

THE 2<sup>nd</sup>  
**KOREA  
GEOSCIENCE  
UNION**

**연례학술대회**

위험한 지구, 도전하는 지구과학

2019년 7월 3일(수) - 5일(금) | 평창 알펜시아리조트

**ABSTRACT BOOK**

참여학회 : 대한지질학회, 한국기상학회, 한국우주과학회, 한국지구과학회, 한국천문학회, 한국해양학회

주 최 : 한국지구과학연합회(KGU)

후 원 : 평창군, 강원국제회의센터, 한국지질자원연구원, 한국천문연구원, 극지연구소

홈페이지 : [koreagu.or.kr](http://koreagu.or.kr)



THE 2<sup>nd</sup>  
**KOREA  
GEOSCIENCE  
UNION**

연례학술대회

---

위험한 지구, 도전하는 지구과학

# OVERVIEW

- 행사명 제2회 KGU 연례학술대회 | The 2<sup>nd</sup> KGU Annual Meeting
- 행사기간 2019년 7월 3일(수) ~ 7월 5일(금), 3일간
- 행사장소 평창 알펜시아리조트, 강원도
- 주최, 주관 한국지구과학연합회(KGU)
- 후원 평창군, 강원국제회의센터, 한국지질자원연구원, 한국천문연구원, 극지연구소
- 주제 위험한 지구, 도전하는 지구과학

# FLOOR PLAN

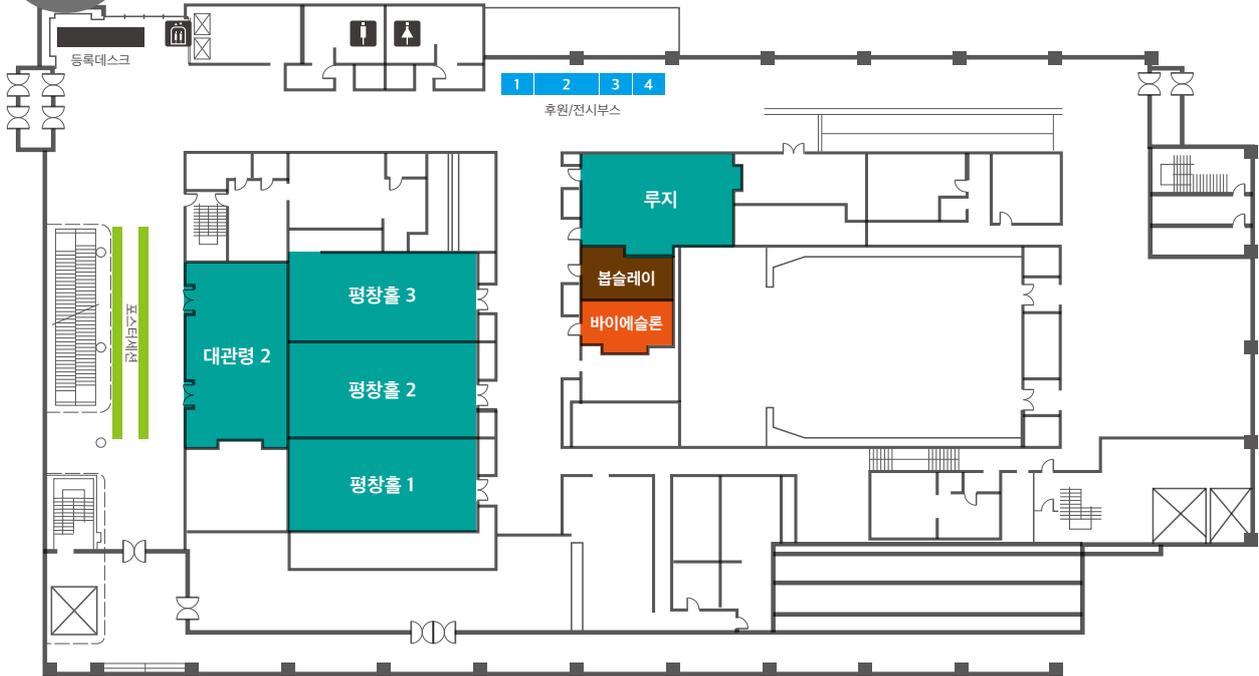
## 1F

평창홀 1	세션장1
평창홀 2	세션장2
평창홀 3	세션장3
대관령 2	세션장4
루지	세션장5
봄슬레이	프리뷰룸
바이에슬론	사무국
컨벤션홀 로비	등록데스크

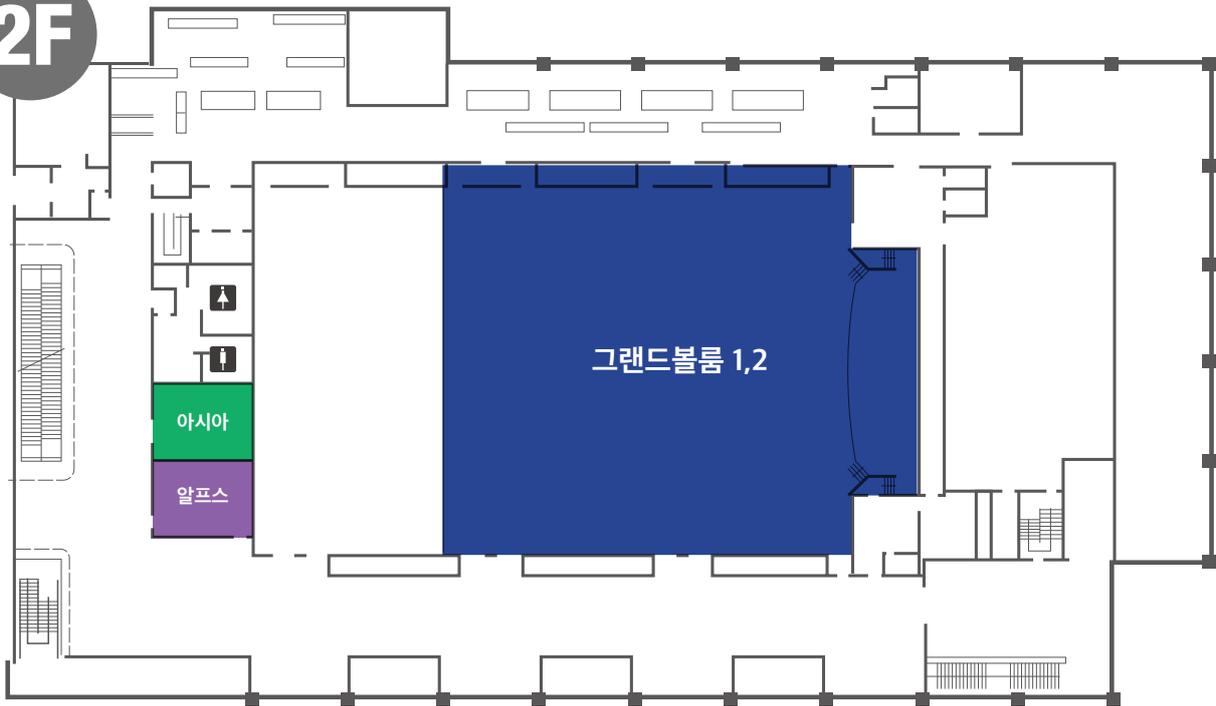
## 2F

대관령룸 로비	포스터세션
봄슬레이 로비	후원/전시부스
그랜드볼룸 1, 2	Plenary Session, 개막식, 환영만찬
아시아	VIP룸
알프스	사무국

# 1F



# 2F



## Exhibition

1	BETA 연구소
2	한국해양과학기술원
3	한국지질자원연구원
4	사람인터내셔널



초록집 다운로드

# PROGRAM

## 7월 3일(수) DAY 1

	그랜드볼룸	평창홀 1	평창홀 2	평창홀 3	대관령2	루지	대관령 로비
13:15-14:45		JS-01 13:00-14:45	JS-02	JS-03	JS-04	SS-01	포스터세션 (JS)
14:45-15:00	Break Time						
15:00-16:30		JS-05 15:00-17:10	SS-02 15:00-18:00	JS-03	JS-04	SS-01 15:00-18:00	포스터세션 (JS)

## 7월 4일(목) DAY 2

	그랜드볼룸	평창홀 1	평창홀 2	평창홀 3	대관령2	루지	대관령 로비
09:00-10:30		JS-06	JS-07	SS-03	SS-04	SS-05	포스터세션 (JS)
10:30-10:45	Break Time						
10:45-12:15		JS-08	JS-07	SS-03	SS-04	SS-05 10:45-12:25	포스터세션 (JS)
12:15-13:15	Lunch						
13:15-14:45		JS-09	JS-10 13:30-15:35	SS-06 13:15-15:15	SS-04	JS-11	포스터세션 (SS,GS)
14:45-15:00	Break Time						
15:00-16:00						JS-11	포스터세션 (SS,GS)
16:00-17:00	PLENARY SESSION 1						
17:00-17:15	Break Time						
17:15-18:00	개회식						
18:00-20:00	환영만찬						

## 7월 5일(금) DAY 3

	그랜드볼룸	평창홀 1	평창홀 2	평창홀 3	대관령2	루지	대관령 로비
09:00-10:45		JS-12 08:00-11:00	SS-07	SS-08 09:00-09:45 GS-01 10:00-11:00			포스터세션 (SS,GS)
10:45-11:00	Break Time						
11:00-12:30	PLENARY SESSION 2						

세션 구분	코드번호	세션명	좌장
연합세션	JS-01	해수면 변동 : 과거, 현재 그리고 미래	장태수
	JS-02	미세먼지	장임석
	JS-03	지구 전 대기층 에너지 순환	이창섭, 양태용
	JS-04	해양-대기 상호작용	김영호, 국종성
	JS-05	지구과학의 본성과 지구과학 교육	오필석
	JS-06	생지화학적 순환과 지구시스템	안진호
	JS-07	극지환경	전상윤, 김성중
	JS-08	서남해안 하구역 연안 퇴적층 연구	신승원
	JS-09	동아시아-인도 몬순 : 과거 현재 그리고 미래	박장준
	JS-10	태양활동과 기후 변화	최광선
	JS-11	달 과학과 탐사의 과거 현재 그리고 미래	홍성철, 김경자, 최영준
	JS-12	지구과학에서의 딥러닝	문용재, 이용희
특별세션	SS-01	K-IODP 연구	김길영, 현상민
	SS-02	백두산 화산	윤성호
	SS-03	지질공원	조형성, 우연
	SS-04	근지구 우주환경 워크샵	이대영, 박재홍, 이우경
	SS-05	사용 후 핵 연료	천대성
	SS-06	지구과학 현장자료의 보존과 활용	김경수, 김태완
	SS-07	독도	김진욱, 박주면
	SS-08	자연지진과 유발지진	장찬동
일반세션	GS-01	KGU 일반세션	김형수

# PROGRAM DETAILS

## PLENARY SESSION 1

좌장 : 김형수(중원대학교)

7월 4일(목), 16:00 - 17:00 | 그랜드볼룸

발표시간	코드번호	발표제목
16:00 - 16:30	PS-01-01	김응서, 한국해양과학기술원 원장 지구 속 우주, 심해 탐사
16:30 - 17:00	PS-01-02	김복철, 한국지질자원연구원 원장 자원개발 패러다임 전환, 새로운 도전

## PLENARY SESSION 2

좌장 : 하경자(부산대학교)

7월 5일(금), 11:00 - 12:30 | 그랜드볼룸

발표시간	코드번호	발표제목	
11:00 - 11:30	PS-02-01	장호완, 서울대학교 명예교수, 대한민국학술원 자연 제 2분과 회원 20억 년 전의 천연 원자로 : 사용 후 핵연료의 안정적 처분을 위한 자연유사체	31
11:30 - 12:00	PS-02-02	유영숙, 前 환경부 장관 기후변화와 환경문제 대응	
12:00 - 12:30	PS-02-03	윤순창, 서울대학교 명예교수 동북아시아 대기오염	

## JS-01 해수면 변동 : 과거 현재 그리고 미래

좌장 : 장태수(해양대학교)

7월 3일(수), 13:00 - 14:45 | 평창홀 1

발표시간	코드번호	발표제목	
13:00 - 13:15	JS-01-01	박인우 RCP 시나리오 기반 동남극 데이비드 빙하-드라이갈스키 빙설 용융 및 연관된 해수면 변동 예측	37
13:15 - 13:30	JS-01-02	김철호 우리나라 주변해역의 과거 수 십 년과 미래 100년 해수면 변화 모의	38
13:30 - 13:45	JS-01-03	김용엽 관측자료 및 고해상도 수치모형을 이용한 한반도 주변 해수면 변동 분석	39
13:45 - 14:00	JS-01-04	이경재 한반도 연안 단주기(3-30일) 해수면 변동의 전파 특성	40
14:00 - 14:15	JS-01-05	박준영 Contribution of the Antarctic Ice Sheet to Future Sea Level Rise by a Fully Coupled Model	41

14:15 - 14:30	JS-01-06	<b>오지훈</b> <i>Impact of Antarctic meltwater forcing on East Asian climate under greenhouse warming.</i>	42
14:30 - 14:45	JS-01-07	<b>김영미</b> <i>HadGEM2-AO 기반의 미래해수면 전망과 우리나라 미래 해수면 상승</i>	43

## JS-02 미세먼지

좌장 : 장임석(국립환경과학원)

7월 3일(수), 13:15 - 14:45 | 평창홀 2

발표시간	코드번호	발표제목	
13:15 - 13:30	JS-02-01	<b>장임석</b> <i>미세먼지 예보 개선 연구</i>	47
13:30 - 13:45	JS-02-02	<b>이주희</b> <i>AERONET 자료와 MERRA-2 재분석장을 이용한 한반도에서의 에어로졸 유형 분류 및 특징</i>	48
13:45 - 14:00	JS-02-03	<b>현상민</b> <i>항만지역 미세먼지 인벤토리에 대한 리뷰</i>	49
14:00 - 14:15	JS-02-04	<b>김성수</b> <i>위성 편광관측을 통한 대기 중 미세먼지 측정</i>	50
14:15 - 14:30	JS-02-05	<b>정기영</b> <i>2019년 고농도 미세먼지의 TEM 단일 입자 특성</i>	51
14:30 - 14:45	JS-02-06	<b>박성민</b> <i>다양한 연무 사례에 따른 에어로졸-기상 상호작용 분석</i>	52

## JS-03 지구 전 대기층 에너지 순환

좌장 : 이창섭(극지연구소), 양태용(천문연구원)

7월 3일(수), 13:15 - 16:30 | 평창홀 3

발표시간	코드번호	발표제목	
13:15 - 13:30	JS-03-01	<b>감호식</b> <i>Comparison between wind blocking fields and propagating directions of mesospheric gravity waves observed from all-sky imagers over King Sejong Staion, Antarctica</i>	55
13:30 - 13:45	JS-03-02	<b>곽영실</b> <i>Tidal Characteristics in Thermosphere and Ionosphere</i>	56
13:45 - 14:00	JS-03-03	<b>유지희</b> <i>Characteristics and Sources of Inertia Gravity Waves revealed in the Radiosonde Observation at Jang Bogo Station (JBS), Antarctica</i>	57
14:00 - 14:15	JS-03-04	<b>이영숙</b> <i>Unusual Radar Echo from the Wake of Meteor Fireball in Nearly Horizontal Transits in the Summer Polar Lower-Thermosphere</i>	58

14:15 - 14:30	JS-03-05	<b>송병권</b> <i>Gravity Wave Activities in the Upper Mesosphere Observed by Meteor Radar at King Sejong Station, Antarctica and Their Potential Sources</i>	59
14:30 - 14:45	JS-03-06	<b>이지희</b> <i>Numerical modeling study on the middle atmospheric changes by medium energy electron (MEE) in the polar region</i>	60
14:45 - 15:00	<b>Break Time</b>		
15:00 - 15:15	JS-03-07	<b>송인선</b> <i>Dynamic initialization for whole atmosphere modeling and real-case simulations for gravity waves excited from balanced flows</i>	61
15:15 - 15:30	JS-03-08	<b>권혁진</b> <i>Storm-time observations in the polar region</i>	62
15:30 - 15:45	JS-03-09	<b>이하나</b> <i>남극 장보고 과학기지의 오존존데와 위성자료를 이용한 연직 오존 분포 비교</i>	63
15:45 - 16:00	JS-03-10	<b>정종일</b> <i>Study on correlation between cosmic rays and clouds using Daejeon neutron monitor during 2012 - 2018</i>	64
16:00 - 16:15	JS-03-11	<b>이창섭</b> <i>Comparative study on mesospheric winds measured by Fabry-Perot interferometer and meteor radar at King Sejong Station, Antarctica</i>	65
16:15 - 16:30	JS-03-12	<b>함영배</b> <i>Observations for aurora and relevant polar upper atmospheric changes at Jang Bogo station, Antarctica</i>	66

## JS-04 해양-대기 상호작용

좌장 : 김영호(한국해양과학기술원), 국종성(포항공과대학교)

7월 3일(수), 13:15 - 16:30 | 대관령 2

발표시간	코드번호	발표제목	
13:15 - 13:40	JS-04-01	<b>송하준</b> <i>Impact of near-inertial waves on vertical mixing and air-sea CO2 fluxes in the Southern Ocean</i>	69
13:40-13:55	JS-04-02	<b>김상엽</b> <i>Epoch-dependent changes in the formation mechanism of the North Pacific subtropical mode water in an eddy-permitting ocean general circulation model simulation</i>	70
13:55-14:10	JS-04-03	<b>임학수</b> <i>수중글라이더를 이용한 태풍 솔릭 전후 해양혼합층 변화 관측</i>	71
14:10-14:25	JS-04-04	<b>노경민</b> <i>Zonally asymmetric response of the Southern Ocean phytoplankton to Southern Annual mode</i>	72
14:25-14:40	JS-04-05	<b>박균도</b> <i>Major driver leading to winter SST variability in the Kuroshio recirculation gyre region and its decadal changes: Refreshing versus spring-initiated reemergence process</i>	73
14:40 - 15:00	<b>Break Time</b>		

15:00-15:25	JS-04-06	<b>문일주</b> <i>Climate change and tropical cyclone trend</i>	74
15:25-15:40	JS-04-07	<b>백유현</b> <i>한반도 연안의 위성 및 수치모델 해수면온도 자료의 정확도</i>	75
15:40-15:55	JS-04-08	<b>박재홍</b> <i>Predicting of El Nino beyond 1-year lead by Atlantic Warm Pool effect</i>	76
15:55-16:10	JS-04-09	<b>신나연</b> <i>Mechanism of Double peaked El Niño</i>	77
16:10-16:25	JS-04-10	<b>Pratik Kad</b> <i>Recent changes in the summer monsoon circulation and their impact on dynamics and thermodynamics of the Arabian Sea</i>	78

## JS-05 지구과학의 본성과 지구과학 교육

좌장 : 오피석(경인교육대학교)

15:00 - 17:10 | 평창홀 1

발표시간	코드번호	발표제목	
15:00 - 15:15	JS-05-01	<b>정찬미</b> <i>지구과학 탐구의 본성에 대한 예비교사의 인식 변화</i>	81
15:15 - 15:30	JS-05-02	<b>신동희</b> <i>지구과학과 역사학의 탐구 비교, 융합의 시작</i>	82
15:30 - 15:45	JS-05-03	<b>박경애</b> <i>과학적 지식 통합 기반 중등학교 해류모식도를 위한 최근 9년 노력과 성과</i>	83
15:45 - 16:00	JS-05-04	<b>손정주</b> <i>'HR도'와 '항성 진화'에 대한 교사의 개념 지위 분석</i>	84
16:00 - 16:10	<b>Break Time</b>		
16:10 - 16:25	JS-05-05	<b>전재돈</b> <i>초등학생의 시스템 사고 요인 구조 검증과 선호 과목에 따른 시스템 사고 비교</i>	85
16:25 - 16:40	JS-05-06	<b>김형수</b> <i>지질학의 본성과 지질교육</i>	86
16:40 - 16:55	JS-05-07	<b>맹승호</b> <i>Development of an Instruction Module for Plate Tectonics Using Geocognition: Alternative Approach to the Nature of Geoscience</i>	87
16:55 - 17:10	JS-05-08	<b>남윤경</b> <i>과학·공학 융합 교육 효과에 대한 성별 차이</i>	88

## JS-06 생지화학적 순환과 지구시스템

좌장 : 안진호(서울대학교)

7월 4일 09:00 - 10:30 | 평창홀 1

발표시간	코드번호	발표제목	
09:00 - 09:15	JS-06-01	<b>박소원</b> <i>Two pathways of decadal ENSO variability in changing long-term global carbon cycle</i>	91
09:15 - 09:30	JS-06-02	<b>안진호</b> <i>High-resolution CO2 and N2O records over the last 2000 years</i>	92
09:30 - 09:45	JS-06-03	<b>한상영</b> <i>동남극 스틱스 지역에서의 편 눈밀도층 불균질성에 따른 온실기체 농도 변동성</i>	93
09:45 - 10:00	JS-06-04	<b>이호미, 문병권, 정현재, 변영화, 임윤진, 이조한</b> <i>Development of NEMO-TOPAZ and effects of changes in iron parameters</i>	94
10:00 - 10:15	JS-06-05	<b>한수연</b> <i>층상형 산화망간광물의 층간 구조에 대한 원자수준 시뮬레이션 연구(Interlayer structures of layer-type manganese oxide minerals: an atomistic simulation study)</i>	95

## JS-07 극지환경

좌장 : 전상윤(극지연구소), 김성중(극지연구소)

7월 4일 09:00 - 12:15 | 평창홀 2

발표시간	코드번호	발표제목	
09:00 - 09:15	JS-07-01	<b>김백민</b> <i>Impacts of low-cloud parameterization on the simulation of early winter Arctic atmospheric circulation</i>	99
09:15 - 09:30	JS-07-02	<b>김주홍</b> <i>여름철 해빙 위 발달하는 멜트폰드의 얼음-알베도 피드백 역할 재조명</i>	100
09:30 - 09:45	JS-07-03	<b>허진우</b> <i>북극진동에 따른 지상 온도 분포와 중위도 한파 발생일 변화의 연관성 연구</i>	101
09:45 - 10:00	JS-07-04	<b>박기태</b> <i>Phytoplankton, Dimethylsulfide and Aerorols in the Arctic Atmosphere</i>	102
10:00 - 10:15	JS-07-05	<b>한향선</b> <i>인공위성 관측으로 분석된 거대 빙산 A-68의 초기 진화</i>	103
10:15 - 10:30	JS-07-06	<b>박상중</b> <i>남극세종과학기지 기후 (Climatology Observed at King Sejong Station, Antarctica)</i>	104
10:30 - 10:45	<b>Break Time</b>		
10:45 - 11:00	JS-07-07	<b>이재일</b> <i>남부 드레이크 해협 후기 제4기 퇴적물의 빙하주기에 따른 탄산염 용해도의 변화</i>	105
11:00 - 11:15	JS-07-08	<b>정종균</b> <i>남극 천문우주과학 인프라 구축 방안 연구</i>	106
11:15 - 11:30	JS-07-09	<b>송인선</b> <i>Meteor radar observations of vertically propagating low-frequency inertia-gravity waves near the southern polar mesopause region</i>	107

11:30 - 11:45	JS-07-10	전상윤 <i>Two leading modes of Antarctic surface temperature and their contributions to Antarctic surface climate change</i>	108
11:45 - 12:00	JS-07-11	구태희 <i>Experimental evidence of microbially induced Smectite-to-Illite reaction at low temperature</i>	109
12:00 - 12:15	JS-07-12	안서희 남극세종과학기지와 남극장보고과학기지에서 관측된 이산화탄소의 장기변동 특성 분석	110

## JS-08 서남해안 하구역 연안 퇴적층 연구

좌장 : 신승원(부산대학교)

7월 4일 10:45 - 12:15 | 평창홀 1

발표시간	코드번호	발표제목	
10:45 - 11:00	JS-08-01	김복혜 <i>고기후·고환경 해석에서의 개형층의 활용 방안 제시; 낙동강 삼각주에서 채취한 시추코어 퇴적물을 이용한 환경해석</i>	113
11:00 - 11:15	JS-08-02	타카나 히로유키 <i>Millennial-scale variation of fossil planktonic foraminifera in the coastal areas along the southeast Korea during the Holocene</i>	114
11:15 - 11:30	JS-08-03	김부근 <i>What do stable isotopes of benthic foraminifera in the Nakdong River Delta (southeast Korea) tell us?</i>	115
11:30 - 11:45	JS-08-04	김진철 <i>낙동강 삼각주 일대의 퇴적시기</i>	116
11:45 - 12:00	JS-08-05	장태수 <i>홀로세 6,000~3,000년 시기 서해안 퇴적층의 결층과 고환경변화의 퇴적학 증거</i>	117
12:00 - 12:15	JS-08-06	신승원 <i>낙동강 삼각주 연구 현황과 문제점</i>	118

## JS-09 동아시아-인도몬순 : 과거, 현재 그리고 미래

좌장 : 박장준(충남대학교)

7월 4일 13:15 - 14:45 | 평창홀 1

발표시간	코드번호	발표제목	
13:15 - 13:30	JS-09-01	백소영 <i>석순의 성장 휴지기 결정을 위한 조직적 분석의 중요성 (The significance of textural analysis for decision of growth hiatus in stalagmite)</i>	121
13:30 - 13:45	JS-09-02	이종민 <i>Variation of clay mineral compositions and detrital Nd-Sr isotopes by the Indian monsoon in the western Andaman Sea (IODP Site U1447) since the late Miocene</i>	122
13:45 - 14:00	JS-09-03	박장준 <i>Pleistocene paleoenvironmental changes recorded in the middle Bengal Fan: Lessons from the IODP Exp. 354</i>	123

14:00 - 14:15	JS-09-04	<b>김부근</b> <i>Variability of Indian Monsoon in the Andaman Sea during the Late Quaternary</i>	124
14:15 - 14:30	JS-09-05	<b>최진호</b> 북극진동, 시베리아 고기압, 동아시아 겨울 몬순의 장기 변동 특징	125
14:30 - 14:45	<b>종합토론</b>		

## JS-10 태양활동과 기후변화

좌장 : 최광선(경희대학교)

7월 4일 13:30 - 15:35 | 평창홀 2

발표시간	코드번호	발표제목	
13:30 - 13:55	JS-10-01	<b>양홍진</b> <i>Solar activities and climate change during the last millennium recorded in Korean chronicles</i>	129
13:55 - 14:20	JS-10-02	<b>구태영</b> 기후변화의 이해	130
14:20 - 14:45	JS-10-03	<b>문용재</b> <i>Relative contribution of solar/geomagnetic activities and variation to global temperature anomaly from 1859 to 2015</i>	131
14:45 - 15:10	JS-10-04	<b>Tetsuya Magara</b> <i>New Method for the Study of Solar Activity Cycles</i>	132
15:10 - 15:35	JS-10-05	<b>김록순</b> <i>Prediction of Long-term Solar Activities</i>	133
		<b>종합토론</b>	

## JS-11 달 과학과 탐사의 과거, 현재 그리고 미래

좌장 : 홍성철(한국건설기술연구원), 김경자(한국지질자원연구원),  
최영준(한국천문연구원)

7월 4일 13:15 - 16:00 | 루지

발표시간	코드번호	발표제목	
13:15 - 13:30	JS-11-01	<b>김경자</b> 달 탐사의 역사와 우리의 미래	137
13:30 - 13:45	JS-11-02	<b>Jennifer Heldmann</b> 달의 물에 대한 놀라운 이야기	138
13:45 - 14:00	JS-11-03	<b>최영준</b> 상업용 달 착륙선을 이용한 NASA-KASI 공동연구협력	139
14:00 - 14:15	JS-11-04	<b>홍성철</b> 달 유인 탐사 및 자원 개발을 위한 달 현지 건설기술 개발	140
14:15 - 14:30	JS-11-05	<b>강태운</b> 달 고원 복제토 KIGAM-L1 개발	141

14:30- 14:45	JS-11-06	<b>김관혁</b> 달 주변 극초저주파수 파동 연구	142
14:45-15:00	<b>Break Time</b>		
15:00- 15:15	JS-11-07	<b>정민섭</b> 한국형 달 탐사 시험용 달 궤도선 탑재체 광시야 편광카메라 소개	143
15:15 - 15:30	JS-11-08	<b>심재경</b> 한국형 시험용 달 궤도선의 광시야 편광 카메라를 위한 관측 전략	144
15:30 - 15:45	JS-11-09	<b>신재혁</b> KMAG : 한국 시험용 달탐사 궤도선의 자력계 탑재체	145
15:45 - 16:00	JS-11-10	<b>백슬민</b> 달 자기이상 특성 연구	146

## JS-12 지구과학에서의 딥러닝

좌장 : 문용재(경희대학교), 이용희(기상청 수치모델링센터)

7월 5일 08:00 - 11:00 | 평창홀 2

발표시간	코드번호	발표제목	
08:00 - 08:15	JS-12-01	<b>문용재</b> Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical Data: 1. Overview	149
08:15 - 08:30	JS-12-02	<b>김기문</b> Application of deep learning to astronomical and geophysical data: 5. Generation of nightside visible images from IR ones	150
08:30 - 08:45	JS-12-03	<b>박은수</b> Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical data: 7. Generation of Denoised Magnetograms	151
08:45 - 09:00	JS-12-04	<b>신경인</b> Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical data: 4. Generation of High-resolution Solar Magnetograms from Ca II K Images	152
09:00 - 09:15	JS-12-05	<b>김태영</b> Solar farside magnetograms from deep learning analysis of STEREO/EUVI data	153
14:45-15:00	<b>Break Time</b>		
09:30 - 09:45	JS-12-06	<b>지준화</b> 극지연구에서의 딥러닝	154
09:45 - 10:00	JS-12-07	<b>이은주</b> 순환신경망을 활용한 수위시계열 보간 가능성 검토	155
10:00 - 10:15	JS-12-08	<b>김만기</b> 순환신경망을 이용한 수치예보모델의 지상 예측기온 편차보정 연구	156
10:15 - 10:30	JS-12-09	<b>김백조</b> Developing the Precipitation Forecasting Model Based on Long Short Term Memory Using Observations in Seoul	157

10:30 - 10:45	JS-12-10	<b>임효혁</b> 딥러닝을 이용한 특정지점 윈드시어 경보 예측	158
10:45 - 11:00	JS-12-11	<b>오윤영</b> A novel multiresolution spatiotemporal data mining based deep learning method to quantify the main drivers of real-time hydro-environmental data	159

## SS-01 K-IODP 연구

좌장 : 김길영(KIGAM), 현상민(KIOST)

7월 3일 13:15 - 18:00 | 루지

발표시간	코드번호	발표제목	
13:15-13:30	SS-01-01	<b>김길영</b> 해양 과학시추 50년: 성과 및 향후 방향	163
13:30-13:45	SS-01-02	<b>황지환</b> 스코샤 해 해양퇴적물의 공극수 지화학 예비결과	164
13:45-14:00	SS-01-03	<b>김지훈</b> 남극 아문젠해 심부시추 퇴적물 내 유체 특성 예비 결과	165
14:00-14:15	SS-01-04	<b>이현주</b> Brothers 해저화산 IODP 시추시료의 열수변질 및 유체포유물 연구	166
14:15-14:30	SS-01-05	<b>송인선</b> Pressure Solution Observed in Cored Samples from Pelagic Sedimentary System at IODP Site U1480	167
14:30-14:45	SS-01-06	<b>현상민</b> 과거 백만년 간 남중국해의 고해양, 고기후 진화: 해양과 육성 바이오마커 증거	168
14:45-15:00	SS-01-07	<b>박유현</b> 타스만해의 신생대 기후변화 복원과 IODP Exp. 371의 예비연구	169
15:00-15:15	<b>Break Time</b>		
15:15-15:30	SS-01-08	<b>김성한</b> Preliminary results of geochemical proxies on the Ross Sea Continental shelf: IODP Site U1523	170
15:30-15:45	SS-01-09	<b>김경자</b> 국제해저지각시추프로그램 탐사346의 U1430 시추코어의 자생성분 베릴륨 동위원소 및 기타 원소를 활용한 지난 11 백만년간의 고기후 변화 추적	171
15:45-16:00	SS-01-10	<b>김용미</b> 유기질미화석 산출특성을 통한 플라이오세~플라이스토세 기후전이기간동안의 동남한국대지 고기후 및 고해양환경 복원	172
16:00-16:15	SS-01-11	<b>김부근</b> International Ocean Discovery Expedition 355: Arabian Sea Monsoon - Achievement and Progress	173
16:15-16:30	SS-01-12	<b>이종민</b> Preliminary results for paleoproductivity changes by the Indian monsoon in the Mahanadi Basin of the Bay of Bengal (IODP Site U1445) during the last 2.3 Ma	174

16:30-16:45	SS-01-13	<b>천종화</b> <i>The tephra record from IODP sites U1486 and U1487: Implications for the evolution of the Manus Basin</i>	176
16:45-17:00	SS-01-14	<b>이은영</b> <i>Compaction trend estimation and application using BasinVis 2.0 (IODP Expedition 356 Sites U1459-U1464)</i>	177
17:00-17:30	<b>종합토론</b>		

## SS-02 백두산 화산

좌장 : 윤성호(부산대학교)

7월 3일 15:00 - 18:00 | 평창홀 2

발표시간	코드번호	발표제목	
15:00 - 15:15	SS-02-01	<b>윤성호</b> 고문헌에 나타난 백두산의 역사시대 분화 기록	181
15:15 - 15:30	SS-02-02	<b>장철우</b> 백두산에서 발생 가능한 화쇄류에 대한 수치모의 분석	183
15:30 - 15:45	SS-02-03	<b>장철우</b> 수치모의를 통한 백두산 라하르 영향 범위 분석	184
15:45 - 16:00	SS-02-04	<b>이주용</b> PUFF-Gaussian 수치 모형을 이용한 화산재 확산 예측	185
16:00 - 16:15	SS-0205	<b>박순천</b> 화산활동 감시와 한반도 영향 예측을 위한 화산 연구 현황	187
16:15 - 16:30	<b>Break Time</b>		
16:30 - 16:45	SS-02-07	<b>선종선</b> 위성 영상을 활용한 백두산 화산활동 분석 결과	188
16:45 - 17:00	SS-02-08	<b>최현옥</b> 백두산 신생대후기 현무암질 암석의 지구화학적 성인	189
17:00 - 17:15	SS-02-09	<b>정창식</b> <i>Magmatic Evolution of Baekdusan Volcano: Zircon U-Th Geochronological and O-Hf Isotopic Constraints from the Millennium Eruption</i>	190
17:15 - 17:30	SS-02-10	<b>좌용주</b> <i>Microlites in the Baekdusan and Kyushu obsidians with implication for differing cooling condition of rhyolitic magmas</i>	191
17:30 - 18:00	<b>종합토론</b>		

## SS-03 지질공원

좌장 : 조형성(경상대학교), 우연(광주광역시)

7월 4일 09:00 - 12:15 | 평창홀 3

발표시간	코드번호	발표제목	
09:00 - 09:15	SS-03-01	<b>조형성</b> 우리나라 지질유산의 분포와 가치평가	195
09:15 - 09:30	SS-03-02	<b>하수진</b> 부산 유네스코 세계지질공원 인증 추진 현황	196
09:30 - 09:45	SS-03-03	<b>김건기</b> 무등산권 유네스코 세계지질공원 주상절리대의 사면 안정성 평가와 모니터링	197
09:45 - 10:00	SS-03-04	<b>김종선</b> 무등산권 유네스코 세계지질공원 예비명소 추월산 구상암의 지질유산적 가치	198
10:00 - 10:15	SS-03-05	<b>우연</b> 지질교육 관점에서의 지질공원의 역할 : 무등산권 유네스코 세계지질공원의 지질교육	199
10:15 - 10:30	<b>Break Time</b>		
10:30 - 10:45	SS-03-06	<b>채용운</b> 화성 국가지질공원 후보지 지질명소들의 학술 및 교육적 가치	200
10:45 - 11:00	SS-03-07	<b>최돈원</b> 강원평화지역 국가지질공원(고성지역)의 지질명소와 지질학적 가치	201
11:00 - 11:15	SS-03-08	<b>김재환</b> 천연기념물 제415호 포함 달전리 주상절리에 대한 보존 관리의 필요성	202
11:15 - 11:30	SS-03-09	<b>강가령</b> 부산 유네스코 세계지질공원 인증을 위한 주요 과제	203
11:15 - 11:45	SS-03-10	<b>최용석</b> 무등산권 유네스코세계지질공원 내 안내판 현황 및 개선방안 제언	204
11:45 - 12:15	<b>종합토론 및 대한지질학회 지질유산 분과위원회</b>		

## SS-04 근지구 우주환경 워크숍

좌장 : 이대영(충북대학교), 박재홍(한국천문연구원),  
이우경(한국천문연구원)

7월 4일 09:00 - 14:45 | 대관령 2

발표시간	코드번호	발표제목	
09:00 - 09:30	SS-04-01	<b>김관혁</b> 다양한 우주환경에서의 EMIC 파동	207
09:30 - 10:00	SS-04-02	<b>노성준</b> Test of triggering conditions for electromagnetic ion cyclotron waves using in-situ satellite observations in the Earth's magnetosphere	208
10:00 - 10:30	SS-04-03	<b>김정한</b> Ground-based observations for the polar upper atmosphere research at KOPRI	209
10:30 - 10:45	<b>Break Time</b>		

10:45 - 11:15	SS-04-04	<b>오대현</b> <i>Mission and Data Preview of the Korea Space wEather Monitor on GK-2A</i>	210
11:15 - 11:45	SS-04-05	<b>이재진</b> <i>Scientific Instruemnts on SNIPE mission</i>	211
11:45 - 12:15	SS-04-06	<b>유광선</b> <i>Initial Operation of the Instrument for the Study of Space Storms (ISSS) onboard NEXTSat-1 and Its Data Distribution Plan</i>	212
12:15 - 13:15	<b>Lunch</b>		
13:15 - 13:45	SS-04-07	<b>김정현</b> <i>Development of the Regional Ionospheric Model over Korean Peninsula and neighbors</i>	213
13:45 - 14:15	SS-04-08	<b>이영숙</b> <i>Aurora, dynamical instability and radar echoes in the polar mesosphere and lower thermosphere induced by energetic electron precipitation</i>	214
14:15 - 14:45	<b>토의 및 마무리</b>		

## SS-05 사용 후 핵연료

좌장 : 천대성(한국지질자원연구원)

7월 4일 09:00 - 12:25 | 루지

발표시간	코드번호	발표제목	
09:00-09:20	SS-05-01	<b>박익섭</b> <i>심층처분 및 저장을 위한 심지층 특성화 관련연구 현황</i>	217
09:20-09:40	SS-05-02	<b>신영재</b> <i>부지 선정 및 특성화 : CO2 지중저장 시험</i>	218
09:40-10:00	SS-05-03	<b>박경우</b> <i>방사성폐기물의 지중 처분을 위한 부지특성평가에서 시추공의 활용 방안 연구</i>	219
10:00-10:20	SS-05-04	<b>김유홍</b> <i>사용후 핵연료 심층 처분을 위한 암중 심부 특성 연구와 계획</i>	220
10:20-10:45	<b>Break Time</b>		
10:45-11:05	SS-05-05	<b>이정환</b> <i>심층처분을 위한 심부환경 규명 연구의 필요성</i>	221
11:05-11:25	SS-05-06	<b>현승규</b> <i>고준위방사성폐기물 처분시설 부지특성 조사 및 평가기술 개발연구</i>	222
11:25-11:45	SS-05-07	<b>최정해</b> <i>대전 화강암에서의 flow path 구조에 대한 특성 분석</i>	224
11:45-12:05	SS-05-08	<b>박진영</b> <i>고준위방사성폐기물의 심층처분을 위한 기반암의 수리지질학적 특성 연구</i>	225
12:05-12:25	SS-05-09	<b>김주혁</b> <i>고전분자동력학 시뮬레이션을 이용한 세슘-토도르카이트 연구</i>	226

## SS-06 지구과학 현장자료의 보존과 활용

좌장 : 김경수(진주교육대학교), 김태완(국립대구과학관)

7월 4일 13:15 - 15:15 | 평창홀 3

발표시간	코드번호	발표제목	
13:15 - 13:30	SS-06-01	권홍진 지질공원과 연계한 '지구과학 창의적 체험학습' 운영	229
13:30 - 13:45	SS-06-02	김태완 경남 하동군 대도 화석산지의 지질교육·관광자원 활용 방안	230
13:45 - 14:00	SS-06-03	이경원 평창 바위공원을 활용한 스토리텔링 수업 사례	231
14:00 - 14:15	SS-06-04	신승원 고고유적에서 지질학적 가치가 있는 유산에 대한 보존과 활용방안	232
14:15 - 14:30	SS-06-05	김경수 발자국 화석의 응급 보존 처리를 위한 풍화 양상과 물리적 특성 검토	233
14:30 - 14:45	Break Time		
14:45 - 15:00	SS-06-06	김경수 백악기 척추동물 발자국 화석산지 발굴 현장의 응급 보존 처리 사례	234
15:00 - 15:15	SS-06-07	박정웅 지구과학 교육을 위한 자연학습장의 보존과 활용	235

## SS-07 독도

좌장 : 김진욱(연세대학교), 박주면(한국해양과학기술원)

7월 5일 09:00 - 10:45 | 평창홀 2

발표시간	코드번호	발표제목	
09:00 - 09:15	SS-07-01	박찬홍 독도의 지속가능한 이용 및 보전연구 현황과 향후 과제	239
09:15 - 09:30	SS-07-02	손영관 독도 화산쇄설암의 입자조성과 분화과정	240
09:30 - 09:45	SS-07-03	이기환 광물학적 분석을 통한 독도 심해저 퇴적물의 고퇴적 환경 유추	241
09:45 - 10:00	SS-07-04	이현우 Geochemistry of minerals grown from melt inclusions in the Dokdo and Ulleungdo volcanic rocks	242
10:00 - 10:15	SS-07-05	이민지 2018년 봄철 동해 식물플랑크톤의 번무 특징과 독도 주변해역의 사계절 식물플랑크톤 동태	243
10:15 - 10:30	SS-07-06	명정구 수중생태지도를 이용한 독도 연안생태 보존	244
10:30 - 10:45	SS-07-07	권오윤 독도 주변 표층혼합층에서 중형동물플랑크톤의 장기간 분포특성	245

## SS-08 자연지진과 유발지진

좌장 : 장찬동(충남대학교)

7월 5일 09:00 - 09:45 | 평창홀 3

발표시간	코드번호	발표제목	
09:00 - 09:15	SS-08-01	김민욱 포항지진 정밀 진원 결정을 위한 1차원 속도 모델 개발	249
09:15 - 09:30	SS-08-02	우정웅 포항 지열 발전소 인근에서 발생한 지진원 특성 정밀 분석 (High-resolution analysis of source characteristics of earthquakes at Pohang EGS site)	250
09:30 - 09:45	SS-08-03	박재용 포항 지열발전 실증연구부지 지진 자료의 삼차원 시각화 및 해석	251

## GS-01 KGU 일반세션

좌장 : 김형수(중원대학교)

7월 5일 10:00 - 11:00 | 평창홀 3

발표시간	코드번호	발표제목	
10:00 - 10:15	GS-01-01	최지민 강원도 인제군 기린면 일대의 금양단층핵의 특성 및 제4기 활동형태	255
10:15 - 10:30	GS-01-02	김지인 제주도 화산암류의 지구화학적 성인과 근원 맨틀에 대한 고찰	256
10:30 - 10:45	GS-01-03	이은지 대마도 마이오세 관입암류의 성인에 관한 예비연구	257
10:45 - 11:00	GS-01-04	이병수 Conodonts from the 'Lower Limestone' and Haengmae Formation in western Jeongseon, Korea and their implication for lithostratigraphic correlation	259

# POSTER SESSION

## JS-01 해수면 변동 : 과거, 현재 그리고 미래

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-01-08	임병준 연안 지형 변화에 따른 한반도 주변 해역의 조석 특성 변화	265

## JS-02 미세먼지

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-02-07	이승현 A method of analyzing a total of 31 nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons (NPAHs) using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)	269
JS-02-08	이태경 국내 대도시 지표대기오염물질의 계절별 일간 변동성 특징	270
JS-02-09	정은선 한반도 지상 미세먼지 농도 추정을 위한 미세먼지와 기상인자의 상관성 분석과 통계적 기법 활용 연구	271
JS-02-10	노일석 대기 경계층 두께의 시공간 분포 예측 및 모니터링	272
JS-02-11	박용미 관측 자료에 기반한 부산시 도로통제에 따른 대기오염물질 농도 분포 특성	273
JS-02-12	박호선 저 비용 센서 네트워크를 이용한 도로변 오염물질 농도 상세 공간분포 분석	274
JS-02-13	안진호 Relationship between source air masses and inter-day isotopic changes of nitrate in PM2.5 at Seoul and Baengnyeong Island, South Korea	275
JS-02-14	정기영 Mineralogy and structures of Asian Dust Particles	276

## JS-03 지구 전 대기층 에너지 순환

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-03-13	김지은 Ground based observation of proton aurora from polar region with All-Sky Camera	279

## JS-04 해양-대기 상호작용

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-04-11	<b>윤정희</b> <i>Air-sea fluxes of moisture, heat, and momentum at Socheongcho Ocean Research Station in the Yellow Sea</i>	283

## JS-06 생지화학적 순환과 지구시스템

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-06-06	<b>김영광</b> <i>Influence of Soil-Plant System to Horse Health at Hustai National Park in Mongolia</i>	287
JS-06-07	<b>Anamika Khanal</b> <i>Quantitative Analysis of Nitrogen-Cycle Related Gene from Rice Paddy Soil.</i>	288
JS-06-08	<b>안진호</b> 영구동토 얼음층기에 포집된 온실기체의 농도와 그 조절기작에 대한 연구	289

