 파악된다.

주요어 : 기후변화 대응 실천역량, 예비교사 인식, 성찰, 컴퓨팅 사고, 민주시민소양

탄소 순환에 대한 시스템 사고 온라인 검사 도구 및 분석 방법 개발

전재돈^{*1}, 이효녕², 박상문²

¹경북대학교 과학교육연구소(jjd8659@knu.ac.kr)

²경북대학교 사범대학 지구과학교육과

요약

이 연구는 학생들의 시스템 사고 능력을 평가하기 위한 온라인 시스템 구성을 목표로 하고 있다. 기존의 탄소순환을 중심으로 진행되는 시스템 사고 능력 검사도구를 바탕으로 시스템 사고 양적 검사도구와 정성적 자료 수집을 진행하고, 설문 결과 데이터 관리 및 분석을 컴퓨터 기반으로 진행할 수 있는 온라인 검사 시스템을 구축하였다. 검사 참여자의 편의성을 고려하여, 별도의 설치과정이 필요하지 않도록 웹 기반 아키텍처에서 javascript 및 nodeJS를 활용하여 온라인 서버 시스템을 구성하였다. 수집된 설문 응답 데이터는 MySQL 데이터베이스에 저장하고, 설문참여자 및 연구자가 접근하여 설문결과를 열람할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 특히 웹 기반 아키텍처의 특성을 고려하여 키보드와 마우스를 사용하는 컴퓨터 환경 뿐만 아니라, 태블릿을 터치, 펜입력을 지원하는 디바이스에서도 활용할 수 있도록 개발하였다. 개발된 온라인 검사도구를 예비적용하여 안면타당도를 확인하는 한편, 기존 시스템 사고 수준 측정을 위한 Rubric을 활용한 시스템 사고 능력 분석을 수행하여 학생들의 시스템 사고 능력에 대한 분석을 실시하였다. 개발된 온라인 검사 도구를 활용하여 탄소 순환 뿐만 아니라 다양한 지구 시스템 개념에 대한 시스템 사고 능력의 평가를 보다 많은 학생을 대상으로 연구할 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 시스템 사고 능력, 탄소 순환, 온라인 검사도구,

감사의 글

이 논문 또는 저서는 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2022S1A5B5A16052940)

재해 측면에서의 지진 관련 교육 문헌 분석 연구

최영진^{*1}, 신동희²

¹이화여자대학교 해저드리터러시융합교육연구소(cyj7292@ewha.ac.kr), ²이화여자대학교

요약

우리나라는 인접 국가인 일본이나 중국에 비해 지진의 횟수와 강도가 상대적으로 낮아(Kim et al., 2004), 오랫동안 지진으로부터 안전하다는 인식이 강했다. 그러나 2016년 경북 경주에서 규모 5.8의 지진이 발생한 이후, 2017년 경북 포항에서 규모 5.4의 지진이 연이어 보고됨에 따라 한반도 역시 지진 피해로부터 완전히 안전하지 않음이 확인되었다. 그럼에도 불구하고 포항 지진 이후 대한민국 국민 중 약 35%만이 자신의 지역이 지진에 안전하지 않다고 인식하고 있어(Han et al., 2021), 전반적인 재해 대응 태도가 미흡한 것으로 나타난다. 이는 지진 피해를 최소화하기 위한 사전 준비도 및 대처 능력 향상에 장애 요인으로 작용할 수 있으며(송해룡 & 김원제, 2013; 이기영 등, 2022), 지진 교육의 중요성을 다시 한번 부각시킨다.

현재 우리나라에서는 국민 안전교육 진흥 기본법 제10조(2020), 아동복지법 제31조(2021) 등에 따라 영유아부터 대학생까지 연령별 맞춤형 지진안전교육을 수행하도록 명시하고 있다. 특히 아동복지법 시행령 제28조(2018)에 따르면 재난대비 안전교육은 6개월에 1회 이상, 연간 6시간 이상 이수하도록 의무화되어 있다. 그러나 화재, 태풍, 대설 등 다른 자연재해 교육과 통합 운영되기 때문에 실제 지진 교육에 할애되는 시간은 충분하지 않은 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 지진을 재해 교육 측면에서 다룬 국내·외 선행연구들을 체계적으로 분석하여, 지진 교육의 내용·방법·평가체계를 비교·정리하고 효과적인 교육 프로그램 개발 방향과 정책적 시사점을 제시하고자 한다. 향후 본 연구에서 도출된 결과는 학교와 지역사회에서의 실제 지진 교육 프로그램 설계 및 운영을 개선하고, 관련 법·제도 보완을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 지진, 재난 교육, 재해 교육

감사의 글

이 연구는 2024년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2024S1A5C3A03046593).

참고문헌

- Han, J., Nur, A.S., Syifa, M., Ha, M., Lee, C.W., & Lee, K.Y. 2021, Improvement of earthquake risk awareness and seismic literacy of Korean citizens through earthquake vulnerability map from the 2017 pohang earthquake, South Korea. Remote Sensing, 13(7), 1365.
- Kim, Y.S., Park, J.Y., Kim, J.H., Shin, H.C., & Sanderson, D.J. 2004, Thrust geometries in unconsolidated Quaternary sediments and evolution of the Eupchon Fault, southeast Korea. Island Arc, 13(3), 403-415.
- 송해룡, 김원제. 2013, 자연재해에 대한 위험특성과 위험인식이 위험심각성에 미치는 효과. 한국콘텐츠학회논문지 13(4), 198-207
- 이기영, 하민수, 한주, 이창욱. 2022, 지진 재해에 대한 시민들의 준비도 분석. 한국지구과학회지, 43(1), 199-209.

재해·재난 교육에서 지구윤리학 적용 방안

문소영, 문민경*, 신동희

이화여자대학교(from.mk@ewha.ac.kr)

요약

현대 사회에서 재해와 재난은 다양한 요인에 의해 점점 더 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 상황에서 학생들에게 재해와 재난의 원인과 영향을 교육하는 것은 필수적이다. 본 연구는 재해·재난 교육에 지구윤리학을 적용하는 방안을 탐색함으로써 학생들이 단순한 지식 습득을 넘어 윤리적 책임감을 가지도록 하는 것을 목표로 한다. 2022 개정 교육과정에서는 과학과 및 사회과를 중심으로 재해와 재난 관련 성취 기준을 제시하고 있다. 과학과에서는 자연재해의 원인과 영향을 이해하고 이에 대한 대응 방안을 모색하는 것이 주요 내용이며, 사회과에서는 재난과 재해로부터 자신과 공동체를 보호하는 방법을 학습하도록 구성되어 있다. 이러한 교육 내용은 재해·재난의 과학적, 사회적 측면을 다루지만, 학생들이 보다 깊이 있는 성찰을 할 수 있도록 지구윤리학적 관점을 접목할 필요가 있다.

지구윤리학은 인간과 자연의 관계를 재정의하고, 지속 가능한 사회를 구축하기 위한 윤리적 기준을 제시하는 새로운 학문 분야이다. 재해와 재난은 종종 인간 활동과 밀접한 관련이 있으며, 이에 대한 윤리적 성찰과 책임 의식이 필요하다. 따라서, 본 연구는 재해·재난 교육에 지구윤리학을 적용할 방안을 탐색하기 위해 교육과정 속 재해·재난 관련 성취 기준을 분석하고, 이를 지구윤리학적 관점에서 재구성하는 방안을 제시한다. 첫째, 자연재해의 과학적 원리를 학습하는 것을 넘어 인간의 환경 훼손이 지진, 홍수, 산사태 등의 발생 가능성을 어떻게 높이는지 탐구하는 방식으로 확장할 수 있다. 둘째, 재난 대응 전략을 학습할 때 개인과 공동체의 역할뿐만 아니라, 환경 보호와 지속 가능한 개발을 고려한 윤리적 의사결정 과정을 포함할 수 있다.

본 연구는 재해·재난 교육에 지구윤리학을 적용함으로써 학생들이 재해·재난을 단순히 자연적 현상이 아닌 인간과 환경의 복합적 상호작용의 결과로 이해하도록 돕고자 한다. 이를 통해 학생들은 재해를 예방하고, 대응에 적극 참여하는 실천적인 태도를 기를 수 있을 것이다.

주요어 : 재해, 재난, 재해 재난 교육, 지구윤리학

감사의 글

이 연구는 2024년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2024S1A5C3A03046593).

공학설계를 활용한 생태환경 보드게임 수업에서 학생 질문 분석 : 일반 학생과 과학영재 학생의 비교 연구

박애령¹, 이동영^{2*}, 남윤경²

엄궁초등학교¹

부산대학교(shainare00@hanmail.net)²

본 연구는 초등학교 과학 영재학생과 일반학생이 공학설계를 적용한 생태환경 보드게임 제작 수업 과정에서 생성한 질문의 유형, 복잡성, 내용 수준을 비교 및 분석하였다. 이를 통해 생성된 질문들의 공통점과 차이점, 그리고 경향성을 파악하고자 한다. 본 연구의 대상은 생태환경 관련 보드게임 제작을 주제로 한 6차시 분량의 공학 설계 수업 과정 중 생성된 질문 151개 중 학습의 내용과 관련 없는 5개를 제외한 146개의 질문이며, P 광역시 과학영재 학급 5학년 학생 20명과 P 광역시 소재 O 초등학교의 5학년 일반학생 17명이 연구에 참여하였다. 본 연구에서 질문의 복잡성 평가에는 Dori & Herscovitz(1999)가 제안한 5점 척도(0~4점)를, 질문 내용 수준 평가에는 Etkina(2000)가 제안한 4단계 평가 방법을 활용하였다. 또한 분석을 위해 King(1994)이 제안한 분석틀을 활용하여 질문의 유형을 사실(factual), 이해(comprehension), 통합(integration)으로 분류하였다.

이렇게 나타난 학생들의 질문을 분석하여 비교한 결과는 다음과 같다. 첫째, 일원변량 분산분석(ANOVA)을 활용하여 질문 유형에 따른 복잡성과 내용 수준을 살펴본 결과, 질문의 유형은 질문의 복잡성과 내용수준을 결정한다는 것을 확인하였다. 질문의 복잡성과 내용수준 모두 사실 질문 유형이 가장 낮고, 이해 유형이 중간, 통합 질문 유형이 가장 높게 나타났다($p < .05$). 이것은 King(1994)가 제안한 질문의 유형 분석이 사실상 질문의 복잡성과 내용 수준을 나누는 기준으로 작용하였다는 것을 알 수 있다. 둘째, 질문의 유형, 질문의 복잡성, 질문의 내용 수준을 세 변인으로 하여 2단계 군집분석(Two-Step Clustering)을 실시한 결과, 질문의 유형은 질문의 복잡성과 질문의 내용수준을 결정하는 주요 요소임을 재확인할 수 있었다. 군집분석 결과 두 개의 군집이 형성되었으며, 군집 분류의 기준은 질문 유형으로 확인되었다. 또한 질문의 내용 수준과 질문의 복잡성은 질문의 종류에 따라 유의미한 분류를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 질문 유형에 따른 질문의 복잡성과 질문의 내용수준, 그리고 학생들의 분포는 <그림 1>과 같다. 셋째, 대응표본 t 검정을 통해 분석한 영재학생들의 질문 수준($p < .05$)과 질문의 복잡성($p < .05$)은 일반학생들에 비해 유의미하게 높은 것으로 확인되었다. 이것은 고차원적 사고력을 잘 활용하는 학생일수록 질문의 수준이 높다는 Dori & Herscovitz(1999)의 연구 및 학업성취와 논리적 사고력이 뛰어난 학생 그룹이 더 높은 질문 수준을 보여준다는 정영란 & 배재희(2002)의 연구 결과와 일치한다. 넷째, Mann-Whitney 검정을 활용하여 질문의 유형별 영재학생과 일반학생의 비교를 수행한 결과, 사실 질문 유형을 제외하고는 큰 차이가 없는 결과를 나타내었다. 사실 유형의 질문은 영재학생이 만든 질문의 내용 복잡성이 일반 학생의 질문에 비해 더 복잡한($p = .044$) 것으로 확인되었으며, 내용 수준은 차이가 없는 것($p = .607$)으로 나타났다. 이해 유형의 질문은 내용의 복잡성($p = .184$)과 내용 수준($p = .444$) 모두 차이가 없는 것으로 확인

하였다. 또한 통합 유형의 질문도 내용의 복잡성($p=.180$)과 내용 수준($p=.104$) 모두 차이가 없는 것으로 확인하였다.

이를 통해, 1) 질문의 수준과 복잡성은 학생 변인에 의해 좌우되는 것이 아니라 질문의 유형에 따라 결정되는 것이며, 2) 영재학생은 일반학생에 비해 이해 유형의 질문과 통합 유형의 질문을 잘 활용하여 더 복잡하고 높은 내용 수준의 질문을 생성하는 것을 확인하였다. 또한, 3) 일반학생이 생성한 이해 유형의 질문과 통합 유형의 질문 또한 질적으로 영재학생이 생성한 질문과 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 학습자가 이해 및 통합 유형의 질문을 더 많이 생성하도록 유도하는 것이 중요한 교육적 요인임을 시사한다.

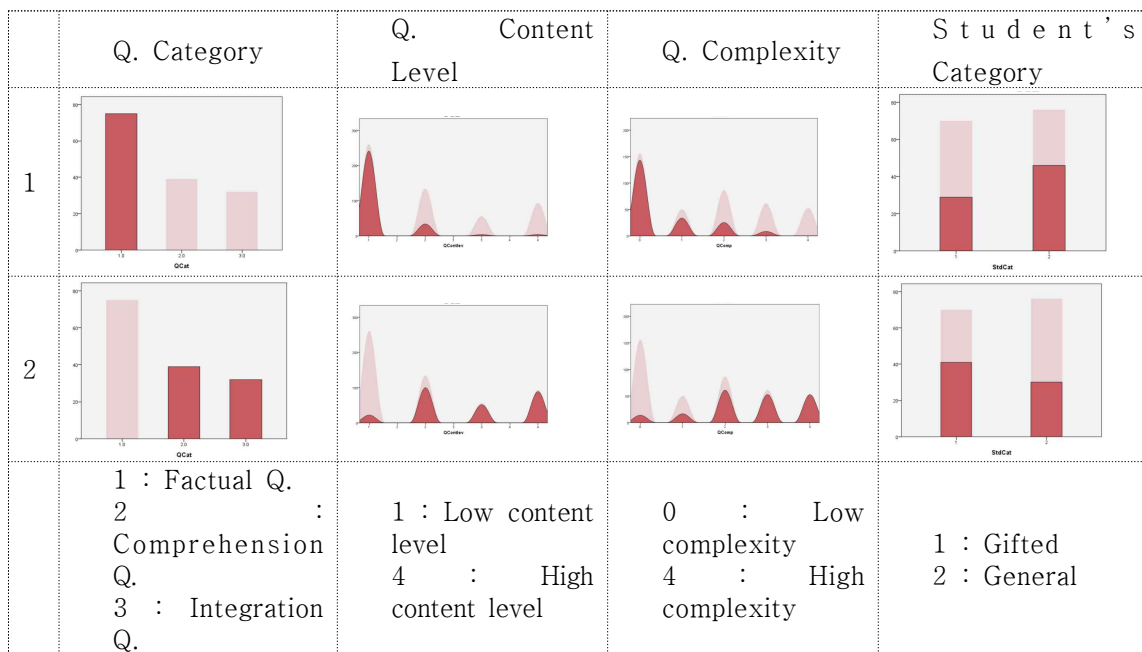


Fig. 1. Result of two-step clustering

주제어 : 질문 유형, 질문의 복잡성, 질문의 내용 수준, 질문 분석.

참고문헌

- Dori, Y. J., & Herscovitz, O. (1999). Question posing capability as an alternative evaluation method: Analysis of an environmental case study. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), 411-430.
- Etkina, E. (2000). Weekly reports: A two way feedback tool. *Science Education*, 84(5), 594-605.
- Jeong, Y. R., & Bae, J. H. (2002). Effects of question-enhancing instruction on middle school students' question level and academic achievement. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 22(4), 872-881.
- King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal*, 31(2), 338-368.

한국지구과학올림피아드의 지속가능발전을 위한 이슈와 과제

Issues and Challenges for the Sustainable Development of the Korea Earth Science Olympiad(KESO)

이효녕*

경북대학교(hlee@knu.ac.kr)

요약

과학기술정보통신부와 한국과학창의재단은 수학, 물리, 화학, 정보, 생물, 천문, 지구과학, 중등과학, 물리토너먼트 등 총 9개 분야의 영재 학생들의 역량 증진과 글로벌 핵심 인재로 성장하는 기회를 제공하기 위해 이들 분야의 교육과 국제 대회 참가를 지원하고 있다. 우리나라에서 국제과학올림피아드 대회에 처음 참가한 것은 1988년 수학 분야이고, 1992년에 물리, 화학, 정보 분야가 1998년에는 생물 분야가 참가를 시작하였다.

지구과학 분야의 국제지구과학올림피아드(IESO)는 2010년 7월에 한국(대구)에서 1회 대회를 시작으로 매년 전 세계를 순회하여 개최되고 있다. IESO는 국가별 20세 미만의 대학 교육을 받지 않은 학생들이 참가하여 지구과학 분야를 선도하는 글로벌 인재 양성과 지구과학 발전에 기여하고 있다. 특히 2019년에는 다시 한국(대구)에서 IESO 대회가 개최되었으며 이때 43개국 179명의 학생이 참가하였고, 우리나라는 참가 학생 전원이 금메달 4개를 획득하여 국가 종합 1위를 달성하였다. 2019년 대구 대회 이후 ‘코로나19’로 인해 비대면으로 개최되었다가 2024년 8월에 대면으로 중국 북경에서 제17회 대회가 개최되었고, 2025년 8월 다시 중국 지닝에서 개최될 예정이다.

IESO에 출전하는 대표 학생들은 (사)한국지구과학회 한국지구과학올림피아드위원회(KESO)에서 제공하는 기초와 심화 교육(온라인), 야외 답사, 응용 교육 등을 거쳐 선발한다. KESO를 포함하여 수·과학올림피아드는 과학고/영재고 학생을 위한 대회로 여겨졌지만 현재 KESO 교육은 일반 학생들에게 지구과학적 소양을 함양시키고 지구 기후 변화의 심각성과 지구과학의 중요성을 인식하는 데 초점을 두고 교육 내용을 수정하고 선발 방식을 변경하였다. 특히 일반고와 과학고/영재고 학생들을 분리하여 단계별 선발하는 시스템을 도입하여 일반고 학생들에게 많은 교육 기회를 제공하고 있다. 이러한 노력의 결과로 최근에는 지구과학을 좋아하고 지구학에 대한 열정을 가진 일반고 학생들이 국가대표로 선발되었고 좋은 성과를 내고 있다.

우리나라의 대학 입시 제도의 누적된 이슈와 과학 관련 올림피아드(경시대회) 수상 실적(활동)을 기재할 수 없는 학교생활기록부의 누적된 문제점으로 인해 많은 학생들이 국내 지구과학올림피아드에 관심을 갖지 않고 있는 실정이다. 이 발표에서는 KESO, IESO에 대해 소개하고, 우리나라의 과학 영재 교육 및 한국지구과학올림피아드의 지속가능한 발전을 위해 이슈와 발전 방향에 대해 다룰 예정이다.

주요어 : 한국과학올림피아드, 한국지구과학올림피아드, 과학 영재 교육

디지털 시대 수업혁신에 대한 교사의 인식

유은정*, 김미지, 홍선주

한국교육과정평가원(geoscience@korea.kr)

요약

디지털 시대의 교육 환경 변화가 가속화되고 있으며, 그 어느 때보다 디지털 대전환 시대에 맞는 교육 내용과 방식의 근본적 변화에 대한 요구와 학교 현장의 수업혁신에 대한 필요성이 강조되고 있다. 이에 본 연구는 디지털 시대의 수업혁신에 대한 교사들의 인식을 조사하는 데 목적을 두고 있다. 이를 위해, 2023년도 수업혁신사례연구대회에서 입상한 전국 초·중등학교 교사 36명을 대상으로, 수업혁신의 영역, 요소, 전략, 지향점에 대한 설문조사를 실시하였다. 이후, IPA 분석과 Borich 요구도 분석을 통해 조사 결과를 심층적으로 분석하였다. 교사들은 ‘교수학습’ 영역을 수업혁신이 가장 필요한 영역으로 인식하고 있으나, 실제 실행 수준은 비교적 낮은 것으로 나타났다. 특히, 수업혁신 요소 중 ‘모두를 위한 개별화된 학습 지원’이 중요한 과제로 평가되었음에도 불구하고, 그 실행도는 낮아 개선이 필요한 것으로 나타났다. 교사들은 전반적으로 ‘맞춤형’ 수업을 지향하고 있지만, 실제로 이를 구현하는 과정에서 어려움을 겪고 있다. 반면, 테크놀로지 활용 수준은 비교적 높은 것으로 평가되었다. 이러한 결과를 바탕으로 디지털 시대에 맞는 수업혁신을 위해 교사의 맞춤형 학습 지원 역량을 강화하고, 이를 효과적으로 실행할 수 있는 실질적인 지원 방안을 마련할 필요성을 제기하였다. 또한, 수업혁신을 구현하고 있는 교사의 전문성을 공유하고 확산하기 위한 후속 연구의 필요성도 강조하였다.

주요어: 디지털 시대, 수업혁신, 교사 인식, IPA, Borich 요구도

에듀테크 활용 과학 수업에 대한 과학 교사의 인식과 실행 탐색

유은정¹, 정수임^{*2}

¹한국교육과정평가원

²은행고등학교(dinosue@korea.kr)

요약

이 연구에서는 에듀테크를 선도적으로 활용하는 과학 교사 18명을 목적 표집한 후, 그들이 수행한 과학 수업 사례와 설문지를 분석하여 에듀테크 활용 과학 수업에 대한 교사의 인식과 실행을 탐색하였다. 연구 결과, 과학 교사들은 수업 중에는 교과 특화 에듀테크를 주로 사용하지만, 수업 전과 후에는 학습 자료를 준비하고 학생 산출물을 관리하기 위해 범교과 에듀테크를 다양하게 활용하였다. 또한, 교사 주도의 전체 학습뿐만 아니라, 학생 주도 소집단 협력 학습 및 개별 학습과 같은 다양한 수업 맥락에서 에듀테크를 폭넓게 적용하는 것으로 나타났다. 교사들은 에듀테크를 선별할 때 교육적 유용성과 구현성, 접근의 용이성, 사용 방법의 간편성, 공동 작업 및 상호작용의 용이성, 기기의 호환성, 관리의 편의성 등을 중요하게 여겼으며, 학생들이 창의적 아이디어를 구체화하고, 다양한 방식으로 학습 결과물을 생산 및 공유할 기회를 에듀테크가 제공한다는 점에 주목하였다. 연구 결과를 토대로 에듀테크 활용 과학 수업이 효과적으로 구현되기 위해 교사와 학생의 교과 역량과 디지털 역량의 균형 있는 지원 방안을 제안하였다.