## JS-07 극지환경

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-07-13	<b>김송이</b> 남극 Hercules Neve snow pit의 물안정동위원소비 변동 특성	293
JS-07-14	<b>장채원</b> 남극 북빅토리아랜드 Styx 편코어의 주요 이온성분 분석 및 특성	294
JS-07-15	<b>김정훈</b> 겨울철 한국 PM10 농도의 경년 변동에 대한 북극 해빙의 영향 ( <i>Impact of Arctic Sea Ice Concentration on Interannual Variability of PM10 Concentration in South Korea during winter season</i> )	295
JS-07-16	<b>정혜진</b> 극지 빙하코어시료의 주요미량원소 농도 측정을 위한 실험수의 배경농도 분석	296
JS-07-17	<b>이민희</b> <i>Modulators of the Arctic summer climate modes; from storm to global teleconnection</i>	297
JS-07-18	<b>임창규</b> 통계복원을 이용한 과거 아문젠해 저기압의 활동 연구	298
JS-07-19	<b>Yalalt Nyamgerel</b> <i>Water isotopic composition of Styx Glacier firn cores and its association to air temperature</i>	299
JS-07-20	<b>이민경</b> <i>Paleoceanographic changes during the past one million years in the Central Basin, northwestern Ross Sea</i>	300

JS-07-21	<b>한창희</b> 그린란드 NEEM 빙하코어에 기록된 지난 5만년 동안의 북반구 고위도 먼지기원지 추적	301
JS-07-22	<b>안다현</b> 위성관측 자료를 활용한 남반구 중위도 에어로졸, 일산화탄소, 이산화질소, 포름알데히드의 시공간적 분포 및 경향	302
JS-07-23	<b>하상범</b> 로스해 대륙주변부 동쪽과 서쪽의 점토광물 조성과 퇴적물 기원지 비교	303
JS-07-24	<b>박영규</b> <i>Preliminary result: Investigation of microbe-mineral interaction in the paleo-Subglacial lake: Crystal Sound, Antarctica</i>	304
JS-07-25	<b>이승미</b> <i>Seasonal Changes in As, Bi, Cd, Mo and halogen elements recorded in Greenland EastGRIP snow pit</i>	305
JS-07-26	<b>홍자영</b> <i>A Critical Role of Extreme Atlantic Windstorms in Arctic Warming</i>	306
JS-07-27	<b>조미현</b> <i>River discharge over the pan-Arctic region at the end of 21st century</i>	307

## JS-09 동아시아-인도 몬순 : 과거, 현재 그리고 미래

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-09-06	<b>박요섭</b> 대형연구선 이사부호의 이동항해 자료를 이용한 뱃길 해저 선상지 활성 해저 수로의 지형학적 특징분석	311

## JS-10 태양활동과 기후변화

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-10-06	<b>최광선</b> <i>Solar Dynamic Activities in the Perspective of Outer Coronal Dynamics</i>	315

## JS-11 달 과학과 탐사의 과거, 현재, 그리고 미래

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-11-11	<b>정병욱</b> <i>KMAG : Scientific payload to investigate Lunar magnetic field</i>	319
JS-11-12	<b>홍익선</b> <i>Detection of lunar subsurface void in lunar gravity model</i>	320

JS-11-13	<b>서행자</b> <i>Water Ice Area Variation with Solar Incidence Angle on Ceres</i>	321
JS-11-14	<b>이응석</b> <i>(The lunar candidate landing sites around Mare Vaporum and Sinus Aestuum)</i>	322
JS-11-15	<b>김수연</b> <i>Lunar landing candidate site for future Korean lunar exploration mission</i>	323

## JS-12 지구과학에서의 딥러닝

7월 3일 13:15 - 7월 4일 12:15 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
JS-12-12	<b>이강우</b> <i>Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical data: 8. Prediction of major solar flare profiles using LSTM</i>	327
JS-12-13	<b>이하림</b> <i>Application of deep learning to astronomical and geophysical data: 3. Generation of solar magnetograms and UV images from historical sunspot drawings</i>	328
JS-12-14	<b>전성경</b> <i>Application of deep learning to astronomical and geophysical data: 6. Generation of future magnetograms from past ones</i>	329
JS-12-15	<b>박은수</b> <i>Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical data: 2. Generation of Solar UV Images from Magnetograms</i>	330

## SS-01 K-IODP 연구

7월 4일 13:15 - 7월 5일 11:00 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
SS-01-15	<b>이희권</b> <i>Estimation of in situ stress in the northern Hikurangi subduction margin, New Zealand</i>	333
SS-01-16	<b>Eun Young Lee</b> <i>Quantitative analysis of Cretaceous subsidence of the Naturaliste Plateau, offshore SW Australia (IODP Expedition 369, Site U1513)</i>	334

## SS-02 백두산 화산

7월 4일 13:15 - 7월 5일 11:00 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
SS-02-11	<b>황상구</b> 울릉도 말잔등응회암에서 부석편의 기공률과 분화유형의 관계	337
SS-02-12	<b>이주용</b> Risk Evaluation of Geological Hazard of Lava Flow using Computational Simulation	338

## SS-03 지질공익

7월 4일 13:15 - 7월 5일 11:00 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
SS-03-11	<b>조형성</b> 경남권 지질유산의 분포 및 가치평가	341

## SS-04 근지구 우주환경 워크샵

7월 4일 13:15 - 7월 5일 11:00 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
SS-04-09	<b>박근찬</b> Neural network prediction model for relativistic electron flux at geostationary orbit	345
SS-04-10	<b>조경복</b> Structural analysis of Qualification Model for scientific payload unit for the Small scale magNetospheric Ionospheric Plasma Experiments mission	346
SS-04-11	<b>손종대</b> 근지구 우주 환경 관측위성의 과학 탑재체 시험인증모델 개발 (Development of the Engineering Qualification Model (EQM) for scientific Payloads for scientific instruments for Small scale magNetospheric Ionospheric Plasma Experiments (SNIPE) mission)	347
SS-04-12	<b>이종길</b> Improve radiation belt distribution algorithm performance using VAP electron flux accompany GOES-13 electron flux	348
SS-04-13	<b>이상윤</b> Simulation Analysis of Langmuir Probe for ISSS onboard NEXTSat-1	349
SS-04-14	<b>홍준석</b> Characteristics of Ionospheric scintillation in GNSS signals measured at single site, Jang Bogo Station (74.62°S, 164.22°E), in Antarctica	350
SS-04-15	<b>강준석</b> Ion Reflection Mechanism At The Earth's Bow Shock	351
SS-04-16	<b>문수인</b> Forecasting Ionospheric Parameters over Jeju Station (126.30oE 33.43oN) using Long Short-Term Memory Method	352

SS-04-17	김수인 <i>Identification of high latitude trough by Swarm observation</i>	353
SS-04-18	이준현 <i>플라즈마권 지역 내부에 형성된 이온의 밴드 구조 연구</i>	354
SS-04-19	최경은 <i>태양 활동 23, 24주기에서의 태양 자전주기에 대한 정지궤도 상대론적 전자 플럭스 변화와 태양풍 조건과의 상관관계</i>	355
SS-04-20	이원석 <i>Estimation of neutral atmospheric temperature profiles in the mesosphere and lower thermosphere region from meteor radar observations</i>	356
SS-04-21	권종우 <i>서브오로라지역에서의 EMIC Pc1-Pc2 파동의 통계적 연구 Statistical study of EMIC Pc1-Pc2 waves observed at subauroral latitudes</i>	357
SS-04-22	박재희 <i>A statistical study of Pi2 pulsations observed in the upper ionosphere using Swarm magnetic field data</i>	358
SS-04-23	최규철 <i>Development of a Verification System for ASSA-Spot Prediction Model</i>	359
SS-04-24	임다예 <i>Prediction of Major Solar Flares Based on Short, Mid, and Long-term Active Region Properties</i>	360

## SS-05 사용 후 핵 연료

7월 4일 13:15 - 7월 5일 11:00 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
SS-05-10	손상보 <i>황화 환경에서 황화철광물의 상변환 경로에 대한 밀도범함수이론 연구</i>	363

## SS-06 지구과학 현장자료의 보존과 활용

7월 4일 13:15 - 7월 5일 11:00 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
SS-06-08	김태형 <i>지질유산 정보시설로서 천연기념물센터의 라키비움 도입 전략</i>	367

## SS-08 자연지진과 유발지진

7월 4일 13:15 - 7월 5일 11:00 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
SS-08-04	임호빈 <i>The 2017 Mw 5.4 Pohang earthquake, South Korea, and poroelastic stress changes associated with fluid injection</i>	371

## GS-01 KGU 일반세션

7월 4일 13:15 - 7월 5일 11:00 | 대관령 로비

코드번호	발표제목	
GS-01-05	<b>장성간</b> 저투수층 내 DNAPL 확산 및 역확산 현상에 대한 해석해의 검증	375
GS-01-06	<b>김수빈</b> 대수층 내 우라늄 오염 지속성에 pH조건이 미치는 영향	376
GS-01-07	<b>이주연</b> 카르스트 대수층 내 Darcy flux 측정을 위한 플럭스미터의 적용 가능성	377
GS-01-08	<b>김창민</b> 단일 저투수층을 고려한 확산 및 역확산 해석해의 고찰	378
GS-01-09	<b>안중배</b> Predictability of Boreal winter Temperature over South Korea in PNU CGCM Ensemble Forecast System	379
GS-01-10	<b>이주희</b> Development of ECLSS for the Manned Space Exploration	380
GS-01-11	<b>박종진</b> 북서태평양 중규모 소용돌이 내의 내부조석파 변동	381
GS-01-12	<b>박종진</b> 수중글라이더를 활용한 동한 난류 단면 관측	382
GS-01-13	<b>박종진</b> 한국형 무인 해양 관측 네트워크 구축 방안	383
GS-01-14	<b>김선규</b> 백령도-아산-평택 지역 알칼리 현무암의 지구화학적 특성 연구	384
GS-01-15	<b>김현진</b> 신생대 마이오세 울산분지에서 산출되는 연체동물 화석 보고	385
GS-01-16	<b>이예슬</b> 포항지진 신문기사의 비판적 담론분석을 통한 재난대응에 대한 고찰	386
GS-01-17	<b>박수정</b> Na-, K-버네사이트 고전 분자동역학 시뮬레이션 연구	387
GS-01-18	<b>허철호</b> 미얀마 북서부 마잉웨 크롬광화대 추정자원량	388
GS-01-19	<b>유용재</b> Tidal Acceleration of the Planets and Satellites	389
GS-01-20	<b>유용재</b> On the Use of Radial Velocity in the Mass-Balanced Planetary System	390
GS-01-21	<b>유용재</b> Growth of Proto-planet and Condensation of its Core	391
GS-01-22	<b>유용재</b> The Loss and Retention of Atmospheres in the Solar System	392



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

# Plenary Session



## 20억 년 전의 천연원자로 : 사용후핵연료의 안정적 처분을 위한 자연유사체

장호완

서울대 명예교수

지구온난화에 대응하는 탈탄소화(decarbonization)정책은 인류와 지구에 삶을 영위하는 모든 생태계와 관련된 범지구적 문제로서, 정책 목표를 달성하기 위한 전력 생산, 산업, 운송 및 냉·난방 시스템의 탈탄소화는 본질적으로 지하 및 지질과학과 밀접한 관련이 있는 주요 도전 과제들이다. 그 중에서도 중앙 집중식 발전을 탈탄소화하기 위해서 압축공기 에너지저장소와 재생에너지저장소의 확장 및 원자력 관련 프로그램의 추진에 관한 지질학적 조사 및 영향평가가 필요하다. 특히 지진과 같은 자연 재해의 위험과 사용후핵연료의 심부지층 처분 문제를 해결해야 하는 어려움이 있지만, CO<sub>2</sub> 배출을 제한하기 위한 원자력 관련 프로그램은 더 이상 미룰 수 없는 과제이다. 특히 우리나라는 사용후핵연료를 원자력발전소 내에 임시 저장하고 있는데, 현재 이들은 포화상태에 있거나, 포화될 예정으로 있어서 사용후핵연료의 처분과 관리가 시급하게 되었다. 이러한 상황에서 사용후핵연료의 영구 처분 부지는 100,000년 이상의 장기간에 걸친 안전성을 갖추어야하기에 심부 처분 부지 결정에 어려움을 갖고 있다. 특히 제한된 실험실 규모의 조건에서 이루어지는 심부 지층의 안전성 평가 자료를 우리가 신뢰하기에는 너무 중차대한 문제라고 할 수 있다. 따라서 과학기술계는 물리적 조건이 시·공간적으로 무제한의 상황에 있었다고 할 수 있는 자연유사체(Natural Analogue)를 연구대상으로 활용함으로써 이러한 난제를 해결하고 있다.

인간이 1956년에 최초의 상업용 원자력발전소를 개발하기 훨씬 이전인 태초에, 자연은 이미 방사성 물질로 에너지를 만드는 방법을 알고 있었다. 즉 아프리카 가봉의 'OKLO 原子爐' 17개는 20 억 년 전에 안정적인 핵분열반응을 시작하여 약 10 만년 ~100 만년 동안 지속되었던 자연 발생적 원자로로서, 이 원자로는 지구의 초기 역사를 재현하고 있다. 36 억 년 전에 시작된 박테리아 형태의 생명체가 부산물로 산소를 생성하기 시작하였으며, 24억 년 전에 대산화사건으로 지구 대기의 산소가 풍부해지면서 약 20억 년 전에 'OKLO 원자로'의 안정적 핵분열반응이 시작하게 되었다.

과학자들은 원자력발전소에서 생성된 사용후핵연료의 핵종이 심부지층 내에서 어떻게 거동하는지를 알려고 이 'OKLO 원자로'를 자연유사체로 연구하고 있고, 사용후핵연료가 미래의 환경에 미치는 장기적 영향에 대한 통찰력을 'OKLO 원자로' 자연유사체로 부터 얻고 있다. 예를 들어, 스웨덴의 KBS형 다중 장벽모델이나 프랑스의 CIERG 모델은 이 자연유사체를 자국의 심부지층의 특성에 맞추어 개발한 모델이다. 이 'OKLO 원자로'는 지구상에서 유일한 천연 원자로이기에, 사용후핵연료의 核種 거동과 심부 처분장의 자연유사체로서 과학자들의 많은 관심을 받고 있다.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

구두발표



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-01**

**해수면 변동  
: 과거 현재 그리고 미래**



## 우리나라 주변해역의 과거 수 십 년과 미래 100년 해수면 변화 모의

김철호, 김민우, 장찬주, 강석구

한국해양과학기술원 해양순환·기후연구센터

한반도 주변해역의 과거와 미래 해수면 변화를 평가하고 전망하기 위하여 해양-해빙결합모형을 이용하여 해수면 변화 모의실험을 수행하였다. 사용한 모형은 전지구 0.5도 해상도의 질량 보전형 해양-해빙 결합모형(MOM5-SIS v5)이며, CORE 기후평균강제력(Large and Yeager, 2004)을 적용하여 먼저 500년간 스피업 적분을 시행하였다. 이후 CMIP5 지구시스템모형(Coupled Model Intercomparison Project 5, Earth System Models)들로부터 2개의 서로 다른 기후강제력 조건(GFDL ESM2M, MPI-ESM-LR)을 적용하여 과거 해수면 변동에 대한 모의실험(1951-2005년)과 RCP 4.5 시나리오의 미래 해수면 변화 예측실험(2006-2100년)을 각각 수행하였다. 두 기후강제력에서 추정된 우리나라 주변해의 과거 해수면 상승률은 서로 간에 1mm/yr 크기 정도의 차이(spread)를 보이며, 검조기록에 의한 해수면 상승률 및 위성 해표면 고도에 의한 상승률과도 비교될 만한 정도의 크기를 나타냈다. 과거 기간 동안 모의된 우리나라 주변 지역해의 평균 해수면 변화는 동해와 황해, 동중국해에서 모두 해수면의 상승 경향을 나타내며, 미래 기간의 해수면 변화는 두 예측 실험 모두 과거 기간에 비해 상승률의 가속 경향을 나타냈다. 모형에서 제시하는 해수면의 체적(steric component) 및 비체적 성분(nonsteric component) 분석을 통하여 우리나라 주변해양의 과거와 미래 해수면 상승 원인을 분석하고 제시하였다.

감사의 글 : 이 연구는 2019년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원(북서태평양 해양-대기 상호작용 및 태풍 급강화 현상 연구)과 한국해양과학기술원의 과제 지원(북서태평양 순환과 기후 변동성이 한반도 주변해역 변화와 물질순환에 미치는 영향)으로 수행되었습니다.

## 관측자료 및 고해상도 수치모델을 이용한 한반도 주변 해수면 변동 분석

### Sea Level Change around Korean Peninsula based on observation data and numerical model

김용엽<sup>1</sup>, 조양기<sup>1</sup>, 한기종<sup>2</sup>, 김덕진<sup>1</sup>, 이은일<sup>3</sup>, 정광영<sup>3</sup>  
Yong-Yub Kim<sup>1</sup>, Yang-Ki Cho<sup>1</sup>, Ki-Jong Han<sup>2</sup>, Duk-jin Kim<sup>1</sup>, Eunil  
 Lee<sup>3</sup>, Kwang Young Jeong<sup>3</sup>

서울대학교<sup>1</sup>, (주)유에스티21<sup>2</sup>, 국립해양조사원<sup>3</sup>  
 Seoul National University<sup>1</sup>, UST21<sup>2</sup>, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency<sup>3</sup>

21개 조위관측소의 1989년부터 2017년 간 매시별 해수면 관측자료와 관측소 이력 자료를 국립해양조사원 실시간해양관측시스템(KOOPS)에서 수집하여 분석하였다. 조위관측소 자료로부터 산출한 해역별 해수면 변동률은 남해안(제주 부근 포함) 3.19 mm/yr, 동해안 3.05 mm/yr, 서해안 2.00 mm/yr 순으로 높게 나타났다. 1980년부터 2005년 사이 우리나라 주변 해역에서 해수면 재구성 자료의 상승률은 3.54 mm/yr로 나타났다. 일부 조위관측자료는 주변의 상승률과 크게 다른 경향을 보였다. 특히 포항 조위관측소의 경우 원시자료 해수면 상승률은 주변보다 두 배 이상 높게 나타났는데, 이는 자연 상승률 보다는 관측소 침하에 의한 영향이 큰 것을 확인하였다.

우리나라 주변 해양의 해수면과 해류 상세변화를 이해하기 위하여 1/20° 북서태평양 지역해양 수치모델을 수행하여 과거 30년 기간을 재현하였다. 개방경계에 따른 모델결과를 비교하기 위하여 SODA (Simple Ocean Data Assimilation) 3.4.2 재분석자료 (Control), 전지구 기후모델 중 하나인 NorESM1-M 자료 (Nor), NOAA에서 제공하는 해수면 재구성자료 (ReSSH)를 경계로 하는 실험을 수행하였다. 고해상도 지역해양모델은 황해 저층냉수의 수평 분포, 동해의 주요 해협간 유출입, 쿠로시오 해류, 양자강 저염수의 유출 등을 성공적으로 재현하였다. 1980년부터 2005년까지 control, ReSSH, Nor 실험 결과 우리나라 주변 해역의 평균 해수면 상승율은 각각 2.59 mm/yr, 3.66 mm/yr, 3.13 mm/yr이었다. 구축한 고해상도 지역해양 수치모델을 이용하여 기후변화 시나리오에 따른 2100년까지의 우리나라 주변 상세 해수면 변화를 예측할 예정이다.

## 한반도 연안 단주기(3-30일) 해수면 변동의 전파 특성

이경재<sup>1</sup>, 남성현<sup>1,2</sup>

KyungJae Lee<sup>1</sup>, SungHyun Nam<sup>1,2</sup>

서울대학교 지구환경과학부<sup>1</sup>, 서울대학교 해양연구소<sup>2</sup>

School of the Earth and Environmental Sciences, Seoul National University<sup>1</sup>  
Research Institute of Oceanography, Seoul National University<sup>2</sup>

21개 조위관측소의 1989년부터 2017년 간 매시별 해수면 관측자료와 관측소 이력 자료를 국립해양조사원 실시간해양관측시스템(KOOPS)에서 수집하여 분석하였다. 조위관측소 자료로부터 산출한 해역별 해수면 변동률은 남해안(제주 부근 포함) 3.19 mm/yr, 동해안 3.05 mm/yr, 서해안 2.00 mm/yr 순으로 높게 나타났다. 1980년부터 2005년 사이 우리나라 주변 해역에서 해수면 재구성 자료의 상승률은 3.54 mm/yr로 나타났다. 일부 조위관측자료는 주변의 상승률과 크게 다른 경향을 보였다. 특히 포항 조위관측소의 경우 원시자료 해수면 상승률은 주변보다 두 배 이상 높게 나타났는데, 이는 자연 상승률 보다는 관측소 침하에 의한 영향이 큰 것을 확인하였다.

우리나라 주변 해양의 해수면과 해류 상세변화를 이해하기 위하여 1/20° 북서태평양 지역해양 수치모델을 수행하여 과거 30년 기간을 재현하였다. 개방경계에 따른 모델결과를 비교하기 위하여 SODA (Simple Ocean Data Assimilation) 3.4.2 재분석자료 (Control), 전지구 기후모델 중 하나인 NorESM1-M 자료 (Nor), NOAA에서 제공하는 해수면 재구성자료 (ReSSH)를 경계로 하는 실험을 수행하였다. 고해상도 지역해양모델은 황해 저층냉수의 수평 분포, 동해의 주요 해협간 유출입, 쿠로시오 해류, 양자강 저염수의 유출 등을 성공적으로 재현하였다. 1980년부터 2005년까지 control, ReSSH, Nor 실험 결과 우리나라 주변 해역의 평균 해수면 상승률은 각각 2.59 mm/yr, 3.66 mm/yr, 3.13 mm/yr이었다. 구축한 고해상도 지역해양 수치모델을 이용하여 기후변화 시나리오에 따른 2100년까지의 우리나라 주변 상세 해수면 변화를 예측할 예정이다.

## HadGEM2-AO 기반의 미래 해수면 전망과 우리나라 미래 해수면 상승

김영미, 구태영, 변영화

국립기상과학원 기후연구과

대기 중 이산화탄소의 증가는 전지구 대기과 해양의 온도를 상승시켰다. 해양온난화는 해수면 상승의 주요한 원인이 되고 있으며 연안에 사는 많은 사람들이 해수면 상승에 영향을 받고 있다. 한반도는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며 많은 사람들이 연안에 살고 있어 미래 해수면 변화를 전망하고 이에 대비하는 것이 필요하다.

해수면은 지구온난화에 의한 해양의 열적팽창과 해양의 질량증가에 의해 변화한다. 현재 해수면 변화의 원인을 모델로 구현하는데 한계가 있기 때문에 진단적인 방법을 사용하여 미래 해수면변화를 전망한다. 해양의 열적팽창은 대기-해양 결합모델을 이용하여 주로 전망하며 질량의 증가는 각 원인별로 다른 방법을 사용한다. 본 연구에서는 HadGEM2-AO 의 기온과 강수량자료를 이용하여 경험식에 의해 빙상과 빙하의 해빙에 의한 해양의 질량변화를 추정하고 이를 기초로 20세기말 대비 21세기말이 해수면 변화를 전망하였으며 CMIP5 21개 앙상블 자료와 비교하여 본 연구결과가 21개 앙상블 자료의 불확실성 범위 내에 들어오는 것을 확인하였다. 또한 본 연구에서는 CMIP5 21개 앙상블자료와 본 연구에서 전망한 결과를 이용하여 20세기말 대비 21세기말의 우리나라의 미래 해수면 변화를 분석하였다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「기상업무지원기술개발연구」 기후변화 예측기술지원 및 활용연구(KMA2018-00321)의 지원으로 수행되었습니다.

## Contribution of the Antarctic Ice Sheet to Future Sea Level Rise by a Fully Coupled Model

Jun-Young Park<sup>1,2</sup>, Fabian Schloesser<sup>3</sup>, Axel Timmermann<sup>1,2,3</sup>,  
Dipayan Choudhury<sup>1</sup>, June-Yi Lee<sup>1,2,4</sup>, David Pollard<sup>5</sup>

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

Department of Climate System, Pusan National University, Busan, South Korea<sup>2</sup>

International Pacific Research Center, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA<sup>3</sup>

Research Center for Climate Sciences, Pusan National University, Busan, South Korea<sup>4</sup>

Earth and Environmental Systems Institute, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, USA<sup>5</sup>

Antarctic ice sheet (AIS) has a large potential contribution to future global mean sea level (GMSL) rise under anthropogenic global warming. While observational data indicates the AIS meltwater flux to be recently increasing, it has been hypothesized that positive-feedbacks between AIS meltwater flux and subsurface Southern Ocean warming could substantially accelerate AIS melting. Thus, GMSL projections using uncoupled ice sheet models which do not account for this feedback may need to be reevaluated. Here, we present GMSL projections with a three-dimensional coupled climate-ice sheet model for the Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5 scenario. By the 2100 year, rapid AIS collapse equivalent to 1.28 m leads to GMSL rise 0.12 m. Independent sensitivity experiments show that AIS meltwater flux causes subsurface Southern Ocean warming which leads to an additional 20% AIS melting. But the AIS meltwater flux also induces a negative-feedback to 0.3°C reduction in surface temperature projections by the 2100 year. However, subsurface Southern Ocean temperature increasing over a threshold value may lead to substantial AIS retreat and unexpected future GMSL rise.

Thanks : This research was conducted by the Institute for Basic Science support (project code IBS-R028-D1).

## Impact of Antarctic meltwater forcing on East Asian climate under greenhouse warming.

Ji-Hoon Oh<sup>1</sup>, Jong-Seong Kug<sup>1</sup>, Won-Sun Park<sup>2</sup>, Hyung-Gyu Lim<sup>1</sup>,  
Kyung-Min Noh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang, Korea

<sup>2</sup>GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Duesternbrooker Weg 20, D-24105 Kiel, Germany

Under global warming, the contradiction had been observed as long-term cooling trend in Antarctic climate. In contrast, it has been reported that Antarctic warming is also observed in recent decade, that releases the enormous meltwater from the melting Antarctic ice sheet and ice shelf into the Southern Ocean. The previous studies suggested that the increase of Antarctic meltwater could delay global warming in the Southern Hemisphere. However, the impact of enormous meltwater forcing on the global climate is not comprehended. In this study, we employed Kiel Climate Model (KCM) to investigate the effect of meltwater in global warming via the idealized Antarctic meltwater forcing simulation. We found that the Antarctic meltwater accelerates additional warming in the East Asia while the meltwater forcing reduces the positive trend of global warming in the Southern Hemisphere as shown as previous studies. In this experiments, the Antarctic meltwater leads to the positive sea-ice concentration anomaly in the Southern Hemisphere, which strongly reduces surface air temperature via the positive ice-albedo feedback. Subsequently, the cold anomaly in the Southern Ocean enhances the meridional temperature gradient, which enhances westerly winds, northward shift of Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ), and in turn the negative precipitation anomaly in the Western North Pacific. This negative precipitation induces the Gill-type Rossby-wave response, which develops Philippine Sea Anticyclone in the lower troposphere and cyclonic flow in the upper troposphere. The upper cyclonic flow enhances Kuroshio Anticyclone via the Rossby-wave propagation. In this study, we suggest a possible mechanism of interaction between both Hemispheres, that would alter the acceleration in the East Asia warming trend.

## RCP 시나리오 기반 동남극 데이비드 빙하-드라이갈스키 빙설 용융 및 연관된 해수면 변동 예측

박인우<sup>1</sup>, 진경<sup>2</sup>, 이원상<sup>2</sup>, 이강근<sup>1</sup>

서울대학교<sup>1</sup>, 극지연구소<sup>2</sup>

Under global warming, the contradiction had been observed as long-term cooling trend in Antarctic climate. In contrast, it has been reported that Antarctic warming is also observed in recent decade, that releases the enormous meltwater from the melting Antarctic ice sheet and ice shelf into the Southern Ocean. The previous studies suggested that the increase of Antarctic meltwater could delay global warming in the Southern Hemisphere. However, the impact of enormous meltwater forcing on the global climate is not comprehended. In this study, we employed Kiel Climate Model (KCM) to investigate the effect of meltwater in global warming via the idealized Antarctic meltwater forcing simulation. We found that the Antarctic meltwater accelerates additional warming in the East Asia while the meltwater forcing reduces the positive trend of global warming in the Southern Hemisphere as shown as previous studies. In this experiments, the Antarctic meltwater leads to the positive sea-ice concentration anomaly in the Southern Hemisphere, which strongly reduces surface air temperature via the positive ice-albedo feedback. Subsequently, the cold anomaly in the Southern Ocean enhances the meridional temperature gradient, which enhances westerly winds, northward shift of Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ), and in turn the negative precipitation anomaly in the Western North Pacific. This negative precipitation induces the Gill-type Rossby-wave response, which develops Philippine Sea Anticyclone in the lower troposphere and cyclonic flow in the upper troposphere. The upper cyclonic flow enhances Kuroshio Anticyclone via the Rossby-wave propagation. In this study, we suggest a possible mechanism of interaction between both Hemispheres, that would alter the acceleration in the East Asia warming trend.





**THE 2<sup>nd</sup>**  
**KOREA GEOSCIENCE UNION**  
연례학술대회

**JS-02**  
**미세먼지**



## 미세먼지 예보 정확도 향상 연구 The study on the improvement of national air quality forecasting

장임석, 정미숙  
Lim-Seok Chang, Misuk Jeong

국립환경과학원 대기질통합예보센터  
Air quality forecasting center  
National Institute of Environmental Research

대기질 예보는 개인이나 조직이 과학적 수단을 이용하여 미래의 대기질을 예측하는 것이다. 태풍, 폭우, 지진이나 해일 등 자연재해를 예측하면 피해를 줄일 수 있다. 지진이나 해일처럼 천문학적인 피해일수록 예측의 선행시간은 매우 짧다. 그에 반해 사회재난인 미세먼지가 인체에 위협한 오염 수준까지 증가하기까지는 하루 이상 소요된다. 미세먼지 오염으로부터 건강 피해를 줄이기 위한 사전 대비가 가능하다.

미세먼지 예보제 시행 이후 수치 모델의 정확도를 개선하기 위한 다양한 시도들-입력 자료의 불확도 개선, 자료동화기술의 적용, 앙상블 예보, 인공 지능 기술, 상세화 기술 등-이 있었다. 그간 국립환경과학원을 중심으로 수행되었던 다양한 연구를 통해 얻은 성과와 한계, 미래 연구 방향에 대해 소개하고자 한다.

AERONET 자료와 MERRA-2 재분석장을 이용한 한반도에서의  
에어로졸 유형 분류 및 특징  
Characteristics and classification of aerosol type in South Korea  
using AERONET data and MERRA-2 reanalysis

이주희<sup>1</sup>, 구자호<sup>2</sup>, 이윤곤<sup>1</sup>  
JuHee Yi<sup>1</sup>, Ja-Ho Koo<sup>2</sup>, Yon Gon Lee<sup>1</sup>

충남대학교 대기과학과<sup>1</sup>, 연세대학교 대기과학과<sup>2</sup>  
ChungNam National University Department of Atmospheric science<sup>1</sup>,  
Yonsei University Department of Atmospheric science<sup>2</sup>

Nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons (NPAHs) are derivatives of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) with one or more nitro functional groups. NPAHs are released directly into the atmosphere during combustion processes or, in the atmosphere, formed by both gas and heterogeneous phase reaction of PAHs with nitrogen oxides generated by OH or NO<sub>3</sub> radicals. PAHs are commonly known for their toxic effects but NPAHs which are one tenth the portion of PAHs presents in the atmosphere have 10 and 100,000 times higher carcinogenicity and mutagenicity than PAHs. Despite the detrimental effects, there are few researches and standardized methodology in Korea. In this study, we present the optimized methodology for monitoring NPAHs in the laboratory using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Optimization was performed by identifying optimum, column polarity, temperature program, injection, and detection mode. A total of 31 NPAHs were analyzed. As a result, negative chemical ionization mode, NCI was adopted. A DB-17MS (30m×0.25mm×0.25μm, film thickness, J&Q Scientific) was used. A programmed temperature vaporization injector (PTV) splitless injection mode and a step-wise temperature-raising program were used. For quality assurance and quality control, NPAHs standard reference materials (SRM 2264 and 2265, National Institutes of Standards and Technology) were analyzed displaying a great agreement with the results in the literature. The method was applied to analyze atmospheric filter samples collected in from Tianjin, China. This method will be used as a basis for analysis and understanding of NPAHs in our future studies.

## 항만지역 미세먼지 인벤토리에 대한 리뷰 Review on the Inventory of Particulate Matter in Sea Port areas

현상민, 강정원  
Sangmin Hyun<sup>1</sup>, Jeoungwon Kang<sup>2</sup>

Korea Institute of Ocean Science and Technology<sup>1,2</sup>

최근 기후변화나 대기오염과 관련하여 미세먼지(Particulate Matter, PM)는 최대의 화두가 되고 있다. 그만큼 미세먼지는 우리들의 일상생활과 밀접히 관련되고 있기 때문이다. 직경 10um이하의 부유물질을 미세먼지로 정의한다면, 미세먼지는 다양한 곳에서 기인하는 것으로 보고되고 있다. 대기에서 광화학 반응으로 2차적으로 생성된 미세먼지를 포함하여 대륙이나 해양 등에서 기인한다고 할 수 있다. 또한 인간활동에 수반되어 만들어지기도 하고 인간이 만들어 낸 직간접적인 시설물이나 기기 등에 의해서 미세먼지가 생성된다. 따라서 미세먼지 인벤토리를 생각할 때는 어떤 종류의 미세먼지가, 혹은 어떤 특성을 가지는 미세먼지가 어디에서 만들어 지는지를 파악할 필요가 있다. 기본적으로 미세먼지는 다양한 곳에서 만들어 지는데, 여기서는 항만지역에서 미세먼지 발생과 관련된 인벤토리를 기존 보고결과를 바탕으로 논해보기로 한다.

1차 미세먼지는 미세먼지(PM), 블랙카본(BC), 황산화물(SOx), 질소화합물(NOx), 암모니아(NH3), 일산화탄소(CO), 메탄(CH4), 벤젠(C6H6), 비메탄계 휘발성유기화합물(NMVOCs), 벤조피렌(BaP), 특정 금속물질 및 다환 방향족 탄화수소(PAH) 등이 있다. 오염물질인 2차 미세먼지는 미세먼지(PM), 오존(O3), 이산화질소(NO2)등이 있으며, 오염물질로 2차 미세먼지의 전구가스가 되는 것은 SO2, NOx, NH3, VOCs, 등이 있다.

이처럼 미세먼지는 생성장소에 따라 다른 종류의 미세먼지의 나올 수 있으며, 특성과 종류에 따라서도 다양하게 분류할 수 있다. 예를 들어, 미국의 샌프란시스코 항에서 대기로 방출되는 미세먼지는 활성 유기가스(reactive organic gases; ROG), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 디젤기원 미세먼지를 포함한 미세먼지(Particulate matter, including diesel particulate matter; PM), 황산화물(SOx)로 구분 가능하다(Environ, 2015). 이 연구에서는 이와 같이 항만지역에서 미세먼지 인벤토리에 대해 기존에 보고된 내용을 중심으로 살펴보기로 한다.

## 위성 편광관측을 통한 대기 중 미세먼지 측정 Polarimetric Detection of Fine Dust and Water Vapors in the Atmosphere from Satellites

김성수<sup>1</sup>, 최영준<sup>2</sup>, 심채경<sup>1</sup>, 정민섭<sup>2</sup>, Rosemary Baize<sup>3</sup>, Wenbo Sun<sup>3</sup>,  
Snorre Stamnes<sup>3</sup>, Yongxiang Hu<sup>3</sup>, Ali Omar<sup>3</sup>, Gorden Videen<sup>4</sup>  
Sungsoo S. Kim, Young-Jun Choi, Chae Kyung Sim, Minsup Jeong, Rosemary  
Baize, Wenbo Sun, Snorre Stamnes, Yongxiang Hu, Ali Omar, Gorden Videen

경희대학교<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>, NASA Langley Research Center<sup>3</sup>,  
US Army Research Laboratory<sup>4</sup>  
Kyung Hee University, Korea Astronomy and Space Science Institute,  
NASA Langley Research Center, US Army Research Laboratory

입자에서 산란된 빛은 일부 편광된다. 편광의 방향과 정도는 빛을 산란시킨 입자의 특성이 반영되므로, 지구 궤도에서 편광을 측정하면 대기 중 입자의 특성을 추정할 수 있다. 본 발표에서는 위성으로부터의 편광관측을 통해 대기 중 미세먼지와 수증기를 측정하는 방법에 대해 논의한다. 널리 이용되고 있는 측광 및 분광에 비해 편광 측정이 주는 이점에 대해 소개한다. 또한 현재 천문연구원, 경희대학교, NASA Langley 연구소, 미육군 연구소 간에 논의되고 있는 편광관측용 큐브위성 공동제작 연구에 대해서도 소개한다.

## 2019년 고농도 미세먼지의 TEM 단일 입자 특성 TEM Single Particle Properties of Severe Haze in 2019

정기영  
Gi Young Jeong

안동대학교 지구환경과학과  
Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National  
University

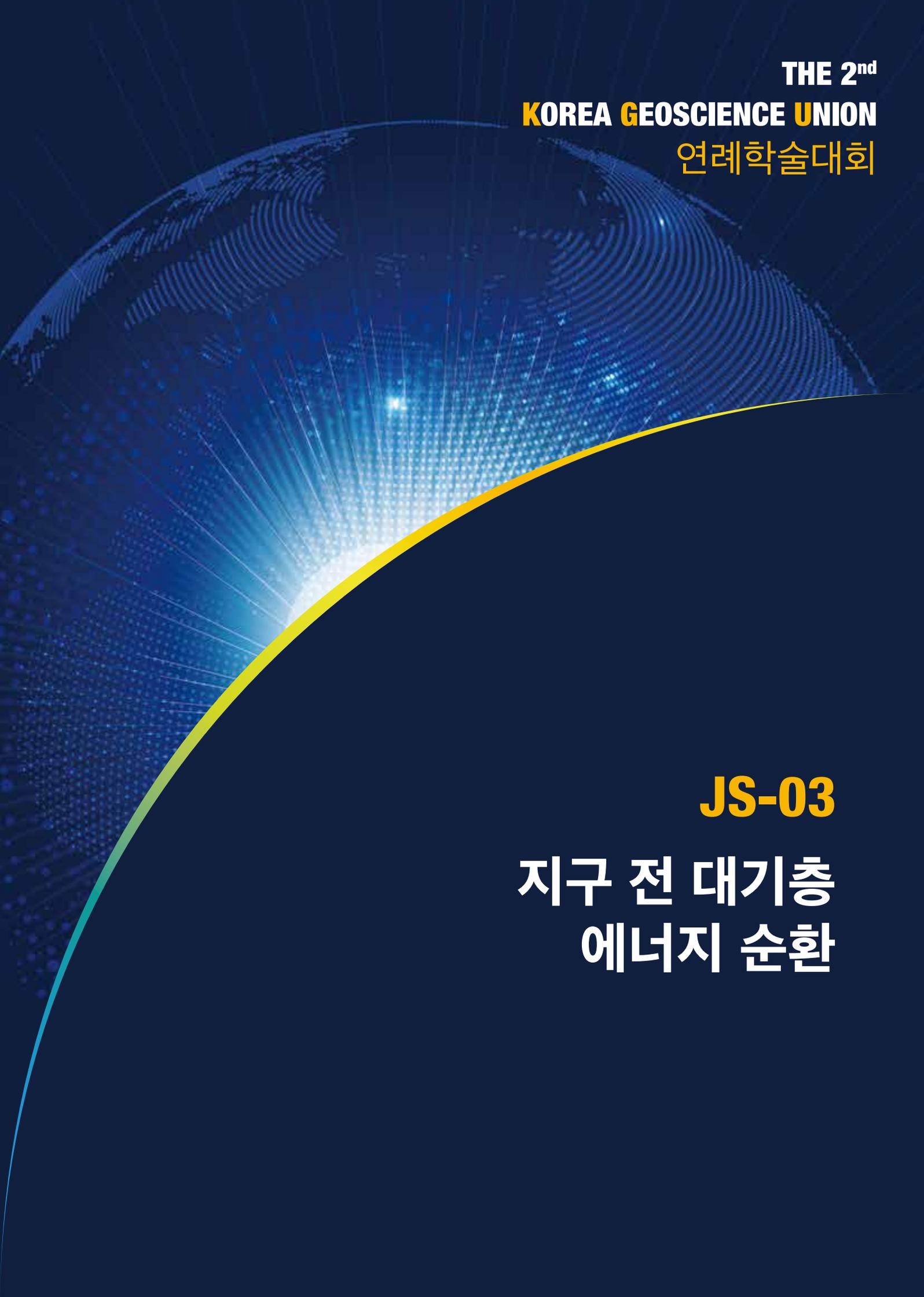
2019년 1-3월 사이에 나타난 미세먼지 단일입자의 입자형태, 구조, 화학조성을 투과전자현미경으로 분석하였다. 미세먼지 입자는 2  $\mu\text{m}$  이하의 크기이며, 전반적으로 S-O-N-K-Na 입자와 탄소입자가 다양한 비율로 혼합되어 있다. 고농도 미세먼지 발생시기에는 구상 실리카 입자들이 관찰되었다. 중금속은 단일 입자를 형성하지 않고, 이들 입자에 산포되어 있다. Zn, Pb, Fe이 가장 흔한 중금속이었는데, Zn은 입자상으로 거의 나타나지 않지만 Pb와 Fe는 극미세 입자상으로 함유되어 있었다. 그 외 As, Se, Sn, Sb, Ga, Ge, Rb, Sr, Ba, V, Ni, W, Br, I 등이 검출되었다. Cu 입자도 관찰되었으나, 대부분 그리드와 구분하기 어려워 이번 분석에서는 빈도를 판단하기 어려웠다. 중금속의 종류와 빈도 그리고 입자의 형태, 구조, 조성으로부터 고농도 시기의 미세먼지 입자들은 주로 석탄연소로 발생한 것으로 보인다.

## 다양한 연무 사례에 따른 에어로졸-기상 상호작용 분석 Analysis of Aerosol-Meteorology Interactions During Haze Event

박성민, 은승희, 김병곤\*  
Sung-Min Park, Seung-Hee Eun, Byung-Gon Kim\*

강릉원주대학교 대기환경과학과  
Department of Atmospheric Environmental Sciences, Gangneung-Wonju  
National University

한반도는 최근 고농도의 에어로졸에 의한 연무현상이 빈번히 발생하고 있으며, 이로 인한 많은 사회, 경제적 피해를 받고 있다(Eun et al., 2018). 하지만 이러한 문제를 야기하는 에어로졸의 이해는 아직 부족한 상황이다. 따라서 본 연구는 연무를 유발하는 고농도 에어로졸 원인 분석 차원에서 연무분류방법(Lee et al., 2017)을 이용하여 6년간(2011-2016) 한반도에서 발생한 연무 사례를 장거리이동 연무(LH), 황사(YS), 도시 연무(UH)로 각각 분류하고, 연무 종류별 ‘에어로졸-기상 상호작용’을 분석하였다. 본 연구는 에어로졸과 연관된 기상변수로 강수, 혼합고(BLH), 하층 정적 안정도(LTS), 850hPa에서의 풍속(WS)을 선정하고 이들을 주로 분석하였다. 각각의 연무 종류별 강수 특징을 분석한 결과, LH 사례 경우, 연무 기간 중 강수 발생 빈도의 변동은 에어로졸 농도 변동과 동시에 일어나는 경향이 있었으며, 이는 고농도의 에어로졸이 작은 구름방울 개수를 증가시켜 약한 강수를 지속시켜 발생된 현상으로 생각되어진다. 한편 YS 경우, 강수 발생 이후 높은 에어로졸 농도가 관측되었으며 이는 종관 영향에 지배 받는 것으로 생각된다. 그러나 UH 경우, LH, YS의 동일한 분석방법으로는 뚜렷한 강수 특징이 확인되지 않았다. 강수 이외에 기상변수(BLH, LTS, WS)를 분석한 결과, 흥미롭게도 LH 사례 경우, BLH와 WS는 6년 평균값 보다 큰 수준이었으며, LTS는 평균값 보다 낮은 안정도가 나타났다. 반면에 UH 사례는 BLH와 WS는 평균값 보다 작았으며, LTS는 평균값 보다 높은 값(안정도 증가)이 나타났다. 다양한 연무사례 분석 결과, 에어로졸과 연관된 기상변수간의 상호작용 메커니즘이 다르게 작동하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 BLH, LTS, WS 등 기상변수와 에어로졸 상호 연관성을 장기 통계적 측면뿐만 아니라 연무 종류별 에피소드 분석도 함께 수행할 예정이다.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-03**

지구 전 대기층  
에너지 순환



## Comparison between wind blocking fields and propagating directions of mesospheric gravity waves observed from all-sky imagers over King Sejong Station, Antarctica

Hosik Kam<sup>1,2</sup>, Yong Ha Kim<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>2</sup>, Takuji Nakamura<sup>3,4</sup>, Masaki Tsutsumi<sup>3,4</sup>, Yoshihiro Tomikawa<sup>3,4</sup>, Masaru Kogure<sup>3</sup>, Septi Perwitasari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Astronomy, Space, and Geology, Chungnam National University, Daejeon, South Korea, <sup>2</sup>Division of Polar Climate Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, South Korea, <sup>3</sup>National Institute of Polar Research, Tachikawa, Japan, <sup>4</sup>Department of Polar Science, SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies), Tachikawa, Japan

We analyzed mesospheric gravity waves in OH airglow images observed during 2012–2016 by an all-sky camera at King Sejong Station (KSS; 62°S, 58°W), Antarctica. Using a new method of 2D image analysis recently developed by Matsuda et al. (2014), we obtained power spectra of horizontal phase velocity from the image sequence of total 107 image windows. We found from total power spectrum density that wave activity is maximized during winter, as is previously known. We also derived wind blocking fields from MERRA2 reanalysis data for the altitudes 10 – 64 km and from KSS meteor radar data for 80 – 90 km. By comparing the dominant propagating direction of short period gravity waves with the wind blocking field, we found a significant anti-correlation between wind blocking fields and dominant propagating direction of gravity waves except fall season, indicating wind filtering effects. The finding is the direct evidence of wind filtering effects observed in the mesosphere for the first time. During fall, the wind blocking fields below ~40 km are not matched with the dominant propagating directions. Thus, we suggest that mesospheric gravity waves observed by the all-sky camera during fall were generated above ~40 km (upper stratosphere and lower mesosphere), probably due to secondary waves. This exception will open up theoretical questions in middle atmosphere dynamic research area.

## Tidal Characteristics in Thermosphere and Ionosphere

Young-Sil Kwak<sup>1 2</sup>

Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>1</sup>  
Korea University of Science and Technology<sup>2</sup>

Atmospheric tides (solar thermal tides) have been recognized as an important source of the longitudinal modulation of the thermosphere in low latitudes. Atmospheric tides are periodic oscillations of the atmosphere and are produced when the atmosphere is periodically heated by the absorption of solar radiation. Tides in the troposphere propagate away from the source region and ascend into the mesosphere and thermosphere. Atmospheric tides are divided into migrating and nonmigrating tides. Migrating tides are Sun-synchronous tides; they propagate westward with the apparent motion of the sun when they are viewed by a stationary observer on the ground. Nonmigrating tides are tides that do not follow the apparent solar motion. These nonmigrating tides may be generated by differences in topography with longitude, land-sea contrast, and surface interactions. Another important source of nonmigrating tides is latent heat release due to deep convection in the tropics. In this talk, I would like to introduce the tidal characteristics in thermosphere and ionosphere seen by satellite observation data analysis.

## Characteristics and Sources of Inertia Gravity Waves revealed in the Radiosonde Observation at Jang Bogo Station (JBS), Antarctica

Ji-Hee Yoo<sup>1</sup>, Hye-Yeong Chun<sup>1</sup>, In-Sun Song<sup>2</sup>, and Byeong-Gwon Song<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University

<sup>2</sup> Division of Polar Climate Research, Korea Polar Research Institute

Characteristics and sources of inertia gravity waves (IGWs) in the lower stratosphere ( $Z = 15\text{--}22\text{km}$ ) are investigated using high-resolution radiosondes launched at Jang Bogo Station (JBS), Antarctica ( $74^\circ\text{S}$ ,  $164^\circ\text{E}$ ) for 3 years (December 2014–December 2017). The average intrinsic frequency, vertical wavelength, and horizontal wavelength are  $2.04f$  (where  $f$  is the Coriolis parameter), 1.47 km, and 216.77 km, respectively. To examine the propagation and potential sources of the IGWs, a three-dimensional backward ray-tracing calculation is performed using the Gravity wave Regional Or Global Ray Tracer (GROGRAT) with the wave characteristics. Taking into account the uncertainties of the initial wave parameters, a set of 125 rays containing the arbitrary errors on the observe wave parameters are constructed, and the waves that satisfy a convergence criterion are used exclusively to identify potential sources. Among the total 248 IGWs, 68, 68, and 112 waves are terminated in the lower stratosphere ( $Z = 15\text{--}18.5\text{ km}$ ), tropopause ( $Z = 8\text{--}15\text{ km}$ ), and troposphere ( $Z < 8\text{ km}$ ), respectively. The termination positions in the tropopause and stratosphere tend to locate in the southwestern region far away from JBS, while those in the troposphere locate in the northwestern and southwestern regions close to JBS. There are pronounced seasonal variations in the propagation and termination locations: rays tend to travel longer horizontal distances from their sources during autumn to spring periods than in summertime. We classify the potential sources of the IGWs: orography, frontal system, and convection in the troposphere and flow imbalance in the tropopause and stratosphere. Out of the 112 waves terminated in the troposphere, 75, 35, and 28 waves are generated by the surface front, orography, and convection, respectively. Out of 68 (68) waves terminated in the tropopause (lower stratosphere), 30 (40) waves are found to be generated by flow imbalance. Among those 30 waves generated by flow imbalance in the tropopause, 14 cases are associated the polar front jet. The waves associated with the flow imbalance in the tropopause and stratosphere are characterized by low intrinsic frequency ( $1\text{--}2f$ ), short vertical wavelength (1–2 km), and longer horizontal wavelength (50–1000km), whereas the waves induced by the tropospheric sources have wider ranges of intrinsic frequency ( $1\text{--}20f$ ) and vertical wavelengths (1–15 km) and have relatively short horizontal wavelengths (less than 500 km). In addition to the sources, the background wind and stability influence on the wave characteristics significantly.

Thanks : This research was supported by Korea Polar Research Institute.

## Unusual Radar Echo from the Wake of Meteor Fireball in Nearly Horizontal Transits in the Summer Polar Lower-Thermosphere

YoungSook Lee<sup>1</sup> , Sheila Kirkwood<sup>2</sup> , Young-Sil Kwak<sup>3</sup>

Chungnam National University<sup>1</sup> , Swedish Institute of Space Physics<sup>2</sup> , Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>3</sup>

The summer polar lower thermosphere (90–100 km) has an interesting connection to meteors, adjacent to the mesopause region attaining the lowest temperature in summer. Meteors supply condensation nuclei for charged ice particles causing polar mesospheric summer echoes (PMSE). We report the observation of meteor trail with nearly horizontal transit at high speed (20–50 km/s), and at last with re-enhanced echo power followed by diffusive echoes. Changes in phase difference between radar receivers aligned in meridional and zonal directions are used to determine variations in horizontal displacements and speeds with respect to time by taking advantage of radar interferometric analysis. The actual transit of echo target is observed along the straight pathway vertically and horizontally extended as much as a distance of at least 24 km and at most 29 km. The meteor trail initially has a signature similar to ‘head echoes’, with travel speeds from 20 – 50 km/s. It subsequently transforms into a different type of echo target including specular echo and then finally the power reenanced. The reenancement of echo power is followed by fume-like diffusive echoes, indicating sudden release of plasma as like explosive process probably involved. We discuss a possible role of meteor-triggered secondary plasma trail, such as fireball embedded with electrical discharge that continuously varies the power and transit speed.

## Gravity Wave Activities in the Upper Mesosphere Observed by Meteor Radar at King Sejong Station, Antarctica and Their Potential Sources

Byeong-Gwon Song<sup>1</sup>, In-Sun Song<sup>1</sup>, Hye-Yeong Chun<sup>2</sup>,  
and Changsup Lee<sup>1</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Yonsei University<sup>2</sup>

Gravity wave (GW) activities in the upper mesosphere and their potential sources in the lower atmosphere are investigated using meteor radar observations at King Sejong Station, Antarctica (KSS; 62.22°S, 58.78°W) during 2007–2014. GW activities are estimated through hourly wind variances obtained from an improved methodology that explicitly removes large-scale wind components (including planetary waves and tides) from observed meteor echoes. A semi-annual variation of the GW activities with solstitial maxima and equinoctial minima is evident, except above 94 km where GW activities are strong in August–September. Potential GW sources in the lower atmosphere, including orography, jet stream, and deep convection, are investigated. Steep orography around KSS is a likely source of the GWs in winter and autumn, as stationary mountain waves can propagate up into the upper mesosphere without being filtered by the westerlies from the surface to the upper mesosphere. The residual of the nonlinear balance equation at 5 hPa, which is a diagnostic of flow imbalance associated with the polar night jet (PNJ), correlate well with the observed GW activities at  $z = 98$  km during spring and autumn, while no significant correlation is found in wintertime due to critical-level filtering and Doppler shifting via the strong PNJ. Deep convection over mid-latitudes is a likely source of the observed GWs in nearly all seasons, with significant correlations in storm tracks in winter.

Thanks: This work was supported by Korea Polar Research Institute grant PE19020.

## Numerical modeling study on the middle atmospheric changes by medium energy electron (MEE) in the polar region

이지희<sup>1</sup>, 지건화<sup>1</sup>, 광영실<sup>2</sup>, 송인선<sup>1</sup>  
Ji-Hee Lee<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Young-Sil Kwak<sup>2</sup>, In-Sun Song<sup>1</sup>

극지연구소<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>

Energetic particle precipitation (EPP) is an important source of chemical changes in the polar middle atmosphere. Recently, it has been inferred from the model study that chemical change by EPP causes dynamic change related to climate variation. Here, we study the atmospheric and climatic responses by precipitation of medium-energy electron (MEE) during 2005–2013 using Specific Dynamics Whole Atmosphere Community Climate Model (SD-WACCM). Results show that MEE significantly increases the amount of NO<sub>x</sub> and HO<sub>x</sub>, resulting in mesospheric and stratospheric ozone decrease of up to 55% and 20 % during the polar winter. The mesospheric ozone loss induces the radiative warming of up to 2K and the reduction of zonal wind of down to 3 m/s. We find that MEE precipitation induces the weak downwelling in the polar mesosphere during polar winter. The MEE forcing also delays the penetration to the pole region of strong downwelling. It is related that unexpected cooling inconsistent with the radiative warming by ozone loss during mid-winter. By MEE forcing, the delay for penetration of strong downward wind leads to a change of the downward wind of about 10% in the pole region. For sudden stratospheric warming (SSW) events occurred in January, the longer and stronger downwelling induced by MEE forcing leads to adiabatically warming, resulting in stronger wind reversal at SSW onset.

## Dynamic initialization for whole atmosphere modeling and real-case simulations for gravity waves excited from balanced flows

송인선<sup>1</sup>, 전해영<sup>2</sup>, 지건화<sup>1</sup>  
I.-S. Song<sup>1</sup>, H.-Y. Chun<sup>2</sup>, and G. Jee<sup>1</sup>

극지연구소<sup>1</sup>, 연세대학교<sup>2</sup>  
 Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Yonsei University<sup>2</sup>

An iterative dynamic initialization method is presented to produce balanced initial conditions for whole atmospheric global model. In this method, a global model is iteratively nudged toward ground-to-space wind and temperature profiles at specific date and time. Ground-to-space atmospheric profiles are obtained by fitting spline curves to reanalyses below the lower mesosphere and empirical model results in the upper atmosphere. An optimal nudging coefficient is determined by examining if reasonable structure of mesospheric gravity wave momentum forcing and residual mean meridional circulations can be obtained from balanced initial conditions. The iterative dynamic initialization allows for dynamical balance among the model's prognostic variables and reduces excitation of spurious GWs and noises at initial time. However, theoretical imbalances, measured by the ellipticity of the nonlinear balance equation, are not completely eliminated in balanced flows, and they are found in narrow tropospheric frontal regions and over localized areas associated with the large-scale instability in the mid-latitude middle atmosphere. Real-case simulations for 2 January 2014 and 25 June 2010 are carried out using the global model for the purpose of understanding the generation of gravity waves from balanced initial states. Horizontal grid spacing of the model is globally quasi-uniform and approximately 25 km, and the number of vertical layers below  $z = 140$  km is 248, with vertical grid spacing of 200 m throughout the stratosphere. The model is initialized using the dynamic initialization method presented above, and nearly no gravity-wave signals are found in initial conditions. Real-case simulations demonstrate that large activities of gravity waves in the mid-latitude troposphere are initially found in areas of large baroclinicity around the jet regions.

Thanks : This work was supported by research fund PE18020 from Korea Polar Research Institute and funded by the KMA/NMSC's (Korea Meteorological Administration/National Meteorological Satellite Center) project (NMSC-2016-3137). Also, this work was supported by the National Institute of Supercomputing and Network/Korea Institute of Science and Technology Information with supercomputing resources including technical support (KSC-2015-C3-025).

## Storm-time observations in the polar region

권혁진<sup>1</sup> , 지건화<sup>1 2</sup> , 김정한<sup>1</sup> , 이창섭<sup>1</sup> , 함영배<sup>1 2</sup>  
Hyuck-Jin Kwon<sup>1</sup> , Geonhwa Jee<sup>1</sup> , Jeong-Han Kim<sup>1</sup> , Changsup Lee<sup>1</sup> ,  
Young-bae Ham<sup>1</sup>

극지연구소<sup>1</sup> , 과학기술연합대학원대학교<sup>2</sup>  
Korea Polar Research Institute<sup>1</sup> , University of Science and Technology<sup>2</sup>

Korea Polar Research Institute(KOPRI) have been operated several instruments at Jang Bogo Station(JBS, 74.62° S, 164.23° E) in Antarctica since 2014 in order to observe the variations of upper atmosphere and geomagnetic field in the polar region. Two geomagnetic storms associated coronal mass ejection and co-rotating interaction region were occurred in 11 and 14 May in 2019. During this interval, geomagnetic condition was quietly disturbed, Kp index increased up to 7 and Dst index decreased near -100 nT. In this study, we report the observations by Fabry-Perot Interferometer(FPI), All-sky Camera(ASC), and magnetometers installed at JBS. ASC observed strong aurora activity and neutral wind varied at the same time of aurora brightening. Two types of magnetometers, which are overhauser and search-coil also observed positive bay and broad band fluctuation. These phenomena were caused by the changes of current system in the ionosphere associated with geomagnetic storm and substorm.

## 남극 장보고 과학기지의 오존존데와 위성자료를 이용한 연직 오존 분포 비교

구자호<sup>1</sup>, 최태진<sup>2</sup>, 이하나<sup>1</sup>, 안다현<sup>1</sup>, 김준<sup>1</sup>, 김성중<sup>2</sup>, 유재일<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 대기과학과, <sup>2</sup>한국해양과학기술원 부설 극지연구소

남극 성층권의 오존 분포를 모니터링하기 위해, Aura 위성에 탑재된 Microwave Limb Sounder (MLS)와 Suomi-NPP에 탑재된 Ozone Mapping Profiler Suite (OMPS)는 Limb-viewing 방법을 이용하여 오존 프로파일을 관측하고 있다. 위성자료를 지상에서 관측한 오존 존데와 검증함으로써, 자료의 활용도를 높일 수 있다. 한국해양과학기술원 부설 극지연구소는 남극 장보고 과학기지에서 2015년부터 오존 존데(Electrochemical Concentration Cell)를 비양하여 연직 오존 분포를 관측하고 있다.

본 연구에서는 2015년부터 2017년 봄철(9월~11월), 남극 장보고 과학기지(164.23°E, 74.62°S)의 오존 존데와 MLS, OMPS의 위성 자료를 이용하여 연직 오존 분포를 비교하였다. 남극의 오존 감소는 극 소용돌이의 영향을 크게 받기 때문에, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)에서 개발한 ERA 5 재분석 자료로 'Equivalent latitude'를 계산하여 자료를 비슷한 역학적인 조건에서 비교하였다. 2015년 연직 오존 분포는 대기의 낮은 온도와 강한 극소용돌이로 인해 오존의 감소가 2016과 2017년보다 크게 나타났다. 위성 자료와 오존 존데의 연직 오존분포의 차이는 대류권을 제외한 나머지 고도에서 오차가 적게 나타났다.

감사의 글 : 이 연구는 극지연구소의 지원을 받아 수행되었습니다.(PE18010)

## Study on correlation between cosmic rays and clouds using Daejeon neutron monitor during 2012 – 2018

정종일<sup>1</sup> , 오수연<sup>2</sup> , 이유<sup>1</sup>  
Jongil Jung<sup>1</sup> , Suyeon Oh<sup>2</sup> , Yu Yi<sup>1</sup>

충남대학교<sup>1</sup> , 전남대학교<sup>2</sup>  
Chungnam National University<sup>1</sup> , Chonnam National University<sup>2</sup>

The cosmic rays are the high energy particles to enter the Earth from the space. Most of cosmic ray particles observed on the ground are galactic cosmic rays(GCRs) and solar cosmic rays(SCRs). GCRs are to be generated from outside the solar system and consist mostly of protons and alpha particles. SCRs are to be produced from the solar activity. They are also called solar energetic particles, which are caused by flares, coronal mass ejections, and shocks. When cosmic rays enter the Earth's atmosphere, they collide with atoms and molecules, such as nitrogen and oxygen in the atmosphere. Light particles, such as pions, muons, neutrons are produced after collisions as the secondary cosmic rays. This collisional process begins at the height of approximately 30 km above the ground. Since many particles are produced by the interaction with cosmic rays and atmospheric particles, the researchers have considered cosmic ray particles as good cloud condensation nuclei. Daejeon neutron monitor has produced observational data of cosmic rays since October 2011. Thus, we examine the relationship between cosmic ray intensity and production of clouds. We analyze the cosmic ray intensity recorded on Daejeon neutron monitor and image data of clouds in East Asia taken by Communication, Ocean and Meteorological Satellite(COMS) during 2012 – 2018. Then we present the results for their relationship to the latest solar modulation.

Thanks: This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2018R1D1A1B07046522).

## Comparative study on mesospheric winds measured by Fabry-Perot interferometer and meteor radar at King Sejong Station, Antarctica

Changsup Lee<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Qian Wu<sup>2</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, and Hosik Kam<sup>1,3</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, High Altitude Observatory, NCAR<sup>2</sup>  
Chungnam National University<sup>3</sup>

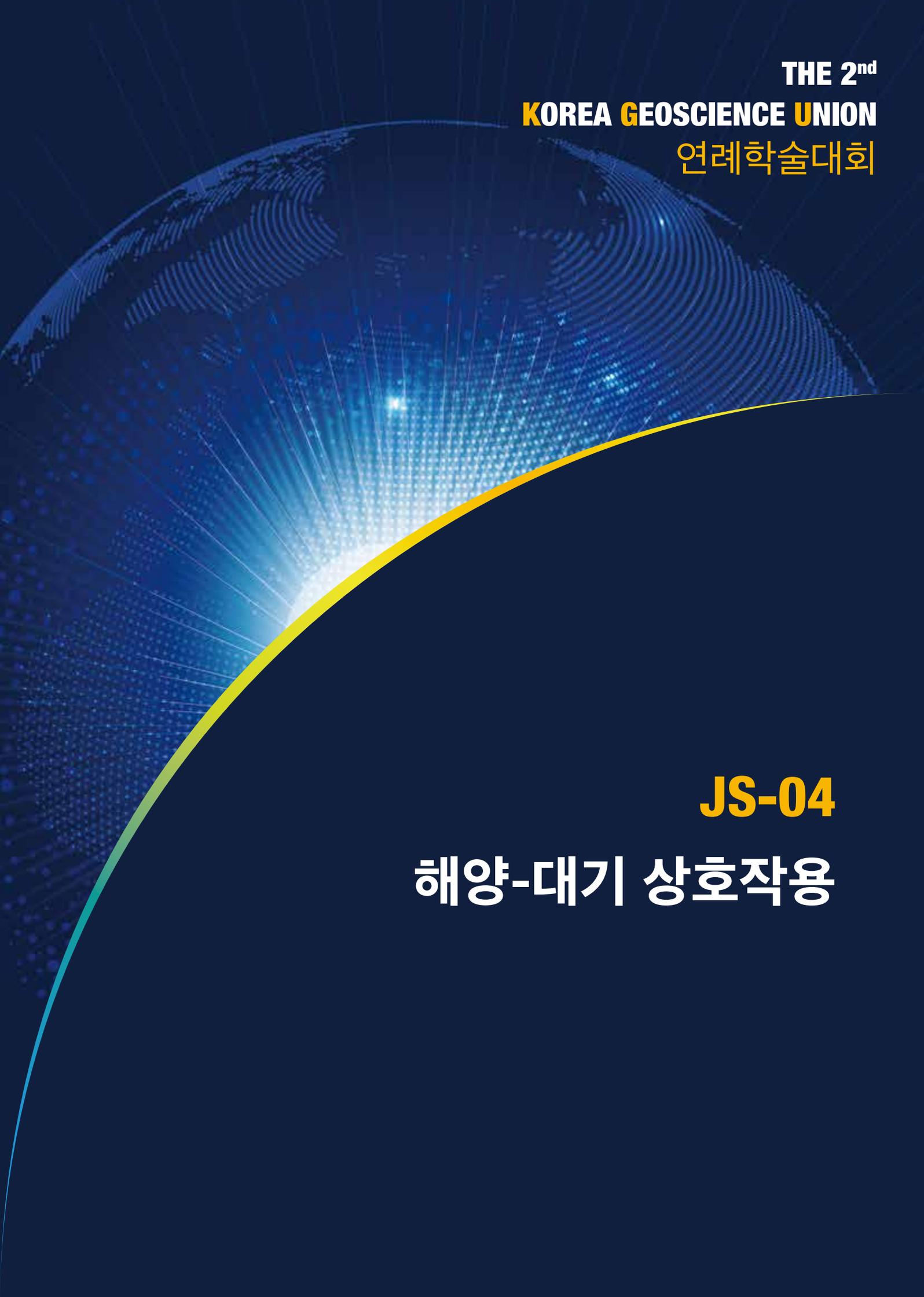
Neutral winds in the mesosphere and lower thermosphere (MLT) have been simultaneously observed by Fabry-Perot interferometer (FPI) and meteor radar (MR) at King Sejong Station (KSS), Antarctica for the latest 2 years from 2017. The simultaneous optical and radar observations for the neutral atmosphere in the MLT region provide us with an excellent opportunity of discussing inherent discrepancies between two wind measurement techniques based on temporal and spatial range of sampling area. Furthermore, since Antarctic peninsula has been well known for strong wave activities such as orographic gravity waves, the observations from these two instruments can be used to reveal the characteristics of neutral atmospheric responses to the waves in the MLT region. Using these observations, the neutral winds are compared at two airglow layers of 87 km and 97 km. The responses of Neutral winds in the polar MLT region to the geomagnetic effects are also considered in this study.

## Observations for aurora and relevant polar upper atmospheric changes at Jang Bogo station, Antarctica

Young-bae Ham<sup>1,2</sup>, Geonhwa Jee<sup>1,2</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>, Hyuckjin Kwon<sup>1</sup>,  
Eunsol Kim<sup>1,3</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, University of Science and Technology<sup>2</sup>, Chungnam  
National University<sup>3</sup>

We have been collecting aurora images from color-CCD All-Sky Camera (ASC) at Jang Bogo station (JBS), Antarctica (74° 37' S, 164° 13' E) since 2018. JBS is located mostly in the boundary between the polar cap and the auroral region and since the establishment in 2014, various observations for the polar upper atmosphere and the magnetosphere have been performed simultaneously together with the auroral observation. In this study, we analyze the 1-year observation for the aurora as well as the polar upper atmosphere and the magnetosphere from the various ground instruments such as ionosonde (VIPiR), Fabry-Perot interferometer (FPI), magnetometers, and ASCs in order to study on the possible changes of the polar upper atmosphere during the occurrence of the aurora over JBS. In this presentation, we will show some preliminary results of this comparative study mainly using the auroral images from ASC and the simultaneous observations for the ionosphere and the thermosphere.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

JS-04

해양-대기 상호작용



## Impact of near-inertial waves on vertical mixing and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in the Southern Ocean

Hajoon Song<sup>1</sup>, John Marshall<sup>2</sup>, Jean-Michel Campin<sup>2</sup>, Dennis J. McGillicuddy Jr.<sup>3</sup>

Yonsei University<sup>1</sup>, Massachusetts Institute of Technology<sup>2</sup>, Woods Hole Oceanographic Institution<sup>3</sup>

We report the significant impact of near-inertial waves (NIWs) on vertical mixing and air-sea carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) fluxes in the Southern Ocean (SO) using a biogeochemical model coupled to an eddy-rich ocean circulation model. The effects of high-frequency processes are quantified by comparing the fully coupled solution (ONLINE) to two offline simulations based on five-day averaged output of the ONLINE simulation: one that uses vertical mixing archived from the ONLINE model (CTRL) and another in which vertical mixing is recomputed from the five-day average hydrodynamic fields (5dAVG). In this latter simulation, processes with temporal variabilities of a few days including NIWs are excluded in the biogeochemical simulation. Suppression of these processes reduces vertical shear and vertical mixing in the upper ocean, leading to decreased supply of carbon-rich water from below, less CO<sub>2</sub> outgassing in austral winter, and more uptake in summer. The net change amounts up to 1/3 of the seasonal variability in SO CO<sub>2</sub> flux. Our results clearly demonstrate the importance of resolving high frequency processes such as NIWs to better estimate the carbon cycle in numerical model simulations.

## Epoch-dependent changes in the formation mechanism of the North Pacific subtropical mode water in an eddy-permitting ocean general circulation model simulation

Sang–Yeob Kim<sup>1</sup> , Gyundo Pak<sup>2</sup> , Ho Jin Lee<sup>1</sup> , Young–Oh Kwon<sup>3</sup>, and Young Ho Kim<sup>2</sup>

Korea Maritime and Ocean University<sup>1</sup> , Korea Institute of Ocean Science and Technology<sup>2</sup> , Woods Hole Oceanographic Institution<sup>3</sup>

The formation mechanism as well as its temporal change of the North Pacific subtropical mode water (NPSTMW) is investigated using a 50-year (1960–2009) ocean general circulation model (OGCM) hindcast. The OGCM used in this study is the Modular Ocean Model version 4.1 (MOM4.1) with 1/4° horizontal resolution and 50 vertical levels. The Smagorinsky biharmonic scheme is used for the horizontal viscosity and no explicit lateral diffusion is prescribed for the tracer. We use the K-Profile scheme for vertical mixing. The OGCM is spun up over 50 years under the surface heat, freshwater, and momentum fluxes estimated by bulk formula with the climatology variables of the Coordinated Ocean–sea ice Referenced Experiments phase 2 (CORE2)–Normal Year Forcing (NYF). After the spin-up, the hindcast model is integrated for 61 years from 1949 to 2009 with the annually varying InterAnnual Forcing (CORE2–IAF) dataset. The last 50 years (1960–2009) results are used for the analysis.

The observed decrease of NPSTMW volume in late-2000s is well reproduced by the OGCM. There is change in the main driving mechanism for the interannual variability of the NPSTMW formation around late-1980s. During the former epoch, the local air–sea interaction is responsible for the most of the NPSTMW formation. On the other hand, during the later epoch, it is mostly controlled by the ocean dynamics, such as the Rossby wave dynamics.

## 수중글라이더를 이용한 태풍 솔릭 전후 해양혼합층 변화 관측 Observation of Ocean Mixing induced by Typhoon Soulik using Underwater Glider

입학수<sup>1</sup>, Travis Miles<sup>2</sup>  
Hak Soo Lim, Travis Miles

한국해양과학기술원<sup>1</sup>, 러커스대학<sup>2</sup>  
KIOST<sup>1</sup>, Rutgers University<sup>2</sup>

여름철 태풍 또는 허리케인에 의한 해양 혼합층 변화는 수중 해양환경 변화 뿐 만아니라 대기-해양 상호작용으로 연안으로 접근하는 태풍 세력의 변화에도 큰 영향을 미치는 것으로 연구되고 있다. 그동안 우리나라로 상륙하는 태풍의 영향에 대한 연구는 많이 진행되었으나, 태풍에 의한 수중 해양환경 변화를 직접 관측하고 분석한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 기후변화로 연안에 점차 위험을 가중시키고 있는 태풍에 의한 해양 혼합층 변동특성과 태풍 강도의 변화에 대한 상관성을 규명하기 위해 수중글라이더를 이용하여 제주도 서쪽 해상에서 관측한 태풍 솔릭(Soulik)의 영향을 분석한 결과를 제시하고자 한다. 해양수산부와 NOAA 한미 공동연구사업(JPA)의 지원으로 2018년 8월 15일 부터 25일 까지 제주도 모슬포항 서쪽 해역에서 CTD와 광학센서(BBFL2)를 탑재한 천해용 수중글라이더(RU22)를 이용하여 해수면에서 수심 100m 까지 수층의 수온, 염분, 밀도, 클로로필, 용존유기물, 탁도를 관측한 자료를 분석하였다. 관측기간 중 2018년 8월 23일 06~15시 사이에 태풍 솔릭은 제주도 서쪽 약 40km 지점에서 수중글라이더와 약 25km 까지 근접하여 제주도 서쪽 해역을 약 5km/h로 느리게 통과하였고 23시 경 목포 부근으로 상륙 후 동해로 빠져나갔다. 당시, 태풍 솔릭은 수온 13도 이하의 저층 냉수괴가 존재하는 제주도 서쪽 해역을 지나가면서 강한 바람에 의해 혼합층을 발달시켜 표층 해수의 수온을 27.5도에서 16.5도로 낮추었으며, 이로 인한 낮은 표층 수온은 솔릭의 강도를 급격하게 약화시킨 것으로 분석되었다. 북서대서양에서 허리케인 Irene(2011)에 의한 대기-해양 상호작용과 마찬가지로 북서태평양에서도 태풍 솔릭(2018)에 의한 대기-해양 상호작용으로 표층 바람에 의한 해양 혼합층 발달과 이로 인한 태풍 강도의 약화 현상이 나타났다. 본 연구는 태풍에 의한 대기-해양 상호작용에 의한 해양의 혼합층 변동특성과 태풍의 강도변화 간의 상관관계를 규명하고, 자료동화를 적용한 수치모델의 예측정확도를 높여서 연안재해 및 재해안전 대응기술 개발에 활용하고자 수행되고 있다.

감사의 글 : 이 연구는 산업통상자원부 지원 한국산업기술원진흥원의 오픈랩연계 사업인 ‘첨단 해양산업 오픈랩 구축 및 실감형 융합 콘텐츠 개발’ 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

## Zonally asymmetric response of the Southern Ocean phytoplankton to Southern Annual mode

노경민<sup>1</sup>, 임형규<sup>1</sup>, 국종성<sup>1</sup>  
Kyung Min Noh<sup>1</sup>, Hyung-Gyu Lim<sup>1</sup>, Jong-Seong Kug<sup>1</sup>

포항공과대학교<sup>1</sup>  
Pohang University of Science and Technology<sup>1</sup>

Antarctic marine biological variability helps modulate climate systems using the biological pump. However, the biological response in the Southern Ocean to climate variability has been unknown owing to limited data. We investigated the surface chlorophyll concentration responses to the Southern Annular Mode (SAM) over the Southern Ocean using satellite observation and reanalysis data focusing on the austral summer season (DJF). The positive phase of the SAM is associated with intensified and poleward-shifted westerly winds, leading to physical and biogeochemical responses over the Southern Ocean. Our result indicated that chlorophyll has strong zonally asymmetric responses to the SAM owing to different limiting factors of phytoplankton bloom per region. For the positive SAM phase, chlorophyll tends to increase in the western Amundsen-Ross Sea but decrease in the D'Urville Sea due to reduced light and enhanced nutrient respectively. Moreover, the limiting factors per region were determined by the seasonal variability of sea ice and bathymetry.

## Major driver leading to winter SST variability in the Kuroshio recirculation gyre region and its decadal changes: Refreshing versus spring-initiated reemergence process

박균도<sup>1</sup>, 예상욱<sup>2</sup>, 남성현<sup>3</sup>, 박용향<sup>4</sup>, 김영호<sup>1</sup>

한국해양과학기술원<sup>1</sup>, 한양대학교<sup>2</sup>, 서울대학교<sup>3</sup>, 프랑스 파리 소르본 대학<sup>4</sup>

북서태평양은 서안경계류 해역 중 하나로 강한 해양-대기 상호작용을 통해 해양이 장기적인 기후 변동에 영향을 줄 수 있는 곳이므로, 이 해역의 겨울철 표층 수온 변동성을 파악하는 것은 장기적인 기후 예측에 있어 중요하다. 본 연구에서는 최근 수십 년 기간(1963~2012)에 해당하는 재분석 자료 및 관측 자료와 1차원 해양 모델 분석 결과를 통해, 특히 Kuroshio Recirculation Gyre (KRG) 해역에서 시기에 따라 각각 Refreshing 및 Reemergence 기작에 의해 겨울철 표층 수온의 변동성이 나타나는 것을 보여주고 있다. 동아시아 동계 계절풍이 강한 1971~1985년 기간 동안 KRG 해역의 겨울철 난류 열속 방출량의 변동성은 수온의 경년 변동성을 약 2개월 앞서면서 매우 큰 상관관계를 보여주는데, 이는 겨울철 대기 강제력이 수온 경년 변동성에 영향을 미치는 것을 의미하며, 본 연구에서는 이러한 과정을 Refreshing이라 명명하였다. 반면, 1991~2005년 기간 동안에는 이러한 겨울철 난류 열속과 표층 수온 간의 상관관계가 사라지고, 겨울철 표층 수온이 이전 봄철 표층 수온과 유의미한 상관관계를 보이게 되는데, 이는 해양의 Reemergence 기작에 의해 설명된다. 이전 해 봄철의 표층 수온이 여름철 아표층 열량 변화에 영향을 주고, 이것이 이듬해 겨울철 표층으로 상승하여 표층 수온 변화에 영향을 주는 과정은 겨울철에서 이듬해 겨울철로 영향을 주는 전형적인 Reemergence와는 다소 차이가 있으나 유사한 기작으로 해석할 수 있다. 특히 이 시기 봄철에만 표층 수온의 경년 변동성이 크게 나타난 점은 겨울철 강한 Refreshing 작용이 나타나지 않은 것과 더불어 이 시기 봄철 기원 Reemergence가 나타난 원인으로 지목할 수 있다. 실제로 매 해 봄철 수온 프로파일과 연간 대기 강제력 자료만을 이용한 1차원 해양 모델에서도 두 시기에 대한 봄철 기원 Reemergence의 출현 여부가 다르게 나타났는데, 이는 대기 강제력 및 초기 수온 프로파일 분포의 경년 변화가 두 시기 겨울철 수온을 설명하는 기작이 달라지는데 큰 기여를 했음을 보여준다.

## Climate Change and Tropical Cyclone Trend

문일주<sup>1</sup>  
Il-Ju Moon<sup>1</sup>

제주대학교<sup>1</sup>  
Jeju National University<sup>1</sup>

Understanding the response of tropical cyclones (TCs) to a changing climate has become a topic of great interest and research. Kossin (2018) showed that TC translation speed has decreased globally by 10 percent over the period 1949–2016 and stated that this is consistent with the expected changes in atmospheric circulation forced by anthropogenic warming. In terms of TC–ocean interactions, the global slowdown of TC translation speed has significant implications since it can produce more sea surface cooling and enhance the interactions. However, here we show that TC translation speed globally or in a particular basin are very sensitive to the data inhomogeneity related to changes in observational capability during pre- and post-satellite era, which produced spurious trends in TC translation speed. Therefore, the slowdown of TC translation speed stated in Kossin (2018) may not be a real climate signal or it may be exaggerated. This study (Moon et al., 2019) highlights that one must be careful in using any inhomogeneous TC data in the pre-satellite era, including position information such as translation speed and location of lifetime maximum intensity as well as intensity and frequency, for the analysis of TC trends and climate research.

Thanks : This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2017R1A2B2005019).

## 한반도 연안의 위성 및 수치모델 해수면온도 자료의 정확도

백 유현<sup>1</sup>, 문 일주<sup>1</sup>, 김 동훈<sup>2</sup>

제주대학교<sup>1</sup>, 인하대학교<sup>2</sup>

현재 다양한 기관에서 산출 및 제공되는 일평균 해수면온도 자료는 해상도와 산출 알고리즘의 차이로 인해 자료 간에 차이가 발생한다. 특히, 구름 픽셀과 육지와 해양의 경계선에서 이상값이 산출되어 제거되는 경우에 내·외삽 및 자료동화 과정에서 그 차이는 더 커진다. 본 연구에서는 해양기상부 자료를 이용하여 한반도 주변 연안에서 일일 위성 합성 및 수치모델 해수면온도 재분석 자료의 정확도를 비교 검증하였다. 검증결과, 위성 합성 자료 중 OSTIA와 FNMOC-S, 모델 재분석자료에서 FNMOC-M가 가장 낮은 오차를 보였다. 계절별로는 겨울철보다 여름철에 오차가 증가하는 경향이 나타났다. 우리나라 연안은 특히 강한 조석혼합, 용승, 태풍으로 인한 수직혼합 등으로 인해 수온의 변화 폭이 매우 크기 때문에 위성 합성 및 모델 재분석자료의 오차가 커질 수 있다. 먼저 서해안 칠발도에서 7월부터 9월 까지 강한 조석혼합이 발생한 시기를 살펴보면, FNMOC-S와 FNMOC-M 자료가 관측 값과 가장 비슷한 경향을 보였을 뿐 대부분의 자료에서는 큰 오차가 나타났다. 동해안 포항에서는 2013년 7월에 용승현상으로 5°C 이상의 강한 수온하강이 발생하였고 이 시기에 대부분의 위성 합성 및 모델 재분석자료에서 큰 오차가 나타났다. 이것은 해수면온도 위성자료처리 알고리즘에서 이러한 급격한 수온변동을 오류로 판단하여 제거했기 때문으로 발생한 것으로 추정된다. 2013년 태풍 볼라벤과 산바가 통과한 시기에는 마라도에서 약 4°C 이상의 강한 수온하강이 발생하였지만 JCOPE2를 제외하면 대부분의 위성 합성 및 모델 재분석자료는 관측자료와 비슷한 경향을 나타내었다. 본 연구결과로부터 아직까지 대부분의 위성 합성 및 모델재분석 일평균 해수면온도 자료에서는 서해안의 조석혼합과 동해안의 용승현상에 의한 급격한 수온하강을 적절하게 고려하지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 향후 위성 해수면온도 자료처리 알고리즘과 수치모델에 이러한 한반도 근해의 특성을 반영하는 것이 필요하다.

## El Nino Predicting beyond 1-year lead by Atlantic Warm Pool effect

박재홍, 국종성

Jae-Heung Park, Jong-Seong Kug

포항공과대학교

Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

Due to the profound impact of El Nino on global climate and weather, lots of investigations have been devoted to its prediction. However, the prediction skill based on observation is still insufficient and largely limited to less than one-year lead-time. Here, we demonstrate that Atlantic Warm Pool (AWP, a.k.a.. Western Hemisphere warm pool), the second largest warm pool in the world, plays a critical role in El Nino initiation so that El Nino prediction can be extended to 17-months. Sea surface temperature (SST) anomalies in AWP in late summer contribute significantly to the emergence of the Pacific meridional mode (PMM) via air-sea interaction over subtropical North Pacific during subsequent winter and spring seasons. Near-equatorial surface wind anomalies associated with the PMM can further trigger El Nino through the dynamics of equatorial oceanic waves. Thus, this observational analysis reveals a clear step-by-step influence of AWP on El Nino development with a 17-month lead.

## Mechanism of Double peaked El Niño

신나연, 국종성  
Na-Yeon Shin, Jong-Seong Kug

포항공과대학교 환경공학부

Division of Environmental Science and Engineering, Pohang, University of Science and Technology (POSTECH), Pohang, Korea

The El Niño–Southern Oscillation (ENSO) has influenced the global variously with the diversity of spatial pattern. Many studies have reported the ENSO complexity, and the two types of El Niño which have been represented the complexity are the Cold Tongue and the Warm Pool El Niño. However, in Coupled Model Intercomparison Project version 5 (CMIP5) Coupled General Circulation Models (CGCMs) results, those have been shown the Double peaked El Niño events due to the climatological cold tongue bias. Double peaked El Niño events are defined as a positive sea surface temperature anomalies separated into two centers (in Western and Eastern Pacific) and grown individually and simultaneously, and the peak of SST anomalies exceeds the critical threshold.

Double peaked El Niño events are found in not only the models, but also the observations. But there are no dynamical analysis of observations. In this study, the mechanism giving rise to Double peaked El Niño in observation is examined by analyzing the mixed layer heat budget equation and comparing with the Warm Pool El Niño (peak of SST anomalies located in Central Pacific) and Cold tongue El Niño (peak of SST anomalies located in Eastern Pacific). The warm SST anomalies of the western peak and the eastern peak are caused by different dynamic mechanism. Interestingly, ocean dynamics of the eastern peak of Double peaked El Niño are similar to the Cold tongue El Niño, and residual term—it can be obtained in mixed layer heat budget equation—of the western peak of Double peaked El Niño are similar to the Warm pool El Niño. That is, the vertical advection (thermocline feedback) gives rise to the eastern peak of Double peaked El Niño, and increasing of latent heat flux due to a decrease in wind speed makes the western peak of Double peaked El Niño.

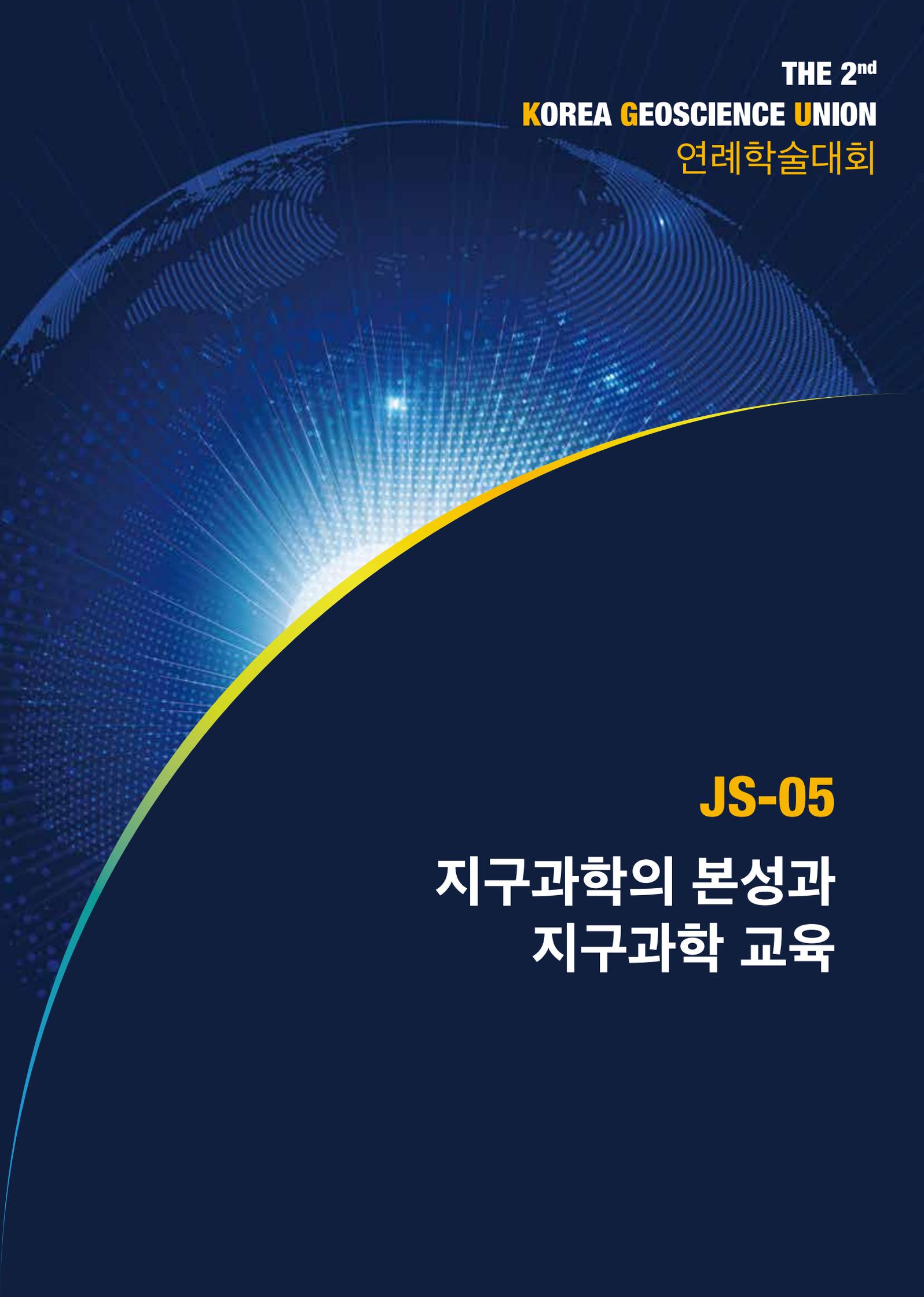
## Recent changes in the summer monsoon circulation and their impact on dynamics and thermodynamics of the Arabian Sea

Pratik Kad<sup>1,2</sup>, Kyung–Ja Ha<sup>1,2</sup>, Chung–Hwan Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusan National University

<sup>2</sup>Center for Climate Physics, Institute for Basic Sciences

Present study found the low level monsoonal circulation is increasing with migration towards the north in last thirty seven years. The Arabian Sea experiences stronger anticyclonic wind which enhances downwelling of thermocline supporting the Upper Ocean warming. Furthermore, the proposed hypothesis is supported through carrying out several sensitivity experiments using GFDL Modular Ocean model (MOM5) ocean general circulation model to analyzing role of the momentum flux over the ocean, which confirms that change in momentum flux associated with the changing monsoon circulation contributes to increased upper ocean heat content through retaining more heat by vertical process and meridional transport of heat, even though the net surface heat flux over the Arabian Sea shows a decreasing trend. Study concludes that change in summer monsoon low–level circulation can lead to a positive trend of the upper ocean heat content in the Arabian Sea.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-05**

지구과학의 본성과  
지구과학 교육



## 지구과학 탐구의 본성에 대한 예비교사의 인식 변화 Change of Conception on Nature of Earth Science Inquiry

정찬미  
ChanMi Jung

이화여자대학교 자연사박물관<sup>1</sup>  
Ewha Womans University Natural History Museum<sup>1</sup>

이 연구의 목적은 예비과학교사의 지구과학 탐구의 본성에 대한 인식을 알아보는 것이다. 대도시 소재 사범대학 과학교육과에서 예비과학교사 30명을 대상으로 지구과학교과교재및연구법 수강 이전과 이후에 실시한 설문 자료를 수집했다. 설문 문항은 과학 4개 학문 영역(물리학, 화학, 생물학, 지구과학) 및 지구과학 3개 모학문(지질학, 천문학, 대기과학 및 해양학) 각 탐구에 대해 연상되는 단어 10개를 작성하는 것, 기초·통합 탐구과정(관찰, 분류, 측정, 추리, 예상, 의사소통, 문제인식, 가설설정, 변인통제, 자료변환, 자료해석, 결론도출, 일반화) 및 과학적 추론 방법(귀납법, 연역법, 가설-연역법, 귀추법)이 각 탐구에서 활용되는 정도를 1-5 점 척도로 평가하는 것이었다. 각 탐구별 연상 단어를 사전 1285개, 사후 1673개 확보하고, 이들 단어를 대상으로 텍스트 네트워크 분석을 실시하여 빈도수 상위 주제어와 이들 간의 중앙성 및 관계를 파악하고 그래프로 도식화하여 사전·사후 변화를 분석했다. 또한 13가지 기초·통합 탐구과정 및 4가지 과학적 추론 방법이 각 탐구에서 활용되는 정도에 대한 사전·사후 인식 변화를 통계적으로 분석하였다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 교사교육 프로그램을 통한 예비교사의 지구과학 탐구 본성에 대한 인식 변화와 관련된 시사점을 제시하였다.