주요어: 에듀테크, 과학 교사, 인식과 실행, 과학 수업

초등과학 지구와 우주영역 모의수업에서 ChatGPT 활용 특성 탐색

최윤성^{*1},

^{*1}부산대학교 지구과학교육과 강사(clever123123@gmail.com)

요약

이 연구는 생성형 인공지능(Gen AI)인 ChatGPT가 초등과학 모의수업에서 어떻게 활용되는지를 탐색한다. 비수도권 소재 교육대학교의 과학교육과 예비교사 29명을 대상으로 진행되었으며, 태양계와 별, 날씨와 생활, 지구와 달의 운동, 계절 변화 등 2015 개정교육과정 5~6학년군 지구와 우주 영역의 대단원을 중심으로 5주간 한 차시 과학 수업을 설계하는 과정이 포함되었다. 연구 자료는 수업 지도안, 수업 자료, 활동지, ChatGPT 활용 기록, 모의수업 영상 및 음성 녹음, 반구조화된 면담 등을 통해 수집되었다. 분석 과정에서는 문헌 분석방법(document analysis)을 활용하였다. 구체적으로, 기술 통합 평가 틀(TIAR)을 수정하여 주제 중심 분석 및 반복적 비교 분석을 실시하였다. 연구 결과, ChatGPT는 초등과학 수업에서 교육과정과의 연계성, 교수학습 모형의 적용, 학습 도구로서의 기능 측면에서 의미 있는 역할을 수행할 수 있음을 보였다. 그러나 ChatGPT의 활용 과정에서 정보 신뢰성 문제, 적절한 명령어 입력의 어려움, 학생들의 생성형 인공지능 의존 경향, 교사의 기술적 역량 요구 증가 등의 도전 과제도 확인되었다. 이 연구는 ChatGPT가 초등 과학교육에서 효과적인 학습 촉진자로 활용될 수 있음을 시사하며, 향후 이를 성공적으로 적용하기 위해 교사의 비판적 사고력과 디지털 리터러시 역량 강화가 필요함을 제언한다.

주요어 : 챗지피티, 초등과학 지구와 우주 영역, 초등 예비교사

민주시민 소양과 과학 커뮤니케이션의 관점에서 해양학 및 기상학 주제 과학관 전시물 분석

이지연^{*1}, 박영신¹

¹조선대학교(wldus2129000@naver.com)

요약

과학기술이 급격하게 발전하는 21세기 사회에서 과학교육에서의 민주시민소양과 과학적 소양을 함양할 수 있는 교육이 강조되고 있다. 이에 본연구에서는 학교 밖 비형식 교육 기관인 과학관의 전시물에는 민주시민소양과 과학적 소양을 함양할 수 있는 요소의 반영 정도를 파악하고 전시물의 유형을 분석하여 과학관에서의 민주시민교육의 방향을 제시하는데 목적을 둔다. 이에 본 연구에서는 과학 원리 및 개념 중심의 과학관이 아닌 주제를 통해 스토리 중심의 국내 기상 및 해양 과학관 2곳의 전시물 150점을 대상으로 각각의 전시물에 민주시민 소양(Lee, 2024)과 과학 커뮤니케이션 요소(Park, 2018)의 반영 정도를 탐색하고 전시유형(Park, 2018)을 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 과학관에서 기후변화와 같은 사회과학적 문제를 비판적으로 생각하고 문제를 해결할 수 있는 성숙한 민주시민으로서의 역량을 강화시키기 위해 전시물은 단순 개념을 나열하는 방식이 아닌 스토리 기반의 전시 구성하는 것을 제안한다. 스토리 속에서 시민들이 문제에 대하여 공감하고 비판적 사고를 하며 문제를 해결하고자 자기주도적으로 실천하는 민주시민소양 및 과학적 소양을 함양할 수 있다. 또한 관람객이 자신의 의견을 표현할 수 있는 인터랙티브 전시 매체를 활용하면 의사소통 및 협업, 공감, 자기주도성, 의사결정 역량도 증진시킬 수 있다. 마지막으로 각 과학관의 도슨트의 역할이 전시를 보완하고 관람객과의 상호작용을 촉진하는 중요한 요소로 작용함으로 도슨트 활용 방안을 제안한다. 따라서 본 연구는 과학관이 기후위기 대응을 위한 교육적 기능을 강화하기 위해 사회적 문제를 반영한 스토리텔링 기법 활용 및 참여형 전시 기획, 도슨트 역할 강화 등의 방안을 제안한다. 본 연구의 결과를 통해 해양과학관 및 기상과학관의 전시물이 과학기술에 대한 공중의 이해를 증진하고 보다 효과적인 기후변화 교육 공간으로 발전하는 데 기여할 것으로 기대된다.

주요어 : 기후변화, 과학관, 전시물 분석, 민주시민소양, 과학커뮤니케이션

참고문헌

- Lee, J.Y., 2024, Analyzing reflection of democratic citizenship at secondary level of science textbooks and developing program for its promotion. Unpublished M.S. thesis, Chosun University, Gwangju, Korea, 99 p. (in Korean)
- Park, Y.S., 2018, Guideline for Science Museum, National Science Museum, Daejeon, Korea. 329 p. (in Korean)

SAQ 주제를 활용한 의사결정 수업에서의 초·중학생들의 ‘자기환경화’ 변화 과정

이지희*¹, 신동희²

¹해저드리터러시융합교육연구소(dwlgml7531@naver.com),

²이화여자대학교 과학교육과

요약

최근 대두되고 있는 원자력 발전, 기후변화, 유전자 재조합 기술 등 환경 쟁점은 전문가들 간에도 과학적 논쟁을 불러일으켜 사회·정치적으로 다양한 갈등을 초래하고 있다. 이처럼 명확한 해결책이 마련되지 않은 상황에서 많은 사람들이 일상생활에서 혼란을 겪고 있다. 예를 들어, GMO 식품 구매 시에는 해당 식품의 안전성과 윤리적 문제를 면밀히 검토해야 하며, 기후변화로 인한 폭염 발생 시에는 원자력 발전으로 생산된 전기의 사용 여부에 대한 논의가 필요하다. 따라서, 우리는 각자의 상황과 가치관을 고려하여 합리적인 의사결정을 내리기 위해 노력해야 한다. 환경 쟁점 관련 학생들의 의사결정 능력을 향상시키기 위해 과학교육에서는 환경 쟁점이 포함된 과학과 관련된 사회·윤리적 문제(SSI)를 다루면서 학생들의 인식론, 심리학 및 도덕성 발달을 목표로 수업을 진행했다(이현옥과, 이현주, 2017; Miki et al., 2021; Gresch, H. et al., 2013). 특히, SSI뿐만 아니라 현실적인 해결책에 초점을 둔 SAQ(Socially Acute Questions) 교육이 도입되면서, 학생들은 단순히 과학적·윤리적 논쟁을 이해하는 데 그치지 않고, 실질적인 사회적 문제 해결 능력을 배양할 수 있다. SAQ 교육은 복잡한 환경 쟁점에 대한 비판적 사고를 함양하고, 다양한 관점을 고려하여 합리적이고 실천 가능한 의사결정을 내리는 데 중요한 역할을 한다(Legardez & Simonneaux, 2006)

한편, 위험 상황에서 느껴지는 불안과 걱정 등의 감정 때문에 사람들은 환경 쟁점을 자신과 직접적으로 관련된 문제로 인식하게 된다. 이는 환경 문제에 대한 자기환경화(Personalization of the environment) 현상이 나타남을 의미한다. 대기오염이나 수질오염처럼 자신의 건강에 직접적인 영향을 미치는 문제에 직면하면, 사람들은 민감하게 반응하게 된다. 따라서, 이러한 자기환경화는 개인이 환경 문제에 적극적으로 대응하고, 궁극적으로 지속 가능한 사회를 구축하는 데 핵심적인 역할을 할 수 있다.

SAQ 교육과 자기환경화의 중요성을 고려하여, 본 연구는 SAQ 주제를 활용한 의사결정 수업이 초·중학생들의 자기환경화 변화에 어떤 영향을 미치는지 탐색하고자 한다. 이를 위해 서울 소재 대학의 과학교육과에서 주관하는 주말 과학 교실의 소그룹 멘토-멘티 프로그램에 지원한 초등학교 6학년 ~ 중학교 2학년 여학생 7명을 대상으로 5차시 수업을 적용했다. 분석 결과를 바탕으로, 향후 지구 환경 쟁점 해결 과정에서 학생들의 자기환경화 정도를 심도 있게 파악하고, 이를 반영한 효과적인 교육 전략을 마련하고자 한다.

주요어 : SAQ 교육, 자기환경화

감사의 글

본 연구는 2024년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-과제번호)(NRF-2024S1A5C3A03046593).

융합적 문제해결 상황에서 고등학생들의 집단 의사결정 특성 탐색

윤진아*, 남윤경

부산대학교(zenith@pusan.ac.kr)

본 연구는 실생활 문제해결 상황에서의 집단 의사결정에 대한 융합적 문제해결 프로그램을 개발하고, 이를 남녀 고등학생에게 적용하여 집단 의사결정의 특성을 탐색하는 데 목적을 두었다. 연구 대상은 고등학교 남학생 30명과 여학생 32명이며, 이들은 지역의 생태하천 복원을 위해 우선순위를 결정하는 단계별 토론과정에 참여하였다. 연구 방법으로는 토론과정을 비디오로 녹화하고, 학생들의 활동지를 주요 데이터로 활용하여 질적 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 의사결정 전략의 차이, 중점 가치, 성별에 따른 의사결정 방식의 차이를 분석하였다. 연구 결과는 첫째, 의사결정 전략에서 성별 차이가 나타났다. 남학생들은 분석적 및 목표지향적 의사결정을 보였으며, 논리적 반박을 통해 상대방의 논리를 검증하고, 현실적이고 실행가능한 대안을 찾는 데 초점을 두었다. 반면, 여학생들은 협력적 및 관계 중심적 의사결정을 선호하며, 논의 과정에서 공감대를 형성한 후 상대방의 의견을 존중하며 타협하는 방식으로 논의를 진행하였다. 둘째, 의사결정 문제에 대한 접근 방식에서 전략적 차이가 확인되었다. 남학생들은 경제적 타당성과 실행 가능성을 우선적으로 고려하는 반면, 여학생들은 환경적 가치와 사회적 협력을 중심으로 합의하는 경향이 있었다. 이에 따라, 남학생 중심의 의사결정에서는 경제적 실행 가능성이 높은 해결책이 도출되는 반면, 여학생 중심의 의사결정에서는 장기적 지속 가능성이 높고 다수가 만족하는 가치 중심적이고 포괄적인 해결책이 의사결정에 영향을 미쳤다. 셋째, 집단의 중점 가치에서 성별에 따른 차이가 발견되었다. 공통적으로 경제적 요소와 환경 가치를 중점 가치로 인식하였으나, 접근 방식에 차이가 발견되었다. 남학생들은 예산과 실행 가능성을 확보한 후, 환경적 가치와 주민과의 협력 및 기술적 해결책을 찾는 방식으로 논의를 진행하였으며, 여학생들은 환경적 지속 가능성을 우선적으로 고려한 후, 실행 가능성과 사회적 조화를 검토하는 방식을 나타내었다. 또한, 남학생들은 지역주민과의 연관성을 주민들의 '이익' 관점에서 바라보는 반면, 여학생들은 주민 만족이나 상권에 미치는 영향을 중심으로 논의하는 차이를 나타내었다. 본 연구를 통해 남학생과 여학생의 집단 의사결정 방식의 차이와 각 방식이 의사결정 과정과 결과에 영향을 미친다는 점을 확인하였다. 효율적인 집단 의사결정을 위해서는 논리적 분석과 협력적 조율이 조화를 이루는 모델이 필요하며, 이는 환경 정책뿐만 아니라 다양한 의사결정 과정에 적용될 수 있을 것이다. 또한, 성별 차이에서 도출되는 관점을 포괄하여 균형 있는 시각을 반영하는 과정이 필요하며, 의사결정과정의 집단구성에서도 다양한 관점의 차이를 반영할 수 있는 이해집단이 구성될 필요가 있음을 시사한다. 마지막으로, 성별에 따른 갈등 해결 전략을 고려할 때, 복잡한 상호 연관성이 있는 문제를 해결하기 위해 협력적 접근이 중요한 역할을 할 수 있음을 확인하였다.

주제어: 의사결정, 융합적 문제해결, 성별 차이, 중점가치

감사의 글

*이 논문은 2023년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-1345368045)

CMIP6 모델을 활용한 온난화에 따른 ENSO와 대류권 오존의 상관 관계 변화 분석

윤세민^{*1}, 정지원¹, 문병권¹

¹전북대학교 과학교육학부/융합과학연구소 (seminy@jbnu.ac.kr)

요약

엘니뇨-남방진동 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO)은 기후뿐만 아니라 대기 화학에도 중대한 영향을 미치는 주요 기후 모드 중 하나이며, 대류권 오존은 온실기체로서 지구온난화에 기여하는 동시에 단기 체류 기후변화 유발물질 (Short-Lived Climate Pollutant, SLCP)로 작용한다. ENSO와 대류권 오존 간의 상관관계는 기후 모델을 통해 여러 연구에서 밝혀졌으나 미래 기후에서 ENSO와 대류권 오존의 변화를 정량적으로 평가한 연구는 여전히 제한적이다. 이 연구에서는 결합 모델 상호 비교 프로젝트 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, CMIP6)에 참여한 5개 기후 모델의 SSP3-7.0 시나리오 데이터를 활용하여 ENSO와 북반구 대류권 오존 간의 미래 변화를 선형 회귀 분석을 통해 평가하였다. 분석 결과, ENSO에 대한 대류권 오존의 반응이 시간이 지남에 따라 강화되는 경향을 보였으며 특히 한반도를 포함한 동아시아 지역에서는 ENSO-대류권 오존의 회귀 계수가 2051-2070년 대비 2081-2100년에 평균 0.20 ppbv/K 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 강화는 ENSO에 의해 유도된 대기 순환 패턴의 변화와 관련될 가능성이 있으며, 이에 대한 추가적인 분석이 필요하다. 이 연구는 가속화되는 지구온난화에서 북반구 대류권 오존의 변화를 예측할 때 ENSO의 영향을 고려해야 함을 시사한다.

주요어 : 엘니뇨-남방진동, 대류권 오존, CMIP6

감사의 글

본 성과는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원 "신기후체제 대응 환경기술개발사업"의 연구개발을 통해 창출되었습니다. (2022003560001)

2021/2022년과 2023/2024년 동아시아 중국 동부-황해-한국에서의 겨울철 강수량 극값 변동 분석

이미레¹, 조재희², 김학성^{*1}

¹한국교원대학교 지구과학교육과(envir007@knue.ac.kr)

²국립공주대학교 환경교육과

요약

본 연구에서는 한국의 겨울철 강수량이 음(-)과 양(+의 극값으로 각각 관측된 2021/2022년과 2023/2024년 사례를 중심으로, 북극 성층권부터 열대 태평양까지 이어지는 전구 규모 대기 변동이 동아시아 대륙-북서 태평양을 거쳐 중국 동부-황해-한국 지역 대류권 하층 강수 발생 메커니즘에 어떻게 작용하는지를 규명하였다. 1991~2024년 동안 한국 겨울철 강수량은 연평균 $0.55 \pm 0.80 \text{ mm yr}^{-1}$, 강수일수는 $0.04 \pm 0.08 \text{ day yr}^{-1}$ 로 증가하였으나, 2021/2022년에는 -74.9 mm , 2023/2024년에는 $+150.1 \text{ mm}$ 의 극단적 아노말리가 발생했다. 2021/2022년 겨울에는 북극 성층권 냉각으로 강한 극소용돌이가 발달해 중위도 대류권 상층이 온난해졌으나, 티벳 고원의 눈 덮임으로 형성된 한랭 고기압이 중국 동부-황해-한국에 북서풍을 강화하고 수증기 발산을 유도함으로써 강수량이 크게 줄었다. 반면 2023/2024년 겨울에는 성층권 돌연승온과 엘니뇨가 겹쳐, 서태평양-남동아시아 해역 해수면 온도가 양(+) 편차를 보이는 가운데 온난 고기압이 대류권 하층 남서풍을 강화해 수증기 수렴과 구름 생성을 촉진하여 극단적인 강수량 증가로 이어졌다. 결국 북극-열대 태평양 간 그리고 동아시아 대륙-북서 태평양 간 외부 요인이 내부 요인들과 복합적으로 작용해 한국 겨울철 강수량 극값 변동을 유발함이 확인되었으며, 이는 겨울 몬순 기후 예측 및 이해에 중요한 단서를 제공한다.

주요어: 북극 성층권, 엘니뇨-남방 진동, 겨울철 강수 변동, 동아시아, 티벳 고원

기후공학에 따른 아시아 몬순의 미래기후변화

조영주^{*1}, 김혜미²

¹이화여자대학교(yooungjoo@ewha.ac.kr),

²이화여자대학교(hyemi.kim@ewha.ac.kr)

요약

기후변화의 심각성과 기존 온실가스 감축 방안의 한계로 인해, 인위적으로 기후시스템을 조절하는 기후공학(Climate Engineering)이 기후위기의 적극적인 대안으로 떠오르고 있다. 특히, 성층권 에어로졸 주입(Stratospheric Aerosol Injection, SAI)은 태양 복사를 반사시켜 지구의 온도를 낮추는 방법으로, 온실가스 감축 방안 대비 단기간에 지구온난화 속도를 늦출 수 있으며, 다른 기후공학 기술보다 경제적인 측면에서도 효율적이다.

본 연구에서는 온실가스 배출에 따른 기후변화 시나리오인 SSP2-4.5와 비교해, SAI 방법이 북반구 여름철(JJA) 아시아 지역의 미래 몬순 양상에 미치는 영향을 분석하였다. 사용된 모델 실험은 CESM2 SAI 실험으로, 위도별(45° N ~ 45° S, 위도 간격 15°) 성층권 하부(22km)에 SO_2 를 주입한 실험이다. 본 실험에서는 위도별 SAI 실험에 따른 미래 몬순의 변화 민감도를 기온 및 강수량 변화, 몬순 기간 및 몬순 기간 동안의 강수 특성 변화, 하층 제트의 세기 변화 등을 중심으로 분석하였다. 실험결과, SO_2 주입 위도에 상관없이 아시아 몬순 지역의 표면 기온은 전반적으로 감소하였으나, 강수량은 주입반구별 차이를 보였다. 남반구에 SO_2 를 주입시 몬순 기간이 길어지고 강수의 양상 또한 극한 강수인 폭우가 더 자주 발생하는 경향을 보였다. 이는 하층 소말리 제트의 세기 변화에 따른 열역학적 및 역학적 과정과 밀접한 관련이 있는 것으로 분석된다.

주요어 : 아시아몬순, 미래기후, 에어로졸, 기후공학, 지구온난화

정지궤도 기상위성 GEO-KOMPSAT-2A, Himawari-8/9 을 활용한 머신러닝 기반의 시공간 해상도 동아시아 대기중 CO₂ 산출 연구

이예운^{*1}, 홍성욱^{2,*}

¹세종대학교 환경에너지융합학과(e-mail: lyw4836@sju.ac.kr)

²세종대학교 환경융합공학과 (e-mail: settiya@sejong.ac.kr)

요약

인간의 활동에 의해 지구 대기로 배출되는 이산화탄소 (CO₂)는 기후 변화의 주요 변수로 그 분포와 농도에 대한 관측 정보는 기후변화 대응에 매우 중요하다. 하지만 기존 지상 및 위성 기반 대기중 CO₂ 관측 방법은 공간적 제한과 시간적 불연속성의 한계를 가지고 있다. 본 연구는 시공간적 장점을 가진 정지궤도위성기반 CO₂ 산출을 목표로, 연구 영역은 동아시아 및 태평양 지역이며, GEO-KOMPSAT-2A 및 HIMAWARI-8/9 정지궤도 위성 자료와 OCO-2 위성의 CO₂를 각각 입출력 자료로 하며, 가상의 정지궤도위성 CO₂ 관측을 모의하는 기계학습 모델을 개발하였다. 26개의 머신러닝 모델을 실험 평가한 결과, CatBoost 모델이 평균제곱근오차(RMSE) 1.31ppm와 결정계수(R^2) 0.87의 결과를 나타내어 가장 우수한 성능을 보여주었다. 학습이 완료된 CatBoost 모델은 동아시아 영역에서 10분 시간 해상도와 2km x 2km 공간 해상도로 준실시간 CO₂ 추정치를 모의할 수 있다. 연구 영역 내의 Total Carbon Column Observing Network의 7개 지상 관측 CO₂ 와 검증한 결과, 개발된 모델은 RMSE < 2ppm 정도의 우수한 성능을 보였다. 본 연구는 기존의 저궤도 위성과 지상관측의 한계를 보완함으로써 새로운 광역 준실시간 CO₂ 자료 제공과 동시에 기후변화 연구에 중요한 기초자료를 제공할 것으로 기대된다.

주요어 : 이산화탄소, 머신러닝, 정지궤도 기상위성, OCO-2, 위성 원격탐사

* 교신저자: 홍성욱 (sestiya@sejong.ac.kr)

미래 IPCC 기후 시나리오 하에서의 Isoprene 유래 2차 유기 에어로졸 농도 모의

조두성^{*1}

¹서울대학교 지구과학교육과(duseong@snu.ac.kr)

요약

2차 유기 에어로졸은 전지구적으로 대기 중 에어로졸 질량의 가장 큰 분율을 차지하지만, 그 물리/화학적 특성의 복잡성으로 인해 3D 대기 화학 모델에서 2차 유기 에어로졸을 정확하게 모의하는 데 어려움이 큰 상황이다. 대기 중 수백-수천만에 이르는 화학 반응식들을 간단화하여 모의하기 위해 많은 모수화 방법들이 개발되었으나, 이러한 방법들은 현재의 대기 중 유기 에어로졸 농도를 기반으로 하였기에 미래의 대기 중 유기 에어로졸 농도 모의의 정확성을 보장하지 못한다. 미래 기후 모의에 초점이 맞춰진 기후 모델들의 경우 이 문제는 더 두드러지게 되는데, 기후 모델들은 더욱 간단한 2차 유기 에어로졸 모의 방법을 사용하기 때문이다. 기후 변화 시뮬레이션에 있어서 상세 화학 과정의 중요성을 나타내기 위해, 본 연구에서는 대기 중 화학 반응을 상세화한 메커니즘을 사용하여 미래 2차 유기 에어로졸 농도를 예측하고, 이를 휘발성 기반 세트(Volatility Basis Set, VBS) 방법에 기반한 모수화 방법과 비교하였다. Community Earth System Model 2(CESM2.1.0)를 활용하여 네 가지 공유 사회경제 경로(SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5)에 따른 21세기 중반 및 말기의 2차 유기 에어로졸 변화를 예측하였고, 지역과 시나리오에 따른 변화도 계산되었다. 상세한 대기 화학 과정을 고려하였을 때는 SSP 시나리오에 따라 최대 50%까지 2차 유기 에어로졸의 생성 효율이 바뀌는 결과를 보였으나, VBS 방법에 기반한 시뮬레이션에서는 거의 일정한 생성 효율을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 VBS 방법이 에어로졸의 pH나 hydrogen peroxide 같은 상세 물리 화학적 경로들을 고려하지 않는 데에서 기인한다. VBS 방법은 모수화 방법 중 가장 발전된 방법으로써, 기존의 기후 모델에서 쓰이는 2차 유기 에어로졸 시뮬레이션 방법들 중에서 가장 발전된 형태임을 고려해볼 때, 이는 기존의 기후 변화 시뮬레이션 결과들이 큰 오류를 포함하고 있을 가능성을 시사한다. 앞으로의 기후 모델 모의에서는 대기 중 에어로졸 생성/소멸에 관여하는 상세한 물리/화학적 특성들을 직접적으로 고려해야 할 것이다.