## 지구과학과 역사학의 탐구 비교, 융합의 시작

신동희  
Donghee Shin

이화여자대학교,  
Ewha Womans University

전통적으로 지구과학은 역사 과학적, 서술 과학적 특성을 갖는다고 알려져 있다. 한편, 인문학이라고 알려진 역사학은 자연 과학적 특성을 따른다는 주장도 제기되고 있다. 역사 과학으로서의 지구과학, 자연 과학으로서의 역사학은 주로 연구 방법론적 측면과 문제 해결을 위한 사고의 특성에서 제기되는 것이다. 두 학문 영역 모두 남겨진 것(remnants)을 근거로 추론하는데, 그 과정에서 통찰력과 상상력, 그리고 융합 능력을 통해 가설을 만들게 된다. 제한된 근거를 가지고, 지구와 우주의 역사를 밝히고 인간의 역사를 밝히기 위해서는 과학적 추론이 불가피하다. 자연과학과 인문학 간 소통 단절로 시작된 “두 문화(two cultures)” 논의에서 두 영역 간 융합의 가능성을 사고의 결과물이 아닌 사고의 과정에서 찾기 위한 다양한 논의가 필요하다는 점을 인식하고 역사 과학적 특성이 가장 뚜렷한 자연과학 영역인 지구과학과 자연 과학적 특성이 가장 뚜렷한 인문학 영역인 역사학의 탐구의 본질을 비교하고 초중등 교육 사례를 통해 적용 가능성을 탐색하고자 한다.

감사의 글 : 이 연구는 2017년도 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5B6066963).

## 과학적 지식 통합 기반 중등학교 해류모식도를 위한 최근 9년 노력과 성과 Recent 9-year Endeavors and Achievements for Secondary- School Schematic Ocean Current Maps Based on Integration of Scientific Knowledge

박경애<sup>1</sup>, 박지은<sup>1</sup>, 박재진<sup>1</sup>, 최병주<sup>2</sup>, 이상호<sup>3</sup>, 변도성<sup>4</sup>,  
이은일<sup>4</sup>, 강분순<sup>4</sup>, 신흥렬<sup>5</sup>, 이상룡<sup>6</sup>, 이재연<sup>7</sup>

Kyung-Ae Park<sup>1</sup>, Ji-Eun Park<sup>1</sup>, Jae-Jin Park<sup>1</sup>, Byung-Ju Choi<sup>2</sup>, Sang-Ho Lee<sup>3</sup>, Do-Seung Byun<sup>4</sup>, Eun-Il Lee<sup>4</sup>, Boon-Soon Kang<sup>4</sup>, Hong-Ryeol Shin<sup>5</sup>, Sang-Ryong Lee<sup>6</sup>, Jae-Yeon Lee<sup>7</sup>

서울대학교<sup>1</sup>, 전남대학교<sup>2</sup>, 군산대학교<sup>3</sup>, 국립해양조사원<sup>4</sup>,  
공주대학교<sup>5</sup>, 부산대학교<sup>6</sup>, 청담중학교<sup>7</sup>

Seoul National University<sup>1</sup>, Chonnam National University<sup>2</sup>, Kunsan National University<sup>3</sup>, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency<sup>4</sup>, Kongju National University<sup>5</sup>, Pusan National University<sup>6</sup>, Cheongdam Middle School<sup>7</sup>

The oceans are the largest reservoir of heat on the Earth as well as the most important regulator of climate change in a rapidly changing warming world. Ocean currents have long played a very important role in the distribution of uneven global energy distribution. Science textbooks are the most effective and efficient means of conveying accurate and up-to-date information about change in the ocean currents to students. Since the oceanic current map represents an extensive summary of a variety of complicated ocean currents, it should contain scientific knowledge on the representative ocean currents in the textbooks. This study presents the efforts of how Korean oceanographic community have tried to correct the erratic schematic maps on the ocean currents around the Korean peninsula in recent years. To compare objectively the ocean currents presented in scientific papers and earth science textbooks, all ocean current maps were numerically transformed with the same geographical mapping. A unified schematic map of the currents was produced by integrating all knowledge and insights of oceanographers and experts through various ways such as in-depth discussions, oceanographic conferences, intensive workshops, questionnaires, and so on. The process of this type is strongly related to science, technology, mathematics, engineering, and even artistic concepts. These maps are expected to be very useful for secondary school education, marine experts, the general public, etc. In addition, the methods and strategies proposed herein are expected to contribute to revise the ocean current maps not only for local seas but also the global ocean.

## ‘HR도’와 ‘항성 진화’에 대한 교사의 개념 지위 분석 Analysis of Teachers’ Conceptual Status about ‘HR Diagram’ and ‘Stellar Evolution’

하민경, 손정주  
Min-Kyoung Ha, Jungjoo Sohn

한국교원대학교  
Korea National University of Education

지구과학 1의 내용 요소에 포함된 ‘H-R도’와 ‘항성 진화’에 대한 교수·학습 과정의 개선점을 찾는 연구로 학생의 개념 형성에 중요한 역할을 하게 되는 현직 및 예비 지구과학교사의 개념 지위 분석을 수행하였다. 주요한 개념영역을 3개로 나누고 전문가의 5인의 타당도 검증과 두 차례의 예비검사를 거쳐 총 11개의 개념 지위 분석을 위한 문항을 개발하였고, 개념 지위 하위 요소를 각 문항별로 부여하고 점수화 하였다. 현직 지구과학교사 7명과 예비 지구과학교사 10명을 대상으로 문항을 적용하였고 현직 교사의 경우, 비과학적 용어 사용, 도표의 작성 과정에서 낮은 과학적 탐구력, 그리고 개념에 대한 비과학적 비유를 보였고, 예비교사는 중등교육과정의 연계 문항에서 낮은 개념 지위를 보였다. 연구 과정에 도출된 현직 및 예비교사가 갖고 있는 비과학적 개념들과 개념 지위 분석결과로 부터 교사 교육에서의 구체적 시사점을 제안하였다.

## 초등학생의 시스템 사고 요인 구조 검증과 선호 과목에 따른 시스템 사고 비교

Hyonyong Lee<sup>1</sup>, Hyundong Lee<sup>2</sup>, Jaedon Jeon<sup>\*2</sup>

Daegu National University of Education<sup>1</sup> ,  
Kyungpook National University<sup>2</sup>

이 연구의 목적은 첫째, 초등학생의 시스템 사고 요인 구조를 검증하고 둘째, 초등학생의 선호 과목군에 따른 시스템 사고를 비교하여 추후 연구에 대한 시사점을 얻는 것이다. 이를 위하여 사전 검사에서는 Lee et al. (2013)이 개발한 STMI로 초등학생 732명의 데이터를 수집하였다. 그리고 탐색적 요인분석을 실시하여 초등학생이 STMI를 어떤 요인 구조로 인식하는지를 확인하였다. 그리고 사전 검사 결과를 기초로 전문가 협의회를 거쳐 초등학생들이 STMI가 의도한 5요인 구조에 응답할 수 있도록 검사지를 수정하였다. 사후 검사에서는 수정된 STMI로 초등학생 503명의 데이터를 수집하고 탐색적 요인분석을 실시하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 사전 검사에서 초등학생들은 STMI를 2개 요인(개인 내적 요인, 개인 외적 요인)으로 구성된 검사지로 응답하였다. 검사지에 대한 전체 신뢰도는 .932였으며 요인별 신뢰도는 .857과 .894로 나타났다. 수정된 STMI에 대해서는 초등학생은 4개 요인으로 구성된 검사지로 응답하였다. 초등학생은 팀 학습, 공유 비전, 개인 숙련은 각각 독립된 요인으로 응답하였으며 정신 모델과 시스템 분석을 하나의 요인으로 응답하였다. 전체 검사지에 대한 신뢰도는 .886이었으며 요인별 신뢰는 .686~.864로 나타났다. 마지막으로 초등학생의 선호 과목군에 따른 시스템 사고를 비교한 결과 자연과학(공학) 과목군을 선택한 학생들과 예술(예체능)을 선택한 학생들 사이에 유의미한 차이가 나타났다. 결론적으로 초등학생에게 적합한 용어와 문장 구조로 수정된 시스템 사고 검사지를 활용할 경우 시스템 사고를 비교하는 연구에서 통계적으로 유의미한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였으며, 추후 선호하는 과목군 등 여러 학생 변인들과 시스템 사고와의 관련성 연구도 이루어질 필요성이 제기된다.

주요어 : 시스템 사고, 초등학생의 시스템 사고 요인 구조, 시스템 사고 검사 도구

감사의 글 : 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017S1A5A2A01026791).

## 지질학의 본성과 지질교육

김형수<sup>1</sup>, 이기영<sup>2</sup>

Hyeong Soo Kim, Kiyoung Lee

고려대학교<sup>1</sup>, 강원대학교<sup>2</sup>

Korea University<sup>1</sup>, Kangwon National University<sup>2</sup>

지질학은 지구의 성분, 구조, 형성과정 및 지질시대의 역사를 연구하는 학문이다. 즉, 지질학은 지구의 구성 물질, 그 물질의 분포상태와 구조, 지구에 미치는 여러 가지 작용, 이들 작용으로 인한 변화 등을 연구함으로써 궁극적으로는 지구의 역사와 그 변천과정을 밝히려는 학문이다. 또한 지질학은 지구 표면과 내부에서 발생한 다양한 현상, 작용, 효과 등에 대해서 ‘무엇’(what), ‘언제’(when), ‘어디’(where), ‘어떻게’(how), ‘왜’(why) 라는 문제의 실마리를 연구하는 자연과학의 한 분야이다. 이번 발표에서는 위에서 언급한 지질학의 본성 (nature of geology) 대해 알아보고, 학문적 특성을 바탕으로 중등 지구과학에서 지질학을 효과적으로 교육할 수 있는 방안을 탐색하고자 하였다. 본고에서 탐색한 지질학의 본성에는 지질학적 지식 (knowledge)을 만들기 위해 지질학자들이 어떤 탐구 실행 (inquiry practice)을 수행하는가에 대한 것이 포함되며 다음과 같이 몇 가지로 구분할 수 있다: (1) 시간적 사고 (temporal thinking), (2) 시스템 사고 (Earth as a complex system), (3) 현장에서의 학습 (learning in the field), 그리고 (4) 공간적 사고 (spatial thinking). 이와 같은 지질학의 본성을 근거로 중등 지질 교육에서 학생들이 필수적으로 길러야 할 역량으로서 ‘지구적 인지과정 (geo-cognition)’을 설정하고, 지구적 인지과정을 구성하는 하부 요소로서 시간적 추론, 공간적 추론, 시스템적 추론, 과거 역산적 (귀추적) 추론의 특징에 대해 알아보았다. 마지막으로, 지구적인지과정의 효과적 함양을 위한 방안으로 지질 교육에서 인터넷 실시간 자료 (real-time data)의 활용과 실제 지질답사 (Actual Field Trip, AFT)가 보다 강조될 필요가 있음을 제시하였다. 또한, 학교 현장에서 AFT의 현실적인 제약을 극복하기 위한 대안으로 360° VR과 드론 영상 등을 활용한 가상지질답사 (Virtual Field Trip, VFT)를 제안하고 몇 가지 개발 사례를 소개하였다.

## Development of an Instruction Module for Plate Tectonics Using Geocognition: Alternative Approach to the Nature of Geoscience

Seungho Maeng

Seoul National University of Education

과학의 본성에 대한 합의된 견해(consensus view)는 과학 지식의 잠정성, 관찰과 실험적 증거에 기반, 사회적 논쟁을 통한 과학 지식의 진보 등과 같이 과학의 일반적인 특성을 중심으로 과학의 본성을 서술하였다. 이러한 서술은 과학 분야들 간의 다양성을 반영하지 못하며, 실험과 관찰뿐만 아니라 다양한 추론 과정에 기반하고 있는 지구과학 탐구의 특성을 설명하기에는 충분하지 못하다는 비판이 제기되어 왔다. 이 연구에서는 지구적 규모의 현상에 대한 원리를 해석할 때 적용되는 인지적 과정 즉, 지구적 인지과정(geocognition)을 적용하여 판구조론을 학습하기 위한 수업 모듈을 개발한 사례를 보고한다. 이를 토대로 지구적 인지과정의 측면에서 지구과학의 본질적 특성을 규명하기 위한 대안적 관점을 제안하고자 한다. 연구를 위해 지질학계의 문헌 연구를 토대로 지구적 인지과정의 하위 요소로서 공간적 추론, 시간적 추론, 과거역사적 추론 및 시스템 사고를 변인으로 설정하였다. 또한, 학생들이 지구과학 개념을 학습할 때 구현되는 지구적 인지과정의 양상을 파악하기 위해 다양한 지질 정보를 시각화하는 도구로서 GeoMapApp을 활용하여 판구조론의 사례에 적용하는 수업 모듈을 개발하였다. 모듈의 전반부는 GeoMapApp으로 수렴 경계와 발산 경계를 나타내는 지형도를 제시하였고 공간적 추론과 시간적 추론을 적용하여 과제를 해결하게 하였다. 이후 동아시아의 화산과 지진 정보 분석 및 변환단층의 생성과정을 과거역사적 추론을 적용하여 설명 모델을 추리하게 하였으며, 최종적으로 시스템 사고를 활용하여 수렴 경계와 발산 경계에서 지구 내부구조를 파악하는 과제를 제시하였다. 이 수업 모듈을 중학생들에게 적용한 후 학생들의 지구적 인지과정 양상을 조사하였다. 연구 결과 지구과학의 현상을 탐구할 때 구현되거나 요구되는 지구과학적 사고로서 공간적 추론, 시간적 추론, 과거역사적 추론 및 시스템 사고는 과학의 본성에 대한 합의된 견해로 포괄하지 못하는 지구과학의 특성을 나타낼 수 있음을 주장할 수 있었다. 이 연구는 판구조론이라는 단일 주제의 학습 사례만을 제시하였지만, 이후 지구과학의 다양한 사례들에서 지구과학 탐구의 특성을 규명할 수 있다면 과학의 일반적 속성과 구별되는 지구과학의 본질적 특성을 파악하기 위한 대안적 관점의 근간을 제시할 수 있음을 제안한다.

## 과학·공학 융합 교육 효과에 대한 성별 차이

채지민, 남윤경

부산대학교

본 연구에서는 공학설계 수업의 효과로 여학생들의 공학에 대한 인식 변화를 알아보고자 한다. 공학설계 수업은 일반적으로 여학생에 비하여 남학생들의 선호도와 성취도가 높다. 이에 여학생들의 흥미가 높을 것으로 예상되는 공학설계 수업을 통한 여학생들의 창의적 공학문제 해결 성향 변화와 공학에 대한 인식 변화를 알아보려 한다.

본 연구의 연구대상은 부산광역시 소재의 중학교 1학년 남학생 86명, 여학생 60명이며 1기(2018.08.20.~2018.10.31.)와 2기(2018.11.1.~2019.1.31.)로 기간을 나누어 공학설계 수업을 진행하였다. 일반적인 공학설계 수업 16차시를 들은 남학생 42명, 여학생 29명과 여학생들의 흥미가 높을 것으로 예상되는 공학설계 수업 16차시를 들은 남학생 44명, 여학생 31명의 창의적 공학문제 해결 성향 변화와 공학 및 공학자에 대한 인식 변화를 비교해보았다. 여학생들의 흥미도가 더 높을 것으로 예상되는 공학설계 수업은 '환경', '단열'을 주제로 한 것으로 각각 8차시에 걸쳐 진행하였으며 생명과학, 화학과 관련성이 있다. 일반적인 공학설계 수업은 '부력', '소리'를 주제로 한 것으로 각각 8차시에 걸쳐 진행하였으며 물리 과목과 관련성이 깊다. 수업의 효과를 알아보기 위해 '창의적 공학문제 해결 성향 검사 문항'과 '공학 및 공학자에 대한 인식 검사 문항'을 활용하였다.

예상되는 연구 결과는 일반적인 공학설계 수업을 들은 여학생에 비하여 여학생들의 흥미도가 더 높을 것으로 예상되는 공학설계 수업을 들은 여학생의 창의적 공학문제 해결 성향과 공학 및 공학자에 대한 인식 변화가 더 긍정적이라는 것이다.

Keyword : 공학 설계, 여학생, 창의적 공학문제 해결 성향, 공학에 대한 인식

### 감사의 글

이 연구는 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2017R1D1A3B03031896).

THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

JS-06

생지화학적 순환과  
지구시스템



## Two pathways of decadal ENSO variability in changing long-term global carbon cycle

So-Won Park<sup>1</sup>, Jin-Soo Kim<sup>2</sup>, Jong-Seong Kug<sup>1</sup>, Malte F. Stuecker<sup>3</sup>,  
Mathew Williams<sup>2</sup>

Divison of Environmental Science and Engineering, POSTECH<sup>1</sup>  
School of GeoSciences, University of Edinburgh<sup>2</sup>  
Center for Climate Physics, Institute for Basic Science (IBS)<sup>3</sup>

The El Niño–Southern Oscillation (ENSO) is a primary cause of the interannual variability in the global carbon cycle. The ENSO-related response of terrestrial biosphere plays a dominant role in contributing to the interannual variability of global carbon flux. During El Niño events, the warmer and drier conditions over the tropical land affect to terrestrial ecosystem, thereby leading to the changes in land–atmosphere carbon exchange, carbon loss from the land. Our understanding about the impacts of the ENSO on the carbon cycle in the interannual time scale has been improved, but the influence of the ENSO on the decadal variability of global carbon cycle has not yet been fully examined.

In this study, we have investigated the decadal variations in Net Biome Production (NBP) associated with decadal ENSO variability on the basis of the Community Earth System Model 1.1 (CESM1.1) large ensemble pre-industrial fully-coupled experiment. Here we find that decadal NBP variations is negatively correlated with the decadal pacific sea surface temperature (SST) variability but also ENSO variance, suggesting that decadal ENSO variability affects the decadal variations in the terrestrial carbon cycle. By considering both of Pacific decadal SST mean changes and ENSO variance, it can be explained about 36% of the decadal variations in the global carbon cycle.

In addition, we found that the ENSO asymmetry induces the asymmetric response of terrestrial carbon cycle. Because anomalous carbon loss during El Niño is larger than anomalous carbon uptake during La Niña, the asymmetry between the El Niño and La Niña effects on the global carbon budget (residual NBP, defined by sum of El Nino and La Nina effects on anomalous NBP) exists. Furthermore, as ENSO variance increases, the magnitude of residual NBP increases due to increasing effect of ENSO asymmetry. This residual effect in NBP anomaly can be projected to the decadal variability of the global terrestrial carbon cycle. Our findings suggest that decadal ENSO variability have an influence on the variations of long-term global carbon cycle in two pathways.

## High-resolution CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O records over the last 2000 years

Jinho Ahn<sup>1</sup>, Yeongjun Ryu<sup>1,2</sup> and Ed Brook<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Seoul National University, Korea

<sup>2</sup>Princeton University, USA

<sup>3</sup>Oregon State University, USA

Recent ice core records show natural and anthropogenic sources played important roles in controlling atmospheric greenhouse gas concentrations over the last 1000 years. Here we present several new ice core records with 10–20 year sampling resolution that cover the last 2000 years. The CO<sub>2</sub> records clearly show coincident variations on centennial to multi-centennial timescales, but the magnitudes and speeds of concentration changes do not agree well. The new N<sub>2</sub>O data from Greenlandic and Antarctic cores for the first time show centennial variations with an unprecedented precision. Combined with other paleoproxy records, we may better constrain the greenhouse gas control mechanisms. In this talk, we will discuss how human activity and climate–greenhouse gas feedbacks caused the greenhouse gas concentration changes.

## 동남극 스틱스 지역에서의 편 눈밀도층 불균질성에 따른 온실기체 농도 변동성 Firn ice density layers and inhomogeneity of atmospheric greenhouse gas concentrations in ice cores records: Case studies with Styx glacier, East Antarctica

한상영<sup>1\*</sup>, 안진호<sup>1</sup>, 장영준<sup>1</sup>, Yoshinori Iizuka<sup>2</sup>, Akira Hori<sup>2</sup>, 허순도<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구환경과학부(SNU), <sup>2</sup>University of Hokkaido ILTS,  
<sup>3</sup>극지연구소(KOPRI)

천부 빙하 코어에는 산업 혁명 이후 인간에 의해 인위적으로 방출된 과도한 온실 기체의 흔적이 고스란히 기록되어 있다. 현재 기후와 근 미래의 온난화 현상을 이해하고 올바르게 대처하기 위해서는 천부 빙하 온실 기체 연구를 통한 과거 온실 기체 농도 복원이 중요하다고 볼 수 있다. ‘Firn’ 이라고 불리는 상부 눈송이 층에서는 공기가 확산과 대류현상에 의해 섞일 수 있지만 일정 깊이 보다 깊은 깊이로 도달하게 되면 더 이상 공기가 섞이지 못하고 포집이 시작되게 되는데, 이 깊이를 LID(Lock-in depth)라고 한다. 그러나 일률적으로 LID에서 포집이 시작될 것이라는 기존 생각과는 달리 cm 규모의 매우 작은 밀도 변동에 의해 편에서 빙하로 변하는 생성속도에 차이가 발생하고, 이에 따라 공극의 생성시기가 달라질 수 있음이 제시되어 왔다. 결론적으로, 기체 농도를 이용한다면 cm 규모로 달라지는 기체 포집 시기의 차이를 구분할 수 있다. 심부 빙하코어를 이용하여 온실기체 농도를 분석할 경우 종종 cm 규모에서 불균질한 분포가 관찰되는데, 이는 편에서의 눈밀도층 분포와 관련이 있을 수 있다. 이를 확인하기 위하여, 본 연구에서는 천부 빙하 코어 고해상도 밀도 분석을 진행하여 깊이 별로 분포하는 밀도 층을 mm 단위로 분석하고 이러한 층마다 존재하는 고밀도 층과 저밀도 층을 분류하였다. 또한, 이러한 고밀도 층과 저밀도 층의 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 기체분석을 진행하여 밀도에 따른 기체 농도차이를 분석 했다. 이 연구에서 온실기체 농도를 확인한 결과 비슷한 깊이일지라도 고밀도층에서 더 낮은 농도의 기체가 검출되었고, 이는 더 젊은 연령의 기체가 저밀도층보다 고밀도층에서 더 이른 시기에 포집되었음을 의미한다. 시추 후 빙하시료 저장과정 중에 열린 공극을 통해 유입되어 시료를 오염시킨 현생대기에 의해 기체 농도가 전반적으로 높아졌음에도 불구하고 고밀도층에서는 기존 존재하던 모델보다 더 낮은 농도의 기체(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)가 닫힌 공극에서 검출되었다. 오염이 있었음에도 불구하고 더 낮은 농도의 온실 기체를 포함하는 고밀도층의 존재는 닫힌 공극의 형성 시기가 밀도 변동성에 의해 영향을 받는다는 가설을 뒷받침한다. 이렇게 온실기체 농도를 이용하면, 밀도 별로 닫힌 공극이 형성되었던 시기와 깊이를 정확하게 유추해낼 수 있기 때문에, 빙하 코어 분석에 대한 이해를 높일 수 있을 것이라 기대된다.

## Development of NEMO-TOPAZ and sensitivity test of the iron parameters

Hyomee Lee<sup>1</sup>, Byung-Kwon Moon<sup>1</sup>, Hyun-Chae Jung<sup>1</sup>, Jong-Yeon Park<sup>1</sup>,  
Young-Hwa Byun<sup>2</sup>, Yoon-Jin Lim<sup>2</sup>, Johan Lee<sup>2</sup>

Chonbuk National University<sup>1</sup>, National Institute of Meteorological Sciences<sup>2</sup>

최근 해양-생지화학과정과 기후시스템 사이의 상호작용에 대한 관심이 높아지고 있으며, 지구시스템 모형에서 해양-생지화학 과정을 반영하고 있다. 이러한 추세에 맞춰 우리는 해양 모델 Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO)와 생지화학 모듈 Tracers of Ocean Phytoplankton with Allometric Zooplankton (TOPAZ)을 결합한 새로운 해양-생지화학 모형 NEMO-TOPAZ를 개발하였다. 이 발표에서는 NEMO-TOPAZ 모형의 해양-생지화학 모의 성능을 평가하고, 철 침적량과 관련된 parameter에 대해 민감도 실험을 수행하고자 한다.

관측 대기강제력을 처방한 NEMO-TOPAZ 장기적분 결과, 수온이나 영양염 등 대부분 변수의 표층 분포가 관측과 유사하게 나타났으나, 클로로필의 농도 및 변동성의 경우 열대 동태평양과 극지방 등에서 크게 모의되는 경향이 있었다. 이러한 클로로필 오차의 원인은 TOPAZ에서 제공하는 철 침적량이 과도하기 때문으로 분석되었는데, TOPAZ보다 낮은 값을 나타내는 NEMO-PISCES의 철 침적량 자료를 처방하였을 때 클로로필의 과다모의 경향이 감소하는 것을 확인하였다. 또한 TOPAZ 철 초기장을 이용한 적분에서 철 침적량의 scavenging parameter를 증가시켰을 때 적도태평양의 클로로필 오차가 감소하였다.

이 연구는 기상청 <「기상지진See-At기술개발연구사업」> (KMI2018-03513)의 지원으로 수행되었습니다. 이 연구의 주요 계산은 기상청(국가기상슈퍼컴퓨터센터)이 제공한 슈퍼컴퓨터 자원을 이용하여 수행되었습니다.

## 층상형 산화망간광물의 층간 구조에 대한 원자수준 시뮬레이션 연구 Interlayer structures of layer-type manganese oxide minerals: an atomistic simulation study

한수연<sup>1</sup>, 권기덕<sup>1</sup>  
Suyeon Han<sup>1</sup>, Kideok D. Kwon<sup>1</sup>

강원대학교<sup>1</sup>  
Kangwon National University<sup>1</sup>

산화망간광물은 넓은 표면적과 높은 흡착력으로 산화대 광상, 해저 망간단괴뿐만 아니라 수성 환경 및 토양과 퇴적물에서 금속원소의 지화학적 순환에 매우 중요한 역할을 한다. 층상형 산화망간광물은 층간 영역 내 다양한 양이온과 물 분자를 함께 포함하고, MnO<sub>2</sub> 팔면체의 결함으로 인한 원자 빈자리(vacancy)는 전하 부족을 발생시켜 이를 보충하고자 양이온을 강하게 흡착할 수 있는 능력을 가진다. 이로 인해 오염된 환경에서 중금속, 미량원소, 방사성 핵종과 같은 다양한 오염물의 거동을 조절하는 데 중요 역할을 할 수 있는 광물로, 이에 대한 실험적 연구도 상당 수 이루어지고 있다. 그러나 자연 상에서 층상형 산화망간광물은 나노 크기 입자의 낮은 결정도를 가지며 산출되는 특성으로 인해 정확한 광물 구조와 층간 양이온의 배위 환경, 물 함량 등을 실험만으로 규명하는 데 제한이 있다. 이번 연구에서는 층상형 산화망간광물 중 망간 팔면체 층이 Mn(IV)로만 구성되어 비교적 화학조성이 단순한 phylломanganates 광물들에 대해 물 함량에 따른 격자상수, 층간수 배열, 각 양이온들의 거동 변화를 관찰하기 위해 분자동역학 시뮬레이션(molecular dynamics simulations; MD) 계산을 수행하였다. MD는 특정 환경(온도, 압력 등) 조건 하에서 시스템 내 모든 원자들의 위치와 속도를 매우 짧은 시간 단위마다 계산함으로써, 주어진 시간 동안 원자 및 분자 스케일로 변화하는 미시적 상태를 관찰 및 분석하는 데 매우 유용한 컴퓨터 시뮬레이션 방법이다. 원자들 간의 상호작용을 묘사하기 위한 가변변수 세트는 최근 우리 연구실에서 개발한 산화망간 특화 힘 장(force field)을 사용하였다. 각각 아연(Zn)의 단종(end member)인 chalcophanite와, 상대적으로 그 구조 및 물 함량이 명확하지 않은 Mn(II), Ca(II) 단종의 고용체 관계 광물인 takanelite와 rancieite [ $Me_{2-x}^{3+}(Mn_{1-x}^{4+}\square_x)O_2 \cdot nH_2O$ ]에 대해 층간 물 분자 개수를 변화시키며 MD 계산을 수행하였고, 그에 따른 *d*-spacing, 물 배열, 배위 구조와 같은 분자 수준의 층간 구조를 관찰 및 분석하였다. 이와 같이 MD 시뮬레이션은 실험만으로는 규명하기 어려운 광물의 구조와 금속이온 간의 상호작용을 원자적 관점으로 이해를 제공하여, 복잡한 지화학적 순환에서 광물의 역할을 규명하는데 크게 기여할 수 있다.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-07**  
**극지환경**



## Critical Role of Extreme Midlatitude-storms in Arctic Amplification

Ja-Young Hong<sup>1</sup>, Baek-Min Kim<sup>2</sup>, Eun-Hyuk Baek<sup>3</sup>, Joo-Hong Kim<sup>1</sup>,  
Xiangdong Zhang<sup>4</sup>, Seong-Joong Kim<sup>1</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Pukyong Nat' l University<sup>2</sup>, Chonnam Nat' l  
University<sup>3</sup>, University of Alaska, USA<sup>4</sup>

We provide series of evidences that Atlantic windstorms of extreme category in northern winter tend to follow a well-defined route toward the Atlantic sector of Arctic, and that heat and moisture transported by these extreme storms significantly warm the Arctic. A positive North Atlantic Oscillation (NAO) condition and the associated intensified upper-level Atlantic jet provide favorable conditions for those extreme storm developments through enhanced vertical wind shear. These extreme windstorms lead to two discernible impacts on the Arctic: 1) enhanced poleward energy transport by moisture intrusion to the Arctic, which accompanies increased longwave downward radiation and 2) the occurrence of Euro-Atlantic blocking after the storm break-up. During these periods, significant Arctic warming was observed of a 10-fold increase versus normal and weak storms. The poleward deflections of extreme storms, and the Arctic warming driven by such storms, are well simulated in numerical experiments with coupled models.

Thanks : This study was supported by 'Development and Application of the Korea Polar Prediction System (KPOPS) for Climate Change and Weather Disaster (PE18130)' project of the Korea Polar Research.

## 여름철 해빙 위 발달하는 멜트폰드의 얼음-알베도 피드백 역할 재조명

Joo-Hong Kim<sup>1</sup> , Woosok Moon<sup>2</sup> , Su-Bong. Lee<sup>1</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup> , Nordic Institute of Theoretical Physics<sup>2</sup>

봄이 지나 여름에 접어들면 햇빛이 들면서 눈덮인 해빙 표면에 에너지 흡수 과잉이 일어나 표면의 눈과 얼음이 녹아 물이 고이는 곳이 생기기 시작한다. 이렇게 해빙 상에서 여름이 되면 발달하는 연못을 멜트폰드(melt pond)라고 부르는데 이의 어두운 표면은 입사 태양 단파 복사플럭스의 흡수를 증가시켜 얼음-알베도 피드백을 증폭시키는 역할을 한다. 이에 멜트폰드의 얼음-알베도 피드백의 역할은 단파 복사플럭스가 해빙에 들어올 때 배분되는 과정을 통해 전지구 기후모델에 사용되는 해빙모델에 포함되어 있다. 이를 위해 필요한 가정은 해빙 상 생성되는 멜트폰드를 잘 혼합된 고정된 온도의 담수로 다루는 것인데 이는 멜트폰드의 물리 과정을 모델에 포함시키는데 근간이 되었다. 그러나 해빙 현장 관측에 의하면 멜트폰드는 다양한 염도를 담고 있고 그에 따라 수온이 영향을 받는다. 염에 의한 멜트폰드 수온 변화는 멜트폰드의 표면 에너지 플럭스 평형에 기여하는 또 다른 요소인 온도에 따른 방출 플럭스(예: 방출 장파복사)에 영향을 준다. 염은 용빙온도를 낮춰 주로 수온을 낮추는 역할을 하는 것이 보통인데 이에 따라 방출 플럭스 감소로 귀결된다. 방출 플럭스 감소는 하부 해빙으로의 플럭스를 증가시켜 하계 멜트폰드 발달에 따라 진행중인 얼음-알베도 피드백을 증폭시키는 역할을 함을 생각할 수 있다. 이 연구에서는 멜트폰드 관측을 통해 이러한 가설의 근간을 세우고 기후모델에 탑재된 해빙모델 실험을 통해 가설이 성립될 수 있음을 보인다.

감사의 글 : 이 연구는 해양수산부 R&D ‘북극해 환경변화 통합관측 및 활용연구 (K-AOOS, 20160245)’ 사업과 극지연구소 주요사업 ‘극지 기후변화/기상재해 예측 시스템(KPOPS)의 개발 및 활용 연구 (PE19130)’의 지원을 받아 수행되었음

## 북극진동에 따른 지상 온도 분포와 중위도 한파 발생일 변화의 연 관성 연구

허진우<sup>1</sup>, 허창희<sup>1</sup>, 박태원<sup>2</sup>

서울대학교<sup>1</sup>, 전남대학교<sup>2</sup>

최근 북극 지역의 급격한 변화는 겨울철 중위도 지역의 한파 발생 원인으로 지목되고 있다. 그중 하나의 기작은 겨울철 북반구 대기변동을 대표하는 현상인 북극진동이 북극 온난화의 영향으로 강한 음의 상태가 되어 중위도 지역에서 강한 한파가 많이 발생하는 것이다. 북극진동과 연관된 대기순환은 중위도 지역 지상 온도 분포의 통계적 특성을 바꾸며, 특히 지상 온도 분포를 정규분포로 가정하면 평균이 감소하거나, 표준편차(온도 변동성)가 증가하거나, 왜도가 감소할 때 중위도 한파가 많이 발생한다. 하지만 북극진동에 따른 지상 온도의 평균, 표준편차, 왜도의 변화는 모든 중위도 지역에서 일관되게 나타나지 않으며 지상 온도 분포와 한파 발생일 변화의 관계 또한 정규분포를 가정했을 때와 다를 수 있다. 지상 온도 분포의 통계적 특성 변화를 기준으로 중위도 지역에서의 북극진동의 영향과 실제 사회에 피해를 미치는 한파 발생일과의 관계를 파악하고 북극-중위도 연관성에 대한 이해를 증진하는 한편 정확한 미래 한파 예단을 위해 모델이 북극진동과 중위도 한파 간의 상관성을 잘 모의하는지 확인할 필요가 있다. 본 연구에서는 먼저 북극진동의 영향으로 평균, 표준편차, 왜도가 중위도 지역에서 어떤 양상으로 변하는지 비교하고, 지상 온도의 평균, 표준편차, 왜도의 변화와 실제 한파 발생일 변화 간의 연관성을 탐구하였다. 마지막으로 CMIP5에 참여한 모델을 사용해 북극진동에 따른 온도 분포, 한파 발생일 변화가 잘 모의 되는지 확인하였다. 북극진동이 음의 상태일 때 동아시아, 유럽, 북미 남동부 지역에서는 북풍이 차가운 공기를 이류시켜 평균 온도가 감소하였고 상대적으로 약한 한파의 발생이 증가했다. 평균 온도가 감소한 곳의 남쪽 지역에선 남북 온도경도가 강해져 온도의 표준편차가 증가하였고 이는 상대적으로 강한 한파 발생의 증가로 이어졌다. 이러한 모습은 대륙의 동부인 동아시아, 북미 남동부에서 뚜렷이 나타났다. 반면, 양의 북극진동 상태일 때 왜도가 감소한 지역에선 한파 발생이 증가하지 않고 오히려 감소하였다. 북극진동에 따른 지상 온도 분포와 한파 발생일의 변화 양상은 동아시아, 유럽, 북미 남동부에서 유사하게 나타났지만, 지형적, 사회적 차이로 인해 해당 지역의 사회경제에 미치는 영향은 다를 것으로 보인다. CMIP5에 참여한 22개의 모델은 모두 북극진동을 겨울철 북반구 대기변동의 주요 모드로 모의하였고 북극진동의 순환장도 잘 모의하였다. 모델 앙상블 평균에선 북극진동에 따른 지상 온도의 통계적 특성 변화가 관측과 유사했다. 하지만 각각 모델의 북극진동에 따른 온도 분포 변화를 확인하였을 때 같은 모델이라도 동아시아, 유럽, 북미 남동부 지역에 따라 모의 성능에 확연한 차이가 있었고 모델 간의 차이도 크게 나타났다.

Thanks : This study was funded by the Korea Ministry of Environment (MOE) as part of the Climate Change Correspondence Program,

Tae-Won Park was supported by the National Research Foundation of the Korean government (Grant NRF-2018R1D1A1B07041597).

## Phytoplankton, Dimethylsulfide and Aerosols in the Arctic Atmosphere

Ki-Tae Park<sup>1</sup>, Eunho Jang<sup>1</sup>, Young Jun Yoon<sup>1</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>

Ocean biology may influence the Earth's climate through its effects on atmospheric composition due to the release of various organic compounds into the atmosphere. In particular, sulfur-containing aerosols provide an important source of cloud condensation nuclei in marine atmosphere in the polar region. The production of sulfate from the oxidation of dimethyl sulfide (DMS) was proposed as a negative feedback mechanism by which phytoplankton can modulate the properties of marine clouds. DMS is mostly produced by marine phytoplankton and is the most abundant form of biogenic sulfur released from the ocean. As Arctic warming occurs in the future, the decrease in sea ice may alter the abundance and species composition of phytoplankton. These changes may cumulatively have cascading effects on oceanic DMS emissions and sulfur aerosol formation. We recorded and analyzed the atmospheric dimethylsulfide (DMS) mixing ratios at a remote Arctic location (Svalbard; 78.5°N, 11.8°E) during phytoplankton bloom periods since 2010, 2014, and 2015 and found varying regional relationships between the atmospheric DMS and the extent of exposure of the air mass to the phytoplankton biomass in the ocean surrounding the observation site. Furthermore, the connection between DMS and the formation of aerosol particles in the Arctic atmosphere was evaluated by analyzing atmospheric DMS mixing ratio, aerosol particle size distribution and aerosol chemical composition data. The results showed that the formation of submicron  $\text{SO}_4^{2-}$  aerosols was significantly associated with an increase in the atmospheric DMS mixing ratio. It also confirmed that the increase in DMS-derived  $\text{SO}_4^{2-}$  occurred concurrently with the formation and growth of aerosol particles.

## 인공위성 관측으로 분석된 거대 빙산 A-68의 초기 진화 Initial Evolution of Giant Iceberg A-68 Analyzed by Satellite Observations

한향선, 이성재, 김재인, 김승희, 김현철<sup>1</sup>

Hyangsun Han, Sungjae Lee, Jae-In Kim, Seung Hee Kim, Hyun-cheol Kim

극지연구소

Korea Polar Research Institute

빙산 A-68은 남극 반도의 라센 C 빙붕(Larsen C Ice Shelf)에서 2017년 7월 분리된 단면적 5800 km<sup>2</sup>의 초거대 빙산이다. A-68의 발생과 진화 과정은 남극 반도 주변 해양환경에 매우 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 지속적으로 모니터링 될 필요가 있다. 이 연구에서는 인공위성 영상레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR)와 레이더 고도계 자료를 이용하여 A-68의 발생 직후부터 1.5년간 면적, 이동 및 회전속도, 프리보드(freeboard)의 변화를 관측함으로써 빙산의 초기 진화를 분석하였다. Sentinel-1 SAR 영상으로 관측된 A-68의 면적은 발생 이후 1년간 빙산 가장자리의 붕괴로 인해 감소하였고, 얇은 해저면과 고농도의 주변 해빙으로 인해 이동과 회전량이 매우 작았다. 그러나 2018년 8월 이후부터는 빙산의 급격한 움직임과 면적의 증가가 관측되었다. 빙산의 이동속도 및 회전량의 증가는 주변 해빙농도의 감소와 동시에 강한 활강풍의 영향으로 해저면이 얇은 곳으로부터 빙산이 탈출하였기 때문이다. 빙산 주변의 해빙이 감소하고 이동속도가 가속화되면 빙산과 해수 사이의 마찰이 증가하는데, 이는 빙산의 하부 용융(basal melting)을 촉발하여 두께를 감소시키는 원인으로 작용한다. 빙산의 두께 감소는 빙체의 longitudinal stretching을 수반하게 되며, 이 효과 때문에 인공위성 SAR 영상에서 A-68의 면적 증가가 관측된 것으로 분석되었다. CryoSat-2 레이더 고도계 관측에 의하면 A-68의 프리보드는 일정한 높이를 유지하다가 2018년 2월부터  $-0.80 \pm 0.29$  m/a의 속도로 감소하기 시작하였다. 인공위성으로 관측된 A-68의 면적과 프리보드의 변화로부터 빙산 발생 이후 1.5년간 약  $1.1 \times 10^5$  톤의 빙체 손실이 발생하였음을 확인할 수 있었다.

감사의 글 : 이 연구는 극지연구소 기본연구사업(PE18250, PE19120)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 남극세종과학기지 기후 Climatology Observed at King Sejong Station, Antarctica

박상중, 최태진, 이방용, 김성중  
Sang-Jong Park, Tae-Jin Choi, Bang-Yong Lee, and Seong-Joong Kim

극지연구소 극지기후과학연구부  
Division of Polar Climate Sciences, Korea Polar Research Institute

King Sejong Station (KSJ) is located on the King George Island, north of the Antarctic Peninsula at about 62.23°S, 58.79°W. Because KSJ is located at polar front zone, the station experiences frequent passage of cyclonic systems with very strong wind and overcast sky. Variation of surrounding large-scale circulations affects polar front then weather conditions observed at KSJ.

Regular meteorological observation has been made at KSJ (WMO Index No. 89251) since February 1988 to provide weather information for field activities as well as to study Antarctic climate. Because raw data of AWS (Automatic Weather Station) usually contains portion of erroneous values due to sensor or system failure, we have carried out several steps of quality control on the raw data prior to estimation of climatology. Also, we have checked manual observation data such as cloud amount, snow depth.

Using the quality-controlled meteorological data, we have studied various climatology of variables such as air temperature, wind, atmospheric pressure, precipitation, snow, solar radiation, cloud amount at the King Sejong Station. From 30-year data, mean annual temperature is  $-1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , wind speed is 8.0 m/s, sea level pressure is 990.5 hPa. Interestingly, it was found that annual temperature recovered warming trend since 2010 contrary to cooling trend between 1999 and 2010. It was also noted that mean wind speed showed weakening trend since 2010 and cloud amount showed increasing trend.

In the presentation, mean and extreme values will be given for other variables. In addition, seasonal and monthly statistics will be presented.

### Acknowledgement

This study was supported by PE19010 of Korea Polar Research Institute)

## 남부 드레이크 해협 후기 제4기 퇴적물의 빙하주기에 따른 탄산염 용해도의 변화

### Glacial-interglacial carbonate dissolution of the Late Quaternary sediments from the southern Drake passage

이재일<sup>1</sup>, 유규철<sup>1</sup>, 김성한<sup>1</sup>, 이민경<sup>1</sup>, 문흥수<sup>1</sup>, 박용희<sup>2</sup>  
 Jae Il Lee<sup>1</sup>, Kyu-Cheul Yoo<sup>1</sup>, Sunghan Kim<sup>1</sup>, Min Kyung Lee<sup>1</sup>, Heung Soo Moon<sup>1</sup>, Yong Hee Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>극지연구소, <sup>2</sup>강원대학교

<sup>1</sup>Korea Polar Research Institute, <sup>2</sup>Kangwon National University

빙하기와 간빙기의 빙하주기에 따라 대기 중 이산화탄소의 농도가 변화하는 현상은 잘 알려져 있으나 그 원인과 기작에 대해서는 아직 모르는 부분이 많다. 심해에는 많은 양의 이산화탄소가 녹아 있으며 퇴적물 내의 탄산염 용해와 침전 역시 심해에서 일어나므로 심해의 탄산염 화학작용의 변화는 전체 탄소 순환에 큰 영향을 미칠 것으로 여겨지고 있다. 하지만 실제로 심해의 작용이 빙하주기에 따른 대기 중 이산화탄소의 농도 변화에 얼마만큼의 영향을 미치는가에 대해서는 알려진 바가 적다. 이는 부분적으로는 심해 퇴적물의 실제 탄산염 변화 자료, 특히 전세계 심층수의 발원지인 남극주변부의 탄산염 성분의 함량 자료가 극히 부족하기 때문이기도 하다.