배경잡음 토모그래피를 활용한 국지적 퇴적분지 속도구조 모델 연구

이상준^{*1}, 조혜정², 이준기², 김성룡³, 강태섭⁴

¹한국교원대학교(lee.sj@knue.ac.kr), ²서울대학교, ³고려대학교, ⁴부경대학교

요약

배경잡음 토모그래피는 능동지진원을 활용한 전통적인 탐사 방법과는 달리, 지진계 혹은 지오폰에 기록된 배경잡음의 연속 파형자료를 상호상관하여 경험적 그린함수를 추출하는 비파괴적이고 경제적인 방법으로, 천부지각에서부터 상부맨틀에 이르는 속도구조 연구에 널리 활용되는 방법이다. 기존 상시 관측망 자료를 활용한 배경잡음 토모그래피 연구는 광역적 속도구조 연구에 탁월하지만, 퇴적분지와 같은 국지적 천부 속도구조 모델 작성을 위해서는 고밀도 관측망으로부터 획득한 고주파수 그린함수 추출 과정이 필요하다.

본 연구에서는 배경잡음 토모그래피를 활용한 퇴적분지 속도구조 모델 연구 과정을 소개하고, 서로 다른 구성의 관측망 자료를 사용해 국내외 주요 분지 지역에 대해 배경잡음 토모그래피를 적용 사례와 지진재해 평가, 정밀지진원 분석 등 활용 가능성을 제시하고자 한다.

주요어 : 배경잡음, 토모그래피, 속도구조, 분지

청양 지구자기 관측소 관측자료 품질 향상을 위한 Baseline 재산출 및 확정자료 보정

박소현¹, 오석훈^{2*}

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

²강원대학교 에너지자원공학과(교신저자 gimul@kangwon.ac.kr)

요약

INTERMAGNET 가입 관측소는 관측 장비 해상도와 확정자료의 품질 기준을 충족해야 한다. 연간 확정자료의 품질은 프로톤 자력계를 이용한 총자기장(F_p) 측정값과 기저선(Baseline) 및 성분 변화량을 이용해 계산한 총자기장(F_v) 값의 차이(G값)의 변동폭이 과거에는 5 nT를 이하여야 했으며, 최근에는 관측장비의 기술 발전을 반영하여 1nT 이하를 기준으로 권고되고 있다. 이러한 기준 변화에 맞춰, 과거 확정자료의 G값을 1nT 이하로 보정하고 품질을 향상시키기 위한 지구자기장 관측자료의 분석 및 재산출 연구를 수행하였다. 첫째, 수동 절대측정으로 관측되는 편각 및 복각에서 측정 시 발생하는 자력계와 망원경의 오차를 collimation angle 및 magnetometer offset으로 평가하여, 수동 절대측정 자료의 안정성을 분석했다. 둘째, 프로톤 측정실과 수동 절대측정실의 차이(Site Difference)는 관측 환경이 변하지 않는다면 일정해야 한다. 하지만 2018년부터 2023년까지 Site Difference의 분산이 증가하여 확정자료의 품질을 저하의 원인으로 작용하는 것을 확인하고 개선하기 위해, 2018년부터 관측된 총자기장, 변동 자료, 절대측정 자료를 이용하여 최적의 Site Difference를 추정하였다. 셋째, 앞서서 수행된 수동 절대측정 자료 및 최적 Site Difference를 이용하여 Baseline을 재산출하고 국외 인접 관측소와의 변동 곡선을 비교 분석했다. 마지막으로, 2018년부터 플럭스게이트 측정실의 연간 온도 변동이 확정자료 품질 저하 요인으로 판단하고, 온도 변화로 인한 G값의 변동을 최소화할 수 있는 보정 방법을 제안하였다.

주요어 : 지구자기장, 확정자료 품질, Site Difference, Baseline, 절대측정

한반도 주변 전 해역에서의 바닷속 공간정보 분포도(해양여지도) 작성

허식^{*1}, 강정원¹, 박준용¹, 정의용¹

¹한국해양과학기술원(sikhuh@kiost.ac.kr)

요약

최근 미국 항공우주국(NASA)은 심해 탐사 기업과 협력하며, 극한 환경 극복이라는 과학적 도전이 해양과 우주라는 두 개의 프론티어에서 동시에 이루어져야 함을 강조하고 있다. 해양은 심해 10,000m에 달하는 극한 환경 속에서 아직 밝혀지지 않은 미지의 세계로 남아 있으며, 이는 우주보다 더욱 가혹한 환경일 수도 있다. 대한민국은 조선, 인공위성, 신재생 에너지, 담수시설 등의 해양 관련 산업에서 강점을 보유하고 있으며, 해양 선진국들과 어깨를 나란히 할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 따라서, 우주 강국으로서의 도약과 함께 해양탐사 및 연구에 대한 관심 또한 증대될 필요가 있다.

이러한 시점에서, 수십 년간의 노력 끝에 완성된 ‘해양여지도(바닷속 대동여지도)’는 한반도 주변 전 해역의 3차원 해양 지하공간 개발을 위한 기본 자료로서, 조선 후기 김정호가 제작한 대동여지도에 필적하는 가치가 있다. 해양여지도는 34종(주제도 11종, 지층구조도 12종, 등층후도 11종)의 디지털 트윈 기반 해저 데이터로 구성되어 있다. 이는 해양 탐사를 통해 축적된 데이터를 기반으로 제작된 것으로, 대한민국 전 해역을 연속적인 데이터베이스로 구축한 사례이다. 해양여지도는 지구물리학, 지질학, 지질역학, 해양학적 데이터를 종합적으로 분석한 결과물로서, 약 2,500개 층선으로 구성된 방대한 정보를 포함하고 있다. 해저 지질의 특성이 수만 년 동안 크게 변하지 않는 점을 고려할 때, 이 지도는 후대에 물려줄 중요한 국가 자산이 될 것이다.

1994년 유엔해양법협약 발효 이후 연안국의 해양 관할권이 200해리 배타적 경제수역(EEZ)으로 확대됨에 따라, 각국은 해양자원 탐사 및 경제적 개발에 대한 주권적 권리를 행사할 수 있다. 따라서, 해양여지도는 해양영토를 둘러싼 국제 분쟁과 해양 경계확정을 위한 과학적 협상전략을 수립하는 데 중요한 기초자료로 활용될 수 있다. 2028년 한일 공동개발구역(JDZ) 협정 만료, 독도 문제 심화, 중국의 황해 도발, 남북한 접경 해역관리 등의 현안을 고려할 때, 이 지도는 경제적 가치뿐만 아니라 국가 해양 주권 강화와 국민 자긍심 고양에도 기여할 것이다. 해양여지도는 바닷속 공간정보 부족으로 인한 예산 낭비를 방지하고, 미래 해양개발 사업의 효율성을 증대시키며, 관련 산업의 고용창출에도 기여할 것으로 기대된다. 또한, 해양구조물 설치, 해양자원 및 에너지 개발, 재난·재해 대응, 해상 교통안전, 해군 및 해경 작전, 해양 환경 보호 및 기후변화 대응, 해양 레저산업 등 다양한 분야에서 활용될 수 있는 정밀한 디지털 자료를 제공한다. 결론적으로, 해양여지도는 대한민국이 해양 강국으로 도약하는 데 있어 핵심적인 국가 표준자료로 활용될 수 있으며, 이를 바탕으로 산업·외교·국방·과학·교육 등 다양한 분야에서 정책적 활용이 가능하다.

주요어 : 해양여지도, 해양탐사, 탄성파층서, 지질구조, 지구조

인공위성 중력으로 관측한 아마존 하구 연간 퇴적양

오현경¹, 서기원^{*1}, 전태환², 엄주영³

¹서울대학교, 지구과학교육과 (seokiweon@snu.ac.kr)

²서울대학교, 교육융합연구원

³경북대학교, 지구과학교육과

초록

대규모 강을 통한 육상 퇴적물 운반은 해안 지형, 해양 생태계 및 인간 생활에 중요한 영향을 준다. 이러한 퇴적물 유출을 정확히 측정하는 것은 오랫동안 어려운 문제였다. 전통적인 현장 측정 방법은 시간적, 공간적, 경제적 제한으로 인해 퇴적물 이동에 대한 포괄적이고 지속적인 평가를 제공하는 데 한계가 있다. 위성 이미지를 활용한 원격 탐지 기법은 퇴적물 운반과 침전과 관련된 귀중한 정보를 제공하지만, 주로 부유 퇴적물 하층을 관찰하는데 제한된다. 강 주변의 퇴적물 축적은 GRACE 및 GRACE Follow-On 인공위성 중력 위성을 통해 관측 가능할 것으로 기대되었으나, 인근 육지에서의 신호 누출, 근처 해양 질량 변화, 그리고 일반적으로 퇴적물 신호의 크기를 초과하는 잡음 수준 등의 문제로 관측이 어려웠다. 이 연구에서는 육지에서 바다로의 신호 누출을 억제하기 위한 포워드 모델링, 해수면 방정식을 통해 해양 질량 변화 조정, 경험적 직교함수를 사용한 잡음 제거를 통해 아마존 하구 퇴적 신호를 성공적으로 추출하였다. 2002년 6월부터 2023년 5월까지 아마존 대륙붕에서의 퇴적물 축적 추정치는 연간 약 1301 메가 톤으로, 현장 기반 연구에서 제시된 550~1030 메가 톤 범위보다 약간 높은 수치로 확인되었다.

주요어 : 아마존, 퇴적양, 인공위성 중력

제 주 도 UNESCO 세계지질공원의 외국어 안내문의 개선에 대하여

윤성호^{1,2,3,4,*}¹부산대학교 대학원 지구과학과, ²부산대학교 지구과학교육과³부산대학교 화산특화연구센터, ⁴(사)제주화산연구소

요약 : 화산활동으로 만들어진 제주도는 섬 전체가 '화산 박물관'이라 할 만큼 다양하고 독특한 화산 지형을 자랑한다. 땅 위에는 크고 작은 368개 오름(소규모 화산체를 뜻하는 제주어)이 펼쳐져 있고, 땅 아래에는 160여 개의 용암동굴이 섬 전역에 흩어져 있는데, 작은 섬 하나에 이렇게 많은 오름과 동굴이 있는 경우는 세계적으로도 매우 드물다. 이러한 제주의 가치를 인정받아 2007년 6월 UNESCO 세계유산위원회의 만장일치로 세계자연유산에 등재되었다. 이로써 제주는 2002년 생물권보전지역 지정을 시작으로 2007년 세계자연유산 등재, 2010년 세계지질공원 인증까지 UNESCO 3관왕을 달성한 것이다. 뉴질랜드 크라이스트처치 컨벤션 센터에서 열린 제31차 총회에서 유네스코 세계유산위원회 심사위원이 이런 말을 남겼다고 한다. "앞으로 화산과 용암동굴을 유네스코 세계자연유산에 등재하려면 제주도와 비교하라." 이런 세계적인 자연유산을 설명하는 제주도 관광안내지도는 한국어, 영어, 중국어, 일본어, 인도네시아어, 베트남어 등으로 제작 배포되고 있으며, 지질공원의 안내판은 한글, 영어, 일본어, 중국어로 구성되어 있다. 그러나 안내판의 중국어와 일본어에는 오류가 다수 발견되므로 이에 대한 수정 및 개선이 시급한 실정이다. 제주세계자연유산 본부 및 지자체에 지질학 관련 전문가가 학예연구사 및 관리요원으로 영입되어야 하며, 홍보물을 제작할 때 국내 전문가의 자문, 외국어 번역 후 해당 언어국의 화산학 전문가의 자문을 거쳐 정확한 화산학적, 지질학적 용어를 사용한 설명문을 만들 필요가 있다.

주요어 : 제주도, 세계지질공원, 안내판, 중국어, 일본어



영어 중국어 일본어 번역에 오류가 다수 발견된 채 방치되어 있는 산방산 안내판

남극 로스 조산대에 산출하는 망간이 풍부한 변성처트암의 성인

김태환*¹

¹한국교원대학교 지구과학교육과(taehwan.kim@knue.ac.kr)

요약

망간이 풍부한 규산질 변성퇴적암류는 산출량이 적지만, 알프스를 비롯한 주요 고기 조산대의 (초)고압 변성대에서 드물게 보고된다. 가장 널리 받아들여지는 암석 성인 모델에 따르면, 심해 퇴적층 내 방산층 처트와 원양 점토 혼합물이 산화 환경에서 퇴적된 후, 해양지각의 섭입과 연관된 변성작용을 경험하며 형성된다. 망간의 부화는 처트가 우세한 모암 내 심해저 망간단괴 및 망간각의 포획 또는 열수기원 망간의 유입 등에 기인한다.

망간 광상, 특히 함망간규암은 역사적으로도 중요한 가치를 지녀왔다. 이탈리아 베니스와 프랑스 남부에서는 르네상스 이전부터 망간의 산화·환원 반응을 활용해 유리를 제조한 기록이 있으며, 대표적인 산출지인 서알프스의 프라보나(Praborna) 광상에서는 15세기부터 광석 탐사가 이루어졌다. 또한, 벨기에 스타벨로-벤 육괴에서 산출된 함망간규암은 "코티쿨(coticule)"이라는 이름으로 불리며, 로마제국 시대 혹은 중세부터 1960년대 중반까지 숫돌로 채굴되었다. 최근에는 망간단괴 및 망간각이 2차 전지를 비롯한 미래 산업의 핵심 소재로 활용될 가능성이 주목받고 있다. 이러한 심해저 망간광석은 니켈, 코발트, 구리 등 전이금속뿐만 아니라, 희토류 원소 및 리튬 등의 비금속을 풍부하게 함유하고 있어 산업적 가치가 크다. 우리나라 역시 심해저 망간광석 탐사와 기초 연구를 지속적으로 진행하고 있다.

본 연구에서는 남극 북빅토리아랜드 랜터만 산맥에서 산출되는 함망간규암에 대한 암석학적, 지구화학적, 지구연대학적 분석을 수행하였다(Kim, 2024; Kim et al., 2024). 전암 조성분석 결과, 심해 처트 기원의 모암은 신원생대 최후기(약 5억 5천만 년 전)에 대륙 가장자리의 호/배호 분지 환경에서 퇴적되었을 가능성이 크다. 이후 로스 조산운동 동안 캄브리아기 중기(약 5억 년 전)에 터레인 부가와 연관된 고압 변성작용을 경험하여 석류석-녹렴석군광물-티탄적철석-펜자이트의 광물조합을 갖는다.

주요어 : 변성처트암, 함망간규암, 섭입대, 고압 변성작용

참고문헌

- Kim, T., 2024, Oxygen isotopic compositions of zircon and quartz in manganiferous quartzite from high-pressure metamorphic belt in northern Victoria Land, Antarctica. *Korean Journal of Mineralogy and Petrology*, 37, 315-325. (in Korean)
- Kim, T., Kim, Y., Tumiaty, S., Kim, D., Yi, K., and Lee, M.J., 2024, Sedimentary protolith and high-P metamorphism of oxidized manganiferous quartzite from the Lanterman Range, northern Victoria Land, Antarctica. *European Journal of Mineralogy*, 36, 323-343.

울산광역시 대왕암공원 일대 화성암류에 대한 암석학적 연구

문효영¹, 장철우^{2,3}, 윤성효^{2,3,4,*}

¹부산대학교 대학원 지구과학과, ²부산대학교 지구과학교육과

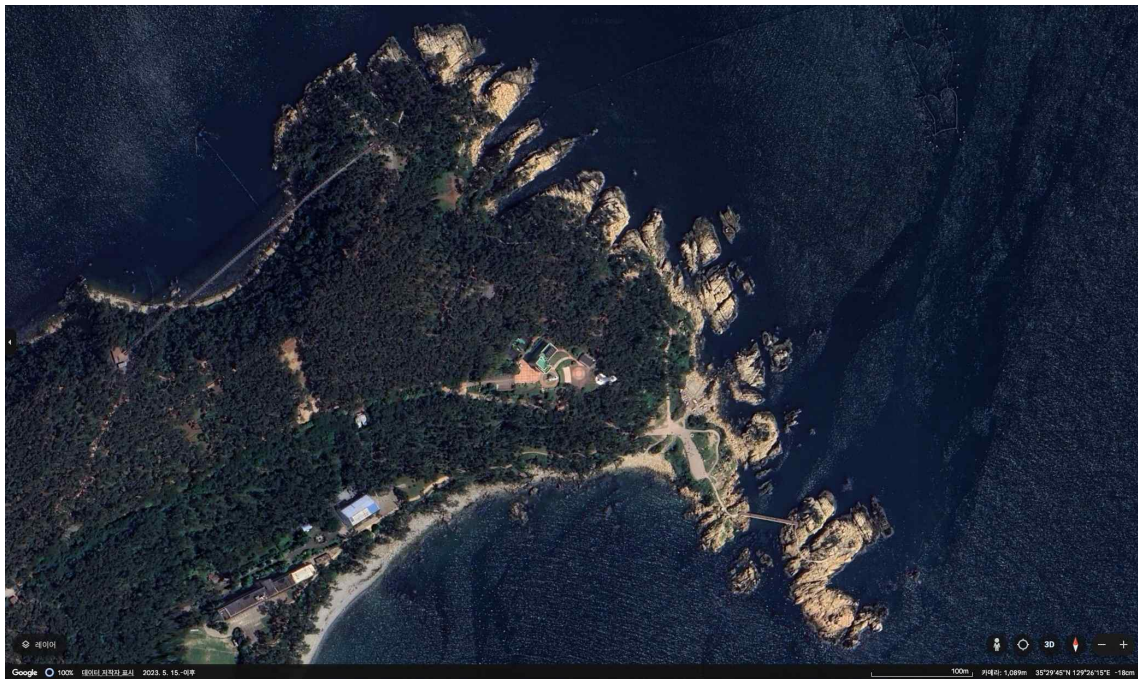
³부산대학교 화산특화연구센터, ⁴(사)제주화산연구소

요약 : 선행 연구 자료(최원학 외, 2003)에 따르면, 대왕암공원을 포함하는 울산 방어진 일대에 분포하는 화강암은 반상흑운모화강암으로 기재되어 있다. 그러나 연구 지역 부근에는 다양한 화강암류가 분포되어 있음이 이미 간단하게 보고된 바 있지만 화강암류에 대한 지질학적 및 암석학적 연구가 진행된 바 없다. 본 연구에서는 울산광역시 방어진의 대표 지질명소인 대왕암 공원 일원의 화성암류에 대하여 암석기재 및 암석화학적 연구를 실시하여 화성암의 종류를 규명하고, 주요 구성 광물의 성분을 고찰하였으며, 위성 사진을 통해 대왕암 리아해안에 나타난 절리 방향을 분석해 보았다. 야외 관찰을 통해 대왕암에 공원 일원에 분포하는 암상은 백악기말에 퇴적된 울산층을 비롯하여 백악기말~고진기의 세립질 흑운모화강암, 섬록암, 홍색장석화강암, 장석반암 등 다양한 종류의 화성암이 분포하고 있고, 접촉 관계를 파악한 결과 이들의 상대 층서는 울산층-세립질흑운모화강암-섬록암-홍색장석화강암-장석반암 순이었다. 연구 지역의 해안가에는 약 2.5 km에 달하는 해안단구역 암대와 그 남단과 북단 일부에 마그마혼합대가 형성되어 있어 마그마불균질혼합을 지시하는 다양한 포유암이 관찰된다. 채취한 샘플을 화학 분석한 결과, 야외 기재 암상이 섬록암이었던 것의 일부는 반려암질 섬록암, 나머지는 섬록암에 도시되었고, 세립질흑운모화강암 중 일부는 화강섬록암, 나머지와 장석암, 홍색장석화강암으로 기재한 암석은 화강암 영역에 도시되었다. 즉, 주성분 분석에 의한 SiO₂의 성분 범위는 섬록암은 반려암질 섬록암(52.2~52.6 wt.%)과 섬록암(56.9~61.0 wt.%)의 영역에, 세립질흑운모화강암은 화강섬록암(63.5~67.5 wt.%)과 화강암(71.6 wt.%) 영역에, 장석반암은 화강암(73.8~76.0 wt.%) 영역에, 홍색장석화강암은 화강암(78.9~79.0 wt.%) 영역에 해당한다. Maniar and Piccoli(1989)의 지체구조 판별도에서 연구지역의 화강암류는 POG, IAG+CAG+CCG영역에 도시된다. 따라서 지판의 섭입에 연관하여 형성된 대륙연변부의 화산도호(continent margin volcanic arc)의 화산-심성 작용과 연관되어 있음을 알 수 있다. 화강섬록암과 섬록암에 나타나는 사장석 결정의 성분을 분석한 결과, 중심부는 안데신과 라브라도라이트, 가장자리는 올리고클레이스와 안데신에 해당하는 정상누대구조를 보였다. 연구 지역 중 홍색장석화강암에 발달하는 절리의 방향성을 위성 사진을 통해 분석한 결과 대왕암공원 동쪽 리아스식 해안에서 가장 우세하게 발달하는 선구조의 주 방향은 북동(NE) 방향이며, 그 다음으로 우세한 방향은 북서(NW) 방향이다. 북동 방향의 것들은 비교적 연장성이 좋으며, 북서 방향은 북동 방향에 규제되어 발달하는 양상을 보이고, 북동 방향의 것들 보다는 선상구조로 파악되는 단열들의 간격이 더 촘촘한 경향을 보인다. 일산동과 방어동의 해안 지형 및 지질은 경관이 수려한, 울산의 대표적인 관광명소이다. 대왕암 일대는 백악기말 불국사화강암류에 해당하는 반상화강암으로 대표 암상을 기재하고 있지만 실제로는 고진기에 형성된 다양한 화강암이 분포하는 곳이며, 북동 방향과

북서 방향의 체계적인 절리군이 잘 발달하고 있다. 지질 다양성이 높고 심미적 가치가 높은 명소인 만큼 학술적인 연구가 체계적으로 이루어질 필요가 있다. 특히, 해당 지역에 분포하는 암석의 연대 측정 및 선구조에 대한 보다 면밀한 연구가 이루어진다면 고진기 동해안 일대의 화성암 생성 원인을 입체적으로 분석할 수 있을 것이다. 동시에 보호 구역으로 설정되어 접근할 수 없는 대왕암 주변 해안에 발달한 절리에 대한 입체적인 분석이 이루어진다면 화강암이 관입한 시기에 동해안에 작용한 지질학적 사건을 추정하기 용이할 것으로 판단된다. 이러한 체계적인 학술 자료는 해당 명소를 교육적으로 활용할 수 있는 기초 자료가 될 수 있으며 이를 통한 활용 방안의 모색 및 확대는 지역의 국가지질공원 인증, 더 나아가 유네스코 세계지질공원 인증으로 이어지는 토대가 될 것이다.