남부 드레이크 해협의 2710~4090미터 수심의 6개의 중력 코어 퇴적물에 대하여 탄산염 함량을 측정하고, 연대모델을 설정하여 빙하주기에 따른 탄산염 함량의 변화를 알아보았다. 이 지역의 퇴적물은 최대 1백만년 이상의 연대를 지니고 있으며 빙하주기에 따라 대자율과 유기물 함량 등이 주기적으로 변동하는 특성을 지니고 있다. 퇴적물은 0.7~5.9cm/ky 범위에 있으며 서쪽에서 동쪽으로 가면서 높아진다. 다양한 깊이의 코어로부터 탄산염 함량을 비교한 결과 이 지역의 탄산염 함량 변화는 주로 해저면에서의 탄산염 보존 정도에 따라 조절됨을 알 수 있었다. 중기 플라이스토세 기후전환기 이후 남부 드레이크 해협 퇴적물 내의 탄산염 함량 변화의 특성을 살펴 보면, 탄산염 용융의 영향이 적은 비교적 얇은 수심에서는 간빙기에 높고 빙하기에 낮은 양상을 보이지만 깊은 곳에서는 간빙기에는 모든 탄산염이 용해되고 빙하기의 경우 일부 구간에만 탄산염이 보존되는 양상을 보여준다. 이 지역은 빙하기에도 전반적으로 탄산염 용해가 많이 일어나는 지역이지만, 이 연구에서는 특히 간빙기에 탄산염의 용해가 더 많이 일어났음을 밝혔다. 이는 간빙기에 이 지역에 영향을 미치는 웨델해 기원의 심층수가 탄산염 용해를 쉽게 일으키는 특성을 지니고 있기 때문인 것으로 해석되며, 남극 기원의 심층수의 영향이 미치는 태평양이나 인도양 지역에서 간빙기의 탄산염 함량이 적어지는 현상도 이와 관련이 있을 것으로 유추된다.

## 남극 천문우주과학 인프라 구축 방안 연구 A Study on the Infrastructure for Astronomy & Space Science in the Antarctic

정종균, 박재홍, 양희수, 유성문, 정태현, 한정열, 김록순, 민영철, 조경석  
Jong-Kyun Chung, Jaeheung Park, Heesu Yang, Sung-Moon Yoo,  
Taehyun Jung, Jeong-Yeol Han, Rok Soon Kim, Young Chol Minh,  
Kyungsuk Cho

한국천문연구원  
Korea Astronomy & Space Science Institute

1988년 2월 우리나라 최초의 남극과학기지인 세종과학기지가 남극반도 끝의 킹조지섬에 건설되어 해양학, 대기과학, 고층대기물리학, 생물학, 지질학 분야의 연구가 시작되었다. 2014년 2월에는 남극대륙 거점 기지인 장보고과학기지가 서남극 테라노바만에 준공되어 빙하학, 운석 탐사 등으로 연구 분야가 확장되었다. 2017년부터 장보고과학기지에서 남극 내륙의 Dome-C 인근까지 약 1,500 km 거리의 코리안 루트(K-루트) 개척이 시작되었다. 이는 지상에서 천문 관측의 가장 최적지로 평가받는 남극내륙으로 진출 경로가 확보되어 천문우주과학 관측 연구의 새로운 도약을 할 수 있는 기회로 생각된다.

평균고도 2,500m인 남극내륙의 대기는 기온이  $-70^{\circ}\text{C}$  내외로서 매우 건조(대기 수증기량:  $\sim 0.1\text{mm}$ )하고 안정적(대기시상:  $0.2''$  이하)이다. 또한 대기 에어로졸이 매우 적어 천체로부터 오는 빛이 대기 산란 영향을 거의 받지 않는다. 이와 같은 천체의 관측 조건은 지구 어느 곳에서도 찾아 볼 수 없지만, 동시에 접근성과 안정성을 고려할 때 천문우주과학 관측 인프라 구축과 운영에 큰 어려움이 예상된다.

한국천문연구원은 2018년 ‘천문우주과학 남극 활용 기획연구’를 수행하고 이를 기반으로 전파천문학, 광학천문학, 태양물리, 우주환경, 우주측지의 5개 주요 연구개발 추진분야를 선정하였다. 남극 천문우주 관측환경 탐사 예비연구로서 2019년 하반기에는 장보고과학기지와 K-루트에서 ‘태양 시상 관측’, ‘우주 고에너지 입자 (30–400 MeV/nucleon) 측정’, ‘고속 샘플링 GNSS 관측’을 수행할 예정이다. 본 발표에서는 남극의 천문우주과학 관측환경에 대해 토의하고 이에 따른 한국천문연구원의 관측 인프라 구축 계획에 대해 소개할 것이다.

## Meteor radar observations of vertically propagating low-frequency inertia-gravity waves near the southern polar mesopause region

송인선<sup>1</sup>, 이창섭<sup>1</sup>, 김정환<sup>1</sup>, 지건화<sup>1</sup>, 전해영<sup>2</sup>, 김용하<sup>3</sup>

I.-S. Song<sup>1</sup>, C. Lee<sup>1</sup>, J.-H. Kim<sup>1</sup>, G. Jee<sup>1</sup>, H.-Y. Chun<sup>2</sup>, and Y. H. Kim<sup>3</sup>

극지연구소<sup>1</sup>, 연세대학교<sup>2</sup>, 충남대학교<sup>3</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Yonsei University<sup>2</sup>, Chungnam National University<sup>3</sup>

Vertically propagating low-frequency inertia-gravity waves (IGWs) are retrieved from meteor radar winds observed at King Sejong Station (KSS: 62.22°S, 58.78°W), Antarctica. IGW horizontal winds extracted from temporal band-pass filtering in regular time-height bins show the frequent occurrence of IGWs with the downward phase progression and the counterclockwise rotation of their horizontal wind vectors with time (i.e., upward energy propagation) near the mesopause region throughout the whole year of 2014. The vertical wavelengths of the observed IGWs roughly range from 14 km to more than 20 km, which is consistent with previous observational studies on the mesospheric IGWs over Antarctica. Stokes parameters and rotary spectra computed from the hodographs of the IGW horizontal wind components reveal that the intrinsic frequencies of the upward propagating IGWs are  $|f|-3|f|$  with seasonal variations of the relative predominance between  $|f|-2|f|$  and  $2|f|-3|f|$ , where  $f$  is the Coriolis parameter at KSS. The hodograph analysis also indicates that the N-S propagation is dominant in austral summer, while the NE-SW propagation is pronounced in austral winter. The propagation direction is discussed in relation to the generation of IGWs due to dynamical imbalances occurring in the tropospheric and stratospheric jet flow systems. Ray tracing results indicate that the N-S propagation in summer may be due to the jet flow systems roughly north of KSS and the NE-SW propagation in winter may be either the SW propagation from the jet flow systems northeast of KSS or the NE propagation (around the South Pole) from the south of Australia and Southern Indian and Pacific Oceans.

Thanks : This work was supported by research fund PE17020 from Korea Polar Research Institute.

## Two leading modes of Antarctic surface temperature and their contributions to Antarctic surface climate change

Sang-Yoon Jun<sup>1</sup>, Joo-Hong Kim<sup>1</sup>, Jung Choi<sup>2</sup>, Seong-Joong Kim<sup>1</sup>, Baek-Min Kim<sup>3</sup>, and Soon-Il An<sup>4</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Seoul National University<sup>2</sup>, Pukyong National University<sup>3</sup>, Yonsei University<sup>4</sup>,

Recent multi-decadal Antarctic surface climate change is clearly manifested by greater warming trends in the Antarctic Peninsula and West Antarctica, compared with East Antarctica. By using multiple observations and climate model simulations, we propose two leading modes of Antarctic surface temperature mainly contribute to the east-west asymmetric surface climate change. The first mode shows the surface temperature increase of the whole Antarctic continent, while the second mode displays the opposite temperatures between west and east Antarctica divided by the Transantarctic Mountains. The corresponding principle components from recent Antarctic surface temperature reconstruction dataset indicate that both modes become stronger during recent multi-decades, resulting in substantial warming over Antarctic Peninsular and West Antarctica and weak surface temperature change over east Antarctica. Additionally, long-term datasets show that global scale forcing factors have solid contribution to the first mode but little contribution to the second mode, suggesting that the current east-west asymmetry of Antarctic climate change can be natural origin.

## 저온에서의 미생물에 의한 스멕타이트-일라이트 반응에 대한 실험 연구 Experimental evidence of microbially induced Smectite-to-Illite reaction at low temperature

구태희<sup>1</sup>, 김지영<sup>1,2</sup>, 김진욱<sup>1</sup>  
Tae-hee Koo<sup>1</sup>, Jee-young Kim<sup>1,2</sup>, Jin-wook Kim<sup>1</sup>

연세대학교 지구시스템과학과<sup>1</sup>, 환경부 원주지방환경청<sup>2</sup>  
Department of Earth System Sciences, Yonsei<sup>1</sup>,  
Wonju regional office, Ministry of Environment<sup>2</sup>

The microbe-mineral interaction, particularly the smectite-to-illite (S-I) reaction induced by Fe-reducer, has been actively studied over the past decade. Recently, the microbially induced S-I reaction in natural environment (Nanki Trough) has been reported based on the results of laboratory-scale experiments. However, there is limited research on the specific mechanisms of microbe-mineral interaction, therefore, experiments under extreme conditions should continue to be carried out in order to understand and elucidate the microbially induced S-I reaction in various natural environments. In the present study, the research on the structural and chemical modification of nontronite was conducted using "psychrophile" that were growing active at low temperature (4°C).

Two psychrophile strains, *Shewanella vesiculosa* and *Shewanella frigidimarina* were inoculated into the oxygen-free M1 medium with 5 g/L of nontronite (NAu-1) as sole electron acceptor, and then incubated for 1 week to 1 year. Afterwards, the reaction was stopped by freezing the samples in deep-freezer (-80°C) and multi-line of analysis were followed using aliquot sample. The X-ray diffraction profiles showed a modification in  $d_{001}$  peak of nontronite upon ethylene-glycolation followed Li-saturation in long-term incubation sample (10 Å-shoulder) that indicating the initial illitization has been progressed by microbial respiration even in a low-temperature condition. The increases in Fe, Al, and Si concentration in the supernatant was observed, and moreover, the formation of vivianite ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) which is obvious evidence for the reductive dissolution of nontronite. Although the discrete illite packet has not been identified, partial modified mixed layer of 2.1-2.2 nm lattice and increased in Al/Si upto 0.3 were identified that suggesting the S-I reaction could be triggered by microbes even at the low temperature. These results collectively suggest that the microbial respiration of psychrophiles at low temperature could play an important role in the mineral diagenesis and elemental cycle, particularly the supply of the bioavailable Fe. In this presentation, the results of psychrophile-nontronite reaction in low temperature condition and the implications of the accompanying biogeochemical cycle effect to the natural environment, particularly, the extreme environment such as sub-iceshelf condition.

## 남극세종과학기지와 남극장보고과학기지에서 관측된 이산화탄소의 장기변동 특성 분석

### Long-term Trends of Atmospheric CO<sub>2</sub> at King Sejong Station and Jang Bogo Station

안서희<sup>1, 2</sup>, 최태진<sup>1</sup>, 유재일<sup>1</sup>, 박상중<sup>1</sup>, 홍상범<sup>1</sup>  
 Seo Hee Ahn<sup>1, 2</sup>, Taejin Choi<sup>1</sup>, Jaeill Yoo<sup>1</sup>, Sang-Jong Park<sup>1</sup>, Sang Bum Hong<sup>1</sup>

한국해양과학기술원 부설 극지연구소<sup>1</sup>, 과학기술연합대학원대학교<sup>2</sup>  
 Korea Polar Research Institute (KOPRI)<sup>1</sup>, University of Science and Technology<sup>2</sup>

남극세종과학기지(이하 세종기지)와 남극장보고과학기지(이하 장보고기지)에서는 각각 2010년 1월과 2015년 3월부터 파장스캔 공동감쇄분광기(Wavelength-scanned cavity ring down spectroscopy, WS-CRDS)를 이용하여 대기 중 이산화탄소 농도 관측을 수행해 오고 있다. WS-CRDS는 제습장치, 유량조절장치, 그리고 교정 장치가 부속 장치로 설치되어 2초 주기로 200 ppb (세종기지)와 70 ppb (장보고기지)의 정밀도로 이산화탄소 농도를 측정한다. 세종기지는 관측이 시작된 2010년 1월에 월평균 이산화탄소 농도 384.704 ppm을 기록한 이후로 매년 증가 추세이며 2018년에는 일평균 402.3-405.4 ppm 값의 범위에서 404.0 ppm의 연평균 값을 보였다. 장보고기지 역시 2015년 3월 396.074 ppm의 월평균 이산화탄소 농도 값을 기록한 이후 매년 농도가 증가하고 있으며 2018년 일평균 이산화탄소 농도 값은 403.4-406.4 ppm의 범위에서 나타났고 연평균 농도 값은 404.8 ppm이었다. 2018년 세종기지와 장보고기지의 평균 증가율은 각각 1.67 ppm year<sup>-1</sup>과 2.35 ppm year<sup>-1</sup>이며 전 지구 평균 증가율인 2.48 ppm year<sup>-1</sup> 보다 낮은 증가율을 보였다. WS-CRDS는 적절하게 교정이 되면 장기간 안정적으로 작동하고, 두 종류의 표준가스 사용만으로도 교정이 가능하다는 장점이 있으나 사용된 교정 가스의 조성 등으로 인한 오차가 발생할 수 있다. 위에서 제시된 값은 추가적인 분석 등을 통해 다소 변할 수가 있으며 그와 관련된 추가 분석이 제시될 예정이다.

감사의 글 : 이 연구는 극지연구소 사업(PE19010)과 기상청 「기후변화 감시·서비스 체계 구축 및 운영」 사업의 지원을 받아 수행되었음

THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-08**

서남해안 하구역 연안  
퇴적층 연구



## 고기후 · 고환경 해석에서의 개형충의 활용 방안 제시; 낙동강 삼각주에서 채취한 시추코어 퇴적물을 이용한 환경해석

### Proposal of ostracod's utilization method in the fields of paleo-climate and paleo-environment; Paleoenvironment interpretation of Nakdong River delta

김복혜, 정대교

Bokhye Kim, Daekyo Cheong

강원대학교

Kangwon National University

한반도 주변의 연안 퇴적물은 신생대 후기 해수면 변화에 따라 다양한 종류의 퇴적물이 퇴적되어 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 퇴적물에는 환경 변화에 따라 많은 미고생물들이 서식해 있으며, 퇴적물 속에 포함되어 있는 미고생물들의 변화 양상은 과거 해수면의 변화가 어떻게 이루어 졌는지 알려주는 중요한 지시자 역할을 할 수 있다. 여러 미고생물 중 개형충은 민물과 해수에서 모두 서식 가능한 소형 갑각류로서, 해수와 민물의 영향 정도에 따라 서식 종의 다양성이 달라진다. 개형충의 패각은 탄산칼슘으로 이루어져 있으며, 개형충은 성충으로 성장하면서 여러번의 탈피를 경험하게 된다. 탈피를 경험하면서 패각에는 여러 종류의 미량원소들이 포함되어지게 되며, 패각 내에 포함되어 있는 미량원소의 종류와 함량을 분석하게 된다면, 해수의 성분 변화를 확인할 수 있게 된다. 이러한 개형충의 특성으로 인해 전 세계적으로 개형충 패각의 미량원소와 동위원소분석을 통한 고환경 · 고기후 해석이 광범위하게 이루어지고 있으며, 해양환경에서만 존재하는 유공충과 대비하여 육상 수성환경에서도 발견되기 때문에 육상환경(호수 퇴적물 등)에서의 고환경 · 고기후 해석에 많이 활용되어지고 있다. 그러나 아직 한반도에서는 개형충의 종 분류에 관한 연구 외에는 개형충의 연구가 활성화 되지 않아, 이번 연구를 통해서 개형충의 미량원소를 이용한 환경변화 연구의 중요성을 제시해보고자 한다.

낙동강 삼각주는 기존의 여러 연구를 통하여 신생대 후기 두꺼운 퇴적층이 퇴적된 것이 확인되었다. 이번연구에서는 기존에 연구된 여러 시추코어 중 강원대학교에서 채취한 ND-2번의 코어를 선택하여 개형충의 종 분류와 미량원소 분석(*Bicornucythere bisanensis* 종)을 수행하였다. 그 결과 마지막빙하기가 끝나고 홀로세가 시작되는 시기(약 11~10ka B.P.)에는 개형충의 종 다양도 및 함량이 낮으며, 염도를 지시해주는 Sr/Ca의 함량 값이 상대적으로 낮게 나타났다. 이후 홀로세가 시작되면서 Sr/Ca의 함량이 점차 증가하고, 개형충의 종 다양성 및 함량도 같이 증가하여 약 7ka B.P.에는 각각의 요소들의 값이 최고의 값을 보였다. 이후 코어 상부로 올라갈수록 Sr/Ca의 값은 다소 감소하고, 개형충의 종 다양성과 함량도 다소 감소하는 것으로 보아, 약 7ka B.P.에 낙동강 삼각주 지역에 해수가 최대로 영향을 미쳤으며, 이후 몬순의 영향으로 인하여 민물이 해수보다 더 강하게 영향을 준 것으로 생각되어 진다.

## Millennial-scale variation of fossil planktonic foraminifera in the coastal areas along the southeast Korea during the Holocene

Hiroyuki Takata<sup>1</sup>, Boo-Keun Khim<sup>1</sup>, Jong-Hwa Chun<sup>2</sup>, Jin-Cheul Kim<sup>2</sup>,  
Seungwon Shin<sup>1</sup>, Kota Katsuki<sup>3</sup>, Daekyo Cheong<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Pusan National Univ., <sup>2</sup>KIGAM, <sup>3</sup>Shimane Univ., <sup>4</sup>Kangwon National Univ.

We investigated fossil planktonic foraminifera from a drilled long core ND-02 (Nakdong River Delta) and a short piston core PC-11 (off the southeast Korea; 39.6 m water depth), in order to study the millennial-scale variation in the surface ocean and its impact to the coastal areas of the southeast Korea. Planktonic foraminifera occurred continuously during ~8–4 ka in core ND-02 and from ~4 ka to the present in core PC-11. *Neogloboquadrina pachyderma* (dex.) (equivalent to *N. incompta*) shows that millennial-scale fluctuation occurs five times (~1, ~3, ~5, ~7 and ~8 ka) in the two cores. In contrast, *N. pachyderma* (sin.) generally shows the opposite stratigraphic pattern in core ND-02.

Such kind of a pattern may be strongly different from that of hemi-pelagic sediments off the western margin of Japan showing that dominant species usually shifted from *N. pachyderma* (sin.) to *N. pachyderma* (dex.) across ~7 ka through the intensification of the Tsushima Warm Current (Domitsu and Oda, 2008). In contrast, the stratigraphic variation of *N. pachyderma* (dex.) (regarded as a temperate species) in our cores is similar to that of *Fragilariopsis doliolus*, a warm-water diatom, in Oki Ridge (Koizumi, 2008). It has been noted that ~1.6 kyrs cyclicity is present in the fluctuation of warm-water diatom during the Holocene which may follow the Bond Event (Koizumi and Sakamoto, 2010). Our preliminary results from the shallow marine sediments (cores ND-02 and PC-11) might record the possible teleconnection on the Bond Event in the East Asian margin.

## What do stable isotopes of benthic foraminifera in the Nakdong River Delta (southeast Korea) tell us?

B.K. Khim<sup>1</sup>, H. Takata<sup>1</sup>, S. Shin<sup>1</sup>, J.C. Kim<sup>2</sup>, D. Cheong<sup>3</sup>

Pusan National University<sup>1</sup>, KIGAM<sup>2</sup>, Kangwon National University<sup>3</sup>

Based on geomorphology and hydrodynamics, the Nakdong River Delta (southeast Korea) was divided geographically into the upper delta plain, the lower delta plain, the marginal basin (i.e., floodplain), and the prodelta. Two cores (ND-01, ND-02) were drilled in the lower delta plain of the Nakdong River delta: one is located in the upstream toward the upper delta plain and another is located in the downstream at the rim of river mouth. Both cores preserved the same and consistent four main lithologic successions (upper sand unit, middle mud unit, lower sand unit, lower mud unit) characterized by the excellent correlation based on multi-proxy sediment properties. Stable oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) and carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) values of benthic foraminifera were measured using *Pseudorotalia gaimardii* (d'Orbigny) (>63  $\mu\text{m}$ ) for the middle mud unit of core ND-01 and *Elphidium advenum* (>125  $\mu\text{m}$ ) for the middle mud unit and lower sand unit of ND-02, based on the occurrence and abundance of benthic foraminifera. The variation pattern of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values between two cores is remarkably similar within the middle mud unit. Based on the assumption that  $\delta^{18}\text{O}$  values of benthic foraminifera reflect primarily the seawater isotope change decided by the balance between incoming marine seawater and the outflowing freshwater discharge in addition to the temperature effect, and that  $\delta^{13}\text{C}$  values of benthic foraminifera mainly represent the extent of  $^{13}\text{C}$  of dissolve inorganic carbon (DIC) which is also controlled by the freshwater and seawater DIC as well as by the degree of primary production, the deposition of lower delta plain will be discussed in the context of hydrodynamic condition change inferred from the variation of these  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values.

## 낙동강 삼각주 일대의 퇴적시기 Depositional ages in the Nakdong deltaic sediments

김진철  
Jin Cheul Kim

한국지질자원연구원 지질환경재해연구센터

이번 연구에서는 한반도 낙동강 삼각주 일대에서 시추된 코어 퇴적물의 절대연대측정을 위하여 광여기 루미네선스 연대측정과 탄소연대측정법을 활용하였다. 이번 연구를 통하여 조립질 석영과 세립질 석영의 루미네선스 특성들이 비교 분석되었으며 이로부터 얻어진 연대측정 값들은 탄소연대측정을 통하여 비교 검증되었다. 탄소연대측정의 경우 퇴적층 내의 목편과 조개껍질을 이용하였다. 루미네선스 연대측정결과는 40년에서부터 27,000년까지의 분포를 보이며 층서적으로 잘 일치한다. 이는 탄소연대측정 결과와도 매우 잘 일치하며 부분적으로 marine reservoir effect에 의한 루미네선스 연대결과보다 200-300년 정도 높은 탄소연대값들이 관찰된다. 최하부 층준의 경우 LGM(Last Glacial Maximum) 이전의 퇴적작용과 LGM 이후부터 약 1만년까지는 부정합이 존재함을 알 수 있다. 그 후 9000-7000년 사이에 가장 빠른 퇴적 작용이 진행되었고 약 5000년 이후에 퇴적작용이 점이적으로 감소하였다. 그 후 약 2000년부터 현재까지 다시 빠른 퇴적작용이 지속되었음을 알 수 있다. 이번 연대측정 결과는 시기에 따라 서로 다른 퇴적률을 지시한다. 루미네선스 연대측정의 경우 약 50cm 이내의 등간격으로 샘플링이 가능하기 때문에 이러한 퇴적을 변화와 환경 해석을 하는데 있어서 매우 유리한 절대연대측정법임을 알 수 있다.

## 홀로세 6,000~3,000년 시기 서해안 퇴적층의 결층과 고환경변화의 퇴적학 증거

### Missing marine sediments in the western coast of Korea from the Holocene 6,000 to 3,000 years and sedimentological evidence for paleoenvironmental changes

장태수<sup>1</sup>, 김진철<sup>2</sup>, 손창수<sup>1</sup>, 전승수<sup>3</sup>

Tae Soo CHANG, Jin Cheul KIM, Chang Soo SON, Seung Soo CHUN

한국해양대학교<sup>1</sup>, 한국지질자원연구원<sup>2</sup>, 전남대학교<sup>3</sup>

Korea Maritime and Ocean University<sup>1</sup>, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources<sup>2</sup>, Chonnam National University<sup>3</sup>

드넓은 조간대가 발달한 서해안은 대조차환경임에도 곳에 따라 해빈-사구 시스템이 나타난다. 최근의 선행연구결과에 따르면, 해빈-사구퇴적층은 하부의 조간대층 위에 놓이며, 위의 퇴적층 사이에 약 3,000년의 시간적 간격이 존재하는 것으로 보고되었다. 하부의 조간대층은 대부분 8-6 ka 시기에 퇴적되었으며, 반면 상부의 해빈-사구 퇴적층은 대략적으로 3 ka 이후부터 현재까지 형성된 것으로 알려졌다. 하지만 이러한 결층의 원인에 대한 설명은 아직까지 부족하다. 이 연구는 중기-후기 홀로세의 결층이 나타나는 연구지역의 시추코어 분석을 통해, 결층의 특징, 상하 퇴적층과의 관계와 퇴적상분석으로부터 결층의 원인에 대해 살펴보았다. 서해안 퇴적층의 층서를 세우기 위해 기반암까지 관통하는 여러 지점의 시추코어 퇴적물에 대해 OSL과 탄소방사성 연대측정을 수행하였다. 고퇴적환경변화를 추적하기 위해 시추코어에 대해 상세한 퇴적상 분석을 실시하였으며, 보조적으로 XRF 코어스캐너를 사용하여 지화학분석을 수행하였고 해석에 활용하였다. 다수의 시추퇴적상 분석결과 서해안 퇴적층은 하부의 이질 조간대 퇴적층과 상부의 해빈-사구 퇴적층으로 구성된다. 하부 조간대 이질 퇴적상은 해침 시 조석우세 환경에서, 그리고 상부의 해빈-사구는 고해수면시기의 파랑우세 환경에서 쌓인 것으로 해석된다. 약 3 ka의 결층, 약 6,000-3,000년 혹은 무퇴적 시기는 조석우세에서 파랑우세환경으로 물리적 에너지의 전환시기로 추정된다. 유사한 시기 서해 대륙붕 퇴적물의 알케논 해수표층온도는 약 2°C 낮은 것으로 최근 연구결과 밝혀졌으며, 동해안의 석호 퇴적물 분석에서도 4,000년 시기에 한랭기가 존재했던 것으로 드러났다. 서해 대륙붕 시추코어 분석결과에 따르면, 홀로세 중기 약 6,000년 시기부터 갑작스런 퇴적물 공급의 감소가 발생한 것으로 나타났다. 위의 선행연구결과를 고려할 때, 결층 시기 혹은 전환 시기의 해수면 변동은 아직 불분명하다. 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 낙동강 삼각주 연구 현황과 문제점

신승원<sup>1</sup>, 정대교<sup>2</sup>, 김진철<sup>3</sup>

부산대학교<sup>1</sup>, 강원대학교<sup>2</sup>, 한국지질자원연구원<sup>3</sup>

낙동강 삼각주는 국내에 분포하는 하구역 중에서 가장 큰 삼각주 퇴적체가 분포하는 지역으로 특이하게 만(bay)에 퇴적층이 축적되어 있다. 그동안 연구는 연약지반 분포지역이어서 토목공학적인 연구가 진행된 바 있으며, 사주 섬들에 대하여 지형학적 연구가 진행된 바 있다. 2010년대 이후에 본격적인 낙동강 삼각주 퇴적체에 대한 연구가 진행되었고, 퇴적학적, 고생물학적, 지구화학적, 연대학적 연구가 발표되었다.

연구는 주로 강원대학교와 한국지질자원연구원의 제4기 연구실, 부산대학교에서 ND-01 코어를 분석하여 입도분석, 지구화학적 분석, 규조, 유공충, AMS, OSL 연대측정 등의 매우 다양한 분석을 통하여 삼각주 형성과 관련된 퇴적학적, 고생물학적 결과를 제시하였다. 이후 울타리 섬에 해당하는 진우도와 장자도 일대에서 획득한 코어를 분석하여 ND-01과의 비교연구를 수행하였다. 그러나 미고생물자료 중에서 규조, 유공충, 개형충 등의 결과도 서로 다른 해석이 이루어지고 있다. 또한, 연대학적인 결과 해석, 퇴적학적, 지구화학적 결과 해석에도 차이가 있어 이에 대한 종합적인 토론이 필요할 것으로 보인다.

THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-09**

**동아시아-인도몬순  
: 과거, 현재 그리고 미래**



## 석순의 성장 휴지기 결정을 위한 조직적 분석의 중요성 The significance of textural analysis for decision of growth hiatus in stalagmite

백소영<sup>1,2</sup> · 조경남<sup>1,2</sup>  
Soyoung Baek<sup>1,2</sup> · Kyoung-nam Jo<sup>1,2</sup>

강원대학교 지질학과<sup>1</sup>  
강원대학교 크리티컬존 선도연구실<sup>2</sup>

현재 동굴생성물은 석순의 지화학적 분석을 통하여 고기후를 해석하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 지화학적 분석에 의한 고기후 해석 연구에 초점이 맞춰지며, 장비 발달 및 통계 프로그램의 활용으로 인하여 가장 기본적인 동굴생성물의 조직에 관한 연구는 점차 생략 또는 약화되어가는 실정이다. 동굴생성물의 정밀한 조직분석은 지화학 자료 분석 시 시료 채취 위치 선택과 이후 지화학 자료의 질 향상 및 해석에 도움을 주며, 뿐만 아니라 성장선 분석으로 연대를 추정하는 것이 가능하여 그 자체로 연대학적, 고기후학적 정보를 많이 담고 있다. 이번 연구에서는 이미 우라늄 계열 연대측정 자료를 가지고 있는 석순을 이용하여 조직적 휴지기와 시간적 휴지기를 대비하였다. 아직까지 정리가 되어 있지 않은 휴지기에 대해서 시간적, 조직적 휴지기로 나누어 정의하고, 시간적 휴지기의 가능성이 있는 조직적 휴지기를 확인하여 두 휴지기 간 연관성을 추적하였다. 석순에서 관찰할 수 있는 조직적 특징으로 성장띠(growth band)의 색, 두께, 밀집도, 이질 성장선, 침식면, 성장축의 변화, 다른 종류의 동굴생성물 성장을 분석하였다. 연구 결과, 육안 상 큰 변화로 인식되어 연구자들이 시간적 휴지기로 의심할 가능성이 높은 성장축은 시간적 휴지기와 큰 연관성이 관찰되지 않았다. 이를 제외한 특징들은 시간적 휴지기를 확인할 수 있는 지시자로 활용될 수 있으며, 성장선의 밀집도는 상대적인 성장률을 지시할 수 있는 것으로 확인되었다. 또한, 기존 연구결과에 의하여 석순의 조직적 특징으로 제시된 LBS(Layer Bounding Surfaces)에서 Type L(lessened) 층이 시간적 휴지기를 지시할 가능성이 있는 것으로 확인되었다. 추가적으로 성장선이 잘 발달되어 있는 삼각 산수직굴 석순의 성장선 세기(band counting) 결과와 우라늄 계열 연대측정결과를 대비하여 지화학적인 연대측정결과를 보충할 수 있으며, 또한 석순의 성장선이 연간 성장선임을 확인하였다. 이와 같이 조직적 휴지기 내에 내포된 시간적 휴지기를 확인함으로써, 조직분석이 연대측정 시 우선적으로 선택해야하는 시료채취 지점을 효율적으로 선택하는데 도움을 주고, 성장선 세기 자료를 통하여 연대 자료를 보충할 수 있음을 확인하였다. 따라서 석순을 이용한 고기후 연구 진행 시 반드시 정밀한 조직 분석이 선행되어야 한다는 점을 제안한다.

## Variation of clay mineral compositions and detrital Nd–Sr isotopes by the Indian monsoon in the western Andaman Sea (IODP Site U1447) since the late Miocene

Jongmin Lee<sup>1</sup>, Sunghan Kim<sup>2</sup>, Jae Il Lee<sup>2</sup>, Hyen Goo Cho<sup>3</sup>,  
Stephen C. Phillips<sup>4</sup>, Boo–Keun Khim<sup>1\*</sup>

Pusan National University, Korea<sup>1</sup>, Korea Polar Research Institute, Korea<sup>2</sup>,  
Gyeongsang National University, Korea<sup>3</sup>, University of Texas, USA<sup>4</sup>

We measured Nd–Sr isotopes of detrital particles, clay mineral compositions of fine–grained sediments, and  $\delta^{13}\text{C}$  of sediment organic matter (SOM) at the International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 353 Site U1447 in the western Andaman Sea to reveal the sediment provenance changes and weathering intensity variations influenced by the Indian monsoon evolution. The age model based on biostratigraphic and paleomagnetic data shows that IODP Site U1447 preserves late Miocene sediments.  $\delta^{13}\text{C}_{\text{SOM}}$  values were relatively consistent over the last 9 Ma and represent a predominance of marine organic matters. Nd/Sr isotope systematics show that the sediments mainly derived from the Myanmar region, including the Irrawaddy River, Salween River, and Indo–Burman–Arakan Ranges, and confirm that sediment provenance has been relatively consistent since the late Miocene. However, temporal variations of clay mineral compositions, as smectite/(illite+chlorite) [S/I+C], indicate that these long–term variations result from weathering intensity attributable to Indian monsoon evolution and the global climate changes. S/(I+C) ratios were almost constant and relatively high between  $\sim 9.5$  and 6 Ma, indicating enhanced chemical weathering under warm and humid conditions, except for a short duration ( $\sim 9.2$  to 8.2 Ma) of drastic increasing physical weathering. From  $\sim 6$  to  $\sim 5$  Ma, S/(I+C) decreased gradually followed by a drastic reduction after  $\sim 3.6$  Ma, reflecting dramatic increase in physical weathering intensity. These variations then decreased from  $\sim 3.6$  Ma to the Holocene, with significant fluctuations and intermittent increasing events at  $\sim 2.4$  Ma and  $\sim 1.2$  Ma. As a results, the long–term variation of clay mineral compositions at IODP Site U1447 in the Andaman Sea represents the degree of weathering intensity rather than sediment provenance and is influenced by Indian monsoon evolution along with global long–term climate change in the Myanmar region.

## 뱅갈 해저 선상지 중부의 플라이스토세 고환경 변화 기록 Pleistocene paleoenvironmental changes recorded in the middle Bengal Fan

Jang-Jun Bahk<sup>1</sup>, In-Kwon Um<sup>2</sup>, Kyung-Hoon Shin<sup>3</sup>

충남대학교<sup>1</sup>, 한국지질자원연구원<sup>2</sup>, 한양대학교<sup>3</sup>  
Chungnam National University<sup>1</sup>, Korea Institute of Geoscience and Mineral  
Resources<sup>2</sup>, Hanyang University<sup>3</sup>

Expedition 354 of International Ocean Discovery Program (IODP) drilled seven sites along an EW transect at 8°N in the eastern part of the middle Bengal Fan. It discovered two prominent Pleistocene calcareous clay units which are present across almost the entire transect which is otherwise generally dominated by sand and mud turbidites. The upper surficial unit dates back to ~0.3~0.2 Ma and the lower unit is constrained from ~1.2 to ~0.8 Ma covering most of the mid-Pleistocene Transition. The sedimentary characteristics reveal that the calcareous clay units consist of calcareous hemipelagic muds and terrigenous hemiturbidite muds which represent intervening periods of hemipelagic sedimentation *sensu stricto* and a slow sedimentation from suspension clouds of low-concentration turbidity currents on the fan surface, otherwise dominated by sand and mud turbidites. Variations in compositions, such as organic and inorganic carbon contents and  $\delta^{13}\text{C}$  of bulk organic matters of the calcareous hemipelagic muds, indicate the glacial-interglacial climate forcing of carbonate dissolution, surface marine productivity, and sources of particulate organic matters in the middle Bengal Fan during the Middle to Late Pleistocene. The glacial-interglacial climate forcing on hemipelagic sedimentation seems to be much obscure during the Early Pleistocene because of dilution by terrigenous clay inputs. Grain-size distribution of bulk sediments suggest the presence of coarse foraminifer and finer nannofossil modes in the calcareous clay units and the size of dominant foraminifer species could have been finer in the Early Pleistocene.

## Variability of Indian Monsoon in the Andaman Sea during the Late Quaternary

Boo-Keun Khim<sup>1</sup>, Neeraj Awasthi<sup>2</sup>, Jongmin Lee<sup>1</sup>, Hyen Goo Cho<sup>3</sup>

Pusan National University, Korea<sup>1</sup>, Physical Research Laboratory, India<sup>2</sup>,  
Gyeongsang National University, Korea<sup>3</sup>

A 4-m long core (SK234-60) collected at a water depth of 2000 m in the Andaman Sea preserved seven discrete tephra layers originated from the nearby active Barren Island volcano. The chronology of core was established by AMS <sup>14</sup>C dates using mixed planktonic foraminifera at 10 horizons and by the correlations of  $\delta^{18}\text{O}$  values of *G. ruber* with the well-dated  $\delta^{18}\text{O}$  curves of GISP2 and core 126KL (Bay of Bengal). As a result, the studied core preserved sedimentation record of  $\sim 70$  ka. Sr-Nd isotope data show three major provenances to the sediments (1) the Irrawaddy catchment, (2) the western slopes of the Indo-Burman-Arakan (IBA) mountain ranges and the Andaman Islands, and (3) the catchments of Salween and Sittang and the Bengal shelf. Multi-proxy (TOC, TN,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ , grain size, clay mineral) data from this work reveal several temporal variations that appear in tune with the monsoon variability during the Late Quaternary. The mean grain size fluctuates between 4.5 and 116.2  $\mu\text{m}$  where the tephra layers are mostly characterized by the coarse-grained particles. Smectite/[illite+chlorite] ratios are low during the last glacial period whereas it increased during MIS 1, indicating that IBA ranges have been major source of smectite (weathering of mafic and ultramafic rocks) and, consequently, their contribution increased during weak monsoons and post-LGM sea level rise. Biogenic opal content was high during MIS 3 and 1, whereas  $\text{CaCO}_3$  content was relatively high during MIS 4 and 2. C/N ratios suggest that organic matter is dominantly of marine origin with more input from terrestrial sources during MIS 1 and 2, which was confirmed by  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  values. However, high  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  values during MIS 2 was attributed to more input of C4 land plant under the cold and dry conditions, because of low TOC content indicative of reduced productivity.  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  values prior to the LGM are in range of marine algae and terrestrial C3 type of land plant, and high TOC content during MIS 3 probably resulted from a combination of increased productivity, more contribution of terrestrial carbon, and better preservation during the low sea level condition. Thus, core SK234-60 recorded the paleoceanographic response to the variability of the Indian Monsoon during the Late Quaternary.

## 북극진동, 시베리아 고기압, 동아시아 겨울 몬순의 장기 변동 특징

### Characteristics of long-term change between Arctic Oscillation, Siberian High and East Asian winter monsoon

최진호<sup>1</sup>, 문병권<sup>1</sup>, 김한경<sup>1</sup>, 예상욱<sup>2</sup>

Jin-Ho Choi<sup>1</sup>, Byung-Kwon Moon<sup>1</sup>, Han-Kyoung Kim<sup>1</sup>, Sang-Wook Yeh<sup>2</sup>

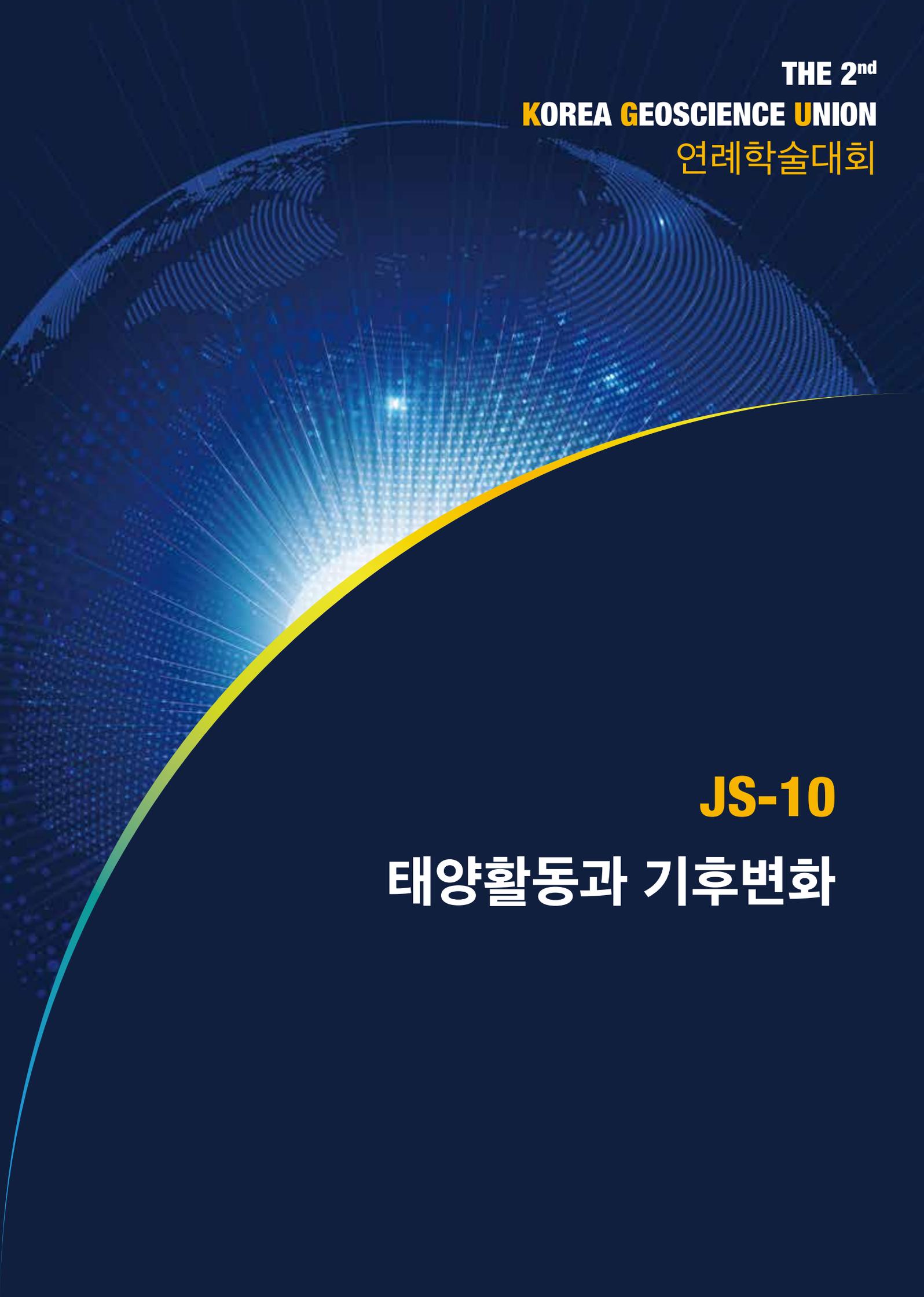
전북대학교<sup>1</sup>, 한양대학교<sup>2</sup>

Chonbuk National University<sup>1</sup>, Hanyang University<sup>2</sup>

이 연구는 최근 겨울철 북극 진동과 시베리아 고기압, 동아시아 겨울 몬순 간의 수십년 변화를 살펴보고, 이에 대한 가을철 북극 해빙 감소의 영향을 밝혔다. 겨울철 시베리아 고기압과 동아시아 겨울 몬순은 전체 기간 동안 유의한 양의 상관관계를 보였다. 한편, 1994년 이후, 겨울철 북극 진동과 동아시아 겨울 몬순은 그 관계가 약화되고 유의하지 않음으로써, 수십년 변화를 나타냈다. 1994년 이전 (1972-1993)에, 북극 진동은 시베리아 고기압과의 유의한 상관관계를 통해 동아시아 겨울 몬순에 영향을 주었다. 즉, 북태평양에서의 알류산 저기압 (Aleutian low) 및 대류권 중층에서의 동아시아 기압골 (East Asian trough)의 강화, 대류권 상층에서의 동아시아 제트기류 (East Asian jet stream) 등의 겨울철 동아시아 몬순의 전형적인 특징이 뚜렷하게 나타났다. 한편, 1994년 이후 (1994-2015)에는, 가을철 카라-랍테프 해에서의 해빙 감소에 따른 북극 진동의 변동성의 약화 및 시베리아 고기압의 북서쪽으로의 확장 및 강화가 나타났다. 이는 해빙의 감소로 인해, 카라 해를 중심으로 따뜻한 상태를 유도하고 북유라시아와 시베리아 지역까지 고기압성 순환 및 시베리아 고기압의 강화를 이끌었다. 또한, 유라시아 및 동아시아 지역까지의 차가운 상태로 인해, 북극 지역과 중위도 사이의 온도경도가 약화됨으로써, 서풍계열의 바람을 감소시켜 고위도에서의 찬 공기가 남하할 수 있는 조건을 형성했다. 그러므로 가을철 북극 해빙의 감소는 겨울철 시베리아 고기압 및 동아시아 겨울 몬순과의 양의 피드백 과정이 강화되었다. 이와 반대로, 해빙의 감소에 따른 북극 진동은 그린란드-바렌츠 해에 국한된 고기압성 패턴을 나타내며, 그 변동성이 약화됨으로써, 유라시아 지역의 온도 변화에만 기여했다. 따라서 1994년 이후 (1994-2015), 해빙의 감소로 인해, 겨울철 북극 진동과 동아시아 겨울 몬순과의 관계는 약화됨을 의미한다.

감사의 글 : 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C1008549).