주요어 : 대왕암공원, 홍색장석화강암, 리아스식 해안, 선구조, 울산지질공원

감사의 글 : 본 연구는 기상청 기상·지진 See-At 기술개발연구사업(KMI2018-02710)의 지원으로 수행되었다.



대왕암공원 동쪽 리아스식 해안에서 가장 우세하게 발달하는 선구조의 주 방향은 북동(NE) 방향이며, 그 다음으로 우세한 방향은 북서(NW) 방향이다.

참고문헌:

최원학, 김정환, 기원서, 2003, 신제3기 “방어진 분지”. 지질학회지, 39(2), 263-269.

하와이 킬라우에아 화산의 용암분천 화산활동

장철우^{1,2}, 윤성효^{1,2,3,*},

¹부산대학교 지구과학교육과, ²부산대학교 화산특화연구센터, ³(사)제주화산연구소

요약 : 하와이 빅아이랜드의 킬라우에아(Kīlauea) 화산은 2024년 12월 23일 오전 2시 20분경(HST) 칼데라 남서쪽에서 하와이형 분화를 시작했다. 칼데라 남서쪽에 위치한 화구는 간헐적으로 활동했으며, 새로운 용암류가 할레마우마우(Halema'uma'u) 분화구 표면 일부에서 간헐적으로 활동했다. 킬라우에아 산정상 에피소드 13 분화는 3월 11일 오후 3시 13분(HST)에 중단된 상태로 유지된다. 3월 13일의 팽창율을 감안할 때, 하와이 화산국립공원에서 5~7일 내에 새로운 분화가 시작될 가능성이 높다. 에피소드 13 분화와 관련 없는 용암류는 분화구 동쪽으로 계속 퍼지고 있다. 칼루아펠레(산정상 칼데라) 내 할레마우마우 분화구에서 킬라우에아의 현재 분화는 2024년 12월 23일에 시작되었으며, 활동이 중단된 후로 용암 분천(lava fountaining)이 13번 발생했다. 모든 분화 활동은 하와이 화산국립공원 내에서 계속되고 있다. 킬라우에아의 동쪽 열곡대나 남서쪽 열곡대에서는 별다른 활동이 관찰되지 않았다. 이 분화는 하와이 화산국립공원의 출입 금지된 구역에서 발생했다. 현재 분화는 2020년 이후 다른 할레마우마우 분화에서는 볼 수 없었던 에피소드적 분천으로 표시된다. 분천과 용암류(lava flow)는 우리가 북쪽 화구와 남쪽 화구라고 부르는 두 개의 화구에서 분화되었다. 13개의 분천 에피소드는 몇 시간에서 일주일 이상 지속되었다. 각 분천 에피소드는 산정상 지역의 강한 수축을 동반했다. 분화 에피소드 사이의 일시 정지는 마그마 챔버가 재충전되고 재가압되면서 수축에서 팽창으로 즉시 바뀌는 것으로 표시되었다. 각 분천 에피소드가 시작되기 전에 팽창 기울기 패턴을 분석하면, 새로운 에피소드가 시작될 확률의 시간 창을 추정할 수 있다. 이는 새로운 분화를 시작하는 데 필요한 최소 팽창과 팽창률을 모두 사용하여 계산된다. 분화구 주변의 현재 팽창율이 계속된다면, 현재 추정에 따르면 새로운 에피소드가 시작될 가능성이 가장 높은 시기는 3월 18일 화요일과 3월 20일 목요일 사이로, 앞으로 5~7일 이내이다. 이 추정치는 더 많은 데이터가 제공됨에 따라 향후 업데이트에서 수정될 수 있다. 높은 수준의 화산 가스(주로 수증기(H₂O), 이산화탄소(CO₂), 이산화황(SO₂))가 우려되는 주요 재해 요소이다. 이 재해 요소는 풍하측으로 광범위한 영향을 미칠 수 있기 때문이다. SO₂는 분화 중에 산정상에서 지속적으로 방출되므로 대기에서 반응하여 킬라우에아의 풍하측에 vog(화산 스모그)로 알려진 눈에 보이는 안개를 생성하기도 한다.

주요어 : 하와이, 킬라우에아 칼데라, 할레마우마우 분화구, 용암 분천, 화산 스모그

감사의 글 : 본 연구는 기상청 기상·지진 See-At 기술개발연구사업(KMI2018-02710)의 지원으로 수행되었다.

에피소드 횟수	시작날짜-시간(HST)	종료날짜-시간 (HST)	분화 에피소드 지속시간	에피소드 후 휴식시간
1	December 23, 2024- 2:20 a.m.	December 23, 2024- 4 p.m.	14 hours	16 hours
2	December 24, 2024- 8 a.m.	December 25, 2024- 11 a.m.	15 hours	1 day
3	December 26, 2024- 8 a.m.	January 3, 2025- 8:30 p.m.	8.5 days	12 days
4	January 15, 2025- 9 a.m.	January 18, 2025- 10:10 a.m.	3 days	4 days
5	January 22, 2025- 2:30 p.m.	January 23, 2025- 4:30 a.m.	14 hours	2 days
6	January 24, 2025- 11:28 p.m.	January 25, 2025- 12:36 p.m.	13 hours	2 days
7	January 27, 2025- 6:41 p.m.	January 28, 2025- 10:41 a.m.	16 hours	6 days
8	February 3, 2025- 9:52 p.m.	February 4, 2025- 7:23 p.m.	21 hours	6 days
9	February 11, 2025- 10:16 a.m.	February 12, 2025- 8:43 a.m.	22 hours	7 days
10	February 19, 2025- 8:22 p.m.	February 20, 2025- 9:18 a.m.	13 hours	5 days
11	February 25, 2025- 6:26 p.m.	February 26, 2025- 7:06 a.m.	13 hours	6 days
12	March 4, 2025- 7:30 a.m.	March 5, 2025- 10:37 a.m.	27 hours	6 days
13	March 11, 2025- 2:36 a.m.	March 11, 2025- 3:13 p.m.	13 hours	ongoing



3월 11일, HVO 지질학자들은 서쪽 칼데라 가장자리에서 진행 중인 킬라우에아 산정상 분화의 13번째 에피소드를 관찰했다. 북쪽 화구(왼쪽)와 남쪽 화구(오른쪽)의 용암 분천이 Halema'uma'u 분화구 바닥을 가로지르는 채널화된 용암류를 공급했다. [USGS 사진, M. Patrick]

아이슬란드 쉰드흐누퀴르(Sundhnúkur) 화산활동과 전조현상

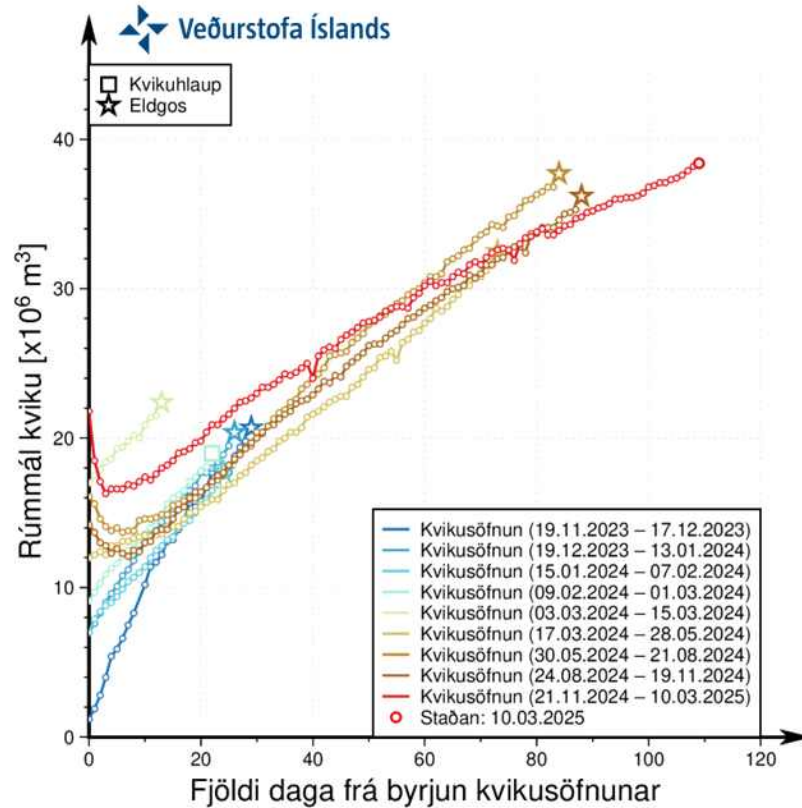
장철우^{1,2,*}, 윤성호^{1,2,3}

¹부산대학교 지구과학교육과, ²부산대학교 화산특화연구센터, ³(사)제주화산연구소

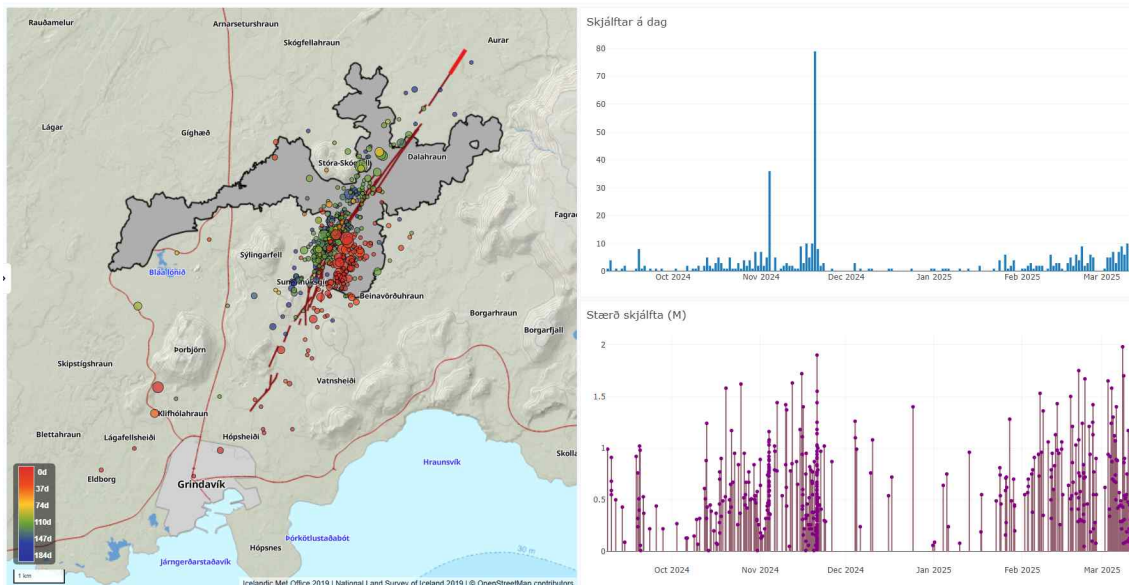
요약 : 아이슬란드는 북대서양 중앙해령에 위치하고 있으며 약 130여 개의 화산이 존재한다. 아이슬란드의 화산활동이 주로 일어나는 화산지대는 레이카네스 화산 벨트, 서부 화산지대, 중부 아이슬란드 벨트, 동부 화산지대 및 북부 화산지대, 외라이비 화산벨트, 그리고 스나이펠스네스 화산벨트가 있다. 이들 지역 내부에는 주로 중심 화산과 그 주변의 틈새(fissure)로 구성된 화산계(volcanic system)들이 존재하며 그 숫자는 30개 이상이다. 2023년 10월 24일부터 레이카네스 화산 벨트에 속하는 스바르첸기 화산계에서 발생한 강력한 군발지진이 아이슬란드기상청의 분화전조현상 감시 시스템에 포착되었으며, 또한 연속GPS 데이터와 간섭합성개구레이더 영상으로 소르비온에서 북서쪽으로 약 1.5 km 떨어진 블루 라군 인근 지역의 지표면 융기가 관측되어 이 지역에서 마그마 관입이 발생했음을 시사하였다. 2023년 11월 10일에는 지진의 빈도 및 강도가 증가하여 20,000회 이상의 지진이 기록되었으며 최대 규모는 M5.3에 이르렀다. 결국 2023년 12월 18일 스바르첸기 화산계의 쉰드흐누퀴르 틈새 분화구 열에서 최대 100 m 높이의 용암 분출을 동반한 틈새 분화가 발생하였다. 12월 18일의 용암 분출은 12월 21일에 종료되었으나, 2024년 1월 14일 새로운 분화가 발생하였다. 이 지역에서는 2월, 3월, 5월, 8월에도 계속해서 분화가 발생하였고 2024년 9월 현재에도 분화로 이어질 수 있는 화산 불안정이 지속되고 있다. 변형 측정에 따르면 최근 몇 주와 같은 속도로 지반 융기가 계속되고 있다. 마그마는 스바르첸기 아래에 계속 축적되고 있으며, 그 양은 2023년 12월 쉰드흐누퀴르 분화구 열에서 분화 시리즈가 시작된 이래로 기록된 가장 높은 수준에 도달했다. 쉰드흐누퀴르 분화구 열의 지진 활동은 마그마 축적과 함께 점차 증가해 왔으며, 11월 분화 전에 관찰된 패턴과 유사하다. 마지막 분화가 끝난 이후 지진 활동은 2024년 11월 20일에 시작된 분화로 이어지는 활동보다 약간 더 동쪽에 위치해 있다. Sundhnúkur 분화구 열 동쪽에서 발생한 지진은 마그마 축적으로 인해 해당 지역의 압력이 증가하여 발생한 지각 지진일 가능성이 크다. 따라서 이러한 지진이 반드시 분화 장소를 나타내는 것은 아니지만 이를 배제할 수는 없다. 현재 지진 데이터에 대한 추가 분석이 진행 중이며 지진 위치의 이러한 변화 원인에 대한 더 많은 정보를 제공할 수 있다. 지속적인 지반 융기와 마그마 축적과 함께 증가하는 지진 활동을 고려할 때 가장 가능성 있는 시나리오는 이 마그마 축적 기간 동안 Sundhnúkur 분화구 열 쪽으로 암맥이 관입할 것이라는 것이다. 이는 2023년 말 이후 8번째 분화인 화산 분화로 이어질 가능성이 크다.

주요어 : 아이슬란드, 화산전조현상, 화산성 지진, 틈새 분화, 화산불안정

감사의 글 : 본 연구는 기상청 기상·지진 See-At 기술개발연구사업(KMI2018-02710)의 지원으로 수행되었다.



2023년 11월 이후 분화와 암맥 관입 사이에 스바르첸기 아래에 축적된 마그마의 추정량을 보여주는 그래프.[아이슬란드기상청 제공자료]



2024년 9월 8일부터 오늘인 2025년 3월 11일까지 Sundhnúkur 분화구 열 주변의 지진 활동을 보여주는 이미지이다. 따라서 이 데이터에는 9월 8일에 끝난 분화와 11월 20일에 시작된 분화 사이의 지진 활동과 마지막 분화가 끝난 후부터 오늘까지의 기간이 포함된다. 지도의 녹색 원은 2024년 11월 20일에 시작된 분화 이전의 지진 위치를 나타내고, 빨간색 원은 최근 몇 주 동안의 지진을 나타낸다. 마지막 분화로 인해 생성된 용암 지대의 범위는 회색 오버레이로 표시되고, 진한 빨간색 선은 2023년 12월 이후 해당 지역에서 발생한 분화 동안 열린 분화 틈새의 위치를 나타낸다.[아이슬란드기상청 제공자료]

역사 문헌에 기록된 제주도 화산활동과 비양도 화산활동의 비교 연구

전용문^{*1}, 고기원², 박준범³

¹조선대학교 지구과학교육과 (ymjeon@chosun.ac.kr)

²제주특별자치도개발공사 품질연구본부

³미육군극동공병단 지반환경공학부

요약: 제주도에서 가장 최근에 발생한 화산활동 기록은 1002년(고려 목종 5년)과 1007년(목종 10년)이며, 이 외의 시기에 대한 화산활동 기록은 존재하지 않는다. 우리는 역사문헌 분석을 통해 1002년의 화산분출은 중산간 지역에서 틈 분화가 발생하여 용암이 분출한 것으로, 1007년의 기록은 수중 화산분화를 묘사한 것으로 해석하였다. 또한, 역사문헌에서 화산분출의 기원지로 언급된 비양도에 대한 지질조사를 실시하였다. 조사 결과, 비양도 섬의 서쪽에 또 다른 분화구가 존재함을 확인하였으며, 이 화산체는 엉겨 붙은 스파터와 대형 화산탄을 포함하고 있어 현재의 비양봉과는 다른 양상으로 형성된 분석구임을 밝혀냈다. 절대연대 측정 결과, 비양도의 화산활동은 약 2만 6천 년 전으로 추정되며, 당시 해수면이 현재보다 약 90~110m 낮았던 시기의 육상 환경에서 발생한 것으로 나타났다. 따라서 역사문헌에 기록된 비양도의 화산분출은 최초 문헌 작성 이후 원사를 옮겨 적는 과정에서 오기(誤記)와 저자의 사견이 포함된 것으로 해석된다. 결국, 천 년 전 제주도에서 발생한 화산체는 비양도가 아닌 다른 곳에 있으며, 아직 발견되지 않은 상태로 남아 있다.

주요어 : 제주도, 화산활동, 비양도, 절대연대, 분석구

제주도 단일 용암류에서 관찰된 in-situ fractionation

김소연¹, 윤성호^{1,2,3,4,*}, 장철우^{2,3}

¹부산대학교 대학원 지구과학과, ²부산대학교 지구과학교육과

³부산대학교 화산특화연구센터, ⁴(사)제주화산연구소

요약 : 제주도 남원읍 태흥리 지역의 노두에서 파이프 형태의 다공질 조직 부분을 둘러싼 치밀한 조직부를 가진 현무암이 관찰되었다. 이는 용암류가 분출 후 마그마 분화작용을 할 수 있다는 사실에 대한 증거이다. 편광현미경 관찰 시, 두 부분 다 감람석, 단사회석, 사장석, 미량의 알칼리장석, 티탄철석 등으로 본질적으로 광물상은 동일하지만, 다공질 가스 파이프에서 더 분화된 성분과 함량을 가진다. 사장석은 다공질의 가스 파이프에서 치밀한 기질부보다 회장석 함량이 더 낮은 경향이 있었다. 단사회석은 다공질 가스 파이프에서 치밀한 기질부보다 규회석 함

량이 더 적었다. 주성분 원소를 X-선 형광 분석한 결과, 다공질 가스 파이프는 치밀한 기질부에 비해 MgO의 함량은 낮고 Al₂O₃, CaO, P₂O₅, Fe₂O₃, Na₂O, TiO₂, SiO₂, K₂O의 함량은 높은 값을 가진다. TAS 분류도로 분류하면, 둘 다 쏘레아이트질 현무암으로 분류되었으며 다공질 가스 파이프 형태 조직이 치밀한 기질부보다 SiO₂의 함량이 높은 더 분화된 부분에 도시된다. 미량원소 중 큰이온친석원소가 둘 다 부화되어 있는데 다공질 가스 파이프에서 치밀한 기질부보다 더 많이 부화되어 있다. 희토류원소의 함량은 다공질 가스 파이프 부분에서 치밀한 기질부보다 더 많았고, 둘 다 시원운석에 비하여 경희토류 원소가 많이 부화되어 있으며 이는 전형적인 OIB 현무암을 지시한다. 결과적으로 원위치에서 마그마 분화작용이 일어남을 확인할 수 있으며, 이는 일명 가스 압축 여과작용으로 설명할 수 있다.

주요어 : 현무암, 다공질 가스 파이프, 치밀 기질부, 원위치 분화작용, 가스 압축 여과 작용

감사의 글 : 본 연구는 기상청 기상·지진 See-At 기술개발연구사업(KMI2018-02710)의 지원으로 수행되었다.

ALMA eDisk: a Keplerian Disk and Streamers of IRAS 04169+2702

Ilseung Han (한일승)^{1,2}, Woojin Kwon (권우진)^{*2}, and the eDisk team

¹Institute of Space Sciences (ICE-CSIC), Spain, ²Seoul National University
(wkwon@snu.ac.kr)

ABSTRACT

We present high-resolution (~ 0.05 arc-second, 8 au) dust continuum and molecular line observations toward the Class I protostellar system IRAS 04169+2702 in the Taurus B213 region, as part of the ALMA Large Program Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). The 1.3-mm dust continuum emission traces a circumstellar disk with a central depression toward the protostar. Our supplementary VLA observations of the same target reveal a single central peak dominated by the free-free emission. The mean spectral index of the thermal dust emission from 1.3 mm to 1.4 cm is approximately 2.8, suggesting grains grown to millimeter or centimeter sizes in the disk. Velocity gradients along the disk major axis are seen in ^{12}CO , ^{13}CO , and C^{18}O molecular lines. The position-velocity diagrams of these lines show a Keplerian-rotating disk with a radius of 21 au around a 1.3 solar mass protostar. In addition to the compact disk, large-scale infalling spiral structures, streamers, are found in C^{18}O , SO , and H_2CO as well as in the 1.3-mm continuum emission.

Keyword : circumstellar disk, grain growth, streamer

Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): Band 3 Observations

Youngwoo Choi (최영우)*¹, Woojin Kwon (권우진)¹ and eDisk team

¹Seoul National University (cyw3614@snu.ac.kr)

ABSTRACT

We present ALMA Band 3 observations toward the eDisk (Early Planet Formation in Embedded Disks) sample. Similar to the previous Band 6 observations, no significant substructures appear in Band 3. We also calculate the spectral index between the Band 3 and Band 6 observations and find that many disks exhibit a spectral index lower than 2 in the central regions. This low spectral index is likely due to dust self-scattering, which is usually ignored in previous disk studies. Using radiative transfer modeling with Band 3 and Band 6 data together, we estimate the maximum dust grain size and the total dust mass in the eDisk sample. To determine whether planet formation mainly occurs through streaming instability or gravitational instability, a reliable gas-to-dust mass ratio should be measured.

Keyword : Star formation, Protostars, Protostellar disks

3D structures of streamers revealed through radiative transfer modeling of polarized dust emission

Hanju Nam (남한주)*¹, Woojin Kwon (권우진)¹, Youngwoo Choi (최영우)¹

¹Seoul National University (skagkswn@snu.ac.kr)

ABSTRACT

We present radiative transfer modeling of polarized dust thermal emission for a streamer. We used a logarithmic spiral model to describe the 3D structure of a streamer and assumed that magnetic fields are parallel to the streamer. From radiative transfer modeling, we found characteristic distributions of total intensity, polarization intensity, and polarization fraction depending on the geometrical effects of the 3D structure. We applied our models to ALMA observations of two Class 0 protostellar systems, Serpens Emb 8 and HOPS-361S, and found that they can explain the peak positions of total intensity, polarization intensity, and polarization fraction. Based on these results, we suggest that the 3D structure of a streamer can independently be studied through dust polarization observations.

Keyword : Magnetic fields, Dust polarization, Streamer

다양한 $w(z)$ CDM 암흑에너지 모형의 관측적 제한과 모형 성능 평가

박찬경

전북대학교 사범대학 과학교육학부(parkc@jbnu.ac.kr)

요약

플랑크 우주배경복사(CMB) 비등방성 파워스펙트럼 자료와 바리온 음향 진동, 초신성, 허블 파라미터, 밀도 요동 성장률 등의 다양한 비-CMB 자료를 활용하여 암흑에너지 상태방정식(w)이 시간에 따라 변화하는 $w(z)$ CDM 동력학적 암흑 에너지 우주 모형을 관측적으로 제한하고 모형의 성능을 평가하였다. 적색이동 z 에 따라 $w(z) = w_0 + w_a z / (1+z)$ 로 표현되는 평탄한 $w_0 w_a$ CDM 모형에서는 $w_0 = -0.850 \pm 0.059$ 와 $w_a = -0.59^{+0.26}_{-0.22}$ 로 측정되었다. 이러한 결과는 동력학적 암흑에너지가 약 2σ 수준에서 우주상수를 기반으로 한 암흑에너지보다 더 선호됨을 나타내며, DESI 2024의 제한 결과보다 좀더 강한 수준이다. 그러나 모형에 사용된 자료들 간의 일관성을 통계적으로 조사한 결과, $w_0 w_a$ CDM 모형에서 CMB 자료와 비-CMB 자료의 관측적 제한 결과 사이에는 약 2.7σ 정도 통계적 불일치가 존재한다. 암흑에너지 상태방정식 $w(z)$ 가 2차 및 다항식 형태로 적색이동 의존성을 가지는 경우, 저적색이동에서는 퀸트에센스(quintessence) 형($w > -1$), 고적색이동에서는 팬텀(phantom) 형($w < -1$) 암흑에너지가 선호되는 경향을 보였다. 모든 $w(z)$ CDM 모형에서 플랑크 CMB 자료의 과잉 렌즈 효과가 동력학적 암흑 에너지 증거에 일부 기여하는 것으로 나타났다. 본 연구는 향후 암흑에너지의 본질을 규명하는 데 있어 중요한 통찰을 제공할 것으로 기대된다.

주요어 : 동력학적 암흑에너지, 상태방정식, 우주상수, 우주배경복사, DESI

Sentinel-2 영상을 사용한 인공위성 기반 수심도 산출

이진호^{*1}, 박경애²

¹서울대학교 과학교육과 지구과학전공(jinhonav@snu.ac.kr),

²서울대학교 지구과학교육과

요약

연안지역에선 해상 운송 및 해운업, 어업 및 양식 활동, 레저 및 해양 관광, 석유 등의 에너지 자원 시추, 풍력 및 조력 발전, 해양 과학 연구 등 활발한 경제적 및 과학적 활동이 이루어진다. 따라서 연안 지역의 해류 유동에 영향을 주는 해저 지형의 정확한 측정은 매우 중요하다. 해저 지형의 측정은 전통적으로 선박 기반 음향 에코 사운딩을 통해 이루어지지만 이 방법은 비용이 많이 들며, 연안지역에서는 스캔의 폭이 좁아지는 단점이 존재한다. 인공위성 기반 수심도는 저렴한 비용으로 광범위한 연안 지역의 수심 자료를 신속하게 획득할 수 있는 장점이 있다. 인공위성 기반 수심도를 산출하기 위해 널리 사용되는 Stumpf 모델은 수심이 깊어질 수록 인공위성 영상의 Green band의 반사율이 Blue band의 반사율 보다 빠르게 감소한다는 사실을 이용하여 수심을 산출하는 알고리즘이다. 본 연구에서는 제주도 연안의 성산항을 촬영한 Sentinel-2 영상에 Stumpf 모델을 적용하여 성산항 인근의 수심을 산출하였다.

주요어 : 해저지형, 연안, Sentinel-2, 인공위성 기반 수심도

AI 기법 기반 Sentinel-2 위성 탁도 산출

¹서울대학교(sulan0520@snu.ac.kr), ²상동고등학교, ³선박해양플랜트연구소

요약

본 연구에서는 한반도의 남해안 광양만의 탁도 산출을 위한 경험적 모델과 AI 모델을 개발하고 성능을 비교·평가하였다. Sentinel-2 인공위성 자료와 해양수질자동측정망의 탁도 실측 자료를 이용하여 데이터 세트를 구축하였다. 경험적 모델은 $R_{rs}(560)$ 을 기반으로 한 지수 회귀를 기반으로 개발되었다. AI 모델은 트리 기반 부스팅 모델과 인공 신경망을 이용한 딥러닝 기법을 적용하여 구축되었다. 특히, 조류가 강한 환경에서는 탁도 산출 시 조류 관련 요인을 학습 요인에 포함할 경우 딥러닝 모델의 성능이 향상됨을 확인하였다. 이러한 연구 결과는 경험적 모델과 AI 모델의 보완적 활용이 탁도 예측의 정확도를 높이고, 해양 환경 모니터링의 효율성을 증대시키는 데 기여할 수 있음을 시사한다.

주요어 : Sentinel-2, 탁도 산출, AI, 조류, 광양만

정지궤도 인공위성 기반 해수면온도 검증 및 위성천정각 영향 분석

우혜진^{*1}, 박경애¹

¹서울대학교 지구과학교육과 (hyejinwoo@snu.ac.kr)

요약

본 연구는 2019년부터 2023년까지 GK-2A/AMI에서 관측된 해수면온도 자료의 정확도를 평가하였다. 실측 수온에 대한 위성 기반 해수면온도의 평균 제공근 오차와 편향은 각각 약 0.5°C와 -0.04°C로 나타났다. 위성 해수면온도의 오차는 위도에 따라 변동하며 주야간 관측 간에도 차이를 보였다. 낮 동안 바람이 약한 조건(<3 m/s)에서는 해수면온도가 과대 추정된 반면 야간에는 과소 추정되는 경향을 보였다. 또한 습도가 높은 환경에서는 해수면온도가 상대적으로 높게 건조한 조건에서는 낮게 산출되는 특성이 확인되었다. 해양 전선이 발달한 지역에서는 전선 강도가 증가할수록 위성 해수면온도의 평균 제공근 오차도 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 특히 위성천정각이 50°를 초과할 경우 해수면온도의 불확실성이 현저히 증가하는 것이 관측되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 위성천정각과의 선형 및 비선형 관계를 고려한 8개의 추가 해수면온도 산출 추정식을 제안하고 검증하였다. 새롭게 도출된 산출식은 특히 높은 위성천정각에서 오차를 효과적으로 감소시키는 것으로 나타났다. 본 연구는 정지궤도 위성 기반 해수면온도 산출에서 위성천정각이 주요 오차 요인으로 작용함을 강조하며 신뢰성 높은 해수면온도 자료 활용을 위해 지속적인 검증 및 정확도 향상이 필요함을 시사한다. 또한 정지궤도 위성 해수면온도 산출을 위한 최적 알고리즘을 제안함으로써 GK-2A 관측 영역 내 해수면온도 모니터링의 정밀도를 향상시키는 데 기여할 것으로 기대된다.

인공위성 원격탐사를 활용한 부석의 해양 물리적 영향 분석

송승훈^{*1}, 박경애²

¹서울대학교 과학교육과(songsh@snu.ac.kr),

²서울대학교 지구과학교육과

요약

해저 화산 폭발로 형성된 부석은 뗏목 형태로 모여 해상을 부유하기도 한다. 부석은 해양 표면에 부유하면서 선박이나 어업 등에 피해를 입힐 수 있고, 해안에 유입되어 생태계에도 피해를 입힐 수 있다. 반면, 부석은 해양 생물이 부착하여 장거리 이동할 수 있는 매개체가 되어 생태계에 긍정적 영향을 미치기도 한다. 이 연구에서는 인공위성 자료를 활용하여 부석이 해수면 온도, 엽록소 농도에 미치는 영향을 분석하였다.

주요어 : 부석, 해수면 온도, 엽록소 농도

해양 관측자료와 재분석자료를 활용한 한반도 주변 해수면온도의 보정 기법 적용 및 장기 추세 분석

강지원^{*1}, 박경애²

¹서울대학교 과학교육과 (jiwon503@snu.ac.kr), ²서울대학교 지구과학교육과

한반도 주변 해역에서 해수면온도 변동성 및 장기 추세를 연구하는 것은 기후 변화와 해양 환경을 이해하는데 필수적이다. 그러나 해양 관측 자료의 시공간적 불규칙성은 불가피하며, 이를 이용하여 장기 추세를 분석하는 데에는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 재분석 자료를 활용하여 해수면온도 관측자료의 불규칙성을 보정하기 위한 기법을 제시하고, 이를 적용하여 최적화된 해수면온도 자료를 기반으로 장기적인 추세를 분석하고자 하였다. 보정된 해수면온도 자료는 특정 시기와 해역에서 해수면온도의 장기 경향성을 보다 정량적으로 파악할 수 있으며, 시공간적 불균형으로 인해 발생하는 오차를 효과적으로 줄여 원자료보다 장기 변화 특성을 더 명확하게 반영할 수 있음을 확인하였다. 추후 재분석자료의 해상도 및 오차를 검토하여 다양한 보정 방법론과 다중 자료 융합 기법을 적용한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구는 향후 기후변화에 따른 해양 환경 변화를 보다 정밀하게 예측하는데 활용될 수 있으며, 해수면온도 변화 연구의 정량적 분석 기법 개선에 기여할 것으로 기대된다.

한반도 주변해 해양 열파의 장기변동

임채영^{*1}, 박경애²

¹인천진산과학고등학교(codud0407@snu.ac.kr),

²서울대학교 지구과학교육과

요약

본 연구에서는 1982년부터 2022년까지의 인공위성 해수면온도 자료를 활용하여 한반도 주변해 해양 열파의 특성치를 정량적으로 산출하고 시공간 변동성을 분석하였다. 결과에 따르면 한반도 주변해의 해양 열파는 연평균 1.96회의 빈도, 12.87일의 지속기간, 4.75°C의 최대 강도로 발생하였으며 전구 대비 단기간 강한 강도가 특징이었다. 여름철에는 전 해역에서 평균치가 높았으며 겨울철에는 쿠로시오 북부와 동해 북부에서 강한 해양 열파가 발생하였다. 장기 변동 추세를 분석한 결과 지속 기간을 제외한 모든 특성치에서 전구 대비 급격한 증가 추세가 나타났다. 해양 열파 특성치의 정량적 분석 수단으로 5일 누적 빈도라는 새로운 접근 방식을 제안하여 한반도 주변해에서의 해양 열파 발생을 보다 상세하게 이해할 수 있도록 하였으며, 위성 해수면온도 자료의 특성을 이해하여 연구 해역에 적합한 자료를 채택하고 다양한 실측 자료를 활용한 연구가 진행되어야 함을 강조하였다.

주요어 : 해양 열파, 해수면온도, 장기변동, 기후 변동

장기 위성 클로로필 데이터를 이용한 표층 해류 추정과 연안 부이 실측 자료와의 비교

김희영^{*1}, 박경애²

¹서울대학교 지구과학교육과(heeyoungkim@snu.ac.kr),

²서울대학교 지구과학교육과/해양연구소

요약

해양 표층 해류의 이해는 해양 환경에서 다양한 물리적 과정을 해석하는 데 필수적이다. 특히, 표층 해류는 대규모 수괴의 전체적인 움직임을 반영하므로, 이러한 해류의 장기 관찰은 지구 기후 변화에 대한 통찰을 얻는 데 중요하다. 본 연구에서는 Geostationary Ocean Color Imager-II (GOCI-II)의 고해상도 데이터를 사용하여 다양한 알고리즘 접근법을 통해 표층 해류를 추정하였다. 전통적으로 널리 활용되어 온 형상 추적 기법과 미분 기반 기술을 활용하여 해류를 산출하였으며, 각 알고리즘에서 도출된 표층 해류장의 비교 분석을 통해, 각 방법의 특성을 명확히 하였다. 또한, 이 연구에서는 동해 연안의 ESROB 부이 ADCP current와의 비교를 통해 위성 기반 해류의 정확도를 검증하였다. GOCI-II의 일주기 관측 능력을 활용하여 관측된 표층 해류의 시간적 변동 특성을 분석하였고, 장기간 데이터베이스를 통해 동해 연안 해류의 계절 변동 특성도 분석하였다. 이러한 분석은 북서태평양 지역의 표층 해류 역학에 대한 깊은 이해를 제공할 것으로 기대되며, 정지궤도 해상 위성 데이터의 활용에 대한 향후 연구의 기초를 마련할 수 있을 것이다.

주요어 : 표층 해류, GOCI-II, 미분 기반 기술, ESROB, 변동 특성

수형 분류를 활용한 한국 연안 해역 클로로필 번성 시기의 계절적 차이 분석

차나연^{*1}, 박경애²

¹서울대학교 과학교육과(sochal@snu.ac.kr)

²서울대학교 지구과학교육과

ABSTRACT

인간 활동에 따른 대기 중 이산화 탄소의 증가로 전 지구 탄소 순환 역시 변화하는 가운데, 해양은 대기보다 50배 가량 많은 탄소를 저장하는 탄소 저장고로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 식물성 플랑크톤인 클로로필-a(Chlorophyll-a)은 광합성을 통하여 해양의 용존 이산화 탄소량을 낮추고 동시에, 용존 산소량을 높여 해양생태계를 발전시키고 지구 온난화 문제를 완화할 수 있다. 이러한 클로로필 농도의 변동성은 인공위성 자료를 통하여 파악할 수 있다. 본 연구는 2003년부터 2022년까지 20년간 MODIS/Aqua 인공위성의 엽록소 농도와 원격 반사도 자료로부터 한국 연안 해역 클로로필 번성의 계절적 패턴과 해수의 광학적 수형을 분석하였다. 특히 여름철 한국 연안 해역의 클로로필 번동을 중심으로 연구를 진행하였으며, 동해와 황·동중국해의 클로로필 대번성 시기와 그 특성을 조사하였다. 동해에서는 주로 봄철에 클로로필 대번성이 일어나는 반면, 황·동중국해에 연안에서는 여름철에 클로로필 번성이 가장 활발하게 나타났다. 이러한 계절적 차이의 원인을 규명하기 위해 해수의 광학적 수형을 확인한 결과 여름철 연안 해역의 해수가 더 탁한 특성을 보였다. 이는 여름철 강수량과 하천 유량의 유입이 클로로필 번성에 미치는 영향을 시사하며, 계절적 기후 변화와 해양 생태계의 상호 작용을 이해하는 데 중요한 정보를 제공한다.

Characteristics of surface topography and sedimentation before and after typhoons Kompasu and Soulik in the Gochang Donghori intertidal flat, Korea

양우현*, 강솔잎

전북대학교 (ryang@jbnu.ac.kr)

요약

In the macro-tide intertidal flat of the Korean western coast, this study has investigated typhoon effects on the variation of topography, surface sediment texture, sedimentary properties, and sedimentary environment, which appeared before and after the typhoons Kompasu in 2010 and Soulik in 2018, respectively. Along the southwestern coasts and across midlands of the Korean Peninsula, the typhoons Kompasu and Soulik moved from 1 to 2 September 2010 and from 23 to 24 August 2018, respectively. Topography and surface sediments before and after the typhoons were measured and sampled along the survey line in the Gochang Donghori intertidal flat. The intertidal area was divided into the upper tidal zone, middle tidal zone, and lower tidal zone based on mean high water level, mean sea level, and mean low water level. Surface sediments of the intertidal flat consist mainly of very fine to medium sands, and the ratio of fine sand is the largest both before and after the typhoons. Surface sediments after both typhoons became finer in mean grain size showing well sorting rather than those before the typhoon. It is interpretative of the strong wave effect, caused by typhoons. The surface sediment texture of the middle tidal zone shows rare variations and band-shaped deposits appeared in some lower tidal zone intervals.

홀로세 해수면 변동의 층서 지시자로서 낙동곡 베이헤드 삼각주 퇴적층

양우현^{1*}, 홍석휘², 유동근², 김진철²

¹전북대학교 (ryang@jbnu.ac.kr)

²한국지질자원연구원

요약

낙동강에 의해 형성된 낙동곡 퇴적체(Nakdong valley fill)를 작고 제한된 지형 내 발달된 베이헤드 삼각주(bayhead delta) 퇴적층으로 새로이 해석하였다. 이는 낙동강 삼각주 퇴적층에 대한 기존 해석인 열린 대양 삼각주(open ocean delta)를 베이헤드 삼각주 퇴적층으로 재해석한 것이다. 낙동곡 베이헤드 삼각주 퇴적체에는 퇴적 수용 공간(accommodation space)과 하성 퇴적물 유입(sediment input) 사이의 퇴적학적 균형 관계가 기록되어 있다. 5개의 시추 코어가 후기 플라이스토세와 홀로세 퇴적물로 구성된 낙동곡 충전체에서 획득되었다. 퇴적상 분석을 통해 16개의 퇴적상을 기술하였으며 8개의 퇴적상 조합으로 구분하였다. 퇴적상 조합은 3개의 퇴적 단위(depositional unit)로 구분된다. 낙동곡 충전체의 순차 층서(sequence stratigraphy)는 저해수면계열, 해침계열, 고해수면계열로 구분된다. 833개의 퇴적물 분석, 118개의 연대 측정 자료를 포함한 통합 분석에 근거하여, 홀로세 동안 낙동곡 베이헤드 삼각주의 형성을 6개의 퇴적 단계로 제시하였다. 코어 퇴적층의 순차층서학 해석에 근거하여 12 ka 이후의 상대 해수면 곡선(relative sea-level curve)을 구성하였다. 코어 퇴적층의 연대 측정 자료를 활용하여 각 퇴적 단계와 시기별 퇴적 집적률을 계산하였다. 결과적으로 9~8 ka와 5~3 ka 두 시기는 상대 해수면 변화에 따른 퇴적 수용 공간과 하성 퇴적물 유입 사이의 퇴적학적 균형이 깨진 시기로 해석된다. 이 시기들은 각각 초기 홀로세의 빙하 홍수와 중기 홀로세의 지역적인 기후 변동에 따른 결과로 제안할 수 있다.

Hong, S.H., Ryang, W.H., Yoo, D.G., Simms, A.R., Kim, J.C., and Lee, G.S., 2024, Bayhead delta succession as a stratigraphic marker of sea-level changes during the early to late Holocene - the Nakdong valley of south-eastern Korea, *Sedimentology*, v. 71, p. 2035–2065. doi: 10.1111/sed.13203

2022 개정 교육과정 ‘지구과학’의 성취수준 설정 기준 분석

정찬미^{1*}

¹한국교육과정평가원(chan10@kice.re.kr)

요약

교육과정에 따른 성취수준(평가기준)은 국가 수준에서의 교육과정 질 관리와 학교에서의 평가 활동을 돕기 위한 목적으로 제7차 교육과정 시기부터 개발·보급되어 왔다. 성취기준은 학습을 통해 학생들이 궁극적으로 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 도달점 목표를 진술한 것이며, 성취수준은 성취기준에 대한 학생들의 성취 정도를 구별할 수 있는 준거이다. 2022 개정 교육과정에 따른 성취수준은, 중·고등학교에서 5수준 체계에 기반한 성취평가제가 적용됨을 고려하여, 이전 교육과정에서의 3수준 체계(상/중/하)와 달리 5수준 체계(A/B/C/D/E) 체계로 개발되었다. 2022 개정 과학과 교육과정에 따른 성취수준은, 개정 교육과정이 이전 교육과정과는 달리 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도 측면을 고려하여 내용 체계를 마련하고 성취기준을 제시하고 있음을 반영하여, 이러한 세 가지 범주를 고려하여 새롭게 개발되었음을 밝히고 있다. 이에 본 연구에서는 2022 개정 교육과정 고등학교 선택과목 중 하나인 ‘지구과학’의 성취수준이 어떤 구분 기준에 따라 설정되어 있는지 분석하였다. 먼저, 성취기준별 성취수준에서 A/B/C/D/E 각 수준의 내용에 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도 중 어떤 범주가 포함되어 있는지 분석하였다. A 수준의 경우 세 가지 범주가 모두 포함된 것이 8개(50%)로 가장 많았고, 지식·이해와 과정·기능 두 가지 범주가 포함된 것이 6개(38%)였으며, 지식·이해만 포함된 것이 2개(13%) 순이었다. E 수준의 경우 지식·이해만 포함된 것이 9개(56%)로 가장 많았고, 지식·이해와 가치·태도 두 가지 범주가 포함된 것이 4개(25%)였으며, 지식·이해와 과정·기능 두 가지 범주가 포함된 것이 2개(13%), 세 가지 범주가 모두 포함된 것이 1개(6%)로 나타났다. 다음으로, 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도 각각의 범주 측면에서 성취기준별 성취수준의 인접 수준 위계가 어떻게 설정되었는지 분석하였다. 지식·이해 측면에서는 모든 성취기준별 성취수준에서 5단계(A/B/C/D/E) 위계 차이가 나타났다. 과정·기능 측면에서 위계 차이가 5단계(A/B/C/D/E 또는 A/B/C/D/없음)로 설정된 경우는 5회, 4단계(A/BC/D/E 또는 A/BC/D/없음)로 설정된 경우는 3회, 3단계(AB/CD/없음 또는 A/B/없음)로 설정된 경우는 2회, 2단계(A/없음 또는 ABCD/없음)으로 설정된 경우는 4회였다. 가치·태도 측면에서 위계가 4~5단계로 설정된 경우는 없었으며, 3단계(A/BC/DE, AB/C/DE, AB/CD/E, AB/CD/없음, ABC/D/E)로 설정된 경우는 6회, 2단계(A/없음, ABC/DE)로 설정된 경우는 2회였다. 이러한 결과들을 토대로 후속 연구 및 교육과정, 성취수준 개발에 주는 시사점 등을 논의하였다.

주요어 : 2022 개정 교육과정, 지구과학, 성취수준

2022 개정 교육과정 기후변화교육 내용 분석 및 기후변화 교육과정 체계화 연구

황은자¹, 문윤섭^{*2,3}, 이철재²

¹서울난향초등학교, ²한국교원대 환경교육과(ysmoon@knue.ac.kr),

³충청북도탄소중립지원센터

이 연구는 초·중·고를 연계한 체계적 기후변화 교육과정을 정립하고, 체계화하는 데 목적이 있다. 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 기후변화 교육과정을 체계화하기 위해 교육과정 분석틀의 범주와 하위 요소 초안을 설정하고, 전문가 2차례의 검토를 거쳐 역량 중심의 교육과정 분석 도구인 최종 '기후변화 교육내용 분석틀'을 개발하였다. 이를 활용하여 한국의 2022 개정 교육과정과 미국 뉴저지주의 기후변화 교육과정을 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 기후변화 교육 역량, 성격, 목표를 설정하고 초등학교 1학년부터 고등학교 1학년까지 전 학년과 전 교과에 걸친 기후변화 교육내용 체계 및 성취기준을 제시하여 기후변화 교육과 프로그램 개발의 수준과 타당성을 확보하였다. 또한 기후변화 교육을 교과 간 통합 시 활용 가능한 체계도와 체계표를 제시하였다. 이상의 연구 결과를 토대로 내린 결론은 다음과 같다. 첫째, 기후변화 교육과정 체계화를 통해 교육 목표와 내용의 일관성을 확보하고, 내용 체계와 성취기준에서 연속성, 계열성, 통합성을 확보하였다. 둘째, 기후변화 교육과정의 주요 구성요소는 역량, 성격, 목표, 내용 체계 및 성취기준으로 설정하였다. 역량은 지식뿐 아니라 기술과 태도를 포함하는 포괄적 개념으로 설정되었으며, 성격 면에서는 자연과학, 인문학, 사회과학, 예술적 관점을 연계한 통합적 접근을 제시하였다. 교육 목표는 창의적이고 능동적으로 사회문제에 대응할 수 있는 실천역량을 기르는 것으로 설정하였다. 또한 내용 체계와 성취기준은 프로젝트 학습 시 교과 간, 학년 간 통합이 가능하도록 구성하였다.