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-10**

**태양활동과 기후변화**



## Solar activities and climate change during the last millennium recorded in Korean chronicles

Hong-Jin Yang<sup>1</sup>, Chan-Gyung Park<sup>2</sup>, Rok-Soon Kim<sup>1,3</sup>, Kyung-Suk Cho<sup>1,3</sup>, Junhyeok Jeon<sup>4</sup>

Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>1</sup>,  
Chonbuk National University<sup>2</sup>,  
University of Science and Technology<sup>3</sup>,  
Chungbuk National University<sup>4</sup>

Korean chronicles have a large amount of observational records of natural phenomena, including astronomical and meteorological events over two thousand years. Here we examine the correlation of solar activity and climate change from historical sunspot and frost records in the Korean chronicles.

There are 42 sunspot records in Goryeo Dynasty (高麗, 918–1392 CE) and 13 records in Joseon Dynasty (朝鮮, 1392–1910 CE). The sunspot records in Goryeo Dynasty show a periodicity in good agreement with the well-known solar activity of 11 years. Korean sunspot records suggest that the solar activity in Joseon Dynasty decreased compared with that in the previous ~500 years. In order to examine the long-period variation of solar activity, we include Chinese historical sunspot records in our analysis to supplement the lack of Korean records, and find a new ~240-yr long-period solar activity from the power spectral analysis.

Korean chronicles also have about 700 frost records during the last millennium. We investigate these frost records and find a sign of cooling down that can be interpreted as climate change during the last millennium. We also find ~240-yr cooling period from the historical frost records, which is well in accord with that of solar activity. Therefore, we conclude that the solar activity has decreased during the last one thousand years and also has a long-term variation of ~240 years.

## 기후변화의 이해 Understanding of Climate Change

구태영, 변영화, 임윤진, 최준태

Tae-Young Goo, Young-Hwa Byun, Yoon-Jin Lim, Jun-Tae Choi

국립기상과학원

National Institute of Meteorological Sciences

기후변화는 자연적 기후변동의 범위를 벗어나 더 이상 평균적인 상태로 돌아오지 않는 평균 기후계의 변화를 의미한다. 이러한 기후변화의 원인은 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분되지만, 현재의 기후변화는 인간 활동에 의해 야기된 것으로 이해되고 있다. IPCC 5차 평가보고서에 따르면 1750년 대비 2011년 인위적 복사강제력은  $2.29 \text{ Wm}^{-2}$ 이며, 1970년 이후 그 이전 수십년보다 더 빠르게 증가하는 것으로 나타났다. 특히 20세기 중반 이후  $\text{CO}_2$  배출이 빠르게 증가하면서 1990년 대비 2017년은 약 63% 증가하였고, 2016년은  $\text{CO}_2$  농도가 처음으로 400 ppm을 초과한 해로 기록되었다. 기후변화예측을 위하여 국립기상과학원은 IPCC 6차 평가보고서의 표준 경로에 따라 RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5에 대한 미래 시나리오를 생산하고 있으며, 기상청 기후정보포털을 통해 시나리오 자료를 제공하고 있다. IPCC는 지구온난화를  $1.5^\circ\text{C}$  이하로 유지할 것을 강조하였는데, 그 이유는  $2^\circ\text{C}$  온난화에 비하여 극한현상 감소, 해수면 상승 10 cm 감소, 물 부족 영향 인구 50% 감소 등 위험성에 있어서 큰 차이를 보이기 때문이다. 현재(2017년 중심 30년 평균) 인간 활동으로 인해 산업화 이전(1850~1900년 평균) 대비 약  $1^\circ\text{C}$ 의 온난화가 야기되었고, 현재의 상태로 지구온난화가 지속되면 2030~2052년 사이에  $1.5^\circ\text{C}$ 를 초과할 것으로 예측된다. 무엇보다  $1.5^\circ\text{C}$ 로 지구온난화를 제한하더라도 식량, 보건, 생태계, 물, 안보 및 경제 성장 리스크는 증가하기 때문에 모든 부문에서 배출량 감축 관련 기술 개발 및 보급이 필요하며, 저탄소 대안을 위한 투자 확대가 요구된다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「기상업무지원기술개발연구」 “AR6 기후변화시나리오개발·평가(KMA2018-00321)”의 지원으로 수행되었습니다.

## Relative contribution of solar/geomagnetic activities and $\text{CO}_2$ variation to global temperature anomaly from 1859 to 2015

Jinhyun Kim<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>2</sup>, Rok Soon Kim<sup>1</sup>, Junga Hwang<sup>1</sup>,  
Jae-Ok Lee<sup>1</sup>, Soojeong Jang<sup>1</sup>

Kyung Hee University School of Space Research<sup>1</sup>,  
Korea Astronomy and Space Science Institute Space Science Division<sup>2</sup>

We have investigated the correlation between global temperature anomaly (Ta) and two kinds of factors: greenhouse gas  $\text{CO}_2$  and solar/geomagnetic activities (sunspot number, total solar irradiance, aa index, and kp index). Ta was taken from HADCRUT4. In order to minimize the effect of solar 11-year cycle, all data from 1859 to 2015 are running-averaged with 11 years. We have estimated the relative contribution of space weather (aa index) and human effect ( $\text{CO}_2$ ) to Ta as a function of year by using the multiple linear regression method. Main results of this study are as follows: (1) The  $\text{CO}_2$  have much higher correlation coefficients (cc) with Ta than the other solar/geomagnetic parameters. (2) All correlations between Ta and solar/geomagnetic parameters have positive values until around 1985 and then have anti-correlations. The aa index has the best correlation with Ta among solar/geomagnetic parameters. (3) From the multiple linear regression method, we find that the effect of  $\text{CO}_2$  continuously increases since 1985 and become dominant over aa index as times go. For the total period, the relative contribution of  $\text{CO}_2$  to aa index is 3.5:1. Our simple analysis supports an idea that the greenhouse effect on global warming becomes more important than the solar/geomagnetic effects, at least for recent years since 1985.

## New Method for the Study of Solar Activity Cycles

Tetsuya Magara, Junmo An, Hwanhee Lee

Kyung Hee University

The Sun experiences temporal changes in its magnetic activity, showing a cyclic appearance of sunspots. Understanding effects of cyclic solar magnetic activity on terrestrial climates is a key unresolved problem in space climate.

We developed a new method to derive the longest-term, large-scale distribution characteristics of a solar-surface magnetic field ever obtained, which represent cyclic solar magnetic activity. We conducted a population ecological analysis of Wilcox Solar Observatory (WSO) synoptic charts that provide a more than 40-year time series of latitude-longitude maps of solar-surface magnetic fields.

Accordingly, we successfully identified a peculiarity of cycle 23; specifically we found a statistically significant result that a negative surface magnetic field had much more clustered distributions than a positive surface magnetic field as this cycle started, while the latter was dominant over the former in a non-polar region. The Sun eventually spent more than one-third of cycle 23 recovering from these imbalances.

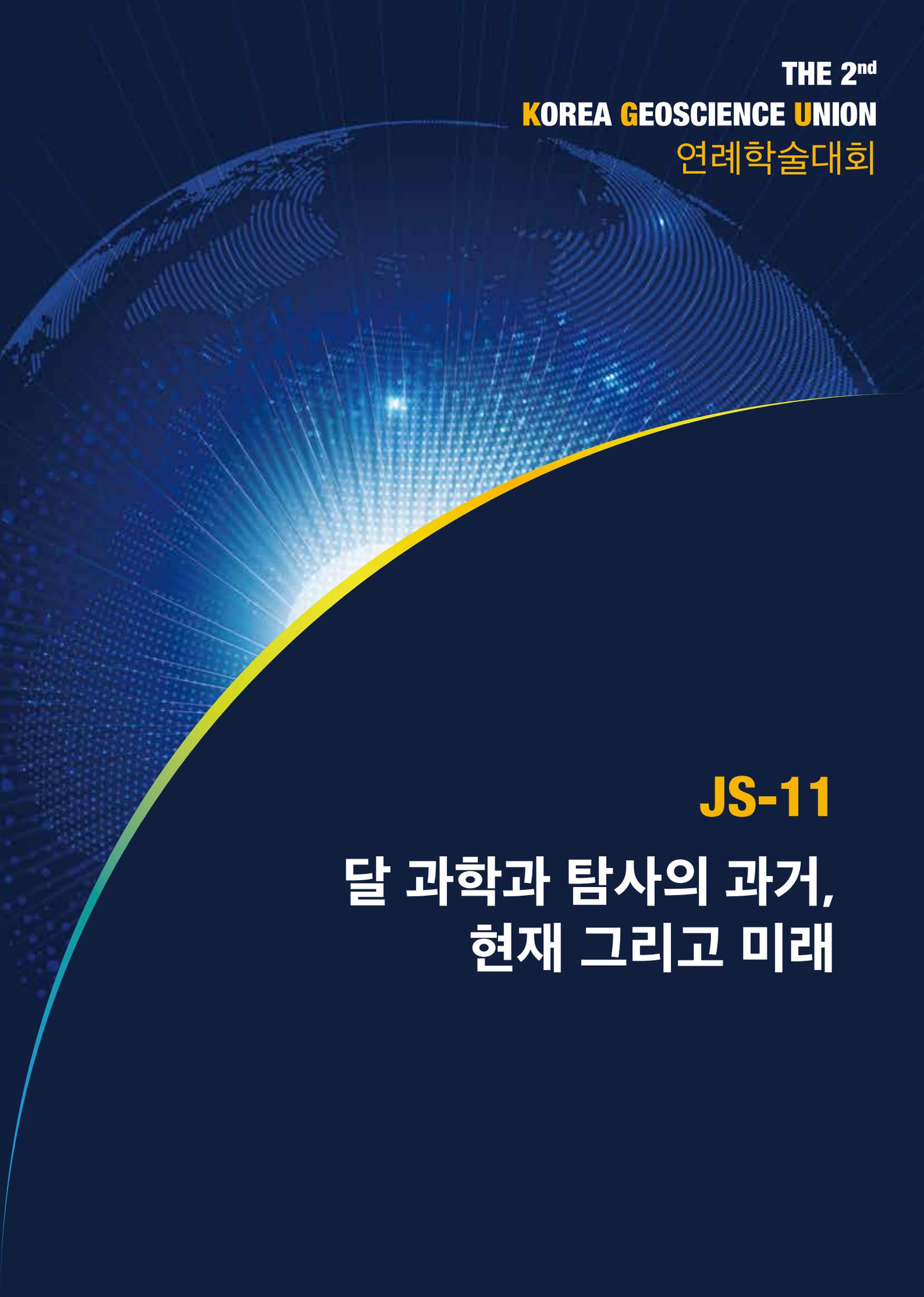
## Prediction of Long-term Solar Activities

Roksoon Kim<sup>1,2</sup>, Yeon-Han Kim<sup>1,2</sup>, Sujin Kim<sup>1,2</sup>

Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>1</sup>,  
University of Science and Technology<sup>2</sup>

Solar activity shows a self-similarity as it has many periods of activity cycle in the time series of long-term observation, such as 13.5, 51, 150, 300 days, and 11, 88 years and so on. Since fractal dimension is a quantitative parameter for the analysis of irregular time series, we applied fractal dimension method to long-term observations including sunspot number, total solar irradiance, and solar radio flux to predict the start and the maximum times as well as expected maximum sunspot number for the next solar cycle. As the result, we found that: (1) the radio flux data tend to have lower fractal dimensions than the sunspot number data, which means that the radio emission from the sun is more regular than the solar activity indicated by sunspot number; (2) Based on the relation between radio flux of 3.75 GHz and sunspot number, we could calculate the expected maximum sunspot number of solar cycle 24 as 156, while the observed value is 146. We also forecast that solar cycle 25 will start at December 2019; (3) The first one year data is enough to calculate fractal dimension for forecast purpose. We infer that once the activities start increasing, they get more and more complexity, that is the first stage of each solar cycle reflects potentials for its solar activity more clearly. Based on our results, we suggest the fractal dimension method as a possible long-term forecast method.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-11**

**달 과학과 탐사의 과거,  
현재 그리고 미래**



## 달 탐사의 역사와 우리의 미래 History of Lunar Exploration and Our Future

김경자<sup>1</sup>  
Kyeong Ja Kim<sup>1</sup>

한국지질자원연구원<sup>1</sup>  
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources<sup>1</sup>

인류는 60년전에 달 탐사를 처음으로 시작했으며, 달 궤도 탐사, 달 착륙, 달 시료귀환의 목표를 달성한 후 한동안은 화성탐사에 주력했으며, 1989년 클레멘타인 미션과 1998년 루나 프로스펙터 이후 달에 물이 있다는 결론을 내렸으며, 2007년경 시작된 아시아 국가들의 달 궤도 탐사에 의해 다시금 달에 대한 진화, 기원 등의 연구와 더불어 상세한 원격탐사지도들을 확보함으로써 달 표면과 환경에 대한 이해가 가능해 졌다. 2009년 엘크로스(LCROSS)와 달궤도정찰선(LRO)의 과학적 결과들은 인류가 달에 가서 거주하는데 필요한 물과 휘발성물질 등의 자원의 활용 가능성에 확신을 가지게 되었으며, 창어-3과 4의 달 착륙선 결과는 우주강국을 과시하는 중국을 세계가 인정함과 동시에 과학적결과에 있어서도 인류에게 달의 과학적인 이해 및 최신 탐사기술의 적용면에서 인류가 미래 달의 전지역으로의 탐사 및 정착의 가능성을 제시하게 되었다. 이제 인류는 달에 우주정거장을 개설하고, 달에 대한 지질학적 연구 뿐만 아니라 현지에서 자원을 조사하고 추출하고 더 나아가 활용하는 준비하는 달 궤도 정거장 Gateway를 설치해 보다 용이하게 화성으로 진출하고 지구에서 달에 필요한 초기 재료들을 수송하고 지구에 필수적인 자원을 수송하는 등의 지구-달-화성의 경제영역권의 형성을 위한 실질적인 노력이 NASA를 비롯한 세계 주요 국가들의 국제협력이 가시화되는 상황에 있다. 2030년대에 인류는 달과 화성에 기지를 건설하는 계획으로 인류의 삶의 영역은 보다 확장된 단계로 넘어서며, 기계와 인간이 공존하는 우주 탐사의 시대가 열리는 가운데, 달은 이러한 미래를 시험하는 첫 무대가 될 것으로 전망한다. 본 발표는 달 탐사의 역사와 인류의 미래 전망에 대한 개요 및 이와 관련된 인류의 미래를 토론할 예정이다.

## 달의 물에 대한 놀라운 이야기 The Amazing Story of Water on the Moon

헬드만 제니퍼<sup>1</sup>  
Jennifer Heldmann<sup>1</sup>

나사 에임즈 연구센터<sup>1</sup>  
NASA Ames Research Center<sup>1</sup>

Water on the Moon is exceptionally important in terms of both science and exploration. From a scientific perspective, we are interested in the history of lunar water, including its origins and evolution as well as its current character and distribution. For enabling future human and robotic exploration, lunar water is a key in situ resource which can be used to produce propellant and other consumables required for a sustained presence on the Moon. Until recently, scientists believed the Moon to be bone dry and devoid of any appreciable water reserves. In this talk we will discuss recent scientific advances that have led us to discovery extensive and varied reservoirs of lunar water, and also discuss next steps for both the scientific and exploration investigations relevant to lunar water and volatiles.

## 상업용 달 착륙선을 이용한 NASA-KASI 공동연구협력 NASA-KASI Joint Research on Commercial Lunar Payload Service

최영준  
Young-Jun Choi

한국천문연구원  
Korea Astronomy and Space Science Institute  
과학기술연합대학원대학교  
Astronomy and Space Science, University of Science and Technology

Collaborations between Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) and NASA had been maintained for the last ten year in heliophysics field. Recently KASI and NASA agreed to initiate the working group to discuss science opportunities relating to lunar orbit, the lunar surface and cislunar space. The discussion will include possible science instruments development and/or CubeSats/Smallsats for Commercial Lunar Payload Service (CLPS) opportunities and joint science team for data analysis. Current status and future plan on the joint research opportunity will be presented.

## 달 유인 탐사 및 자원 개발을 위한 달 현지 건설기술 개발 Development of Lunar In-Situ Construction Technology for Human Exploration and Resource Development

홍성철<sup>1</sup>, 신휴성<sup>1</sup>  
Sungchul Hong<sup>1</sup>, Hyu-Soung Shin<sup>1</sup>

한국건설기술연구원<sup>1</sup>  
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology<sup>1</sup>

Major space agencies around the world established the technical road map to construct the lunar base for the permanent human habitation. KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) is also one of leading research institutes that expands the construction paradigm from earth to moon. A series of the space construction technologies, which is being developed by KICT, includes a construction mapping, a geotechnical investigation, and an automated construction. Also, for verification purposes, a large scale DTVC (Dirty Thermal Vacuum Chamber) is under development. The construction mapping technology aims to survey construction sites and internal spaces of lunar lava tubes. The geotechnical ground surveying technology uses a drilling equipment to detect icy-soil deposit and identify geotechnical properties. The automated construction technology aims to develop lunar construction materials and core devices used in the 3D construction printing. In addition, the real scale of DTVC is being developed in collaboration with SwRI (Southwest Research Institute) in U.S.A. The DTVC, of which size is 4.7m (L) x 4.65m (W) x 4.7m (H), will have capabilities to reach a high vacuum level up to  $1.0 \times 10^{-4}$  torr with soil conditions and to manage a temperature from  $-190$  °C to  $150$  °C.

## 달 고원 복제토 KIGAM-L1 개발 Development of KIGAM-L1; Lunar Highland Soil Simulant

강태윤<sup>1,2</sup>, 김경자<sup>2</sup>, 이 유<sup>1</sup>  
TaeYun Kang, KyeongJa Kim, Yi Yu

충남대학교 대학원 우주지질학과<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chung-nam national university department of Astronomy, Space Science and Geology

<sup>2</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

한국은 현재 개발 단계에 있는 시험용 달 궤도선의 발사와 미션이 2021년경에 성공적으로 이루어지면, 그 다음으로 달 궤도선, 착륙선 그리고 탐사로버를 함께 보낼 것을 계획하고 있다. 달 표면을 덮고 있는 토양은 지구에서 볼 수 있는 토양과는 성질이 다르기에 착륙지에 위치한 달 토양과 유사한 성질을 가진 달 복제토를 개발하여 미션에 사용될 장비와 탑재체를 달과 유사한 환경이 조성된 실험실에서 시험 운용할 필요가 있다. 그리하여 본 연구에서는 달 고원 복제토 KIGAM-L1을 개발하였다. KIGAM-L1의 원료로 회장암과 감람석이 사용되었는데, 회장암은 산청군과 하동군에서 채취하였고, 감람석은 평택시와 아산시 그리고 미국 뉴멕시코주에서 확보하였다. 회장암과 감람석을 각각 파쇄장비로 분쇄하였고 시험용 표준체를 사용하여 입자 크기별로 분류한 다음 그들을 재혼합하였다. 그런 다음 KIGAM-L1의 입도분포와 화학구성을 분석하였다. KIGAM-L1은 지금까지 NASA 및 기타 기관에서 제작된 달 모사토와 비교할 때 성분과 입도분포가 유사하다고 판단되며, KIGAM-L1의 물리적 성질을 조사할 예정이다. KIGAM-L1은 향후 우리나라 및 타 국가들의 달 고원 지역을 고려한 지상 실험용 공간을 구성하는데 유용한 정보를 제공할 것으로 전망한다.

감사의 글 : 이 연구는 한국지질자원연구원의 지원을 받아 수행되었음

## 달 주변 극초저주파수 파동 연구 ULF waves observed near the Moon

김관혁<sup>1</sup>, 백슬민<sup>1</sup>, 진호<sup>1</sup>  
Khan-Hyuk Kim<sup>1</sup>, Seoul-Min Baek<sup>1</sup>, Ho Jin<sup>1</sup>

경희대학교<sup>1</sup>  
Kyung Hee University<sup>1</sup>

We have studied the statistical properties of ultra low frequency (ULF) waves using Lunar Prospector (LP) magnetometer data obtained at ~100-km altitude from the lunar surface during the period from 20 February 1998 to 31 December 1998. The ULF waves at LP orbit are mostly identified as transverse oscillations in the frequency band of ~10–50 mHz. The wave detection rate was high in the region of the solar zenith angle less than 90° and above the strong magnetic anomalies (e.g., Marginis and South Pole Aitken) on the dayside. We also found a pronounced morning–afternoon asymmetry in the wave detection rate. The detection rate in the prenoon sector is high when the interplanetary magnetic field (IMF) is directed along the Parker spiral. However, the morning–afternoon asymmetry is less significant for the interval of an ortho–Parker spiral IMF orientation. These observations indicate that the ULF waves observed at LP are driven by solar wind interaction with lunar magnetic anomalies.

## 한국형 달 탐사 시험용 달 궤도선 탑재체 광시야 편광카메라 소개 Introduction to Wide-Angle Polarimetric Camera onboard Korea Pathfinder Lunar Orbiter

정민섭<sup>1</sup>, 최영준<sup>1</sup>, 김성수<sup>2</sup>, 강경인<sup>3</sup>, 문봉곤<sup>1</sup>, 심채경<sup>2</sup>  
Minsup Jeong<sup>1</sup>, Young-Jun Choi<sup>1</sup>, Sungsoo S. Kim<sup>2</sup>, Kyung-In Kang<sup>3</sup>,  
Bongkon Moon<sup>1</sup>

한국천문연구원<sup>1</sup>, 경희대학교<sup>2</sup>, 한국과학기술원<sup>3</sup>  
Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>1</sup>, Kyung Hee University<sup>2</sup>, Korea  
Advanced institute of Science and Technology<sup>3</sup>

한국천문연구원은 한국형 달 탐사 시험용 달 궤도선에 탑재될 광시야 편광카메라를 개발하고 있다. 광시야 편광카메라는 달 궤도에서 처음으로 시도되는 편광탐사 기기로 달 표토의 입자크기, 성숙도, 거칠기, 자원탐사 등을 과학목표로 한다. 광시야 편광카메라의 임무목표는 100km 관측고도에서 320nm와 430nm, 750nm 관측파장으로 공간해상도 100m의 지도를 작성하는 것이다. 위 관측파장 중 320nm는 측광관측만을 수행하고, 430, 750nm는 편광관측을 수행한다. 자외선 파장인 320nm는 달 표면의 주요자원중 하나인 TiO<sub>2</sub> 지도를 작성하는데 쓰이고, 430nm와 750nm의 편광관측자료는 세계 최초의 전월면 편광지도 작성과 이를 활용한 표토의 입자크기지도 작성 등을 수행한다. 우리는 한국형 달 탐사 시험용 달 궤도선 탑재체 광시야 편광카메라의 임무 및 개발진행사항에 대해 소개한다.

한국형 시험용 달 궤도선의  
광시야 편광 카메라를 위한 관측 전략  
Observational strategy for wide-angle polarimetric camera  
onboard Korea Pathfinder Lunar Orbiter

심채경<sup>1</sup>, 김성수<sup>1</sup>, 정민섭<sup>2</sup>, 최영준<sup>2</sup>

Chae Kyung Sim, Sungsoo S. Kim, Minsup Jeong, Young-Jun Choi

경희대학교<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>

Kyung Hee University<sup>1</sup>, Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>

한국형 시험용 달 궤도선(KPLO)에 탑재될 광시야 편광 카메라(PolCam)는 편광 및 측광 관측을 통해 달 표면을 탐사하고, 중심파장이 320 nm, 430 nm, 750 nm인 세 가지의 색 필터를 이용해 최대편광도, 표토 입자 크기, 티타늄 분포 등을 보여주는 달 지도를 구축할 예정이다. PolCam은 10°의 시야를 갖는 두 대의 같은 카메라가 궤도선 진행 방향에 수직 하는 양옆을 천저로부터 45° 기울어진 각도로 바라보도록 설계되었다. 이를 통해 1년의 임무 기간 동안 최대 ~140°에 달하는 다양한 위상각에서의 관측자료를 확보할 수 있다. 여기에서는, PolCam이 얻을 수 있는 위상각 범위를 월면에서의 위·경도에 따라 알아보고, 천저로부터 25° 기울어진 각도로 보는 두 대의 카메라로 운용할 경우와 천저 방향을 보는 한 대의 카메라로 운용할 경우 어떻게 달라지는지 비교한다. 또한, 태양전지판의 효율적 운용을 위해 궤도선이 연간 두 차례 요 기동하는 경우 PolCam이 얻는 위상각 범위의 변화에 대해서도 알아본다.

## KMAG: 한국 시험용 달탐사 궤도선의 자력계 탑재체 KMAG: The Magnetometer of The Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO)

신재혁, 이효정, 이만규, 정병욱, 김관혁, 진호  
Jehyuck Shin, Hyojeong Lee, Mangyu Lee, Byungwook Jeong,  
 Khan-Hyuk Kim, Ho Jin

경희대학교  
 Kyung Hee University

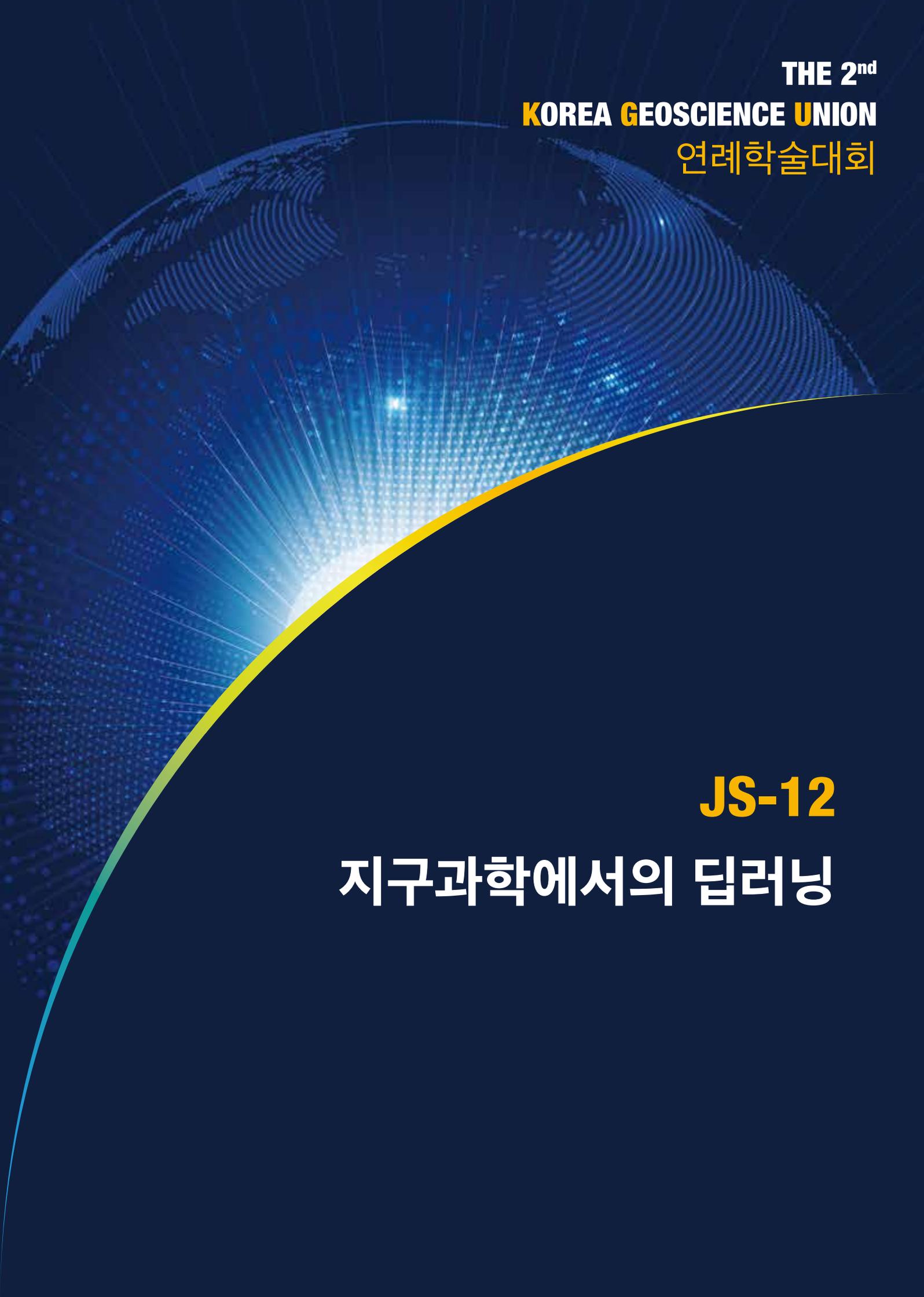
KMAG is a scientific experimental payload of the Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO) that is the first lunar exploration mission of the Korean space program. This payload will measure the magnetic field strength of the lunar environment to research the origin of lunar crustal magnetic anomalies. The magnetometer of the KMAG is the triaxial fluxgate designed to measure  $\pm 1000$  nT range of DC magnetic fields with 0.2 nT resolution. KMAG consists of deployable boom structure as named Magnetometer (MAG) unit and Fluxgate magnetometer Control Electronics (FCE) unit. Total three fluxgates are installed in a 1.2 m boom tube and multi sensing method will be performed for data analysis due to reduce magnetic disturbance from the KPLO space. KMAG has 3.5 kg mass, 4.6 watt for power consumption and generate 295.31 Mbit/day data set. In this paper, we present the development of KMAG flight model with verification and test results.

## 달 자기이상 특성 연구 A study of magnetic anomalies within Mare Crisium

백슬민<sup>1</sup>, 김관혁<sup>1</sup>  
Seul-Min Baek<sup>1</sup>, Khan-Hyuk Kim<sup>1</sup>

경희대학교<sup>1</sup>  
Kyung Hee University<sup>1</sup>

Using Lunar Prospector magnetic field data, we identify four isolated magnetic anomalies ( $C_{NA}$ ,  $C_{SA1}$ ,  $C_{SA2}$ , and  $C_{WA}$ ) within the Crisium basin. We assume the sources of the anomalies to be buried point dipoles and find that the estimated depths and radial positions are well contained within Crisium's melt pool. This implies that the anomalies recorded a thermoremanent magnetization in a dynamo field at 3.9 Ga. We also find that the anomalies can be classified into two groups (Groups 1 and 2) according to source depths and paleopoles. The sources of Group 1 ( $C_{NA}$  and  $C_{SA1}$ ) are buried at  $\sim 30$  km. Estimated paleopoles are located at  $\sim 45^\circ\text{N}$  for  $C_{NA}$  and near the equator ( $\sim 12^\circ\text{N}$ )  $C_{SA1}$ , with remanence acquisition timescale of  $\sim 6$  Myr. The sources of Group 2 ( $C_{SA2}$  and  $C_{WA}$ ) are more deeply buried at  $\sim 55\text{--}70$  km. Their paleopole positions are close to the present south pole, with a remanence acquisition timescale of  $\sim 20\text{--}30$  Myr. These variable paleopoles imply that the local field orientation shifted during the formation of the anomalies. That is, the Moon may have experienced a  $\sim 15\text{--}Myr\text{--}epoch$  of complex field geometries. These changes may have arisen from true polar wander driven by impact or internal density changes, or from equatorial dynamo orientations produced by anomalous core heat flux conditions.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-12**

**지구과학에서의 딥러닝**



## Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical Data: 1. Overview

Yong-Jae Moon, Eunsu Park, Taeyoung Kim, Harim Lee, Gyungin Shin,  
Kimoon Kim, Seulki Shin, and Kangwoo Yi

School of Space Research, Kyung Hee University

Multi-wavelength observations become very popular in astronomy. Even though there are some correlations among different sensor images, it is not easy to translate from one to the other one. In this study, we apply a deep learning method for image-to-image translation, based on conditional generative adversarial networks (cGANs), to solar images. To examine the validity of the method for scientific data, we consider the following applications: (1) Generation of solar UV images from magnetograms, (2) Generation of solar magnetograms and UV images from historical sunspot drawings, (3) Generation of high resolution magnetograms from Ca II images, (4) Generation of nightside visible images from IR ones, (5) Generation of future magnetograms from past ones, (6) Generation of denoised magnetograms. It is very impressive that AI-generated ones are quite consistent with actual ones. In addition, we apply the convolution neural network to the forecast of solar flares and find that our method is better than the conventional method. Our study also shows that the forecast of major solar flare profiles using Long and Short Term Memory method is much better than that of the autoregressive method. We will discuss several applications of these methodologies for scientific research.

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).

## Application of deep learning to astronomical and geophysical data: 5. Generation of nightside visible images from IR ones

Kimoon Kim<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Eunsu Park<sup>1</sup>, Gyungin Shin<sup>1</sup>, Taeyoung Kim<sup>1,2</sup> Ji-Hye Kim<sup>3</sup>, and Sungwook Hong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Space Research, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Department of Research and Development, InSpace

<sup>3</sup>Department of Environment, Energy, and Geoinformatics, Sejong University

The Communication, Ocean, and Meteorological Satellite (COMS), the Korea's first geostationary multi-purpose satellite, has been providing the beneficial meteorological information with five spectral bands from visible (VIS) to infrared (IR) wavelengths. The COMS image at VIS band is only available during the day irrespective of its various applications. We consider an conditional Generative Adversarial Networks (cGAN)-based image-to-image translation method to generate COMS VIS images during the night. COMS IR and VIS images dataset from 2012 to 2017 were used for training our model. For evaluation of our model, another dataset of the COMS IR and VIS images during one year of 2018 were used. As a result, our model shows the successful AI-generated VIS images from IR images with a very strong positive correlation coefficient ( $r=0.90$ ) between real VIS images and AI-generated ones using 361 test sample images in the day. Consequently, our model produced the AI-generated VIS images using IR images during the night with no real VIS images. Our model is expected to be used in a variety of meteorological research fields.

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the korea government(MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).

## Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical data: 7. Generation of Denoised Magnetograms

Eunsu Park<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>

School of Space Research, Kyung Hee University<sup>1</sup>

In this study, we apply a deep learning model to denoising solar magnetograms. For this, we design a model based on conditional generative adversarial network (cGAN), which is one of the deep learning algorithms, for the image-to-image translation from a single magnetogram to a denoised magnetogram. For the single magnetogram, we use SDO/HMI line-of-sight magnetograms at the center of solar disk, and for the denoised magnetogram, we make 21-frame-stacked magnetograms at the center of solar disk. We train a model using 6702 pairs of the single and denoised magnetograms from 2013 January to 2013 October and evaluate the model using 1370 pairs from 2013 November to 2013 December. Our results from this study are as follows. First, our model successfully denoise SDO/HMI magnetograms. Second, the average pixel-to-pixel correlation coefficient between denoised magnetograms and stacked magnetograms is larger than 0.92, and the correlation coefficient of total unsigned magnetic flux between two magnetograms is larger than 0.99. Third, the standard deviation of denoised magnetograms from our model is greatly reduced from 11.17 G to 8.64 G, and it is consistent with that of stacked magnetograms 8.69 G. Our results can be applied to many scientific fields in which the integration of many frames are used to improve the signal-to-noise ratio.

Thanks : This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).

## Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical data: 4. Generation of High-resolution Solar Magnetograms from Ca II K Images

Gyungin Shin, Yong-Jae Moon, Eunsu Park, Sungho Bae, and Harim Lee

Kyung Hee University

Magnetic fields of the sun play a crucial role in understanding solar activities such as sunspots, flares, and coronal mass ejections. Due to its importance, a few attempts have been made to obtain pseudo solar magnetograms from historical Ca II data and sunspot drawings, but their results are not much satisfactory. In this paper, we make a deep learning model based on conditional generative adversarial networks (cGAN), to generate realistic high-resolution (1024x1024 pixels) magnetograms from Ca II K images. For this we consider a model 'pix2pixHD' which is specifically devised for high-resolution image translation task. We use Ca II K 343.1nm image from Precision Solar Photometric Telescope (PSPT) in Rome and line-of-sight magnetogram from Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) in Solar Dynamics Observatory (SDO). 2368 pairs of Ca II K/HMI are used for training from January 2011 to June 2015 except every March and September. 533 pairs observed in March and September are used for model evaluation. Our model shows that the mean correlation coefficient (CC) of total unsigned magnetic fluxes between AI-generated and real ones is 0.98 and the mean pixel-to-pixel CC after 8x8 binning over full disk is 0.88. We find that the AI-generated images are highly consistent with real ones, even to the fine scale structures of quiet regions. Our results suggest a possibility that we can produce high-resolution solar magnetograms from historical Ca II data.

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).

## Solar farside magnetograms from deep learning analysis of STEREO/EUVI data

김태영<sup>1,2</sup>, 박은수<sup>2</sup>, 이하림<sup>2</sup>, 문용재<sup>2\*</sup>, 배성호<sup>2</sup>, 임다예<sup>2</sup>, 장수정<sup>2</sup>, 김녹원<sup>2</sup>,  
조일현<sup>2</sup>, 최명진<sup>1</sup>, 조경석<sup>3,4</sup>  
Taeyoung Kim<sup>1,2</sup>, Eunsu Park<sup>1</sup>, Harim Lee<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1\*</sup>, Sung-Ho Bae<sup>1</sup>, Daye Lim<sup>1</sup>,  
Soojeong Jang<sup>4</sup>, Lokwon Kim<sup>3</sup>, Il-Hyun Cho<sup>2</sup>, Myungjin Choi<sup>5</sup> and Kyung-Suk Cho<sup>4,6</sup>

(주)인스페이스<sup>1</sup>, 경희대학교<sup>2</sup>, 한국천문연구원<sup>3</sup>, 과학기술연합대학원대학교<sup>4</sup>  
InSpace Co., Ltd.<sup>1</sup>, Kyung Hee University<sup>2</sup>, Korea Astronomy and Space Science  
Institute<sup>3</sup>, University of Science and Technology<sup>4</sup>

Solar magnetograms are important for studying solar activity and predicting space weather disturbances. Farside magnetograms can be constructed from local helioseismology without any farside data, but their quality is lower than that of typical frontside magnetograms. Here we generate farside solar magnetograms from STEREO/Extreme UltraViolet Imager (EUVI) 304-Å images using a deep learning model based on conditional generative adversarial networks(cGANs). We train the model using pairs of Solar Dynamics Observatory (SDO)/Atmospheric Imaging Assembly (AIA) 304-Å images and SDO/Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) magnetograms taken from 2011 to 2017 except for September and October each year. We evaluate the model by comparing pairs of SDO/HMI magnetograms and cGAN-generated magnetograms in September and October. Our method successfully generates frontside solar magnetograms from SDO/AIA 304-Å images and these are similar to those of the SDO/HMI, with Hale-patterned active regions being well replicated. Thus we can monitor the temporal evolution of magnetic fields from the farside to the frontside of the Sun using SDO/HMI and farside magnetograms generated by our model when farside extreme-ultraviolet data are available. This study presents an application of image-to-image translation based on cGANs to scientific data.

Thanks : 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(2018-0-01422,태양흑점폭발 분석 및 예측기술연구)

## 극지연구에서의 딥러닝 Deep learning in polar science

지준화, 김현철, 이성재  
Junhwa Chi, Hyun-cheol Kim, Sungjae Lee

극지연구소  
Korea Polar Research Institute

해빙자료는 극지 기후변화 연구와 쇄빙연구선의 안전한 항해에 있어 중요한 정보로 사용된다. 일반적으로 해빙정도는 수동마이크로 위성영상으로부터 산출되는데, 1978년 이후 매일 극지역 전체에 대한 정보가 생산되고 있다. 빅데이터와 인공지능이 주목받고 있는 오늘날, 위성 해빙정보는 양과 질적으로 극지연구에 있어 가장 대표적인 빅데이터의 한 종류이다. 본 발표에서는 위성 해빙 빅데이터를 딥러닝을 통해 분석하여 해빙정보를 산출하고 예측하는 연구를 소개하고자 한다. 첫째로 과거 36년간 수집된 월간 북극 해빙농도자료와 순환신경망의 한 종류인 Long Short-Term Memory를 이용하여 해빙농도를 예측하였고 이를 기존 전통적으로 사용되는 통계 및 수치모델 기반의 해빙예측모델과 비교하였다. 전통적 모델의 경우 다양한 환경변수를 요구하는데 반해 딥러닝 기반의 예측모델은 과거 해빙농도 자료만을 이용하여 유사한 예측성능을 보여주었다. 두 번째 연구는 수동마이크로파 위성의 밝기 온도값과 Multi-Layer Perceptron 모델을 이용한 해빙농도 산출로, 기존 해빙농도 산출 알고리즘보다 계절적, 지역적으로 더욱 향상된 해빙농도 값을 산출하였다. 이러한 정보는 향후 다양한 극지연구의 기초자료로 활용되어 연구의 질적 향상을 기대할 수 있다.

감사의 글 : 이 연구는 극지연구소의 북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발 (PE19120)의 지원을 받아 수행되었음

## 순환신경망을 활용한 수위시계열 보간 가능성 검토

이은주, 박재훈

인하대학교 해양과학과

우리나라 연안의 수위자료는 국립해양조사원 관할의 조위관측소에서 수집되고 있으며, 수집된 자료는 실시간해양관측정보시스템(KOOPS)을 통해 공개되고 있다. 하지만, 관측자료 수집 중에 해양기상악화, 기기점검 등이 있을 시엔 관측이 중단되기도 하며, 정상 수집된 자료라 할지라도 품질관리 과정 중에 저품질로 분류된 자료가 제거된 후 제공되기 때문에 자료의 연속성이 결여되는 구간이 있다. 수위는 해양물리현상을 이해하고 규명하는데 매우 주요한 요소로, 결측값을 보간한 연속된 수위 시계열을 확보하는 것은 중요한 과제이다. 따라서 본 연구에서는 수위시계열의 결측 구간을 보간하기 위하여 인공신경망 기법의 활용성을 검토하였다. 연구대상 정점은 서해역, 서남해역, 제주해역, 남해역, 동해역에 대하여 한 점씩 설정하였으며, 연구에 사용한 자료의 기간은 2015년 1월부터 2018년 9월까지의 1시간 간격 자료이다. 인공신경망 학습의 입력 자료는 기상청과 국립해양조사원의 기상, 해양관측자료를 사용하였으며, 학습 대상은 수위에서 천문조를 제외한 잔차로 하였다. 입력자료의 기간은 기압과 잔차의 교차상관 분석을 통하여 결정하였으며, 서해에서 기압변화에 영향을 받는 수위의 변화가 기압의 변화보다 위상이 앞서는 시간차 등을 고려하였다. 학습 모델은 가장 일반적인 형태의 인공신경망인 심층신경망(DNN; Deep Neural Network)과 시계열 자료에 적합한 순환신경망(RNN-GRU; Recurrent Neural Network-Gated Recurrent Unit)을 이용하였다. 본 연구를 통해 인공신경망의 적절한 활용이 수위시계열의 결측 구간을 RMSE 10 cm 오차 내에서 효과적으로 보간할 수 있음을 확인하였다.

## 순환신경망을 이용한 수치예보모델의 지상 예측기온 편차보정 연구 A Study on the Bias Correction of Surface Temperature Forecast using Recurrent Neural Networks

김만기, 박세영, 이용희  
ManKi Kim, SeiYoung Park, Yong Hee Lee

기상청 수치모델링센터  
Korea Meteorological Administration Numerical Modeling Center

최근 컴퓨팅 기술의 발전 등으로 인해 인공지능 분야가 급격히 발전하고 있으며, 자료동화 및 물리과정, 후처리과정(post-processing) 등 기상 수치모델링 분야에도 이를 적용하려는 다양한 시도가 이루어지고 있다. 이중 후처리는 수치예보모델이 가지는 고유의 계통적 오차를 제거하여 더욱 정확한 기상예측 정보를 생산하는 과정으로, 현재까지 다양한 통계 및 기계학습 기법들을 적용한 후처리 기법의 연구가 수행 되어져 왔다.

현재 기상청은 수치모델의 후처리 기법으로써 장기적으로 축적된 수치예측 자료와 관측자료의 통계적 관계를 이용하는 MOS (Model Output Statistics)를 개발하여 단기 및 중기 예보를 지원해오고 있다. 그런데 현재 현업에서 운영 중인 단기에보가이던스는 주로 지역예보모델 기반으로 개발되었으나, 최근 지역예보모델의 운영 중단 및 고해상도 전지구예보모델 운영 따라 전지구예보모델 기반의 후처리 기법 개발의 필요성이 대두 되었다. 이에 따라 본 연구에서는 기상청 전지구모델의 예측자료에 딥러닝 기법을 적용한 새로운 예보가이던스를 개발하고, 기존 MOS 기법의 대체 가능 여부를 평가해 보고자 한다.

딥러닝 기법은 시계열 자료를 다루는데 적합한 순환신경망 (RNN, Recurrent Neural Network) 기반의 LSTM (Long Short Term Memory Network) 기법을 적용하였다. 편차보정모델 개발을 위해 2016년부터 2018년까지 동네예보(단기에보) 지점의 기온 관측자료와 이에 대응되는 전지구예보모델의 기온, 풍속, 습도 등의 예측자료를 사용하였다. 전체자료는 훈련기간과 검증기간으로 나누어 예측모델의 개발 및 적합도를 설정하는데 사용하였고, 시험기간에 대한 편차보정을 수행하여 개발된 모델의 예측성능을 평가하였다.

감사의 글 : 이 연구는 수치모델링센터 『수치예보 및 자료응용 기술개발(NTIS-1365002970)』 과제의 일환으로 수행되었습니다.