기후위기 대응 지구환경교육에서 인공지능 활용의 교육적 의미와 한계

나유나¹, 문윤섭^{*1,2}

¹한국교원대 환경교육과(ysmoon@knue.ac.kr), ²충청북도탄소중립지원센터

이 연구는 기후위기 대응 지구환경교육에서 인공지능(AI)의 활용이 학습자 경험 혁신, 협력적 학습 환경 조성, 개별 맞춤형 교육 제공, 실제적 문제 해결 능력 강화 등의 측면에서 교육의 효과성과 효율성을 향상시키는 핵심 도구로 활용될 수 있음을 분석하였다. 인공지능은 시뮬레이션, 가상현실(VR), 데이터 분석 등의 기술을 활용하여 복잡한 기후변화 현상을 직관적으로 이해하게 하고, 실시간 데이터를 통해 실제적 문제 해결 경험을 제공한다. 또한, 개별 맞춤형 피드백을 통해 학습 효율성을 높이고, 자기주도적 학습을 촉진하여 지속적인 학습과 장기적 이해를 지원한다. 협력적 학습 환경 조성을 통해 학습자 간, 교사와 학습자 간 소통을 강화하며, 협업 기반의 문제 해결 능력을 배양한다. 이러한 과정에서 인공지능은 기후위기의 심각성을 학습자들이 직접 체감하고 행동 변화를 이끌어낼 수 있는 강력한 동기를 부여하는데 효과적이다.

그러나 AI 활용의 한계 또한 명확히 인식되어야 한다. AI 기반 정보의 정확성 문제, 윤리적 문제, 학습자 간 상호작용 감소와 같은 문제점을 신중하게 고려하고 극복할 필요가 있다. 이를 위해 목적형 AI 개발로 정보 편향성과 오작동을 최소화하고, 교사의 적극적 개입을 통해 생성형 AI의 편향 및 오류 가능성에 대해 학습자에게 명확히 안내해야 한다. 또한 AI에 대한 과도한 의존을 경계하고 인간적 상호작용과 집단 지성을 강조하는 학습 환경을 전략적으로 조성하여 복합적 문제 해결 역량을 함양할 필요성을 제시하였다.

개선된 합의 모형의 관점에서 수업실행을 통한 지구과학 교사의 개인적 PCK와 실행된 PCK 간의 지식 변환 분석

김권중*¹, 이기영¹

¹강원대학교(powering@kangwon.ac.kr)

요약

이 연구는 개선된 합의 모형(Refined Consensus Model, RCM)의 관점으로 3명 지구과학 교사의 수업 실행 과정에서 개인적 PCK(personal PCK, pPCK)와 실행된 PCK(enacted PCK, ePCK) 간의 지식 변환을 분석하고자 하였다. 수업 실행 전후 참여 교사의 pPCK를 분석하기 위해 두 차례 CoRe를 수집하였다. 수업 실행 과정에서 지식 변환을 보다 면밀히 분석하기 위해 ePCK를 계획-수행-성찰 단계로 구분하여 교수·학습 과정안, 수업 영상(3~5회), 수업 성찰지(차시별 및 전체 수업 종료 후)를 각각 수집하였다. 수업 중 교사의 세부적인 교수적 추론(pedagogical reasoning)을 분석하기 위해 수업 영상 회상 자극 인터뷰를 실시하였다. 참여 교사의 pPCK와 ePCK간의 지식 변환은 PCK의 구성 요소별(교육과정, 학생 이해, 교수 전략, 평가)로 구분하여 분석하였다. 연구 결과, 참여 교사의 pPCK는 수업 계획 단계에서 ePCK_p로, 수행 단계에서 ePCK_r로 변환됨을 확인할 수 있었으며, 성찰 단계에서 ePCK_r는 다시 pPCK로 변환됨을 확인하였다.

이 연구는 지구과학 교사의 수업 실행 과정에서 두 가지 PCK(pPCK와 ePCK)간의 지식 변환을 명시적으로 확인하였다는데 그 의의가 있으며, 연구 결과는 과학 교사의 수업 전문성 개발을 위한 방향성을 제시하는 데 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 개선된 합의 모델(RCM), 개인적 PCK(pPCK), 실행된 PCK(ePCK), 지식 변환

인공위성 자료와 무선 탁도 센서를 활용한 지구시스템의 상호작용 STEAM 교수·학습 자료 개발

김수란^{*1,2}, 박경애¹, 김두현^{1,3}

¹서울대학교(sulan0520@snu.ac.kr), ²상동고등학교, ³성수고등학교

요약

지구시스템을 이루는 권역들은 서로 상호작용하며 균형을 이루기도 하고, 다양한 요인에 의해 균형이 깨지기도 한다. 2022 개정 교육과정의 ‘통합과학 1’ 과목에서는 지구시스템을 구성하는 권역 간 물질 순환과 에너지 흐름의 결과로 지구과학적 현상이 나타남을 중점적으로 다루고 있다. 특히 교수·학습 방법으로 전 지구 규모의 빅데이터와 디지털 플랫폼 및 도구를 활용하여 학생들의 디지털 소양을 함양할 것을 강조하고 있다. 인공위성은 지구에서 발생하는 광범위한 시공간 규모의 자연 현상을 관측하는데 매우 유용하며 2022 개정 과학과 교육과정에서도 인공위성 자료를 활용한 탐구 활동이 강조되고 있다. 이러한 취지를 반영하여 본 연구에서는 지구시스템의 각 권역 간 상호작용을 탐구할 수 있는 STEAM 기반 탐구 활동 자료를 개발하였다. 교수·학습 과정에 STEAM 요소를 반영하였고 인공위성 자료와 디지털 플랫폼, 무선 탁도 센서를 활용한 실험을 구성하였다. 개발된 교수·학습 자료는 전문가의 검토와 자문을 거쳐 수정·보완되었으며, 현장 전문가인 교사 10인으로부터 STEAM 요소 구현 및 디지털 역량 제고 측면에서 긍정적인 평가를 받았다. 본 연구에서 제시한 교수·학습 자료는 지구시스템의 상호작용 단원의 학습뿐만 아니라 프로젝트형 탐구 활동 자료로도 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

주요어 : 지구시스템의 상호작용, STEAM, 인공위성, 무선 센서, 탁도

V-WORLD와 지오빅데이터 오픈 플랫폼을 활용한 서울 지역의 지질 학습 방안 탐색

구자옥

한국교육과정평가원(kujaok@kice.re.kr)

요약

인터넷 기술과 지리 정보 시스템의 발전, 공공 정보 활성화 정책으로 오늘날 다양한 가상 현실 지구가 사실적으로 표현되어 인터넷을 통해 제공되고 있으며, 누구나 양질의 데이터에 접근할 수 있게 되었다. 이 데이터를 활용하면 기존의 교과서에 표현되기 어려웠던 3차원적 구조를 유지한 가상 지구의 지형을 탐사하는 지질 학습 자료를 개발할 수 있다. 특히 학생들이 거주하고 있는 주변 지형을 지질학적으로 탐색해 보는 활동을 통해 흥미를 높일 수 있고, 자신이 살고 있는 지역의 암석의 특성, 지형의 형성 과정을 조사하여 지구과학적 개념들을 깊이 있게 이해할 수 있는 경험을 얻게 할 수 있다.

본 연구에서는 국토교통부가 제공하는 공공 공간정보 플랫폼인 V-world, 한국지질자원연구원이 제공하는 지오빅데이터 오픈플랫폼, 서울시의 공간 정보 통합 플랫폼인 S-Map을 활용하여 가상현실 속 지구에서 서울 경기 일대를 지질 탐사하며 다양한 지질학적 개념들을 학습할 수 있는 방안을 탐색하였다. V-world에서는 3D 지도를 통해 자신이 살고 있는 지역의 지형을 다양한 각도에서 관찰할 수 있으며, 실제 지형과 건축물, 도로가 3차원으로 구현되어 있어 전체적인 지형의 모습을 탐색할 수 있다. 지오빅데이터 오픈플랫폼에서는 음영기복도 위에 지질도를 표시하여 내 고장의 지형을 이루는 암석의 종류와 분포, 지질학적 특성을 파악할 수 있다. 또한 QGIS와 블랜더, 스케치업과 같은 소프트웨어를 활용하면 가상현실 지질 탐사를 한층 흥미 있게 해주는 보조적인 학습 자료를 개발할 수 있다. 본 연구에서 다룬 지질 학습의 주요 대상은 도봉산을 중심으로 한 서울과 경기 지역이며, 한반도 지체구조상에서 경기 육괴에 속하는 경기편마암복합체를 포함한 다양한 변성암, 대보 화강암 등의 화성암 생성 과정에 대하여 학습하는 지도 방안을 마련하였다.

주요어 : 가상현실 지구, 3D 모형을 활용한 지구과학 수업, V-World, 지오빅데이터 활용

기후 공학에 따른 중위도 지역의 극한 기후 변화

고다혜^{*1}, 김혜미²

¹이화여자대학교(dahyego@ewha.ac.kr),

²이화여자대학교

요약

기후 변화에 대응할 잠재적인 수단으로서 기후 공학이 주목받고 있다. 다양한 기후 공학 기법 중, 성층권 에어로졸 주입(Stratospheric Aerosol Injection, SAI)은 성층권에 에어로졸을 주입함으로써 태양 복사를 반사시키고, 전 지구 평균 기온을 낮추는 방법이다. 다른 기후 공학 기법과 비교할 때, SAI 방법은 경제적이고 효율적인 방안으로 평가된다. 본 연구에서는 SSP2-4.5 시나리오와 비교하여, 위도별 SAI 방법이 북반구 중위도 지역의 겨울철(DJF) 동안 극한 기후에 미치는 영향을 분석하였다. 실험은 CESM2 SAI 실험을 활용하였으며, 45°S부터 45°N까지 15° 간격의 서로 다른 위도에서 성층권 하부(약 22km)에 이산화황 에어로졸을 주입하는 방식으로 수행되었다. 그 결과, 위도에 따른 SAI의 온도 분포 및 제트기류 변화에 미치는 영향이 높은 상관관계를 보이며, 이로 인해 극한 기후의 특성이 변화하는 것으로 나타났다.

주요어 : 중위도 극한 기후, 성층권 에어로졸 주입, 기후 공학, 미래 기후

기후 공학에 의한 ENSO 변화: CESM2 성층권 에어로졸 주입 실험

이정은¹, 김혜미^{1,2}

¹이화여자대학교, ²이화여자대학교(hyemi.kim@ewha.ac.kr)

ABSTRACT

Climate change is projected to substantially modify global climate dynamics, necessitating effective mitigation strategies. In this regard, geoengineering has been proposed as a potential climate intervention strategy designed to mitigate global warming artificially. Among climate engineering methods, Stratospheric Aerosol Injection (SAI) involves the injection of sulfate particles or other aerosols into the stratosphere to reflect incoming solar radiation. SAI presents advantages over conventional greenhouse gas reduction strategies by offering a cost-efficient method. However, concerns regarding its potential side effects persist, while comprehensive modeling assessments remain limited.

To address this gap, this study investigates the impact of SAI on the El Niño–Southern Oscillation (ENSO), a key driver of interannual climate variability. We analyze SSP2–4.5 scenario and SAI scenario using CESM2 to assess changes in ENSO variability under SAI. In SAI scenario, sulfur dioxide aerosols were injected into the lower stratosphere (approximately 22 km altitude) from 2035 to 2069 at latitude intervals of 15deg from 45S to 45N.

Under future climate projections in SSP2–4.5 scenario, ENSO variability exhibits a substantial amplification compared to historical simulations. With SAI, ENSO variability returns to or exceeds historical levels depending on the latitude of sulfate aerosol injection. To investigate underlying mechanisms, we examine the Bjerknes feedback, a key process governing the ENSO dynamics.

Keyword : Climate Change, Climate Engineering, Stratospheric Aerosol Injection (SAI), ENSO

요약

기후 변화는 전 지구적 기후 역학에 중대한 변화를 초래할 것으로 예상되며, 이에 따른 효과적인 대응 전략이 요구된다. 이러한 맥락에서 기후 공학은 인위적으로 지구 온난화를 완화하기 위한 잠재적인 기후 개입 방법으로 제안되어 왔다. 기후 공학의 한 방법인 성층권 에어로졸 주입(Stratospheric Aerosol Injection, SAI)은 황산염 입자 또는 기타 에어로졸을 성층권에 주입하여 태양 복사량을 줄임으로써 지구의 기온을 낮추는 방식이다. SAI는 기존 온실가스 감축 전략보다 비용 효율적인 대안이 될 수 있으나, 잠재적인 부작용에 대한 우려가 여전히 존재하며 이에 대한 종합적인 모델링 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 연간 기후 변동성의 주요 요인인 엘니뇨-남방진동(El Niño–Southern Oscillation, ENSO)에 대한 SAI의 영향을 분석하였다. 이를 위해 CESM2 모델을 활용하여 SSP2–4.5 시나리오와 SAI 시나리오를 비교하고, SAI 적용 시 ENSO 변동성이 어떻게 변화하는지를 평가하였다. SAI 실험에서는 2035년부터 2069년까지 45°S에서 45°N까지 15°

간격으로 이산화황(SO_2) 에어로졸을 성층권 하부(약 22km 고도)에 주입하였다.

SSP2-4.5 시나리오에서는 ENSO 변동성이 과거 시뮬레이션과 비교하여 크게 증가하는 것으로 나타났다. SAI가 적용된 경우, ENSO 변동성은 주입 위도에 따라 과거 수준으로 회귀하거나 상회하는 경향을 보였다. 이러한 변화를 설명하기 위해 ENSO의 동역학적 핵심 과정인 Bjerknes feedback을 분석하였다.

주요어 : 기후 변화, 기후 공학, Stratospheric Aerosol Injection (SAI), ENSO

CAPE index와 실제 날씨 사례 비교 • 진단 및 태풍과의 관련성 분석

장유리*¹

¹이화여자대학교 지구과학교육 전공(yurie2520@google.com)

요약

우리나라에서 사용되는 불안정지수 중에 대표적인 잠재 불안정도의 척도인 대류가용 에너지(CAPE)는 시간당 최대 강수량, 돌풍 가능성을 예측하는 데 참고 자료로 활용성이 높다. 호우가 예상될 때, 호우 구역의 위치 및 강수집중시간, 발달 및 약화 등을 CAPE 예측을 통해 진단할 수 있다. 하지만 예보 기술은 CAPE 뿐만 아니라 일기도 분석을 통해 이루어지며, 고기압 영향을 받거나 지표 가열로 인한 상승기류가 발달할 시 정확도가 떨어지는 CAPE index 특성상의 한계가 있다. 따라서 실제 날씨 사례에 CAPE 계산을 통해 조건을 검토해봄으로써 정확도와 한계를 검토해보고, 태풍이나 폭우와 같은 이상기후 하에 CAPE 값이 얼마나 영향을 받는지 연구하였다. 이를 위해 기상청 자료개방포털 우리나라 북강릉, 오산, 광주 지역의 지난 3년 과거 날씨를 일별 날씨, 기온 및 강수량 데이터에서 4월~11월 내 소나기가 내린 날짜를 추려, 소나기가 내리기 1일 전과 소나기가 내린 날로 구분하여 CAPE를 계산한다. 뇌우강도가 900이상 강함을 값에 해당하는 날을 골라 850hpa 이하 영역의 저기압 여부 및 하층 제트 여부를 확인하였다. 또한, 2022년부터 2024년까지 3년간 태풍의 영향을 받았던 지역과 그렇지 않은 지역의 단열선도 자료 비교 분석을 통해 악기상이 CAPE지수에 주는 영향을 분석하였다.

주요어 : 불안정지수, 대류가용잠재에너지, CAPE, 단열선도, 태풍

표 1. 우리나라에서 주로 사용하는 불안정지수

지수	적용 시기	고려사항		뇌우 강도			
		높은 정확도	낮은 정확도	약함	보통	강함	격렬함
KI	하계	저기압 영향권 내에서, 습윤한 상태, 하층제트 존재시	하층 역전층 및 건조층 존재시	25 ~ 30	30 ~ 40	≥40	
SSI	연중	안정한 기단 내에서 맑은 날씨	850hPa 역전층 존재, 호린 날씨 및 저기압 영향	6 ~ 3	3 ~ -3	-3 ~ -6	≤-6
CT	10월 ~ 5월 은-9월 제외	중·상층의 한기핵을 가질 저기압(기압골) 영향	여름철, 500hPa 찬 공기가 없을 경우	16 ~ 18	18 ~ 22	≥22	
TT	CT와 같음		850hPa이 건조할 경우	42 ~ 48	48 ~ 54	54 ~ 60	≥60
CAPE	4월~11월	저기압 영향, 하층제트 존재	맑은 날씨, 지면가열에 의한 불안정	300 ~ 500	500 ~ 900	900 ~ 1800	≥1800

Fig 1. 우리나라에서 주로 사용하는 불안정지수 계산한 CAPE, CIN

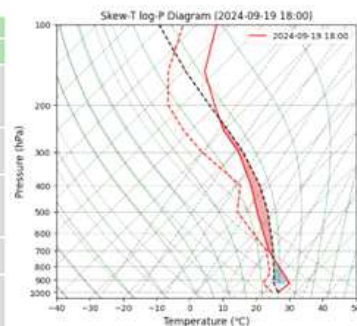


Fig 2. 고층 레오펜데 자료를 통해

대기의 강과 호수효과에 기인한 한반도 폭설 사례 연구

김성운¹, 문윤섭^{*1,2}, 정옥진¹

¹충청북도탄소중립지원센터, ²한국교원대 환경교육과(ysmoon@knue.ac.kr),

이 연구에서는 2024년 11월과 12월에 한반도에서 발생한 폭설 사례를 대상으로, 폭설의 강도와 특성을 결정하는 주요 요인으로 대기의 강(Atmospheric River) 현상과 호수효과(Lake-effect), 그리고 대기 절리저기압(Cut-off Low) 발달 및 정체 여부를 분석하였다. 11월 사례에서는 서해상에서 강력한 대기의 강이 발달하여 다량의 수증기를 한반도로 유입시켰으며, 이 과정에서 호수효과가 더해져 서해안을 중심으로 기록적인 폭설을 초래하였다. 특히 2024년 11월 26~28일 사이의 사례 분석을 통해 대기의 강이 폭설 강도에 미치는 영향을 위성 자료와 수치 모델 분석을 통해 상세히 규명하였다. 분석 결과, 대기의 강에 의해 수증기 공급이 활발한 상황에서 서해상의 해수면 온도가 높아 호수효과가 증폭될 경우, 폭설의 강도가 현저히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 한편 이 연구에서는 대기 절리저기압의 발달 및 장기간의 정체 여부가 폭설의 지속성과 강도에 미치는 영향을 조사하였다. 2024년 11월 26~28일의 사례를 분석한 결과, 한반도 북부 만주 지역에 발달한 절리저기압이 장기간 정체하면서 한반도 서해상으로부터 차가운 북풍이 지속적으로 유입되었고, 이에 따라 서해안 일대에 집중적인 폭설이 발생하였다. 연구 과정에서 지상 관측 자료와 기상청 수치 모델 재분석 자료를 활용하여 절리저기압의 정체 현상과 이에 따른 강설 강도의 상관성을 확인하였다. 결론적으로, 대기의 강과 호수효과가 결합된 서해안 폭설 사례와 대기 절리저기압의 정체로 인한 지속성을 비교하여 각각의 기상현상이 폭설 강약에 미치는 상대적 기여도와 메커니즘의 차이를 분석하였다.

산풍의 발생 특성 및 주변 지역에 미치는 영향

김하영^{*1}, 김해동²

¹계명대학교 일반대학원 환경과학과(hyk2410@naver.com),

²계명대학교 공과대학 환경공학과

요약

우리나라는 국토의 약 70% 이상이 산지로 이루어져 있으며 삼면이 바다로 둘러싸여 있는 지형적 특성으로 인해 산곡풍 및 해륙풍과 같은 국지순환풍의 발생 빈도가 높다. 산곡풍은 비교적 구름이 적은 맑은 날 산 정상과 계곡 간 일사에 의한 부등가열로 인해 발생하는 국지순환풍이다. 도시하천 및 내륙습지와 같은 국지순환풍의 주요 이동통로를 보전시켜 야간에 산지에서 발생하는 저온의 공기를 유입 및 환기 기능을 향상시키는 것의 중요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 국지순환풍의 발생 조건이 충족된 날을 대상으로 금오산에 위치한 동영학술림에서 관측한 9년간(2014-2022)의 기상관측자료를 사용하여 산곡풍의 발생 특성 및 산풍에 의한 저지대에서의 기온 하강 효과를 분석하였다. 연구대상지에서 발생한 산곡풍 판별을 위하여 일평균 풍속, 일조율, 강수의 여부, 풍향을 조건으로 국지순환풍의 발생 여부를 판단한 결과 산곡풍은 총 614일 발생하였으며 연평균 68일로 나타났다. 계절별로는 국지순환풍이 발생하기에 유리한 조건이 잘 형성된 봄에 빈도가 가장 높고 장마로 인해 일조율이 낮았던 여름에 빈도가 가장 낮았다. 산풍의 평균 지속시간은 봄, 가을철에 길게 나타났으며 산지에서 형성된 산풍이 계곡을 따라 저지대로 하강함에 따라 저지대에 위치한 지점에서 기온 냉각률이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

주요어 : 국지순환, 산풍

감사의 글

이 논문은 2025년 대구녹색환경지원센터 연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 25-04-02-70-76).

빌딩군 연직 구조에 따른 지면 복사 변화가 도시 내 기류에 미치는 영향에 관한 수치 연구

김지선^{*1}, 이순환², 박순영³

¹부산대학교 지구과학과(jssk@puasn.ac.kr)

²부산대학교 지구과학교육과

³대구교육대학교 과학교육과

요약

도시화는 대기 수분, 경계층 구조, 오염물질의 분산, 강수량 등에 영향을 미치는데(Qian et al., 2022), 도시화로 인한 도시 구조 변화 중 고층 건물 증가는 도시의 연직 구조를 변화시켜 도시 경계층 내의 열적·역학적 구조에 변화를 야기하고 이에 따른 기류 변화 또한 도시 기상에 영향을 주게 된다. 따라서 도시의 건물 배치는 건물 주변의 바람과 열환경에 영향을 미쳐 보행자가 느끼는 열쾌적성이 달라질 수 있다(Jiang et al., 2020).