## Developing the Precipitation Forecasting Model Based on Long Short-Term Memory Using Surface Observations in Seoul

So-Ra In, Baek-Jo Kim, Hae-Min Kim, Jin-Hwa Lee, Yoo-Jun Kim, and Chang-Geun Park

High Impact Weather Research Center,  
Observation and Forecast Research Division,  
National Institute of Meteorological Sciences, KMA, Korea

강수는 인간의 실생활과 사회·경제 활동에 커다란 영향을 미치는 기상요소이다. 최근에 강수예측 성능을 높이기 위한 딥러닝 기법을 이용한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 딥러닝 기반 강수예측은 통계적인 예측 방법과 달리 거대한 자료를 통하여 변수간의 관계를 파악하고 패턴을 찾아 모형을 개발하는 것이다. 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)를 이용한 기상관측은 1988년도부터 시작되어 시, 공간적으로 충분한 관측 자료가 축적되어 있다.

본 연구에서는 LSTM (Long Short-Term Memory) 기법을 2014년부터 2018년의 여름철(6월~8월) 서울지역에 위치한 AWS 29개 지점의 관측 자료에 적용하여 1시간 이후의 강수를 예측하는 모형을 개발하였다. LSTM은 자료의 시계열 연속성을 고려하는 순환 신경망(Recurrent Neural Network, RNN) 기법 중에 하나이다. 강수예측을 위한 입력 자료는 시간별 기온, 강수량, 풍향, 풍속으로 12세트를 구성하였으며, 정답 레이블은 1시간 누적 강수량으로 하였다. 총 데이터 수는 300,944개였으며, 이 중 90%는 훈련 데이터로, 나머지 10%는 테스트 데이터로 각각 사용하였다. 실험의 모형은 Keras 기반으로 구현하였으며, 활성화함수는 Relu를, optimizer는 Adam을 사용하였다. 또한 손실함수는 MAE(Mean Absolute Error)를, 훈련 epoch 설정을 위해 Keras에서 제공되는 early stopping 함수를 각각 사용하였다.

LSTM 기반 강수예측 정확도(Accuracy)는 약 0.95로 높은 값을 보였다. 실험에 사용한 강수량 자료는 약 92.5%가 무강수 사례였으며, 10 mm h<sup>-1</sup> 초과하는 강수사례는 약 0.6%로 상대적으로 아주 낮은 비율을 차지하였다. 이로 인해 정량적인 강수예측에서 강한 강수(10 mm h<sup>-1</sup> 이상)사례의 예측 성능이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 향후, 훈련 데이터에서 강수 사례와 무강수 사례의 비율을 변경하거나 강한 강수 사례를 추가한 실험을 통하여 정량적인 강수예측 성능을 높이고자 한다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「기상업무지원기술개발연구」 “재해기상 감시·분석 예측기술개발 및 활용연구(KMA2018-00123)”의 지원으로 수행되었습니다.

## 딥러닝을 이용한 특정지점 윈드시어 경보 예측 Wind Shear Alert Prediction Using Deep Learning in Specific point

하지훈, 이봉주, 임효혁  
Ji-Hun Ha, Bong-Ju Lee, Hyo-Hyuc Im

(주)한국해양기상기술  
Korea Oceanic and Atmospheric System Technology

대기운동에서 상하 간 풍속의 차이, 전선 등에서 발생하는 기류의 상승/하강이동을 윈드시어(Windshear)라 한다. 기상의 일변화중 비교적 짧은 시간에 풍향과 풍속이 변하는 기상현상으로 마이크로버스트, 전선면, 지형에 의한 강제상승/하강 등 다양한 요인에 의해 발생한다. 지면 마찰 영향으로 지표면에서 주로 발생하며, 국지규모에서 갑자기 발생하는 특성으로 인하여 기상수치예측 모델자료를 활용한 발생예측은 시공간적인 한계가 존재한다.

윈드시어는 활주로 이·착륙 시 강한 하강기류로 인한 항공기사고를 유발하는 항공사고의 주요 원인 중 하나이다. 팬암(Pan Am) 759편 추락, 델타항공 191편 추락, 페덱스 익스프레스 80편 착륙실패 등이 대표적인 윈드시어 항공사고이다. 이와 같은 윈드시어 사고를 대비하기 위해 최근에는 TDWR(Terminal Doppler Weather Radar), LLWAS(Low Level Windshear Alert System) 등 윈드시어 탐측 장비를 공항에 설치·운영하며 실시간 감시를 수행하고 있으나, 이를 사전에 예측하여 회피하는 효과적인 방안은 아직까지 연구 중이다.

본 연구는 딥러닝 기법을 적용하여 30분 이후 시간대 윈드시어 발생가능성을 예측하고 이를 사전에 알려 사고를 예방하기 위한 연구로서 사례지역으로서 인천공항 인근에 설치된 LLWAS, AMOS(Aerodrome Meteorological Observation System)에서 수집한 지상관측자료를 활용하였으며, LLWAS의 윈드시어 경보수행을 성과목표치로 설정하고 학습을 수행하였다. 예측 인자로 기온, 기압, 풍향, 풍속 기상요소를 사용하였으며, 2013년 11월부터 2017년 12월까지 수집한 관측자료를 학습데이터로 사용하고 2018년 1월부터 8월까지 수집한 자료는 검증데이터로 사용하였다. 예측은 총 3단계의 과정을 통해 수행하였는데, 첫 번째 단계에서는 자료 전처리 및 데이터 셋 구성, 두 번째 단계에서는 인천 공항 전체에서 윈드시어 경보 발생여부 예측, 세 번째 단계로 경보발생을 예측한 경우에 인천공항 각 활주로 방향에 대한 상세한 윈드시어 예측정보를 생산·지원하였다. 예측지원 수행결과로서 실제보다 윈드시어 경보를 과도하게 예측하는 경향을 보여 다소의 추가보완이 필요하지만, 현재 실시간 관측에만 의존하는 원격탐사장비 기반 보다는 사전 예측이 더욱 절실하며, 예측 결과정보로부터 위험기상의 발생 확률이 높다는 정보가 제공된다는 점에서 미래 활용가치는 매우 높다.

향후 연구는 인천공항과 같은 임의지점에서의 인공지능 기반의 기계학습을 통한 기상현상 예측기술을 중심으로 수행할 예정이며, 정확도 향상을 위해 관측자료 QC, 적용방법, 추가 관측자료의 확보 등 다양한 기법을 적용하여 성능을 향상시킬 예정이다.

**감사의 글 : 이 연구는 한국기상산업기술원의 지원을 받아 수행되었음**

## A novel multiresolution spatiotemporal data mining based deep learning method to quantify the main drivers of real-time hydro-environmental data

Yun–Yeong Oh<sup>1</sup>, Seong–Taek Yun<sup>1</sup>, Bobby Pejic<sup>2</sup>, Matthew Myers<sup>2</sup>

Korea–CO<sub>2</sub> Storage Environmental Management (K–COSEM) Research Center & Department of Earth Environmental Sciences, Korea University<sup>1</sup>, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Energy, Kensington, WA, Australia<sup>2</sup>

Real-time observed field scale data usually showing the nonstationarity and delayed interdependency due to overlapping effects of various hydrometeorological and anthropogenic impacts. Thus It cannot be directly applied to the conventional iid-based regression techniques unless appropriate transformations minimizing the loss of dynamic properties. We developed a novel integrated data analysis method coupled with deep learning (MR–LSTM) which is effective in identifying, evaluating, and predicting the key driving forces controlling the variability of various real-time hydro-environmental datasets (i.g., precipitation, groundwater/ river water level/EC, air/water/soil temperature, pressure, relative humidity etc.). The MR–LSTM provides a quantitative basis for selecting optimal model training conditions while also improving the predictability of the conventional long-short term memory network (LSTM) through the multiresolution state space model (MRSSM, 2017). In this study, we demonstrate the feasibility of the deep learning based real-time integrated environmental monitoring and early warning systems which are applicable for complex environmental systems where physical, chemical and biological processes are overlapping. Some case studies involving the MR–LSTM which uses groundwater, river water, and near-surface soil gas datasets from South Korea and Australia will be presented.

Thanks: This research was supported by the Korea Ministry of Environment (MOE) as “Korea–CO<sub>2</sub> Storage Environmental Management (K–COSEM) Research Program” and partly funded by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (KMSIT) (No. 2018R1C1B6003550).





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

SS-01  
K-IODP 연구



## 해양 과학시추 50년: 성과 및 미래 방향 Fifty Years of Scientific Ocean Drilling: Achievements and Future Direction

김길영<sup>1</sup>, 현상민<sup>2</sup>  
Gil Young Kim, Sang Min Hyun

한국지질자원연구원<sup>1</sup>, 한국해양과학기술원<sup>2</sup>  
 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM),  
 Korea Institute of Ocean Science and Technology(KIOST)

해양 과학시추를 통한 연구가 1968년 시작된 지 벌써 50년이 지났지만 아직 지구내부에 대한 정보가 턱없이 부족하며 풀리지 않은 많은 과학적인 의문점이 남아 있다. 대양저 및 지구 내부에 관한 연구는 해양 과학시추로부터 얻어진 시료를 통해서만 알 수 있다. 이러한 심해의 시료획득은 50년 전인 1968년 8월 심해저시추계획 (DSDP: Deep Sea Drilling Project)에서 글로마 챌린저 (Glomar Challenger)호를 이용한 멕시코 만 시추로부터 시작되었고 이후 해저지각시추프로그램 (ODP: Ocean Drilling Program), 통합해저지각시추프로그램 (old IODP: Integrated Ocean Drilling Program), 그리고 국제해양시추탐사프로그램 (new IODP: International Ocean Discovery Program)으로 이어져 현재까지 진행되고 있다. 지금까지 해양 과학시추를 통해 기술적인 성과와 과학적인 큰 성과를 얻었다. 첫 번째 기술적인 성과는 시추선이 시추위치를 벗어나지 않고 연속적으로 시추코어를 획득할 수 있도록 위치를 유지시켜주는 동적위치유지 시스템 (dynamic positioning system)이고 다른 하나는 시추동안 드릴비트를 교체한 후 동일한 시추공에 드릴비트가 쉽게 투입될 수 있도록 해주는 재투입 콘 (re-entry cone)의 개발이다. 이러한 기술적인 혁신 외에도 다양한 과학적 성과 즉 판구조론 증명, 지구의 역사 규명, 그리고 심해 퇴적물 내 생명체의 발견 등이 있다. 2013년 10월 시작된 국제해양시추탐사프로그램 (new IODP)은 2023년까지 계속될 예정이고, 2023년 이후 다음 단계를 위해 참여 회원국들은 새로운 과학계획 수립과 더불어 미래의 해양 과학시추 50년을 준비하고 있다. 특히 2019년 미국, 유럽, 중국, 호주-뉴질랜드, 일본 등에서는 2023년 이후의 10년 과학계획 수립을 위한 대대적인 워크숍을 개최 및 준비하고 있고 모든 IODP 회원국이 참여할 수 있도록 독려하고 있다. 우리나라도 이러한 국제적인 동향에 발맞추어 회원국가로서 지속적인 참여와 다음단계를 위한 준비가 필요한 시점이다. 이를 위해서는 해양지구과학 분야의 기관 및 전문가들의 적극적인 협조가 요구된다.

감사의 글 : 이 연구는 국제해저지각시추사업 (IODP)의 지원을 받아 수행되었음

## 스코샤 해 해양퇴적물의 공극수 지화학 예비결과 Preliminary geochemistry of pore water in marine sediment

황지환<sup>1,2</sup>, 류종식<sup>3,\*</sup>, 김지훈<sup>4</sup>, 김길영<sup>4</sup>  
 Ji-Hwan Hwang<sup>1,2</sup>, Jong-Sik Ryu<sup>3,\*</sup>, Ji-Hoon Kim<sup>4</sup>, Gil Young Kim<sup>4</sup>

충남대학교<sup>1</sup>, 한국기초과학지원연구원<sup>2</sup>, 부경대학교<sup>3</sup>, 한국지질자원연구원<sup>4</sup>  
 Chungnam National University<sup>1</sup>, Korea Basic Science Institute<sup>2</sup>, Pukyong National  
 University<sup>3</sup>, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources<sup>4</sup>

국제해저지각시추사업에 참여하여 남빙양 스코샤 해 지역의 해양심부퇴적코어 및 공극수를 채취하였다. 이번 시추는 남극 빙상의 질량손실, 해양 및 대기 순환의 과거 변화를 재구성하여 빙산 플럭스의 공간적 통합 기록을 제공하는데 목적이 있다. 많은 양의 남극 빙산은 남극 연안 해류에 의해 이동하여, 남극 순환 해류에 의해 스코샤 해 지역에 도달하게 된다. 빙산에 의해 운반된 해양퇴적물은 남극 대륙의 장기적인 기후 변화, 극지 빙상의 과거 대기 중 이산화탄소 변화 및 전 지구적 해수면 변동에 미친 영향에 관한 정보를 기록하고 있다. 이러한 이유로 남극 포클랜드 해역 스코샤 해의 세 정점에서 플라이스토세로부터 후기 마이오세까지의 해양심부퇴적물 및 공극수를 채취하였다. 획득한 해양퇴적물 코어에서 스퀴징(squeezing) 및 라이존(Rhizon)을 이용하여 공극수 시료를 채취한 후 선상에서 지화학 분석(양이온, 음이온, 미량 원소)을 수행하였다. 칼륨 및 마그네슘 농도는 깊이에 따라 일정하게 감소하고, 알칼리도 및 암모늄 이온 농도는 심도 150 mbsf 부근에서 최대값을 보인 후 감소하는 특징을 보인다. 스트론튬 및 바륨의 농도는 SMTZ (Sulfate-Methane Transition Zone)을 지나면서 급격히 증가한다. 향후 공극수와 퇴적물의 안정동위원소( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ,  $\delta^{26}\text{Mg}$ ,  $\delta^{41}\text{K}$ ,  $\delta^7\text{Li}$ )와 방사기원 동위원소( $\delta^{87/86}\text{Sr}$ ,  $\epsilon^{144/143}\text{Nd}$ ) 분석을 통하여 고환경 복원을 위한 고분해능 동위원소 자료를 구축하고 전 지구적 기후변화를 이해할 수 있는 새로운 동위원소 프록시를 개발하고자 한다.

## 남극 아문젠해 심부시추 퇴적물 내 유체 특성 예비 결과 Preliminary Result of Pore Fluid Properties from the Amundsen Sea Deep Drilling Sediment

김지훈, 김길영  
Ji-Hoon Kim, Gil Young Kim

한국지질자원연구원  
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

남극 아문젠해에서 국제 공동으로 2019년 1월 19일부터 2019년 3월 20일까지 60일 동안 심부 시추를 실시하였다. 이 심부 시추는 지질시대동안 서남극빙상 (WAIS)의 거동에 따른 전 지구적 해수면 변화 및 기후 변화 등을 규명하기 위해 실시하였다. 심부 시추는 총 두 지점에서 해저면으로부터 각각 794 m와 383 m 심도까지 시추하였고, 시추 코어 회수율은 총 시추 심도 대비 약 85%였다. 심부 시추 기간 동안 채취된 퇴적물 내 유체는 스쿼저를 이용하여 총 103개의 시료를 채취하였다. 채취한 유체를 이용하여 심부 시추의 선상 연구기간동안에 시료 내 용존한 주요 음이온 및 양이온과 영양염류를 분석하였다. 본 발표에서는 선상 연구기간동안에 취득한 유체의 지화학 분석 결과를 기반으로 심부시추를 실시한 아문젠해 두 지점에 대한 전반적인 유체의 지화학 특성에 대한 예비 해석 결과를 이야기할 것이다. 또한 남극 아문젠해의 광역적인 유체의 지화학 특성을 규명하기 위해 향후 필요한 승선 후 연구 연구에 대해서도 간략하게 언급할 것이다.

## Brothers 해저화산 IODP 시추시료의 열수변질 및 유체포유물 연구

Hyun Joo Lee<sup>1</sup>, Jung Hun Seo<sup>1</sup>

Department of Energy & Resources Engineering, Inha University<sup>1</sup>

Brothers 화산은 태평양 해저지판이 호주 해저지판 아래로 섭입하는 Kermadec arc 남부에 위치한 해저 칼데라형 활화산이다. Brothers 화산은 석영 안산암질 용암류 및 화산 쇄설암으로 이루어져 있으며, 전 세계에서 보고되는 해저 열수 활동 중 가장 큰 규모의 열수 활동을 기록하고 있다. IODP exp376에서는 열수 작용이 알려진 칼데라의 북서쪽 내벽(NW caldera site) 그리고 화산 콘(cone site) 지역을 집중적으로 시추하였다. NW caldera site에는 Au-Cu-Zn 원소가 풍부한 괴상의 황화물 침니가 형성되어 있으며, 이 지역의 열수는 1) 금속 함량이 높고, 2) 산성 및 고온의 액체상이다 (265 - 302°C, pH≥2.8; de Ronde et al. 2011). Cone site에는 금속광화작용이 보고되지 않았으며 자연황이 발견된다. 이 지역의 열수는 1) 금속 함량이 적고, 2) 상대적으로 강산성이며 저온의 증기상이다 (≤122°C, pH≥1.9; de Ronde et al. 2011).

시추 암석 시료의 petrography를 통하여 각 열수 지역의 상이한 변질광물조합을 확인하였다. NW caldera site의 천부 (mbsf 0 - 189) 에는 크리스토팔라이트, 중정석 등이 관찰되며, 심부 (mbsf 189 - 429) 에는 파이로필라이트, 다이아스포어, 금홍석 등이 관찰된다. Cone site의 천부 (mbsf 0 - 36) 에는 스�멕타이트, 황철석 등이 관찰되며, 심부 (mbsf 36 - 357) 에는 나트 로알루나이트, 파이로필라이트 등이 관찰된다.

다양한 이차 변질광물 내에 액상 및 기체상의 유체포유물이 발견되었다. 유체포유물 microthermometry를 통해 유체의 염도, 균질화 온도를 분석하였다. NW Caldera site의 유체포유물은 경석고, 석영, 다이아스포어에서 발견되었으며 유체포유물의 염도는 평균 3.71 wt% NaCl eq. (범위 3.02 - 4.51), 균질화 온도는 평균 289°C (범위 254 - 351)로 측정되었다. Cone site의 유체포유물은 경석고, 명반석, 석영, 석고에서 발견되었으며 유체포유물의 염도는 평균 4.38 wt%.NaCl eq. (범위 0.70 - 7.59), 균질화 온도는 평균 266°C (범위 160 - 351)로 측정되었다. Raman 분광분석을 통한 유체포유물 내의 기체성분 분석 결과 두 지역 모두 N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S 등의 기체가 포함되어 있음을 확인하였다.

참고문헌 : de Ronde et al., Mineral Deposita(2011), Submarine hydrothermal activity and gold-rich mineralization at Brothers Volcano, Kermadec Arc, New Zealand,

감사의 글 : 이 연구는 국제해저지각시추사업의 지원을 받아 수행되었음

## Pressure Solution Observed in Cored Samples from Pelagic Sedimentary System at IODP Site U1480

Insun Song<sup>1,2</sup>, Aryong Yun<sup>1,2</sup>

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources<sup>1</sup>,  
University of Science and Technology<sup>2</sup>

International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 362 drilled at two sites, U1480 and U1481, with the depths of 1432 and 1500 meters below seafloor (mbsf), respectively, on the Indian oceanic plate 255 km southwest of the Sunda subduction zone. The complete sedimentary section at U1480 consists of mainly siliciclastic sediments interpreted as Nicobar fan underlain by mixed tuffaceous and pelagic sediments interbedded with extrusive and intrusive igneous material near basaltic basement at 1415 mbsf. Paleontological age dating indicates a distinct change in sedimentation rate from a slowly deposited pelagic system (<4 m/Myr) to a rapidly deposited submarine fan system (>100 m/Myr) at 1250 mbsf depth corresponding to ~9 Ma. Seismic profile in the area of the drill site shows that on approaching the subduction zone, the plate bends downward and the upper formation (Nicobar fan) thickens with additional rapid sedimentation up to ~3 km depth at the subduction trench. But the pelagic sedimentary formation below a high amplitude negative polarity (HANP) in the profile shows little change in thickness of 150–200 m.

We characterized physical properties of core samples from the pelagic sedimentary system below the HANP at U1480 site. The porosity is extremely various from 8 to 50% depending on rock type; tuffaceous clay (50.7%), Calcareous ooze (12.3%), Silty clay (13.4%), and Granodiorite (8.1%). Permeability is very low down to  $\sim 10^{-19}$  m<sup>2</sup> in Calcareous ooze and  $\sim 10^{-21}$  m<sup>2</sup> in Granodiorite. Such low permeabilities in high porosity samples indicate very poor connectivity of pores due to mineral precipitation during diagenesis. We also observed a spontaneous pore pressure change in process of time with a decreasing rate in undrain condition in Calcareous ooze and Granodiorite samples. The pore pressure increases with the effective pressure and temperature. The pressure change seems to be related to pressure solution as a mechanism of chemical and mechanical compaction. The HANP is possibly formed by the excess pore pressure induced by the pressure solution with increasing overburden and temperature from the formation of Nicobar fan. The pore pressure would become higher due to the higher overburden and temperature as the oceanic plate approaches the trench, and eventually could be a trigger of shallow earthquake such as the 2004 Sumatra–Andaman subduction earthquake.

## 과거 백만년 간 남중국해의 고해양, 고기후 진화: 해양과 육성 바이오마커 증거 (Evolutions of Paleoceanography and paleoclimatology in South China Sea since the last 1 Ma: Marine and terrestrial biomarker evidences)

Sangmin Hyun<sup>1</sup>, Naokaze Ahagon<sup>2</sup>, Minoru Ikehara<sup>3</sup>  
 현상민<sup>1</sup>, 나오가즈 아하곤<sup>2</sup>, 미노루 이케하라<sup>3</sup>

KIOST(한국해양과학기술원)<sup>1</sup>, JAMSTEC, Japan<sup>2</sup>, Kochi University, Japan<sup>3</sup>

남중국해(South China Sea: SCS)에서 얻어진 코아 퇴적물에 대해 해양과 육성의 바이오마커인 alkenoenes와 n-alkane을 분석하여 과거에 일어났던 고해양 진화를 평가하고 아시안몬순과의 관련성에 대해 알아보았다. 해양성 biomarker인 총 알케논의 농도는 북쪽 조사지역인 U1432C에서(0.43ug/g)가 남쪽지역(U1433A)에서(1.05ug/g) 보다 매우 낮았다. 알케논에 근거한 SST변화는 북쪽 지역인 U1432C에서는 23.2~28.6°C, 남쪽지역인 U1433A에서는 이보다 약간 높은 24.4~29°C를 보이고 있다. 두 지역 간 온도 차이는 약 0.7°C 정도로 나타났고, 이 차이는 위도차이에 따른 영향과 아시안 대륙의 모순변화 관련이 있을 것으로 예상된다. 또한 n-alkanes이 전체 농도가 북쪽지역에서 높고, 남쪽지역에서 낮은 것은 고위도지역에서 더 많은 육상기원 유기물이 유입되었음을 지시하는 것으로, 고기후 변화나, 육상기원 유기물의 유입이 긴밀하게 관련되고 있음을 지시하는 것이며, 이러한 관계도 위도의 변화와 밀접하게 관련되고 있음을 지시하는 것이다. 알케논에 근거한 SST변화에 대한 spectral 분석결과, U1432C와, U1433A에서는 4만년 주기가 관찰되었지만, n-alkanes 유기화합물에 대한 분석에서는 U1433A에서 2만년 주기가 관찰되었다. 따라서 SST변화는 최소한 Milankovitch주기를 보이고 있지만 이 주기가 직접적으로 육상기원 n-alkanes의 변화와는 큰 상관이 없다는 것을 보여주고 있다. 이 연구를 통해서 남중국해의 고해양/고기후에 대한 상세한 정보를 제공하고 있으며, 아시안 지역의 모순기후와의 관련성 등에 대해서도 중요한 정보를 제공하고 있다.

감사의 글 : 이 연구는 KIODP(PM61460)의 지원을 받아 수행되었음.

## 타스만해의 신생대 기후변화 복원과 IODP Exp. 371의 예비연구 Reconstruction of the Cenozoic climate change in the Tasman Sea and preliminary study of IODP Exp. 371

박유현<sup>1</sup>, 김부근<sup>1</sup>, 신경훈<sup>2</sup>, 이경은<sup>3</sup>  
Yu-Hyeon Park<sup>1</sup>, Boo-Keun Khim<sup>1</sup>, Kyung-Hoon Shin<sup>2</sup>,  
 Kyung Eun Lee<sup>3</sup>

부산대학교<sup>1</sup>, 한양대학교<sup>2</sup>, 한국해양대학교<sup>3</sup>  
Pusan National University<sup>1</sup>, Hanyang University<sup>2</sup>,  
 Korea Maritime and Ocean University<sup>3</sup>

남서태평양 타스만해에서 IODP Exp. 371을 통해 획득한 시추코아 퇴적물을 이용하여 생체 지표 GDGT (glycerol dialkyl glycerol tetraethers) 분석방법을 통한 신생대 해양변화 및 기후변화를 복원하고 기후변화를 조절하는 인자를 규명하고자 한다. 이러한 연구를 위해서는 신생대 해양퇴적물로부터의 생체지표의 분석방법 확립과 고환경 지표로서의 신뢰성 평가가 우선적으로 요구된다.

IODP Exp. 371 탐사동안 획득한 타스만해 시추코아의 선상연구자료로부터 에오세, 팔레오세 및 백악기에 해당되는 연대를 기록하며 다양한 암상으로 구성된 퇴적상을 확인하였다. 퇴적물의 지화학 함량은 연대에 따른 지리적인 위치, 수심과 암상에 따라 큰 차이를 나타냈다 (Sutherland et al., 2018). 타스만해는 지구조활동이 활발했던 해역이므로 고해양 수심 및 지리적-지형적 변화가 해양환경에 중요한 영향을 끼쳤을 것이라고 판단된다. 수심이 비교적 얇은 northern Lord Howe Rise (IODP Site U1506)와 깊은 Tasman Abyssal Plain (IODP Site U1511)에서 획득한 코아퇴적물을 이용하여 GDGT 분석의 측정 가능성을 확인하였다. 또한 GDGT 프록시를 이용하여 과거 신제3기(Neogene)와 고제3기(Paleogene)의 환경이 매우 상이했음을 확인하였다. 그러나 고수온계로서 GDGT 프록시의 활용은 지리적 위치에 따라 차이를 보이므로 추가적인 검토가 필요하다.

Sutherland, R., Dickens, G.R., Blum, P., and the Expedition 371 Scientists, 2018. *Expedition 371 Preliminary Report: Tasman Frontier Subduction Initiation and Paleogene Climate*. International Ocean Discovery Program. <https://doi.org/10.14379/iodp.pr.371.2018>

## Preliminary results of geochemical proxies on the Ross Sea Continental shelf: IODP Site U1523

Sunghan Kim<sup>1,\*</sup>, Jae Il Lee<sup>1</sup>, Min Kyung Lee<sup>1</sup>, Kyu-Cheul Yoo<sup>1</sup>, Rob M. McKay<sup>2</sup>, and the IODP Expedition 374 Scientists

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Victoria University of Wellington<sup>2</sup>

It is important to understand past ice sheet dynamics for many reasons. Because the West and East Antarctic Ice Sheets merged onto the Ross Sea, understanding of the ice sheet variation, particularly in the Ross Sea, is crucial. Previous studies showed that geochemical proxies respond to surface environmental changes on the shelf in association with ice sheet advance/retreat. Site U1523 was collected from the Ross Sea continental shelf during International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 374. We measured biogenic opal, total organic carbon (TOC), and CaCO<sub>3</sub> concentrations from the top 16 m of Site U1523 to reconstruct the late Pleistocene surface water productivity changes in response to ice sheet advance/retreat. Since our preliminary geochemical results show cyclical variations, the variation may be related to degree of duration of sea ice associated with ice sheet advance and retreat on the Ross Sea. Because this is preliminary results, more detailed study will be done in the future.

국제해저지각시추프로그램 탐사346의 U1430 시추코어의 자생성분 베릴륨 동위원소 및 기타원소를 활용한 지난 11 백만년간의 고기후 변화 추적  
 Tracing 11 Million Years of Paleoclimate Change using Authigenic Berillium Isotope and Other Elements obtained by IODP EXP 346, U1430

김경자<sup>1</sup>, 최이레<sup>1</sup>, 김길영<sup>1</sup>, 히로유키 마츠자키<sup>2</sup>  
 Kyeong Ja Kim<sup>1</sup>, Yire Choi<sup>1</sup>, Gilyoung Kim<sup>1</sup>, Hiroyuki Matsuzaki<sup>2</sup>

한국지질자원연구원<sup>1</sup>, 동경대학교<sup>2</sup>  
 KIGAM<sup>1</sup>, University of Tokyo<sup>2</sup>

동해 IODP Expedition 346의 동해안 울릉분지 U1430 시추지역 코어시료 시료의 자생광물에서 추출한 베릴륨 동위원소를 이용하여 지난 11 백만년간의 동해안 고기후 기록 복원에 대한 연구를 수행하였다. U1430은 울릉분지 (37°54.16'N, 131°32.25'E)에서 시추된 두 개의 시추코어의 총 시료 178개를 분석하였으며, 자생성분 베릴륨 동위원소와 기타 원소를 해석하여 얻은 층서적 이들 원소성분 결과는 고기후 변화 및 우주적 현상에 기원한 돌발적인 기후 변화도 잘 나타나는 것으로 확인되었으며, 고해양의 환경을 이해할 수 있는 자료를 생산할 수 있었다. 자생성분의 커다란 변화에 따르면, 울릉분지에서 Pleistocene-Pliocene 경계면은 2.1 백만년에 나타나는 것으로 확인 되었다. 본 연구 발표는 고기후 및 고해양 변화에 대한 11년간의 거시적 변화에 대한 이해를 돕게 한다.

감사의 글 : 이 연구는 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(국제해저지각시추사업)로 수행되었음.

## 유기질미화석 산출특성을 통한 플라이오세~플라이스토세 기후전이 기간동안의 동남한국대지 고기후 및 고해양환경 복원

김용미, 이상헌, 김길영, 이은미  
Yongmi Kim<sup>1,2</sup>, Sangheon Yi<sup>1,2</sup>, Gil-Young Kim<sup>2</sup>, Eunmi Lee<sup>2,3</sup>

과학기술연합대학원대학교<sup>1</sup>, 한국지질자원연구원<sup>2</sup>, 강원대학교<sup>3</sup>  
Korea University of Science and Technology<sup>1</sup>, Korea Institute of Geoscience and  
Mineral Resources<sup>2</sup>, Kangwon National University<sup>3</sup>

화분(Pollen)과 와편모조류(Dinoflagellate)와 같은 유기질 미화석은 퇴적작용 중에 가해지는 여러 가지 물리-화학적 변질작용에도 잘 견딜 수 있는 내구성이 강한 물질로 구성되어 있어서 여러 해양환경 조건에서도 잘 보존되기 때문에 생층서학에서 유용하게 사용되고 있다. 또한 유기질 미화석을 이용한 생층서 자료는 퇴적당시의 고기후 및 고해양환경 복원에 매우 중요한 역할을 한다. 이번 연구는 2013년 동해에서 수행된 IODP Expedition 346 탐사의 9개 시추정점 중 하나인 동남한국대지(Site U1430)에서 획득한 시료를 이용하였다. 동해 후기 플라이오세부터 전기 플라이스토세 기후전이기간의 고환경을 복원하기 위해 유기질 미화석분석을 실시하였다. Terrestrial palynomorph에서 Abies와 같은 침엽수 화분은 한랭건조 기간동안의 동아시아 겨울몬순의 세기를 나타내고, Marine palynomorph에서 Tuberculodinium vancampoae와 같은 난수종 와편모조류는 대마난류를 지시한다. 이러한 유기질미화석의 고환경 지시종 변화를 통해 약 3Ma를 기준으로 각각 두 개의 Pollen zone과 Dinocysts zone이 구분되었다. 약 3Ma 이전(P-I, D-I)의 동해는 동아시아 겨울몬순의 영향아래 한대-건조 기후와 아한대건조기후가 번갈아 나타나는 불안정한 기후였다. 그러나 약 3Ma 이후(P-II, D-II)에는 한랭-건조기후가 지속되는 안정한 기후로 변화하여 육지에는 Abies와 같은 한랭건조 침엽수림이 번성하였고, Pinus-Diploxylon과 같은 아한대 침엽수림은 급감하였다. 전지구적 해수면 하강으로 남황해분지 지역은 저지대로 노출되어 Artemisia와 같은 내건조성 초본류가 생육하였고, 이러한 초본류들은 대한해협을 통해 난류와 함께 동해로 유입되었을 것으로 판단하였다. 약 2.8Ma 이후에는 동아시아 겨울 몬순과 한랭한 기후가 강화되어 내륙에는 한랭건조 침엽수림이, 해양에는 냉수종이 번성하였다. 약 2.5 Ma의 Tsuga의 증가는 동해로 유입된 난류의 영향으로 대기에 습기가 공급되고 한랭한 기후조건에서 동해 연안에 많은 눈이 내려 솔송나무(Tsuga)가 생육하기에 알맞은 습윤한 토양환경이 조성되었기 때문으로 추측하였다.

## International Ocean Discovery Expedition 355: Arabian Sea Monsoon – Achievement and Progress

Boo-Keun Khim

Pusan National University

In 2015, during International Ocean Discovery Program Expedition 355, two sites (U1456 and U1457) were drilled in Laxmi Basin in the eastern Arabian Sea to document the coevolution of mountain building, weathering, erosion, and climate over a range of timescales. In addition, recovering basement from the eastern Arabian Sea provides constraints on the early rifting history of the western continental margin of India with special emphasis on continental breakup between India and the Seychelles and its relationship to the plume-related volcanism of the Deccan Plateau. Drilling operations during Expedition 355 recovered sediment from Sites U1456 and U1457, penetrating 1109.4 and 1108.6 m below seafloor (mbsf), respectively. Drilling reached sediment dated to 13.5–17.7 Ma (late early to early middle Miocene) at Site U1456, although with a large hiatus between the lowermost sediment and overlying deposits dated at <10.9 Ma. At Site U1457, a much longer hiatus occurs near the base of the cored section, spanning from ~10.9 to ~62 Ma. At both sites, hiatuses span ~8.2–9.2 and ~3.6–5.6 Ma with a possible condensed section spanning ~2.0–2.6 Ma, although the total duration for each hiatus is slightly different between the two sites. In this presentation, the scientific achievements conducted by Pusan National University will be introduced along with the new contribution by the shipboard scientists.

## Preliminary results for paleoproductivity changes by the Indian monsoon in the Mahanadi Basin of the Bay of Bengal (IODP Site U1445) during the last 2.3 Ma

Jongmin Lee<sup>1</sup>, Sunghan Kim<sup>2</sup>, Boo-Keun Khim<sup>1</sup>

Pusan National University<sup>1</sup>, Korea Polar Research Institute<sup>2</sup>

The Northern Indian Ocean and its adjacent continental region including the Himalayas and Peninsular India are sensitive to the variation of Indian monsoon (or South Asian monsoon). The Bay of Bengal received a large amount of freshwater and terrigenous sediments from the Ganges–Brahmaputra, Mahanadi, Godavari, and Krishna rivers. Thus, the marine sediments in the Bay of Bengal are ideal to trace the past record of the Indian monsoon variation. In this study, we measured diverse sediment properties (total nitrogen, total organic carbon, biogenic opal, and CaCO<sub>3</sub>) of International Ocean Discovery Program Expedition (IODP) 323 Site U1445 in the northern Bay of Bengal in order to reconstruct surface water productivity changes in response to the intensity of Indian monsoon. The age of the studied core–bottom at IODP Site U1445 was estimated about 2.3 Ma based on shipboard biostratigraphic and paleomagnetic data. On the basis of the paleoproductivity proxy, IODP Site U1445 was divided into three intervals. An interval before 1.5 Ma is characterized by high biogenic opal and low CaCO<sub>3</sub> production. An interval from 1.5 to 0.8 Ma is a transition showing the gradual decrease of biogenic opal and increase of CaCO<sub>3</sub> production. An interval after 0.8 Ma is characterized by low biogenic opal and high CaCO<sub>3</sub> production. Our preliminary record suggests that biogenic opal production was dominated during strong Indian summer monsoon as a result of more river input to the Mahanadi Basin in the northern Bay of Bengal.

## Preliminary results of geochemical proxies on the Ross Sea Continental shelf: IODP Site U1523

Sunghan Kim<sup>1,\*</sup>, Jae Il Lee<sup>1</sup>, Min Kyung Lee<sup>1</sup>, Kyu-Cheul Yoo<sup>1</sup>, Rob M. McKay<sup>2</sup>, and the IODP Expedition 374 Scientists

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Victoria University of Wellington<sup>2</sup>

It is important to understand past ice sheet dynamics for many reasons. Because the West and East Antarctic Ice Sheets merged onto the Ross Sea, understanding of the ice sheet variation, particularly in the Ross Sea, is crucial. Previous studies showed that geochemical proxies respond to surface environmental changes on the shelf in association with ice sheet advance/retreat. Site U1523 was collected from the Ross Sea continental shelf during International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 374. We measured biogenic opal, total organic carbon (TOC), and CaCO<sub>3</sub> concentrations from the top 16 m of Site U1523 to reconstruct the late Pleistocene surface water productivity changes in response to ice sheet advance/retreat. Since our preliminary geochemical results show cyclical variations, the variation may be related to degree of duration of sea ice associated with ice sheet advance and retreat on the Ross Sea. Because this is preliminary results, more detailed study will be done in the future.

## The tephra record from IODP sites U1486 and U1487: Implications for the evolution of the Manus Basin

Jong-Hwa Chun

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

The record of explosive volcanic activity in the Manus Basin is poorly understood. In this study, we observed 185 tephra layers within 211.17-m-thick sediment samples from hole U1486B in International Ocean Discovery Program (IODP) site U1486 on the North Bismarck microplate, dating from ca. 2.72 Ma (Rosenthal et al., 2017). We performed major, trace, and rare earth element analyses of tephra from site U1486 based on electron microprobe analysis (EPMA) and laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS). The Sr-Nd isotope composition of tephra from site U1486 reflected that of its source volcanoes. Variation in the vertical and lateral grain size, shape, and thickness of tephra layers from sites U1486 and U1487 indicated the direction and transport mechanism from these source volcanoes. The tephra magma composition indicated progressively evolved basalt-basaltic andesite, andesite-dacite, and rhyolite compositions in the upward direction, suggesting a transition from mafic magma to silicic magma bodies. Our  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  analyses revealed the evolution of mid-ocean ridge basalt (MORB)-type source volcanoes. Vertical variation in grain size distribution from site U1486 revealed upward fining and transition from a lower scoriaceous layer to an upper glass shard layer. Our comparison of thickness and grain size distributions between sites U1486 and U1487 suggested that site U1487 was closer to potential source volcanoes. The resulting tephra record from the Manus back-arc basin sediments will be used to reconstruct the history of explosive volcanic activity related to basin evolution since ca. 2.72 Ma.

Thanks : This research was supported by the Integrated Ocean Drilling Program (19-9852) of the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.

## Compaction trend estimation and application using BasinVis 2.0 (IODP Expedition 356 Sites U1459–U1464)

Eun Young Lee<sup>1</sup>, Johannes Novotny<sup>2</sup>, Michael Wagreeich<sup>3</sup>

Chonnam National University<sup>1</sup>, Brown University<sup>2</sup>, University of Vienna<sup>3</sup>

This study introduces BasinVis 2.0 and demonstrates the functions through extensive case studies comprising of well data from the Perth Basin, the Northern Carnarvon Basin, Roebuck Basin, offshore Western Australia. The well data were acquired from Sites U1459–U1464 of International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 356. BasinVis 2.0 is the upgraded version of BasinVis 1.0 which was released as a MATLAB-based modular open-source tool to allow geoscientists to analyze and visualize sedimentary basins in a comprehensive workflow in 2016. Major updates of BasinVis 2.0 include a new process stage, Compaction Trend, and a largely improved process stage, Stratigraphic Setting. The compaction trend is estimated with improved accuracy using linear and exponential trending equations, and the quality is evaluated using porosity–depth data from Site U1459 and adjoining industry well Houtman–1 in the northern Perth Basin. New functions of BasinVis 2.0 are applied to analyze carbonate compaction trends based on porosity variations in carbonate strata of Sites U1459–U1464. The porosity data are mostly from grainstone, packstone, wackestone and mudstone textures, and are correlated to lithology, mineralogy and age. The carbonate compaction trends are mainly depth-dependent and time-dependent. The change from grain- to mud-supported textures influences compaction trends. The results are important not only to provide regional carbonate compaction trends, but also to study the causes of the general trends and deviations. This study enables us to understand the quantitative analysis of carbonate compaction as influenced by carbonate textures, mineralogy and age through burial history. The author will undertake all responsibility regarding typo error or grammar mistakes.

Thanks : This research was supported by a part of the project titled 'International Ocean Discovery Program' funded by the Ministry of Oceans and Fisheries and the KRF program funded by the Ministry of Science and ICT through the NRF [2017H1D3A1A01054745] of Korea.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

SS-02

백두산 화산



## 고문헌에 나타난 백두산의 역사시대 분화 기록

Sung-Hyo Yun<sup>1,2</sup>

Department of Earth Science Education, Pusan National University<sup>1</sup>  
Volcano Specialized Research Center<sup>2</sup>

백두산에서는 2002년 6월 말 이후 화산성 지진활동의 급증, 화산체 사면 붕괴, 화산가스에 의한 수목의 고사, 지표면 팽창, 온천수 수온 상승 등 다양한 분화 전조현상이 나타났다. 이에 백두산의 화산 분화사건으로 인지되는 역사시대 문헌 자료를 분석하여 화산학적으로 해석하였다. 이를 통하여 서기 946년의 밀레니엄 대분화를 포함한 31건 이상의 화산 분화 기록을 발굴하였다. 분화에 대한 기록은 대부분 플리니안 분화로 흙비 또는 숯비가 내리는 것과 같은 묘사는 화산재가 발생하여 인근 지역으로 확산되어 강하화산재를 발생시킨 것으로 해석할 수 있다. 1903년의 기록은 천지 내에서 발생한 수증기마그마성 분화 또는 볼카니안 분화에 의한 것으로 해석할 수 있다. 이러한 역사시대 분화 기록들과 2002년부터 2006년까지 나타난 화산 분화 전조현상 등은 백두산은 잠재적인 분화가능성을 가진 활화산임을 시사한다.

Eruption Activity		Volcanic phenomena	Eruption type and interpretation
2 Jan. 939	Thundering sound		Plinian, explosive eruption
3 Nov. 946	Thundering sound		Plinian, explosive eruption
7 Feb. 947	Fallout ash		Plinian eruption
5 Mar. 1014	Red abnormal phenomena in air, white ash dispersion in air		Vulcanian
15 Apr. 1014	White ash dispersion in air		Plinian
27 Dec. 1016	Red abnormal phenomena in air		Vulcanian
4 Feb. 1017	Red abnormal phenomena in air, white ash dispersion in air		Plinian eruption
Nov. 1017	White ash dispersion in air, red abnormal phenomena in air		Plinian eruption
Jan. 1018	White ash dispersion in air, fallout ash		Plinian eruption
Jan. 1019	Red abnormal phenomena in air, white ash dispersion in air		Plinian eruption
14 May 1124	Fallout ash (duration: 3 days)		Plinian eruption
Jun. 1199	Rumbling (~10 days) precursor		Plinian eruption
Oct. 1199	Rumbling, red-black ash cloud		Plinian, explosive eruption
6. May 1200	Fallout ash (duration: 2 days)		Plinian eruption
28 May 1200	Fallout ash		Plinian eruption
15 Apr. 1265	Fallout ash and pumice		Plinian eruption
24 Jun. 1373	Fallout ash, elongated pumice fragments (length: 6 to 9~12 cm)		Plinian eruption
25 Apr. 1401	Fallout ash, ash cloud, black fragment		Plinian eruption
27 Jan. 1403	Fallout ash (thickness: 3 cm, duration: 5 days)		Plinian eruption
22 Mar. 1403	Fallout ash		Plinian eruption
23 Feb. 1405	Fallout ash		Plinian eruption
9 Feb. 1406	Fallout ash (duration: 14 days)		Plinian eruption
Mar. 1573	Fallout ash		Plinian eruption
7-8 Oct. 1597	Ballistic explosion, ash column rumbling, volcanic earthquake (duration: 3 days)		Explosive, vulcanian
21 Oct. 1654	Volcanic ash clouds		Plinian
2 Jun. 1668	Fallout ash, vulcanian explosion, red abnormal phenomena in air		Plinian~vulcanian eruption
20 May 1673	Fallout ash		Plinian
3 Jun. 1702	Hot air and ash, fallout ash (thickness: 3 cm)		Plinian, VEI 5 (volume: 1.2 km <sup>3</sup> )
1898	steam and ash eruption		Small phreatomagmatic eruption
May 1903	Fire-ball explosion, rumbling, ballistic impact, (duration: 30 minutes)		Phreatomagmatic eruption
1925	Steam and ash eruption		Small phreatomagmatic eruption

감사의 글 : 이 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술 개발사업(KMI2018-02710)의 지원으로 수행되었습니다.