본 연구에서는 도시의 건물 배치, 고층 건물의 유무가 도심의 기상에 미치는 영향을 분석하기 위해 고해상도 도시 수치 모델링이 가능한 CFD 모델인 PALM(PARallelized Large-eddy simulation Model) 모델을 이용하였다. 먼저 일정한 크기의 건물을 배치한 기본 실험을 통해 건물 배치와 높이 변화에 따라 지표로 입사되는 복사량에 차이가 발생하고, 이에 따라 주간 지표 가열에 차이가 나타날 수 있음을 확인하였다. 또한 고층 건물의 존재가 지표 부근의 연직 기온 분포에 영향을 주어 건물 풍하측에서 상승기류를 유발하고 이를 통해 도심의 연직 열확산에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 실제 도시 조건에서는 다양한 영향 요인이 존재하기 때문에 동일한 영향이라고 보기 어렵지만 복잡한 도시 건물 조건을 반영한 실험에서도 동일한 경향의 결과가 나타났다.

주요어 : CFD, PALM, 도시기상, 지표면 복사, 표면 난류

감사의 글

이 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2020-NR049592). 또한 이 연구는 2022년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-NR070051).

참고문헌

- Qian, Y., Chakraborty, T. C., Li, J., Li, D., He, C., Sarangi, C., Chen, F., Yang, X., and Leung, L. R., 2022, Urbanization impact on regional climate and extreme weather: Current understanding, uncertainties, and future research directions. *Advances in Atmospheric Sciences*, 39(6), 819-860.
- Jiang, Y., Wu, C., and Teng, M., 2020, Impact of residential building layouts on microclimate in a high temperature and high humidity region. *Sustainability*, 12(3), 1046.

연안 지역 중규모 기류 일변화에 따른 오존의 재순환 매커니즘 분석 연구

유정우^{*1}, 이순환²

¹부산대학교 환경연구원(jungwoo27@pusan.ac.kr),

²부산대학교 지구과학교육과

요약

해륙풍과 같은 국지 규모 순환은 대기오염물질의 수송과 축적에 영향을 미쳐 오존 농도의 변동성을 초래할 수 있다(Hu et al., 2018). 특히, 오존은 수용성이 낮아 물에 쉽게 용해되지 않으므로, 해풍에 의해 전날 배출된 오존과 그 전구물질이 다시 육지로 수송될 가능성이 크다. 이러한 과정에서 육풍과 해풍과 같은 중규모 순환에 의해 오염물질이 재순환되면 오존 농도가 증가할 수 있다(Caicedo et al., 2019). 또한, 대기가 안정하고 바람이 약한 대기정체 조건에서는 오염물질이 지표 부근에 축적되어 고농도 오존이 형성될 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 중규모 순환이 서울 지역의 고농도 오존 발생에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 이를 위해 관측 자료를 이용하여 대기정체(stagnation)와 재순환(recirculation)으로 분류하고, 각 조건에서의 기상 및 대기질 특징을 비교한다. 또한, 대표 사례일을 선정하여 기상 및 대기질 수치 모의를 수행하고, 대기 정체와 재순환 현상이 고농도 오존 발생 매커니즘에 미치는 영향을 정량적으로 분석한다. 본 연구를 통해 도심 지역의 오존 농도 변동성을 이해하고, 효과적인 오존 저감 전략을 수립하는 데 기여할 것으로 기대된다.

주요어 : 국지 규모 순환, 대기정체, 해륙풍, 재순환, 오존

감사의 글

이 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2020-NR049592). 또한 이 연구는 2022년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-NR070051).

참고문헌

Hu, J., Li, Y., Zhao, T., Liu, J., Hu, X. M., Liu, D., Jiang, Y., Xu, J., Chang, L. (2018). An important mechanism of regional O₃ transport for summer smog over the Yangtze River Delta in eastern China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(22), 16239–16251.

Caicedo, V., Rappenglueck, B., Cuchiara, G., Flynn, J., Ferrare, R., Scarino, A. J., Berkoff, T., Senff, A., Lefer, B. (2019). Bay breeze and sea breeze circulation impacts on the planetary boundary layer and air quality from an observed and modeled DISCOVER²AQ Texas case study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(13), 7359–7378.

고밀도 지오폰 탐사자료를 활용한 강원 중부 동해안 지역 최상부지각 특성 연구

김동현¹, 천제민¹, 이상준^{1*}, 이준기², 김성룡³

¹한국교원대학교(lee.sj@knue.ac.kr), ²서울대학교, ³고려대학교

요약

지구물리 탐사에 사용되는 지오폰은 1Hz 이상의 고주파수 영역 신호 관측에 활용되는 장비로, 고가의 이동식 광대역 지진계에 비해 장주기 신호 관측 능력은 낮으나, 뛰어난 경제성과 이동성을 바탕으로 고밀도 관측망을 구성하기에 유리하다. 한편, 3성분 지오폰에 기록된 상시진동 연속자료의 수평 대 수직성분 스펙트럼 진폭비로부터 계산되는 최대진폭 주파수는 관측지점의 상부 퇴적층과 기반암 사이의 임피던스 대비를 지시하는 지표로 사용되며, 연구지역 1차원 속도 구조 모델 등을 바탕으로 최대진폭 주파수의 깊이에 대한 민감도를 선형적으로 고려하면 최상부 퇴적층의 두께를 효과적으로 계산할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 고밀도 지오폰 관측망 및 상시진동 연속자료 활용 방법을 적용하여 강릉을 중심으로한 강원도 동해안 중부지역의 최상부 퇴적층의 공간적 분포를 확인했다. 연구지역에 1~2km 간격으로 총 124개 지오폰을 설치 고밀도 관측망을 구성했으며, 2024년 8월 28일부터 10월 15일까지 공백없이 연속 관측을 수행했다. 계산 결과의 신호대 잡음비 향상을 위해, 전체 관측 기간을 1시간 단위 30분 중복이 시간창으로 나누고, 각 지오폰 관측소에 대한 배경잡음 수준은 파워스펙트럼 밀도로 결과를 바탕으로 각 시간창에 기록된 자연지진 및 인공 지진원 등 동 지진동원 요소를 수동으로 제거하는 전처리 과정을 거쳤다. 0.2~20 Hz 영역에서 각 관측소에 대해 계산된 수평 대 수직성분 스펙트럼 진폭비 곡선을 확인해보면, 하나의 최대진폭 주파수 혹은 두개 이상의 최대진폭 주파수가 나타나는 지역으로 구분할 수 있으며, 지질도상 기반암이 노출된 지역은 18Hz 이상의 영역에서, 신생대 제4기 총적 분지로 분류된 지역은 1.2~4.0Hz 영역에서 최대진폭 주파수를 확인할 수 있다. 기존 1차원 속도 구조 모델로부터 추정된 최대진폭 주파수와 깊이의 선형관계를 적용하여, 연구지역 최상부 퇴적층의 3차원 구조를 계산해 보면, 약 100~300m의 퇴적층이 동해안으로 이어지는 강변을 따라 발달한 것을 확인할 수 있으며, 지질도상 신생대 제4기 총적 분지로 알려진 지역과 공간적으로 일치함을 확인할 수 있다.

한편, 위 연구결과와 추가적인 지구물리 자료 처리를 통해 고해상도 3차원 속도구조 모델을 갱신하면, 연구지역의 지진 재해 연구 등에 활용할 수 있을 것이다.

주요어 : 지구물리 탐사, 지오폰, 수평 대 수직성분 스펙트럼 진폭비, 배경잡음, 최상부 지각

고해상도 해양 자기이상 자료를 활용한 울릉분지의 지구조 및 진화 과정 연구

최성균^{1*}, 최한진¹, Jerome Dyment², 김창환³

¹*부산대학교 지질환경과학과, explorist@pusan.ac.kr

²Institut de Physique du Globe de Paris

³한국해양과학기술원

ABSTRACT

울릉분지는 동해의 주요 해양 분지 중 하나로, 그 지구조적 진화를 이해하기 위해 많은 연구가 수행되어 왔다. 그러나 분지의 복잡한 형성과정과 제한된 자료 접근성으로 인해, 분지의 구체적인 발달 과정에 대한 종합적 이해는 여전히 부족하다. 해양 지자기이상은 판 구조 경계의 식별과 해양 분지의 지구동역학 특성 해석에 중요한 단서를 제공하는 핵심 자료이다. 본 연구에서는 울릉분지의 고해상도 해양 지자기이상도를 제작 하고 해석함으로써 기존에 확인되지 않았던 해저 확장을 나타내는 선형 지자기이상구조 및 비대칭 확장구조와 같은 세부구조를 확인하였고, 해당 지자기이상을 지자기 극성 연대표(Geomagnetic Polarity Time Scale, GPTS)를 이용한 해양확장모형과 비교하여 해저 확장이 일어난 시기(약 18.5–17 Ma)와 분지의 확장 속도 및 확장 방향을 추정하였다. 아울러, 해양 지자기이상도와 기타 지구물리 자료(중력이상, 지진 분포도)의 통합 분석을 통해 울릉분지 기저에 존재하는 대륙-해양 전이대(continental-oceanic transition zone) 및 주요 변형 파쇄대(Principal Deformation Fracture zone)의 존재를 뒷받침하는 증거를 제시한다. 본 연구는 울릉분지의 형성과 진화 과정에 대한 새로운 해석을 제시함과 동시에, 동해 전체의 판 구조적 진화 모형을 보다 정밀하게 구축하는 데 중요하게 기여할 것으로 기대된다.

배호분지의 발달과 해양지자기이상 생성 메커니즘: Tonga-Kermadec을 중심으로

김미정¹, 최한진^{1*}

¹부산대학교 지질환경과학과 (explorist@pusan.ac.kr)

배호분지는 섭입대 시스템의 진화과정을 이해할 수 있는 중요한 지질구조로, 비대칭적 확장과 복합적인 지구조 운동으로 인해 다양한 특징적인 구조가 존재하고 있어 심층적인 연구가 필요하다. 통가와 뉴질랜드 사이에 위치한 라우분지는 Tonga-Kermadec 섭입대에서 형성된 대규모 배호분지로, 현재까지 활발하게 확장이 진행되고 있다. 또한 퇴적층이 얇아 해저면의 암상이 잘 연구되어 있고 북쪽으로 갈수록 분지의 너비가 넓어지는 구조로, 미성숙 확장구조(immature rift)부터 일반 확장구조(rift)까지 분지 발달의 초기부터 후기에 이르는 모든 확장구조를 동시에 보이고 있는 독특한 지역이다. 본 연구에서는 해양지구물리탐사자료 분석을 통해 고해상도의 중자력 이상도를 제작하여 배호분지 발달에 따른 마그마 상변화와 해양지자기이상의 상관관계를 이해하고자 하였다. 또한 분지 확장 중심에서 4km 반경 내의 암석샘플을 분석하여, 분지의 너비가 넓어질수록 SiO₂ 함량이 감소하고 CaO, MgO 함량이 증가하는 경향을 관찰하였다. 이는 일반 확장구조를 나타내는 고위도에서 고철질 성분의 맨틀이 분출되고, 미성숙한 확장구조인 저위도에서는 마그마 분화로 인해 규장질 성질이 강화되는 것으로 해석된다. 이러한 마그마 조성의 변화는 해양중력 및 자력이상과 밀접한 상관관계를 보이고 있으며, 본 연구 결과를 통해 배호분지의 형성과정과 분지 확장에 따른 마그마 상변화, 그리고 이에 수반되는 지구물리학적 특성 변화를 종합적으로 이해하여, 배호분지의 전반적인 지구동역학적 진화과정을 이해하는데 기여할 것으로 기대된다.

완전 합성곱 신경망을 이용한 시간경과 중합 전 자료에 대한 비반복성 잡음 제거

박한준^{*1}, 이준우¹, 민동주^{1,2}

¹서울대학교 에너지자원신기술연구소(hanjoon67@naver.com)

²서울대학교 에너지시스템공학부

요약

이 연구에서는 완전 합성곱 신경망(Fully Convolutional Neural Network)을 이용한 시간경과 중합전 자료 내 비반복성 잡음 제거 기법을 제안한다. 이를 위해 기존 중합 후 자료에 대한 비반복성 잡음 제거에 활용된 masked image-to-image translation 기법을 적용한다. 4D 신호의 모호성, 진폭 편차 등과 같이 중합 후 자료와 차별되는 중합 전 자료의 특성을 반영하기 위해 아이코날 방정식 기반의 마스크, 주파수-파수 손실함수, coordinate conditioning, logarithmic rescaling을 추가적으로 활용한다. 합성 자료 실험을 통해 제안된 전처리 기법이 중합 전 자료내 4D 신호는 보존하면서 비반복성 잡음을 억제하는 것을 확인하였다.

주요어 : 4D 탄성과 탐사, 탄소 포집 및 저장, cross-equalization, 완전 합성곱 신경망, masked image-to-image translation

본문

4D 탄성과 탐사에서는 서로 다른 시기에 기록된 기준 자료(baseline data)와 모니터 자료(monitor data)를 이용하여 지하 매질의 시간적 변화를 측정한다. 이 방법은 석유 생산, 탄소 포집 및 저장 등 다양한 분야에서 모니터링을 위해 사용된다. 그러나 4D 탄성과 탐사에서 지하 매질의 시간적 변화를 정확하게 감지하려면 탐사 설계, 송신파형, 해수 온도나 염분, 기상 조건 등의 차이에서 발생하는 비반복성 잡음을 억제할 필요가 있다. 이러한 비반복성 잡음을 제거하고 기준 자료와 모니터 자료를 매칭하는 기술을 cross-equalization (XEQ)라고 한다. 과거 이를 위해 여러 XEQ 기술이 개발된 바 있으며 (Lumley et al., 2000; Rickett & Lumley, 2001; Druzhinin & MacBeth, 2001; Kumar, Bhattacharyya & Mohan, 2006), 최근에는 기계학습을 적용하려는 연구가 활발히 수행되고 있다(Aliali et al., 2020; Jun & Cho., 2022).

이 연구에서는 아이코날 방정식 기반의 마스크를 활용한 완전 합성곱 신경망 기반 XEQ 기법을 제안한다. 기존 중합 후 자료에 대해 좋은 성능을 보였던 masked image-to-image translation 전략(Jun & Cho., 2022)을 활용하여 아이코날 방정식 기반의 마스크를 통해 4D 신호를 보존하고 비반복성 잡음을 억제한다. 또한 중합 전 자료에서 발생할 수 있는 신호의 중첩, 진폭 편차와 같은 문제를 해결하기 위해 주파수-파수 손실함수를 통한 직접파의 선택적 매칭, 시간-오프셋 정보에 대한 coordinate conditioning을 통한 네트워크의 학습 성능 향상, logarithmic rescaling을 통한 진폭 차이 보정을 적용한다.

합성 자료 실험 결과, 제안된 XEQ 기법이 중합 전 자료내 4D 신호를 보존하면서도 비반

복성 잡음을 효과적으로 억제함을 확인하였다. 또한 역시간 구조보정 후 이산화탄소 주입에 의한 지하매질의 변화를 정확히 감지할 수 있음을 확인하였다(Fig. 1).

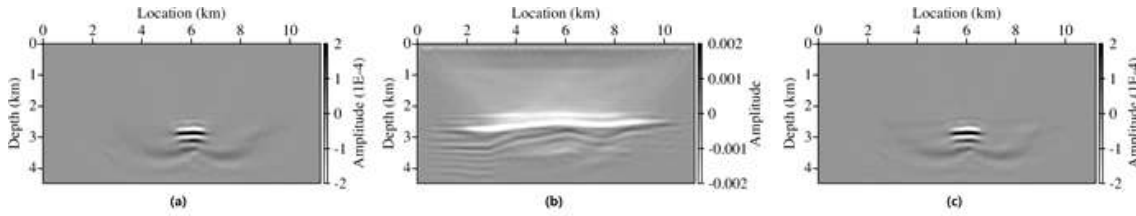


Fig. 1. 모니터 자료와 기준 자료의 역시간 구조보정 결과 잔차: (a) ground truth, (b) XEQ 전, (c) XEQ 후

참고문헌

- A. Alali et al., "Cross-equalization of time-lapse seismic data using recurrent neural networks," in SEG Technical Program Expanded Abstracts 2020, Sep. 2020, pp. 1506-1510.
- A. Druzhinin and C. MacBeth, "Robust cross-equalization of 4D-4C PZ migrated data at Teal South," in SEG International Exposition and Annual Meeting, Sep. 2001, pp. SEG-2001.
- A. Kumar, N. Bhattacharyya, and S. Mohan, "Cross-equalization for time lapse study in Balol field, India," in 6th International conference and exposition on petroleum geophysics, Kolkata, 2006, pp. 1143-1148.
- D. E. Lumley, A. G. Nunns, G. E. Delorme, A. A. Adeogba, and M. F. Bee, "Meren Field, Nigeria: A 4D seismic case study," in Offshore Technology Conference, May 2000, pp. OTC-12098.
- H. Jun and Y. Cho, "Repeatability enhancement of time-lapse seismic data via a convolutional autoencoder," Geophysical Journal International, vol. 228, no. 2, pp. 1150-1170, Feb. 2022, doi: 10.1093/gji/ggab397.
- J. E. Rickett and D. E. Lumley, "Cross-equalization data processing for time-lapse seismic reservoir monitoring: A case study from the Gulf of Mexico," Geophysics, vol. 66, no. 4, pp. 1015-1024, Jan. 2001, doi: 10.1190/1.1487049.

다중센서 영상 융합을 이용한 가상 광학 위성영상 생성: 시공간 융합과 영상 변환을 중심으로

박노욱*, 박소연

인하대학교 공간정보공학과(nwpark@inha.ac.kr)

센서 기술의 발전과 지구관측 위성 프로그램의 증가로 지구환경 관측에 이용 가능한 위성영상의 수는 지속적으로 증가하고 있다. 개별 영상은 고유의 공간, 시간 및 분광해상도를 가지는데 이 해상도 사이에 일종의 trade-off가 존재한다. 또한 센서 결함이나 대기 조건의 영향으로 광학 위성영상은 보통 결측 지역을 포함한다. 이러한 제약으로 인해 분석자가 원하는 지역과 시기에 원하는 해상도의 영상을 획득하는 것이 항상 가능한 것은 아니다. 이러한 자료 이용 측면에서의 광학 위성영상의 한계를 극복하는 방법론으로 개별 센서 영상의 장점을 이용하는 다중센서 영상 융합을 이용한 가상영상 생성이 하나의 대안이 될 수 있다.

이 연구에서는 시공간 영상 융합과 SAR-광학 영상 변환에 초점을 맞춰 가상 광학 위성영상을 생성하는 고급 다중센서 영상 융합 방법론을 소개한다. 먼저, 공간해상도와 시간해상도의 상호 보완적인 특성을 가진 영상을 융합하여 고해상도 영상을 예측하는 시공간 융합 기술에 대해 소개한다. 시공간 영상 융합의 원리를 소개한 후, 농경지에서의 가상영상 생성 실험을 통해 시공간 융합의 적용 가능성을 예시한다. 둘째, 생성형 AI 기반 SAR-광학 영상 변환을 통한 가상 광학영상의 예측에 대해 소개한다. 이 연구에서는 SAR 기반 특징으로부터 다중분광 영상의 반사율 예측을 목적으로 조건부 생성적 적대 신경망(conditional generative adversarial networks)을 적용한 사례를 소개한다. 마지막으로 가상 광학 영상 생성을 위한 다중센서 영상 융합의 발전 방향과 잠재적 응용 분야에 대해 논의하였다.

감사의 글

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00397964, 초소형 위성영상 기반 주요 지역 분석 및 실감화 지능 기술 개발).

사사

study is supported by Sejong Science Fellowship (No. RS-2021-NR061793), MOIS (RS-2022-ND640011), G-LAMP (No. RS-2023-00301938), KMI (RS-2022-KM220610), KIMST funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (RS-2023-00259686)

남극 북빅토리아랜드 신생대 알칼리 화산지대의 연대 및 성분 분포

김지혁^{*1}, 이미정², 이종익², Kyle, Philip R.³, Heizler, Matthew³, 박정우⁴

¹부산대학교 사범대학 지구과학교육과(jihyuk@pusan.ac.kr),

²극지연구소 빙하지권연구부, ³New Mexico Institute of Mining and Technology

⁴서울대학교 지구환경과학부

요약

본 연구는 서남극열곡대의 주요 화산 지대 중 하나인 멜버른 화산대에 소속된 다양한 화산체로부터 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대와 성분을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다. (1) 기존에 보고된 것보다 오랜 기간 화산 활동이 지속됐으며, (2) 넓은 연대 분포를 갖는 주요 화산지대는 서로 세부적인 성분 차이가 있으며, (3) 분산된 단성화산(북국부화산군)의 성분 분포는 주요 화산지대의 성분 극단이 혼합된 양상을 보인다. 즉, 멜버른 화산대는 최소 30Ma에 걸쳐 국부적인 변질 맨틀(FOZO) 불균질성에 따라 다양한 화산지대를 발달시키고, 광범위한 단성화산 활동을 유지해 왔다.

주요어 : 서남극열곡대, 멜버른 화산대, 단성화산체, 알칼리 화성암류, 연대측정학

1. 서론

서남극열곡대는 남극 대륙을 가로지르는 현생의 대규모 열곡대이다. 로스해(海) 서편을 따라 분포하는 남극횡단산맥과 그 일대에 분포하는 신생대 알칼리 화산 활동은 이로부터 말미암았다. 이 알칼리 화산체를 묶어 맥머도(McMurdo) 화산군이라 하며, 이중 특히 한국 장보고 기지가 위치한 북빅토리아랜드 구획을 ‘멜버른 화산대(Melbourne Volcanic Province)’라고 일컫는다. 멜버른 화산대는 두터운 대륙지각(약 40 km) 열곡견(肩) 위 직경 400km 이상의 영역에 자리하며, 휘하에 세 활화산을 비롯한 수십 개의 분화구를 거느리고 있다. 이들은 성층화산이 주축이 되는 4개의 주요 화산지대와 더불어 무명의 단성화산이 다수 분포하는데, 이 단성화산 묶음을 ‘북국부화산단(Northern Local Suite)’이라고 한다. 접근성의 한계로 지금까지 이들의 성분과 연대가 체계적으로 연구된 적이 없었다. 정찰 연구에 따르면, 분출암의 연대는 15Ma에서 0Ma까지, 반심성암 및 심성암의 연대는 50Ma에서 18Ma까지 분포하는 것으로 알려져 왔다.

2. 본론 및 결론

본 연구는 북국부화산단의 다양한 분화구로부터 정밀 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대 측정을 시도하고, 이들의 성분이 멜버른 화산대의 주요 화산지대와 대비하여 어떤 분포를 갖는지 조사하였다. 그 결과에 따르면, 북국부화산단의 분출은 산발적이었고, 주요 화산지대의 활동 연대 역시 다양하다. 오버로드 화산지대의 경우 21Ma부터 0Ma까지 폭넓은 활동 시대를 보이지만, 말타고원 화산지대는 15–6.5Ma, 멜버른 화산지대는 13–0Ma, 플레이아데스 화산지대는 1–0Ma의 범위를 갖는다. 지금까지 연대가 보고된 바 없었던 불칸힐즈 화산은 연대가 30Ma로 상대적으로 오래됐다. 불칸힐즈에는 해당 연대의 화산암류가 산출되므로, 멜버른 화산대의 화산 활동이 기존에 알려진 15Ma보다 더 오래됐음을 확인하였다. 북국부화산단 단성화산의 미량원소 및 동위원소 성분은 주요 화산지대의 각기 특징적인 변질 맨틀(FOZO) 성

분 극단의 혼합으로 설명된다. 본 연구 결과는 멜버른 화산군의 진화사를 새롭게 정립할 뿐만 아니라, 광범위한 영역에 걸친 소규모 화산 분출 성분이 맨틀의 광역적 불균질에 따라 조율되었음을 시사한다.

쇄설성 저어콘 U-Pb 연령을 통한 남해대륙붕분지 퇴적층의 퇴적시기 고찰

최태진^{*1}, 성채리¹, Paul O'Sullivan²

¹한국교원대학교 지구과학교육과(tchoi@knue.ac.kr), ²Geosep Service

한반도 남해대륙붕의 신생대 퇴적층의 퇴적시기 파악을 위하여 퇴적층 내에 포함된 쇄설성 저어콘의 U-Pb 연령을 측정하였다. 한반도 남해대륙붕 퇴적층은 동중국해분지의 북동쪽 연변부에 해당하며, 제주분지라고 불리운다. 동중국해분지는 백악기에 유라시아판과 태평양판의 열개작용에 의해 형성되었다. 반면, 제주분지로 정의된 퇴적층은 고진기 시기에 유라시아판과 필리핀해판의 지구조작용에 의해 열개작용이 일어나서 생성된 분지에 퇴적되었다. 남해대륙붕에 위치한 퇴적분지의 발달은 에너지자원의 형성 및 배태과정과 관련하여 몇몇 연구가 이루어졌으나, 층서에 관한 연구는 미화석에 기반한 생층서 연구를 제외하면 미미한 편이다. 이에 따라 이 연구에서는 남해대륙붕에서 채취한 3개 시추공으로부터 총 10개의 에오세-마이오세 퇴적층 시료로부터 쇄설성 저어콘의 U-Pb 연령을 분석하였다. 분석할 쇄설성 저어콘은 최대 퇴적시기를 구하기 위하여 최대한 투명하고 자형을 띠는 저어콘을 우선적으로 분석하였다.

분석 결과 남해대륙붕 퇴적층에 함유된 저어콘 입자의 연령 범위는 후기 마이오세로부터 시생누대에 이르며, 대부분의 분석점에서 Th/U 값이 0.2 이상으로 화성기원 저어콘임을 지시한다. 이중 시료별로 가장 젊은 저어콘 연령그룹을 통해 구한 최대퇴적시기는 28 ~ 8 Ma로 중기 마이오세로 여겨지던 1개의 시료를 제외하면 대체로 미화석에 의한 퇴적시기 범위와 일치한다. 특히 올리고세 퇴적층 시료의 최대퇴적시기는 올리고세 말에 가까워 해당 시료의 실제 퇴적시기를 지시한다고 판단된다. 미화석에 의한 퇴적시기와 최대퇴적시기를 종합한 결과, 남해대륙붕분지의 올리고세-마이오세 퇴적층 사이에는 23 Ma 이후 약 2 Ma 이상의 결층이 존재한다고 해석된다. 이는 동중국해 대륙붕분지에서 나타나는 Huagang 운동에 의한 결층시기와 일치하며, 남해 대륙붕 퇴적층이 동중국해 대륙붕분지와 유사한 발달과정을 경험했을 가능성을 시사한다.

주요어 : 남해대륙붕, 동중국해분지, 제주분지, 쇄설성 저어콘

Polarization depending on varying luminosity of EC 53

Sunghyun Park*, Woojin Kwon, Hanju Nam

Department of Earth Science Education, Seoul National University (*sh_park@snu.ac.kr)

ABSTRACT

EC 53 is a protostar known for a periodic luminosity variation caused by episodic accretion. Although this luminosity variability is well known, its effects on polarization properties have not been studied. Polarization measurements can provide insights into magnetic field structures. This is because dust grains aligned in magnetic fields produce polarized radiation. Thus, we investigate the polarization characteristics of EC 53 through polarization observations of the POL-2 polarimeter on the James Clerk Maxwell Telescope (JCMT). Polarization data taken in two epochs (2016 and 2017) corresponding to different luminosity states, were processed separately following independent data reduction procedures. We analyze polarization intensities, polarization angles, and polarization fractions to identify any difference between the two data sets possibly linked to the variation in luminosity. This comparative analysis will show whether polarization properties meaningfully respond to luminosity variation and thus offer valuable information about magnetic field structures around a protostar. Modeling will be carried out for a better understanding of observed polarization characteristics.

Keyword : EC 53, polarization, protostar, magnetic field

요약

EC 53은 episodic accretion에 의해 주기적인 광도 변화가 나타나는 원시별이다. 이 원시별은 광도가 얼마나 변하는지, 그 주기가 어떠한지 잘 알려져 있지만, 그에 따른 편광 특성의 변화는 아직 연구된 바가 없다. 원시별이나 별 탄생 영역에서 편광을 관측하면 해당 영역의 자기장 구조를 이해하는 데 중요한 정보를 얻을 수 있다. 원시별 주변의 먼지 입자들의 단축이 자기장 방향에 따라 배열되어 편광된 빛을 방출하기 때문이다. 따라서 이 연구는 EC 53의 편광 특성의 변화를 집중적으로 조사하였다. 편광 관측 데이터는 JCMT(James Clerk Maxwell Telescope)의 POL-2 편광기에서 얻었다. 그리고 광도가 서로 다른 두 시기(2016년과 2017년)에 얻은 편광 데이터를 각각 독립적으로 처리한 뒤 비교 분석하였다. 이를 통해 두 시기의 편광 세기(polarization intensity), 편광 각도(polarization angle), 편광 비율(polarization fraction)에 차이가 나타나는지 확인했다. 이러한 비교 분석을 통해 편광 특성이 광도 변화에 따라 유의미하게 변하는지 확인하고, 이를 통해 원시별 주변의 자기장 구조에 관해 가치 있는 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 나아가 이 연구의 결과를 바탕으로 편광 특성을 설명하는 모델을 제시하여 관측된 편광 특성에 대한 깊은 이해를 도모하고자 한다.

주요어 : EC 53, 편광, 원시별, 자기장

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	휴대폰 카메라를 이용한 산개성단의 측광 관측
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	고현민, 김수겸, 정현
지도교사	이호
분야 (택1)	☐ 대기과학(기상), ☒ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☐ 지구과학 관련 융합(STEAM)
이 연구는 스마트폰을 활용한 천체 관측 기법을 탐구하여 아마추어 천문학자들의 관측 데이터를 과학적 분석에 활용할 가능성을 평가하였다. 기술의 발전과 스마트기기의 보급으로 아마추어 천문학자들의 연구 참여가 증가하고 있으며, 특히 초신성과 변광성 관측에서 이들의 데이터가 중요한 역할을 하고 있다. 본 연구에서는 기존 DSLR 카메라를 활용한 Johnson-Cousins BVRc 측광 시스템으로의 데이터 변환 방법을 참고하여, 스마트폰 카메라로 촬영한 RGB 데이터를 BVR 표준으로 변환하는 실험을 진행하였다. 연구 결과 휴대폰 센서의 Full Well이 작아 장기 노출보다는 여러 장의 단기 노출로 영상을 얻어 스택킹 기법으로 합성하는 것이 측광 결과에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 또한, 변환식 설계 후 변환을 적용하는 과정에서 휴대폰 센서의 영점이 고정되어 있지 않고 등급에 따라 다르게 변화함을 알아내었다. 이는 아마추어와 전문가 간의 협력을 통해 천문학 데이터의 양적·질적 확장에 기여할 것으로 기대 된다.	

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	가이아 데이터를 활용한 궁수자리 왜소 타원 은하의 물리적 및 운동학적 성질 분석 Study of Physical and Kinematic Properties of Sagittarius Dwarf Spheroidal Galaxy Using Gaia Data
소속학교	대전과학고등학교
학생성명	민지호
지도교사	김우겸
분야 (택1)	☐ 대기과학(기상), ☒ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☐ 지구과학 관련 융합(STEAM)
요약 궁수자리 왜소 타원 은하(Sgr dSph)는 우리은하의 대표적인 위성은하 중 하나다. Sgr dSph는 은하 팽대부의 배경 별들로 인해 구성원 선별이 어려우며, 면밀한 운동학적 연구가 수행되기 어려웠다. 따라서, 최근 공개된 가이아 DR3 자료를 활용해 Sgr dSph의 구성원을 선별하고, 물리적, 운동학적 성질을 분석했다. Sgr dSph의 중심을 결정하고, 고유운동 분포와 거리 분포를 통해 구성원들을 선별했다. 수밀도 분포를 통해 Sgr dSph의 물리적 크기와 모양을 도출하고 이를 자코비 반지름과 비교했다. 은하의 측광학적 분포를 통해서 약 8Gyr경과 1Gyr전에 폭발적인 별 생성이 일어난 것을 확인했다. 벡터각 분포를 통해서 Sgr dSph는 은하의 중심을 벗어나는 방향으로 팽창하며, 이는 은하의 핵 부분에서도 강하게 나타난 것을 볼 수 있었다. 은하의 투영된 회전 속도 분포 곡선에서는 뚜렷한 강제 회전과 1.5° 외부에서 회전 속도가 일정해지는 것을 확인할 수 있었다. 이에 더해, 회전 속도 곡선과 구성원의 속도 분산을 활용하여 은하의 동역학적 질량을 결정할 수 있었다. 본 연구를 통해서 Sgr dSph의 물리적, 운동학적 면모를 정밀하게 분석해볼 수 있었다.	

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	근지구 소행성의 광도곡선 분석을 통한 특성 분석
소속학교	KAIST 부설 한국과학영재학교
학생성명	김민수
지도교사	박선미
분야 (택1)	☐ 대기과학(기상), ☒ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☐ 지구과학 관련 융합(STEAM)
근지구 소행성은 지구 궤도와 교차하는 궤도를 가진 소행성으로 충돌 위험성을 가질 뿐만 아니라, 태양계 형성 과정과 천체 역학 연구에도 중요한 정보를 제공하는 천체이다. 이들 소행성의 물리적·동역학적 특성은 광도곡선의 체계적 분석을 통해 효과적으로 파악할 수 있다. 본 연구에서는 대표적 근지구 소행성으로서 서로 다른 분광학적 특성을 가진 소행성 15 에우노미아(15 Eunomia)와 소행성 69 헤스페리아(69 Hesperia)를 선정하였다. 2025년 1월, 2월 2회에 걸쳐 다중 위상각에서 측광 관측을 수행하였다. 그리고 이미지 전처리 과정을 거쳐 차등측광을 실시하였다. 이후 광도곡선 역산법을 적용하여 소행성의 자전 주기, 자전축 방향, 그리고 소행성의 3차원 형상을 추정하였다. 에우노미아와 헤스페리아는 자전 주기가 약 6시간 내외로 관측되었으며, 위상각 변화에 따른 뚜렷한 밝기 변화를 보였다. 본 연구를 통해 광도곡선 분석과 역산 기법을 활용하여 소행성의 물리적·동역학적 특성을 정량적으로 확인하였다.	

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	노이즈와 지역최소해가 존재하는 해공간에서 Least Squares를 이용한 NEO 정밀 궤도 결정
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	오승민
지도교사	이호
분야 (택1)	☐ 대기과학(기상), ☒ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☐ 지구과학 관련 융합(STEAM)

요약

본 연구에서는 지구의 sphere of influence 외부에서 2-body problem을 가정하고 운동방정식을 풀어 지구에 접근하는 near-Earth object의 위치와 속도를 시간의 함수로 나타냈고, 시간에 따라 지구에서 측정한 천체의 거리와 방향, 시선속도의 데이터를 저장했다. 측정한 거리와 시선속도에 random noise를 추가하고 $\vec{k}$, $\vec{N}$, $\vec{e}$ 를 평균 내어 초기 궤도를 결정한 후, least squares method를 적용해 궤도를 보정하였다. 이 때 local minima를 처리하기 위해 i , Ω , ω 를 grid search하였고, 각각의 point 마다 optimization을 통해 e , a 를 결정한 후, cost function의 global minimum을 탐색했다. t_0 는 최종 궤도를 얻은 후 $t-M$ 선형회귀를 통해 결정하였다. 앞서 결정된 초기 궤도 요소의 오차에 비해 보정된 궤도 요소의 오차가 1/100 수준으로 감소했음을 확인하였고, 적절한 cost function에 least squares를 적용해 궤도를 최적화하는 것이 효과적으로 오차를 제거함을 입증하였다.

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	경계선의 프랙탈 차원 측정을 위한 선형 프랙탈 차원 측정법(LFD) 알고리즘 개발
소속학교	경기과학고등학교
학생성명	김명준, 박지환, 안지호
지도교사	조형욱
분야 (택1)	☐ 대기과학(기상), ☐ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☒ 지구과학 관련 융합(STEAM)
프랙탈이란 무한히 확대하여도 계속 세부적인 구조가 등장하는 도형이다. 프랙탈 차원은 이러한 불규칙한 구조를 정량화하는 수단으로 수학, 공학, 자연과학, 사회과학 등 여러 분야에서 유용하게 활용될 수 있다. 프랙탈 차원을 계산하기 위한 기존의 BC 알고리즘은 사각형 격자를 기반으로 하며 해상도의 제약을 크게 받아 세부 구조를 제대로 반영하지 못하는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 BC를 개선한 LFD 알고리즘을 제안하였다. LFD 알고리즘은 하우스도르프 측도의 정의를 바탕으로 경계선을 따라가며 단위길이로 측정한 횟수를 수집하고 이를 통해 프랙탈 차원을 계산하는 방식이다. 연구 과정에서 HSV 변환, BFS 기반 노이즈 제거, Canny 엣지 검출 등을 통해 해안선을 추출하였고, 전 세계 다양한 해안선을 표본으로 사용해 기존 BC 알고리즘과 비교 분석을 수행하였다. 분석 결과, LFD는 BC보다 경계선의 복잡한 구조를 더 정확히 반영하며, 계산 속도에서도 우수한 성능을 보였다. 본 연구는 복잡한 자연 구조를 수학적으로 정량화할 수 있는 새로운 방법을 제시하였고, 다양한 학문 분야에서의 응용 가능성을 부여했다.	

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	전향력 개념 이해 향상을 위한 물리기반 지구과학 교육 방법 연구
소속학교	용인한국외국어대학교부설고등학교
학생성명	홍윤서
지도교사	이규현
분야 (택1)	☒ 대기과학(기상), ☐ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☐ 지구과학 관련 융합(STEAM)
요약 현재 다양한 지구과학 교과서에서는 전향력의 효과를 주로 남북 방향의 운동에서 선속도 차이에 의해 발생하는 현상으로 설명하고 있다. 하지만, 이러한 설명은 동일한 위도상에서의 동서 방향 운동에서 대하여 북반구에서 오른쪽으로 휘는 전향력의 효과를 충분히 설명하지 못하는 한계를 가진다. 본 연구는 상대속도와 곡률 공간에서의 운동 경로 변화를 고려함으로써, 동서 방향뿐만 아니라 모든 방향의 운동에서도 전향력의 영향을 명확히 설명하는 교육적 접근법을 개발하는 것을 목표로 한다. 연구 방법으로는 전향력을 기존 교과서의 선속도 차이 개념과 곡률공간 개념을 비교분석하였고, 곡률 공간에서의 상대속도 예시를 도출하고, 회전하는 지구 좌표계에서 물체의 운동 경로를 도식화 했다. 교육 효과를 높이기 위해 기존 회전 원판 실험에 동서방향 효과를 추가하였다. 결과적으로 기존 선속도 차이 개념만으로는 설명이 불가능하였던 동서 방향 이동하는 물체가 고정된 관찰자가 관측을 할 때, 경로가 오른쪽으로 휘어짐을 보였다. 결론적으로 본 연구는 기존 지구과학 교과서의 한계를 보완하는 새로운 교육적 접근법을 통해 보다 정교한 개념 교육이 가능함을 입증하였으며, 향후 지구과학 교육에서 물리학적 접근을 접목한 융합과학 교육의 가능성을 제시하는 계기가 될 것으로 기대된다.	

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	세종시, 하남 교산지구를 이용한 도시의 인간 친화도 분석
소속학교	카이스트 부설 한국과학영재학교
학생성명	김한준
지도교사	최현정
분야 (택1)	☐ 대기과학(기상), ☐ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☐ 지구과학 관련 융합(STEAM)
요약 본 연구에서는 시간이 지남에 따라 과거에 설계하였던 도시들이 현재의 환경에 얼마나 잘 적응하여 인간들이 살기 이로운 도시를 만들었는지 확인 하기 위해 모델링을 진행하였다. 이때 인간들이 얼마나 살기 좋은지를 나타내는 언어를 인간 친화도라고 설정하였다. 이를 확인하기 위해 과거에 건설된 계획도시인 세종특별자치시와 현재 시공이 진행되고 있는 하남 교산지구를 비교 대상으로 설정하였다. 이후 Envi-met 3라는 모델을 사용하여 도시를 모델링 하였고, 이때 도시의 사이즈를 그대로 사용할 수는 없었기에 실제 사이즈보다 작게 Envi-met 내에서 디자인하였다. 이때 과거와 현재를 각각 4계절로 나누어 도시마다 총 8일에 대해 모델을 사용하였다. 인간 친화도를 분석하기 위해 각 도시의 PPD값과 온도 유연성을 모델링 하였다. (이때, 온도 유연성은 초기 온도가 변함에 따라 도시의 온도가 얼마나 덜 변하는지를 확인하는 실험이다.) 결과를 보았을 때 PPD는 전체적으로 새로 설계된 하남 교산지구가 세종특별시보다 더 나은 값을 보였지만, 온도 유연성은 과거에는 세종특별시, 현재는 하남 교산지구가 더욱 높음을 알 수 있다. 즉, 이를 통해 PPD값은 더욱 어려운 환경을 가정하여 설계될수록 무조건적으로 더욱 인간에게 친화적임을 알 수 있지만, 온도 유연성은 그 환경에 맞춰서 설계할 때만 인간에게 친화적이지 시간이 지나게 되면 점차 인간 친화도가 낮아 진다는 것을 알 수 있다.	

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	미기상도시모델(ENVI-met.)을 이용한 부산 북항 재개발 전후의 도시 환경변화
소속학교	한국과학영재학교
학생성명	남윤우
지도교사	최현정
분야 (택1)	☒ 대기과학(기상), ☐ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☐ 지구과학 관련 융합(STEAM)
본 연구는 국내 최초의 항만 개발인 부산의 북항 재개발 전후의 도시 환경변화를 미기상도시모델 ENVI-met을 이용하여 분석하고 비교한다. 북항 재개발은 2008년에 시작하여 2035년까지 진행 예정인 약 30년의 대형 프로젝트로, 31조 5천억원의 막대한 경제적 파급효과와 12만명의 고용창출을 이뤄낼 것으로 예상된다. 더불어, 복합 친수공간 조성을 통한 시민들의 삶의 질 향상과 함께 유라시아 관문으로 도약하여 국제해양관광의 거점을 목표로 하고 있다. 북항 재개발 전후 도시 환경의 변화를 분석하기 위해 PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied), Wind speed, TKE(Total Kinetic Energy), Pot Temperature 인자를 사용하였다. 재개발 후의 북항의 모습은 부산항만공사에서 제공하는 조감도와 Google Earth Pro를 이용하여 모델링하였다. PPD값을 비교한 결과, 재개발 후 부두 근처 높은 PPD 값을 가졌던 면적이 감소하였으며 낮은 PPD 값을 갖는 영역은 확장되었다. 일부 영역이 높은 PPD 값을 가지는 것은 밀집된 건물에 의한 공기 정체가 원인이기에 불가피했으나 재개발 과정에서 심어진 식생에 의한 효과가 이를 완화하였음을 확인할 수 있었다. Wind speed를 비교한 결과, 재개발 이후 여러 건축물이 생겨 부두 근처의 구성 요소가 더욱 복잡해졌음에도 불구하고 재개발 전과 비슷하게 바람이 잘 부는 것을 확인할 수 있었다. TKE의 경우 재개발 후 증가한 영역이 발생하였는데 이는 새롭게 건설된 건축물 벽면과 공기 간의 충돌에 의한 자연스러운 난류성 증가로 설명된다. 식생 또는 건물에 의한 급격한 변화는 없음을 확인하였다. Pot Temperature를 비교한 결과, 북항의 전체적인 온도가 하강했고 온도 변화 값에는 큰 변화가 없음을 확인하였다. 다만, 재개발 여부와 관계없이 온도적 측면에서 좋게 설계된 환경이라 보기 어려웠다. ENVI-met을 통해 부산 북항 재개발 사업은 PPD의 감소와 원활한 공기 흐름을 바탕으로 개선된 도시 환경을 조성할 것으로 예상된다. 이는 경제적 발전과 더불어 바람직한 도시 환경으로의 탈바꿈 가능성을 시사한다.	

탐구 논문(포스터) 요약서

과 제 명 (주제)	성단의 측광학적 데이터 N체 시뮬레이션을 통한 청색 낙오성의 형성과정 추론 및 분석
소속학교	부산과학고등학교
학생성명	박예준, 김상우
지도교사	신진몽
분야 (택1)	☐ 대기과학(기상), ☒ 우주과학(천문), ☐ 지질과학, ☐ 해양과학, ☐ 지구과학 관련 융합(STEAM)

요약

본 탐구는 산개성단 M67 내부의 청색 낙오성과 같은 일반적인 항성 진화 경로에서 벗어난 특이한 항성 진화 유형의 형성과정 그리고 청색 낙오성의 분포 구조와 산개성단 내부 상호작용의 관계성을 시뮬레이션을 통해 파악하고자 하였다.

2° 반경의 GAIA DR3 데이터베이스를 활용하여 항성 개개별의 측광 데이터를 처리하였다. GAIA DR3 데이터베이스에서 얻을 수 없는 각 항성의 질량과 반지름은 유효온도, $\log g$ 등의 측광학적 데이터만으로 질량을 구할 수 있는 근사식을 유도하여 계산할 수 있었으며, MIST, Y2 isochron를 사용하여 유도한 공식의 오차가 평균 태양질량의 -0.063%로, 무시할 정도로 낮음을 검증하였다. N체 시뮬레이션은 C++ 체제를 사용해 코딩, 설계를 진행하여 항성의 물리적인 변화를 구현하였다.

탐구 결과, 청색 낙오성은 시간 경과에 따라 상호 충돌 및 병합으로 인한 형성 빈도가 늘어났으며, 낙오성 형성이 급격히 증가하는 시간 구간을 관찰할 수 있었다. 또한 성단의 내 외부에서 일정한 경계를 기준으로 청색 낙오성의 형성 양상이 달라지며, 모든 시뮬레이션에서 과녁과 같은 밴드의 형태로 형성 양상이 동일한 구역의 경계를 나눌 수 있다는 것을 발견하였다.