## 백두산에서 발생 가능한 화쇄류에 대한 수치모의 분석

Cheolwoo Chang<sup>1,3</sup>, Sung-Hyo Yun<sup>2,3</sup>

Institute of Environmental Studies, Pusan National University<sup>1</sup> ,  
 Department of Earth Science Education, Pusan National University<sup>2</sup>  
 Volcano Specialized Research Center<sup>3</sup>

화성쇄설밀도류(pyroclastic density currents)는 인류의 역사에서 가장 많은 인명 피해를 일으킨 화산재해로, 화성쇄설물과 최대 1,000℃에 달하는 고온의 가스가 섞여 빠른 속도로 산사면을 흘러내리는 현상이다. 백두산에는 서기 946년에 발생한 화산폭발지수 7의 밀레니엄 분화에 의한 화쇄류 퇴적층이 최대 60 km까지 분포하고 있다. 또한 1668년, 1702년 등 30여 회 이상의 분화가 역사시대 기록에 존재하며, 이에 의한 강화부석층과 화쇄류 퇴적층이 나타나고 있다. 2002년부터 2006년 사이에 백두산에서 발생한 화산분화의 전조현상은 백두산이 언제든지 분화할 수 있는 가능성이 있음을 시사한다. 이에 백두산에서 플리니안 분화에 의해 생성된 분연주의 붕괴에 의한 화쇄류 발생을 가정하고 TITAN2D 수치모의 프로그램을 이용하여 그 영향 범위를 산출하였다. 발생 가능한 분화의 규모를 화산폭발지수에 기반하여 다양한 시나리오로 만들고, 수치모의에 필요한 입력 변수를 산출하였다. 수치모의 결과는 분화의 규모가 커짐에 따라 화쇄류의 영향 범위가 증가하여 최대 83.4 km까지 화쇄류가 도달하는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 향후 백두산에서 발생 가능한 화산활동으로 인한 인적, 물적 피해를 최소화하기 위한 방재대책의 수립에 필요한 자료로 사용 가능할 것이다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술 개발사업(KMI2018-02710)의 지원으로 수행되었습니다.

## 수치모의를 통한 백두산 라하르 영향 범위 분석

Cheolwoo Chang<sup>1,3</sup>, Sung-Hyo Yun<sup>2,3</sup>

Institute of Environmental Studies, Pusan National University<sup>1</sup>,  
Department of Earth Science Education, Pusan National University<sup>2</sup>  
Volcano Specialized Research Center<sup>3</sup>

라하르는 인도네시아어로 화산이류를 의미하며, 인명과 재산에 큰 피해를 줄 수 있는 주요 화산 재해 중 하나이다. 라하르는 다량의 테프라가 강우 등에 의해 물과 혼합되어 화산의 사면을 타고 흘러내려가는 현상으로, 다른 화산재해와는 달리 직접적인 화산 분화 없이도 발생할 수 있다. 또한 백두산 천지 칼데라호에는 20억 톤에 달하는 물이 존재하므로 분화 발생 시 라하르의 발생 가능성을 고려하여야 한다. 백두산에서 라하르가 발생할 경우의 영향 범위를 수치모의 프로그램을 이용하여 침수영역을 분석하였다. 수치모의에 사용된 Laharz\_py 프로그램은 과거 라하르가 발생한 9개 화산에서 27회의 라하르에 대하여 라하르의 부피와 침수면적에 대한 회귀분석을 통해 개발되었다. 수치모의에 필요한 백두산의 근위위험지역경계 (proximal hazard zone boundary; PHZB)를 구하기 위하여 백두산 정상에 함몰되어 칼데라를 형성하기 전 고도를 3,500 m로 가정하고, 이를 통하여 백두산의 H/L비를 0.10으로 산출하였다. 그 결과 근위위험지역에 위치하여 라하르가 발생 가능한 하천은 압록강(남쪽), 두도송화강, 금강하, 화피하(이상 서-남서쪽), 송강하, 소사하, 조자하, 삼도송강하(이상 서-북서쪽), 두도백하, 이도백하, 삼도백하(이상 북쪽), 오도백하 및 그 지류에 해당하는 3개의 하천(북동쪽), 그리고 두만강(동쪽) 등 15개의 하천으로 나타났다. 해당 하천에 대하여 다양한 부피의 라하르가 발생함을 가정하고 수치모의를 실시하여 라하르에 의한 침수범위를 파악하였다. 본 연구 결과는 백두산에서 분화가 발생할 경우에 방재계획을 수립하기 위한 재해위험도의 작성에 있어 기초 자료로 활용될 것이다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술 개발사업(KMI2018-02710)의 지원으로 수행되었습니다.

# PUFF-Gaussian 수치 모형을 이용한 화산재 확산 예측

Jooyong Lee, Sungsu Lee

Chungbuk National University<sup>1,2</sup>

## 1. 서 론

최근 백두산 화산폭발의 징후가 포착되어 사회적 이슈가 되고 있으며 실제 폭발 했을 시 발생할 수 있는 재난에 대한 관심도 또한 높아지고 있다. 백두산은 지속적으로 화산 분화의 전조현상을 보여 분화 가능성이 제시되어 온 화산이며, 과거 약 946년경에는 화산폭발지수 7에 해당하는 대 분화 기록을 가지고 있어 위험도가 높은 화산이라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 우리나라와 근접하고 있는 일본 화산의 경우도 최근 50년 동안 한반도에서 1000km 이내의 거리에서 300회 이상의 화산 폭발이 발생하였고 이 중 백두산과 비슷한 거리에 위치한 500km 이내의 화산이 40회 이상 분화하였다. 이와 같이 일정 거리 이상 떨어진 화산들의 분화는 근접 재해의 위험은 적으나 화산 폭발로 인하여 발생한 화산재로 인하여 항공분야, 대기/보건분야, 농축산물 분야 등 직간접적인 피해를 발생시킬 수 있다.

이와 같은 화산재 확산에 대한 피해를 예측하고 대비하기 위하여 수치모형을 이용한 확산 예측이 국내외로 수행되고 있으며 대표적인 수치 모델로 HYSPLIT, FALL3D, PUFF 등이 있다.

본 연구에는 PUFF 모델을 이용하여 화산재 확산 해석을 수행하였으며 추가로 PUFF 모형으로 도출된 결과에 Gaussian 확산 방정식을 적용하여 결과를 보완하는 방법을 제시하였다.

## 2. PUFF-Gaussian 확산 모델

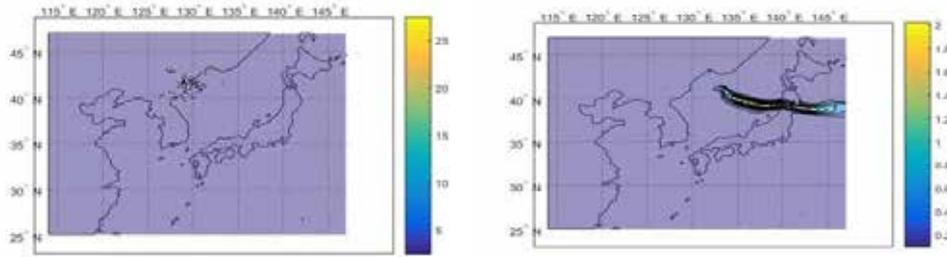
PUFF 모델과 같은 라그랑지안 입자 확산 모델은 오일러리안 기반 등의 수치 모형보다 비교적 계산이 빠르다는 장점이 있다. 라그랑지안 확산 모델의 개발 초기에는 20~2000km 정도에 해당하는 중규모 영역의 계산에도 많은 계산 시간과 시스템 자원을 요구하였지만 컴퓨터 기술의 발달로 인해 일반 PC에서도 계산이 가능해 졌으며 계산 시간 또한 비약적으로 단축되었다.

라그랑지안 기반 모델인 PUFF는 전구영역에 대한 화산재 확산 계산을 신속하게 수행할 수 있어 화산재 확산으로 인한 피해 예측 등에 즉각적으로 활용할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 PUFF 모델에서 도출된 계산 결과를 개선하여 활용하기 위하여 PUFF 모형의 결과에 가우시안 확산을 적용하는 방법을 개발하였다.

그림1(a)는 2010년 9월 7일에 대한 가상 백두산 분화(화산폭발지수 7)를 PUFF 모델을 이용하여 모의한 것으로 분화 후 36시간과 60시간의 결과를 나타낸 것이며, 그림1(b)는 같은 날짜에 대한 분화를 FALL3D 델을 이용하여 모의한 결과이다.

PUFF 모델을 이용하여 계산한 결과는 총 10만개의 입자를 이용한 계산 결과 이며 FALL3D

계산 결과와 비교하였을 때 화산재 확산 범위가 불연속적으로 좁은 범위에 산포되어 있는 것을 확인할 수 있고 일부 지역에서는 과도하게 높은 화산재 농도를 나타내고 있다.



(a) PUFF

(b) FALL 3D

이와 같은 PUFF 결과를 개선시키기 위하여 본 연구에서는 그림1(a)와 같이 도출된 PUFF 계산 결과에 가우시안 확산 방정식을 적용하였다. PUFF-Gaussian 모델은 PUFF 계산으로부터 도출된 격자 각각의 농도를 가우시안 확산 방정식을 이용하여 한 번 더 확산시킨 후 농도를 모두 합하여 화산재의 확산 범위 및 농도를 계산하는 방법이다. 이와 같이 라그랑지안 모형의 계산 결과에 가우시안 확산 방정식을 적용하는 방법은 라그랑지안 모형의 입자 개수 설정에 의하여 과도하게 높게 계산될 수 있는 화산재 농도와 확산 범위를 보정하는 효과가 있다.

### 3. 결론

그림 2는 PUFF-Gaussian 모델을 이용하여 계산된 결과로 라그랑지안 기반의 PUFF 모델의 계산결과 보정을 확인할 수 있다. 그림 1의 결과와 비교하였을 때 특정 격자에 과도하게 밀집되었던 화산재 농도가 넓게 확산되었으며 불연속적으로 산포되었던 화산재 확산 범위가 연속적인 분포로 보정된 것을 확인할 수 있다. 보정된 결과는 화산재 확산 범위 및 위험도 평가 시 기존 라그랑지안 모델보다 개선된 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대 된다.

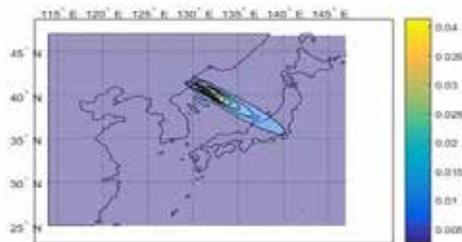


그림 2 PUFF-Gaussian 결과 (2010년 9월 7일 백두산 분화)

감사의 글 : 본 연구는 행정안전부 극한 재난대응 기반기술개발사업의 연구비 지원(2018-MOIS31-009)에 의해 수행되었습니다.

## 화산활동 감시와 한반도 영향 예측을 위한 화산연구 현황 Researches on monitoring of volcanic activity and prediction of the influence on the Korean peninsula

박순천, 선종선, 이하성, 이혜원, 이덕기  
Sun-Cheon Park, Jongsun Sun, Hasung Lee, Hye Won Lee and Duk Kee Lee

기상청 지진화산국 지진화산연구과  
Earthquake and Volcano Research Division, Korea Meteorological Administration

기상청은 한반도와 주변지역 화산활동을 감시하고 화산 분화 시 한반도에 대한 영향 가능성을 평가하여 그 결과에 따라 필요한 화산정보나 특보를 발표하는 임무를 가지고 있다. 한반도 주변뿐 아니라 전 세계 주요 화산의 분화 정보도 제공하고 있다. 이러한 기상청의 화산업무를 수행하기 위해서는 다양한 관측 자료를 활용한 분석, 화산활동에 의한 영향 예측 체계가 갖추어져야 하며, 그에 필요한 여러 분야의 연구가 이루어지고 있다. 우선, 백두산, 울릉도 등 한반도 화산의 활동상황을 분석하고 활동 잠재성을 평가하기 위한 연구를 수행하고 있다. 특히, 백두산 화산의 경우 현장에서의 직접적인 관측이 어려운 한계를 극복하기 위해 위성영상자료를 활용한 화산활동 변화 분석기술을 개발하여 적용하고 있으며, 화산특화연구센터(부산대 지정) 운영을 통해 백두산 현장 관측과 중국과의 공동연구를 추진하고 있다. 한반도에 비해 일본 등 주변지역에서는 화산활동이 활발하며 이들 화산이 분화할 경우 기류에 따라서는 한반도 방향으로 화산재가 확산될 수 있다. 따라서 한반도에 대한 화산재 영향 등을 평가하기 위해 화산재 확산예측모델을 운영할 뿐 아니라 모델 결과의 정확도 검증과 개선을 위한 연구를 진행하고 있다. 화산재 확산이 예측될 때 그에 따른 피해 정도를 판단하고 적절한 대응이 이루어지기 위해서는 화산재 영향에 대한 정량적인 정보를 제공할 필요가 있으며, 정량적인 화산재 주의보나 경보 등을 제공하기 위한 기준 마련을 위한 연구도 수행하고 있다. 이상에서 언급한 화산연구는 원격탐사학, 지진학, 지구화학, 지구물리학, 기상학 등 다양한 분야의 연구가 개별적으로 또는 복합적으로 수행되고 있으며, 향후 화산활동 감시와 대응 체계를 고도화하기 위한 보다 다양하고 깊이 있는 연구와 기술의 개발이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 수치예보·지진업무 지원 및 활용 연구의 지원을 받아 수행되었음

## 위성 영상을 활용한 백두산 화산활동 분석 결과 Analysis of Volcanic Activity in Mt. Baekdu using Remote Sensing data

선종선, 이하성, 박순천, 이덕기  
Jongsun Sun, Hasung Lee, Sun-Cheon Park, and Duk Kee Lee

기상청 지진화산국 지진화산연구과  
Earthquake and Volcano Research Division, Korea Meteorological Administration

백두산은 940년대에 대규모로 분화한 후, 2002년부터 2005년 사이에 화산활동 전조증상으로 주변 지열이 상승하고 온천수의 화학성분 변화가 탐지되었다. 2003년에는 200회 이상 지진이 발생하고 2004년에는 규모 3.7까지 감지되었다(Xu *et al.*, 2012). 기상청에서는 위성영상을 활용하여 백두산의 화산활동에 대한 지속적인 추이 분석과 모니터링을 수행하였다. 장기간의 영상을 확보할 수 있는 열적외선(Thermal Infrared) 광학 위성영상(Landsat)을 이용하여 백두산 지표온도, 천지 이상지역의 온도 및 면적, 천지 수위 및 면적을 산출하였다. 또한, InSAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar) 기법으로 시계열 지표변화율을 산출하여 총 6개의 요소(백두산 지표온도, 천지 이상지역의 온도 및 면적, 천지 수위 및 면적, 지표 변위)로 백두산 화산의 활동성을 평가하였다. 1985년부터 2018년까지 광학 위성 영상은 백두산 지역 80장, 천지 지역 207장으로 30m-60m 해상도의 위성영상이 사용되었다. 입력 자료로 필요한 기온 및 습도 자료는 백두산 동남쪽에 위치한 삼지연(SAMJIYON) AWS 자료를 활용하였다. 위성 레이더 Sentinel-1 SAR 자료는 10m 해상도로 2017년부터 2018년까지 59장(76쌍)을 활용하였다. 그 결과 백두산 지표온도, 천지 이상지역의 면적 및 온도, 천지의 면적 및 수위는 영상이 활용된 전체 기간의 평균을 기준으로 표준편차 범위 내로 산출되어 안정적인 상태로 판단하였다. 지표변위는 분기별로 사용된 영상의 개수에 따라 변위의 차이를 보이지만 평균 1cm 이내로 산출되어 안정적인 상태로 판단하였다. 광학 위성 영상의 경우 구름의 영향으로 자료 확보가 어려운 한계점이 존재한다. 이에 추가로 다양한 위성영상을 활용하는 등의 보완점을 마련하여 지속적인 백두산 모니터링 수행이 필요하다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 수치예보·지진업무 지원 및 활용 연구의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 백두산 신생대후기 현무암질 암석의 지구화학적 성인 Petrogenesis of Late Cenozoic basaltic rocks from Baekdusan

최현옥<sup>1</sup>, 최성희<sup>1</sup>, 이윤수<sup>2</sup>, 류종식<sup>3</sup>, Der-Chuen Lee<sup>4</sup>,  
이승구<sup>5</sup>, 손영관<sup>6</sup>, Jia-qi Liu<sup>7</sup>

Hyun-Ok Choi<sup>1</sup>, Sung Hi Choi<sup>1</sup>, Youn Soo Lee<sup>2</sup>, Jong-Sik Ryu<sup>3</sup>,  
Der-Chuen Lee<sup>4</sup>, Seung-Gu Lee<sup>5</sup>, Young Kwan Sohn<sup>6</sup>, Jia-qi Liu<sup>7</sup>

충남대학교<sup>1</sup>, 포항공과대학교<sup>2</sup>, 부경대학교<sup>3</sup>, 타이완 중앙연구원<sup>4</sup>, 한국지질자원연구원<sup>5</sup>, 경상대학교<sup>6</sup>, 중국과학원<sup>7</sup>

Chungnam National University<sup>1</sup>, POSTECH<sup>2</sup>, Pukyong National University<sup>3</sup>, Academia Sinica<sup>4</sup>, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)<sup>5</sup>, Gyeongsang National University<sup>6</sup>, Chinese Academy of Sciences<sup>7</sup>

우리나라를 포함한 동아시아에서는 신생대후기의 판내부 화산활동에 의해 분출된 화산암들이 광범위하게 분포한다. 연구지역인 백두산은 과거(약 천년전) 매우 큰 규모의(VEI  $\geq 7$ ) 화산분출이 일어났으며, 현재 화산체 하부에 마그마방(magma chamber)이 존재하고 있을 가능성이 대두되면서 화산폭발 재개 가능성에 관심이 집중되고 있다. 본 연구에서는 백두산 현무암질 암석의 Sr, Nd, Pb, Hf 그리고 Mg 동위원소를 포함한 지구화학적 성분분석을 통해 근원맨틀의 특성과 암석 성인에 대해 알아보았다. TAS 분류도에서 백두산 시료들은 알칼리 계열의 배서나이트(basanite)-알칼리현무암-조면현무암-현무암질 조면안산암과 쉘레아이트 계열의 현무암-현무암질 안산암으로 구분된다. 콘드라이트 값으로 표준화한 희토류원소 패턴에서 백두산 화산암류는 경희토류원소가 중희토류원소보다 부화된 양상을 보인다[(La/Yb)<sub>N</sub>=3.2-20.2]. 그러나 전형적인 해양도현무암(oceanic island basalt)과 다르게 백두산 시료들은 Eu, Ce 원소에서 각각 양의 이상(positive anomaly)과 음의 이상(negative anomaly)을 보인다. 초기 맨틀 값으로 표준화한 미량원소 함량 분포도에서 백두산 현무암류는 전형적인 해양도현무암처럼 LILE (Large ion Lithophile Element)에 부화되어 있는 특징을 보이지만 Ba, Rb, K, Pb, Sr, P 원소들에서 양의 이상이 나타나는 점에서 해양도현무암과 차이를 보인다. 시료들의 Nb/U비(40 ± 15)는 해양도현무암의 범위(47 ± 7)에 포함되는 반면 Ce/Pb비(14.5 ± 4.0)는 해양도현무암의 범위(25 ± 5)보다 낮은 값까지 확장되어 있다. 그러나 SiO<sub>2</sub> 함량과 Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소비의 상관도에서 유의미한 상관관계가 나타나지 않으므로 마그마의 분화과정동안 지각혼입의 가능성은 배제할 수 있다. 따라서 낮은 Ce/Pb비는 근원 맨틀의 특징이 반영된 것으로 생각된다. 희토류원소를 이용한 부분용융 모델링 결과 백두산 시료들의 Gd/Yb비는 석류석 페리도타이트(peridotite)가 부분용융된 액(melt)의 범위 안에 포함된다. 그러나 강염석 반정의 Ca, Ni 원소들의 함량과 주원소를 이용한 모델링 결과는 석류석 페리도타이트 이외에 다른 근원맨틀 물질이 백두산 화산암류 형성에 관여했음을 지시한다. Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소 상관도에서 백두산 현무암질 암석의 근원맨틀에는 결핍맨틀(DMM, depleted MORB mantle)과 부화맨틀 타입1 (EM1, enriched mantle type 1) 단성분이 혼합되어 있었다고 해석된다. 백두산 시료들의 Mg 동위원소비( $\delta^{26}\text{Mg} = -0.39 \pm 0.17\%$ )는 대개 전형적인 맨틀 값의 범위 ( $\delta^{26}\text{Mg} = -0.25 \pm 0.07\%$ )보

다 낮게 나타나는데 이는 탄산염 광물이 근원맨틀에 포함되어 있을 가능성을 지시한다. 백두산 시료들의 지구화학적 특징을 종합적으로 해석하면 백두산 화산활동을 유발한 근원맨틀에는 전형적인 석류석 페리도타이트 이외에도 최소 두 종류의 물질이 존재할 것으로 생각된다. 첫째는 과거(~2.2-1.9 Ga)에 섭입된 육성기원 규산염 퇴적물이다. 이는 Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소비에서 EM1의 특징을 보이며 상대적으로 높은  $\delta^{26}\text{Mg}$  값을 가졌을 것으로 예상된다. 두 번째 근원물질은 재활성화(recycled)된 섭입 해양판과 관련된 함탄산염 에클로자이트(carbonated eclogite)이다. 이의 Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소비는 위 퇴적물보다 상대적으로 더 중앙해령현무암 값과 유사하며 낮은  $\delta^{26}\text{Mg}$  값을 가지고 있을 것으로 생각된다. 재활성화된 섭입 퇴적물과 해양판은 맨틀전이대에 존재하고 있을 것으로 추론된다.

## Magmatic Evolution of Baekdusan Volcano: Zircon U–Th Geochronological and O–Hf Isotopic Constraints from the Millennium Eruption

Chang–sik Cheong

Korea Basic Science Institute

The silicic volcanism of Baekdusan, an active 2,744-m-high stratovolcano located on the border between North Korea and China, was initiated in the Middle Pleistocene and culminated in the 10th century with a tremendous (volcanic explosivity index = 7) commendite–trachyte eruption commonly referred to as the “Millennium Eruption (ME).” This study uses *in situ* U–Th disequilibrium ages and O–Hf isotopic compositions of zircons from trachydacitic pumices ejected during the ME to trace the magmatic evolution at Baekdusan. The mass spectrometric U–Th isotope data yield an earliest Holocene cluster ( $11.3 \pm 1.3$  ka) and Middle–Late Pleistocene populations (ca. 230 and 110 ka). These multiple age components indicate that the Baekdusan magma has been generated at intervals of ca. 120–100 ky. The consistent age pattern of the zircons suggests the persistent existence of the same magmatic plumbing system beneath Baekdusan since the ME. The zircon crystals have a moderate inter–grain variation in  $\delta^{18}\text{O}$  (with reference to V–SMOW) from 3.69 ‰ to 5.03 ‰. These values are consistently lower than the normal mantle range, and interpreted to have resulted from the digestion of meteoric–hydrothermally altered intracaldera rocks in the shallow magma chamber beneath Baekdusan. The wide range of zircon  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  values (+5.8 to –3.5) reflects an interaction between the primitive magma from enriched mantle source and pre–existing crustal materials, which is evidenced by the presence of a xenocrystic zircon core showing a significantly negative  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  value (–21). A broad negative correlation observed between zircon  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values could be ascribed to the progressive assimilation of weathered supracrustal rocks. Zircon O–Hf isotope data lead to the conclusion that the primitive Baekdusan magma has assimilated magma chamber roof rocks and adjacent basement rocks, most likely in the course of shallow crustal cannibalization and magma expansion.

## Microlites in the Baekdusan and Kyushu obsidians with implication for differing cooling condition of rhyolitic magmas

Yong-Joo Jwa

Gyeongsang National University

Obsidian is rhyolitic glass in geological nomenclature. The glass is thought to be a homogeneous non-crystalline material, but it is not completely homogeneous in its composition and texture due to internal impurities. The impurity comes from the very tiny micrometer-sized crystals, called microlites. Thus we can divide the internal structure of obsidian into microlites and glassy host matrix. According to the morphological discrimination of microlites, the most abundant morphological features in the Baekdusan and Kyushu obsidians are trichites acicular and asteroidal, arculites, crenulites, ferculites, lath-crystals, scapolites and so on, which are well observed under high magnification of the optical microscope. However, when we examine the microlites through high-resolution scanning electron microscope, they show very distinct mineral assemblage and/or texture. For example, the microlites in the Baekdusan and Kyushu obsidians represent the different textural relationship. Early crystallized Fe-oxides in the Baekdusan obsidians occur within the oikocrysts of clinopyroxene, showing poikilitic texture. On the other hand, the clinopyroxene microlites in the Kyushu obsidians are overgrowing around the Fe-oxides or interlocking with the Fe-oxides. This kind of texture between Fe-oxide and clinopyroxene would indicate the differing crystallization process of quenching rhyolitic magma.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

SS-03  
지질공원



## 우리나라 지질유산의 분포와 가치평가 Assessment and distribution of geological heritages in Korea

조형성<sup>1</sup>, 신승원<sup>2</sup>, 강희철<sup>2</sup>, 김종선<sup>3</sup>, 김현주<sup>4</sup>, 정대교<sup>5</sup>, 임현수<sup>2</sup>, 백인성<sup>4</sup>, 이찬희<sup>6</sup>, 신동복<sup>6</sup>, 노열<sup>3</sup>, 허민<sup>3</sup>, 손문<sup>2</sup>, 최태진<sup>7</sup>, 조규성<sup>8</sup>, 황상구<sup>9</sup>, 좌용주<sup>1</sup>, 김경수<sup>10</sup>, 이수재<sup>11</sup>, 이성준<sup>2</sup>, 하수진<sup>2</sup>, 채용운<sup>2</sup>  
Hyeongseong Cho<sup>1</sup>, Seungwon Shin<sup>2</sup>, Hee-Cheol Kang<sup>2</sup>, Jong-Sun Kim<sup>3</sup>, Hyun Joo Kim<sup>4</sup>, Daekyo Cheong<sup>5</sup>, Hyoun Soo Lim<sup>2</sup>, In Sung Paik<sup>4</sup>, Chan Hee Lee<sup>6</sup>, Dongbok Shin<sup>6</sup>, Yul Roh<sup>3</sup>, Min Huh<sup>3</sup>, Moon Son<sup>2</sup>, Taejin Choi<sup>7</sup>, Kyu-Seong Cho<sup>8</sup>, Sang Koo Hwang<sup>9</sup>, Yong-Joo Jwa<sup>1</sup>, Kyung Soo Kim<sup>10</sup>, Soojae Lee<sup>11</sup>, Seongjun Lee<sup>2</sup>, Sujin Ha<sup>2</sup>, Yong-Un Chae<sup>2</sup>

경상대학교<sup>1</sup>, 부산대학교<sup>2</sup>, 전남대학교<sup>3</sup>, 부경대학교<sup>4</sup>, 강원대학교<sup>5</sup>, 공주대학교<sup>6</sup>, 조선대학교<sup>7</sup>, 전북대학교<sup>8</sup>, 안동대학교<sup>9</sup>, 진주교육대학교<sup>10</sup>, 환경정책평가연구원<sup>11</sup>  
Gyeongsang Nat' l Univ.<sup>1</sup>, Pusan Nat' l Univ.<sup>2</sup>, Chonnam Nat' l Univ.<sup>3</sup>, Pukyong Nat' l Univ.<sup>4</sup>, Kangwon Nat' l Univ.<sup>5</sup>, Kong Nat' l Univ.<sup>6</sup>, Chosun Univ.<sup>7</sup>, Chonbuk Nat' l Univ.<sup>8</sup>, Andong Nat' l Univ.<sup>9</sup>, Chinju Nat' l Univ. of Education<sup>10</sup>, Korea Environment Institute<sup>11</sup>

최근 지질학적 중요성을 가진 지질유산(geological heritage)의 보존에 대한 사회적 인식이 확산됨에 따라 지질공원(geopark)과 같은 다양한 제도적 장치가 마련되고 있으며, 지질유산의 발굴, 가치평가, 체계적인 보존 그리고 관리 및 활용을 위한 지질학자들의 노력이 요구되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 환경부 산하의 국가지질공원사무국 주관으로 '전국 지질유산 발굴 및 가치평가 사업'이 마련되었고, 2014년 수도권, 2015년 충청권, 2016년 전라권, 2017년 경북권, 2018년 경남권에 이어 올해 강원권을 끝으로 우리나라 전역에 대한 지질유산의 분포와 가치평가 과정이 마무리될 계획이다. 이번 발표에서는 현재까지 수행된 한국의 지질유산 발굴 및 가치평가 결과를 소개하고자 한다.

지금까지 발굴된 지질유산은 수도권 80개, 충청권 125개, 전라권 152개, 경북권 157개, 경남권 167개를 포함하여 총 680개가 발굴되었으며, 해가 진행될수록 권역별 발굴 지질유산 개수는 늘어나고 있다. 또한, 가치평가(대표성, 희소성, 다양성, 전형성, 재현성, 특이성, 규모, 자연성, 심미성 등의 항목을 평가)를 통한 지질유산의 등급은 세계적 보호대상인 I등급 지질유산 46개, 국가급 보호대상인 II등급 지질유산 178개, 국가지정 보호대상인 III등급 지질유산 276개, 관리목록 등록대상인 IV등급 지질유산 145개, 목록작성 대상인 V등급 지질유산 35개가 각각 발굴되었다. 아울러 발굴된 지질유산의 가치평가 결과 및 등급분포를 바탕으로 충청권의 '충북 동부권(제천시, 단양군)', '속리산 및 금강유역권(보은군, 옥천군, 영동군)', '충남 서해안권(태안군, 서산시, 홍성군, 보령시, 서천군)', 전라권의 '지리산 및 섬진강유역권(구례군, 남원시, 광양시)', '전남 남서해안(해남군, 진도군)', '전남 남해안(고흥군, 보성군)', 경북권의 '영덕 블루로드(해파랑길)', '경북 중부권(안동시, 의성군)', '경남 서부권(진주시, 사천시, 하동군, 고성군)' 등 총 9곳의 새로운 지질공원 유망후보지를 제안하였다.

## 부산 유네스코 세계지질공원 인증 추진 현황

### Current status of the endorsement of Busan UNESCO Global Geopark

하수진<sup>1</sup>, 임현수<sup>1</sup>, 신승원<sup>1</sup>, 조형성<sup>2</sup>, 김진섭<sup>1</sup>, 백인성<sup>3</sup>, 손문<sup>1</sup>, 김현주<sup>3</sup>, 김현정<sup>1</sup>,  
강가령<sup>4</sup>, 백기열<sup>4</sup>

Sujin Ha<sup>1</sup>, Hyoun Soo Lim<sup>1</sup>, Seungwon Shin<sup>1</sup>, Hyeongseong Cho<sup>2</sup>, Jin-Seop Kim<sup>1</sup>, In Sung Paik<sup>3</sup>, Moon Son<sup>1</sup>, Hyun Joo Kim<sup>3</sup>, Hyeonjeong Kim<sup>1</sup>, Karyung Kang<sup>4</sup>, Gi-yeol Baek<sup>4</sup>

부산대학교<sup>1</sup>, 경상대학교<sup>2</sup>, 부경대학교<sup>3</sup>, 부산시청<sup>4</sup>  
Pusan National University<sup>1</sup>, Gyeongsang National University<sup>2</sup>, Pukyong National University<sup>3</sup>, Busan Metropolitan City Hall<sup>4</sup>

2013년에 인증된 부산국가지질공원은 5년간의 안정적인 지질공원 운영과 지속적인 평가 항목 개선을 통해 2018년 재인증에 성공했다. 하지만 비교적 긴 인증기간에도 불구하고 부산국가지질공원 탐방객의 인지도와 지역주민의 참여도가 낮은 것으로 확인되었으며, 이는 지질공원 활용을 통한 지역 경제 발전 모색의 잠재적 저해 요소가 될 수 있다. 따라서 부산국가지질공원의 인식 제고와 함께 지질공원 홍보, 주민 참여 독려 등 당면 과제를 해결하기 위해서는 높은 브랜드 가치를 지닌 유네스코 세계지질공원 인증이 필요하다.

부산은 아시아 유일의 '구상반려암'과 국내 최대 현생 삼각주 '낙동강하구', 중생대 백악기 말 잔류 화산체인 '장산' 등 산, 바다, 하천을 모두 포함하는 다양한 지질명소를 지니고 있으며 학술적 가치가 높기 때문에 세계지질공원으로서의 자격이 충분하다. 따라서 최근 부산시는 부산국가지질공원을 유네스코 세계지질공원으로 인증받기 위해 관련 사업을 진행 중에 있다.

효율적인 세계지질공원 인증 준비를 위해서는 신청 지질공원의 인증 타당성 조사에 근거한 미비점 파악, 개선방향 수립 등 전략적 접근이 필요하다. 현재 부산국가지질공원은 유네스코에서 제시하는 자체평가표 항목의 전수조사를 실시하였으며 필수항목을 중심으로 보완 사항을 구체화하고 향후 인증 신청서 작성과 현장실사 준비를 위한 중장기 계획 수립을 완료하였다.

이번 연구에서는 부산 유네스코 세계지질공원 인증 절차 이행을 위해 선행되었던 사전 점검 결과를 보고하고, 주요 개선 사항인 신규 지질명소 발굴과 대표 지질명소의 선정, 도심형 지질공원으로서 방향성, 지오빌리지 선정 등에 대해 논의하고자 한다.

## 무등산권 유네스코 세계지질공원 주상절리대의 사면 안정성 평가와 모니터링

### The Evaluation and Monitoring of Slope Stability of the Columnar Joints in Mudeungsan UNESCO Global Geopark

김건기<sup>1</sup>, 강무환<sup>1</sup>, 김종선<sup>2</sup>, 허민<sup>2,3</sup>  
Kun-Ki Kim<sup>1</sup>, Moo-Hwan Kang<sup>1</sup>, Jong-Sun Kim<sup>2</sup>, Min Huh<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>거창화강석 연구센터, <sup>2</sup>전남대학교 지오컨버전스 연구센터, <sup>3</sup>전남대학교 지구환경과학부

<sup>1</sup>Geochang Granite Research Center, kkkim@gnu.ac.kr

<sup>2</sup>Geoconvergence Research Center, Chonnam National University

<sup>3</sup>Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University

무등산권 유네스코 세계지질공원의 주상절리대 주변부에는 과거 주상절리대들이 붕괴되어 형성된 너들 지형이 잘 나타난다. 이러한 지형은 과거에서 현재까지 주상절리들이 계속해서 붕괴되어 왔으며, 향후에도 지속적으로 붕괴될 수 있다는 점을 잘 보여준다. 이 연구의 목적은 주상절리대가 붕괴되거나, 낙석 등이 발생하여 일어날 수 있는 안전사고를 미연에 방지하고, 나아가 안전한 지오투레일 탐방이 될 수 있도록 유지 관리하고, 지질유산들을 효율적으로 관리하고 모니터링 할 수 있는 방안을 제시하는데 있다. 무등산권 내에서 주상절리대의 아름다운 경관을 볼 수 있는 대표적인 곳으로는 서석대, 입석대, 광석대(규봉)로 이들은 대부분 탐방로 주변에 인접하고 있다. 무등산은 오랜 세월을 거치면서 대부분 안정각을 형성하고 있으나, 주상절리대와 인접한 지역은 지형 및 지질학적 특성에 따라 급경사면을 이루고 있어 예기치 못한 낙석의 위험성이 항상 존재하고 있다.

무등산권 유네스코 세계지질공원 주상절리대의 사면 안정성 평가를 위해 대상지역을 선정하고, 불연속면의 방향성은 지표지질조사와 무인 항공기를 이용한 3D 입체사진기법을 활용하여 데이터를 확보하였다. 불연속면의 경사방향과 경사각으로부터 평사투영 해석을 통한 파괴유형을 결정하고, 한계평형 해석을 실시하여 기준안전율을 평가하였으며, 붕괴위험이 높은 위치에 대해서는 낙석운동에 대한 모델링을 실시하고 위험범위를 설정하였다. 무등산권 유네스코 세계지질공원 주상절리대의 유지관리 및 모니터링 방안으로는 지오투레일 탐방객의 안전과 세계지질공원의 경관을 훼손하지 않는 범위 내에서 보수·보강 대책을 마련하였으며, GIS 정보구축을 통한 지질유산의 장기적인 모니터링 방안을 제안하였다.

## 무등산권 유네스코 세계지질공원 예비명소 추월산 구상암의 지질유산적 가치 The Geoheritage Values of Pyroclastic Rocks with Orbicular Structures in the Chuweolsan Mountain, Mudeungsan UNESCO Global Geopark

김종선<sup>1</sup>, 조형성<sup>2</sup>, 김건기<sup>3</sup>, 우연<sup>4</sup>, 신승원<sup>5</sup>, 노열<sup>1</sup>, 허민<sup>1</sup>  
Jong-Sun Kim<sup>1</sup>, Hyeongseong Cho<sup>2</sup>, Kun-Ki Kim<sup>3</sup>, Yeon Woo<sup>4</sup>,  
Seungwon Shin<sup>5</sup>, Yul Roh<sup>1</sup>, Min Huh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>전남대학교, <sup>2</sup>경상대학교, <sup>3</sup>거창화강석연구센터, <sup>4</sup>광주광역시청, <sup>5</sup>부산대학교  
<sup>1</sup>Chonnam National University, <sup>2</sup>Gyeongsang National University, <sup>3</sup>Geochang  
Granite Research Center, <sup>4</sup>Gwangju Metropolitan City Hall, <sup>5</sup>Pusan National  
University

무등산권 유네스코 세계지질공원은 2018년 4월 인증 이후에도 지속적으로 학술 연구를 수행하고 있으며, 그 연구의 일환으로 추월산 정상 동남쪽사면 화산쇄설암에서 독특한 구상암의 산출을 보고하였다. 담양지역을 대표하는 명산인 추월산은 순창함몰대 중부에 해당되며, 백악기 내장사 화산암류에 해당되는 다양한 화산암류들이 분포하고 있다. 국내외에서 보고된 대부분의 구상암들은 화강암 계열의 심성암류와 변성암 내에 분포하나, 추월산의 경우처럼 화산쇄설암(응회암)에서 구상암이 산출되는 것은 매우 드문 경우로 높은 학술적 연구 가치를 가진다. 이 연구는 추월산 화산암류와 구상암을 대상으로 야외조사를 통한 기재와 함께 현미경 관찰, 지화학분석, 연대측정, 자기미세구조 연구 등을 수행하고, 구상암의 성인과 지질유산적 가치를 논의하였다.

구상암을 포함하는 암석은 총리의 발달이 없는 괴상, 각진 암편의 함유, 용결조직의 발달 등 화성쇄설성암(PDC)에 의해 퇴적된 화쇄류암의 특징을 잘 보여주는 화산력응회암에 해당된다. 화산력응회암 노두의 상부에는 구상형의 암괴 수 십 여개가 산포상으로 분포하고 있으며, 크기는 약 0.3 ~ 2 m에 이르기까지 다양하게 산출된다. 구상암의 내부는 대체로 균질하며, 화산력응회암과 인접한 둘레를 따라 동심원 상의 띠가 관찰되기도 한다. 구상암과 이를 포함하는 화산력응회암은 색상 및 결정도에서 차이를 보이며, 구상암과의 뚜렷한 경계면을 보인다. 화학분석결과, 화산력응회암과 구상암은 모두 유문암에 해당되며, 원소들의 함량은 큰 차이를 보이지 않는다. 또한 저어콘 연대측정결과에서도 약 84 Ma로 유사한 시기를 보인다. 한편 자기미세구조 연구 결과, 화산력응회암과 구상암들은 서로 구별되는 미세구조 군집을 보인다. 이는 구상암의 미세구조가 화산력응회암이 완전히 고화되기 전 1차적인 기원으로 형성되었음을 지시한다. 이상의 결과는 구상암의 성인을 밝히기 위해서는 다양한 연구와 논의가 필요하다는 것을 보여주며, 이는 지질유산적 가치가 매우 높다는 점을 시사한다.

## 지질교육 관점에서의 지질공원의 역할 : 무등산권 유네스코 세계지질공원의 지질교육

### The Role of Geopark from the Geo-education Perspective : Geo-education of Mudeungsan UNESCO Global Geopark

우연<sup>1</sup>, 허민<sup>2,3</sup>, 김종선<sup>3</sup>  
Yeon Woo<sup>1</sup>, Min Huh<sup>2,3</sup>, Jong-Sun Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>광주광역시푸른도시사업소, <sup>2</sup>전남대학교, <sup>3</sup>전남대학교 지오컨버전스연구센터  
<sup>1</sup>Gwangju Greencity Office, <sup>2</sup>Chonnam National University, <sup>3</sup>Geoconvergence Research Center, Chonnam National University

지질공원은 자연유산의 보전만을 강조해오던 그동안의 개념을 한 단계 발전시킨 것으로서, 보전해야 할 자연에 대한 본질적 의미를 깨닫고, 그 자연과 어우러져 생겨난 문화와 역사, 생태, 그리고 그 주변의 지역민들을 아우르는 지구상에서 가장 큰 의미의 공원이라고 할 수 있다. 지질공원의 주목적은 지역경제 활성화에 있음을 강조하고 있으나 지속 가능한 발전을 위해서는 명소에 대한 올바른 이해에서 비롯된 지역민의 보전 의식이 반드시 필요하며, 이러한 차원에서 자발적 보전 의식을 고취시킬 수 있는 지질교육은 지질공원의 핵심요소라 할 것이다.

무등산권 유네스코 세계지질공원은 무등산을 중심에 둔 광주, 담양, 화순 세 지자체로 구성되어 있다. 무등산 주상절리대와 화순 서유리 공룡화석지 등 세계적 가치를 가진 20개의 지질 명소를 포함하고 있으며 이를 활용한 지질교육프로그램이 일찍이 활성화되어 왔다. 2015년부터 현재까지 무등산권 세계지질공원에서 운영 중인 지질교육프로그램은 총 4개이다. 가장 대표적인 프로그램은 <지오스쿨>이며, 이는 초등학교 고학년을 대상으로 여름, 겨울방학을 활용하여 총 5일간 참여하는 지질학 심화학습 프로그램이다. 지질시대, 화산, 화석 등 각 지질학 분야에 무등산권의 지질명소를 연계하여 지질학 지식을 습득함과 동시에 지역의 지질유산에 대한 이해를 돕고 있다. 또한 <조물조물 나만의 지질구조 만들기> 프로그램은 지질학이 어려운 미취학 아동들에게 땅도 구부러질 수 있다는 개념을 전달하며 고무찰흙을 이용해 습곡구조를 만드는 체험을 진행하고 있다. 이외에도 영화 속에 등장하는 지질학 내용을 해설해주는 <지오시네마>, 무등산을 등산하며 지질학과 무등산의 역사에 대해 배울 수 있는 <토르와 나마>가 있다.

최근 지질공원은 고등학교 지구과학 정규 교과과정에 포함될 만큼 그 중요성을 인정받고 있으며, 이에 따라 지질명소에 대한 현장 교육이 강조되고 있는 실정이다. 여러 지질공원들은 지속적으로 학술조사를 수행하고, 이를 활용한 DB 구축과 지질교육프로그램 개발, 홍보물 제작 등에 노력을 기울이고 있다. 이는 그동안 각 학교에서 자체 프로그램과 자료로 이루어졌던 현장 교육의 어려움과 문제점을 해소하는 방안일 수 있으며, 또한 학생들의 현장 교육을 적극적으로 유도할 수 있는 방법이 될 것이다.

## 화성 국가지질공원 후보지 지질명소들의 학술 및 교육적 가치 Academic & Educational value of Geosites in the Hwaseong Geopark as a candidate of the National Geopark

채용운<sup>1</sup>, 신승원<sup>1</sup>, 조형성<sup>2</sup>, 임현수<sup>1</sup>, 강희철<sup>1</sup>, 박정웅<sup>3</sup>, 김종선<sup>4</sup>, 김령희<sup>5</sup>, 최규락<sup>5</sup>  
Yong-Un Chae, Seungwon Shin, Hyeongseong Cho, Hyoun Soo Lim, Hee-Cheol  
Kang, Jeong Woong Park, Jong-Sun Kim, Ryoung Hee Kim, Gyu Rak Choi

부산대학교<sup>1</sup>, 경상대학교<sup>2</sup>, 승문고등학교<sup>3</sup>, 전남대학교<sup>4</sup>, 화성시청<sup>5</sup>  
Pusan National University<sup>1</sup>, Gyeongsang National University<sup>2</sup>, Soongmoon High  
School<sup>3</sup>, Chonnam National University<sup>4</sup>, Hwaseong City Hall<sup>5</sup>

지질공원(Geopark)은 지질 및 경관이 우수한 지역을 중심으로 주요 지질명소들을 지정 후, 이들을 보다 능동적으로 교육 및 관광 산업에 활용하고자 하는 제도이다. 국내에 국가지질공원(National Geopark)제도가 도입된 후 현재까지 총 10곳의 국가지질공원이 인증 관리되고 있으며, 그 중 몇몇은 세계지질공원(Global Geopark)으로 인증 되거나 준비 중에 있다. 경기도 화성시도 최근 국가지질공원 인증을 추진하고 있다. 화성 지질공원에는 다양한 지질시대(선캄브리아누대-고생대-중생대-신생대 제4기)의 여러 암종(변성암, 화성암, 퇴적암)들이 분포하여 지질다양성이 매우 우수하다는 강점이 있다. 또한 고정리 공룡알 화석지를 중심으로 한 화성 지질공원의 지질명소들은 약 20년 이상 수도권 학생들의 지질 및 생태 분야 현장 학습장의 역할을 수행해 왔다. 이번 연구에서는 화성 국가지질공원 후보지 지질명소들에 대해 소개하고 학술 및 교육적 가치에 대해 살펴보고자 한다.

화성 국가지질공원 후보지는 천연기념물 제414호로 지정된 고정리 공룡알 화석지를 포함하여 우음도, 어섬, 딱섬, 고령, 제부도, 살곶이, 백미리해안, 궁평항, 도리도, 입파도, 국화도 등 12개 지질명소들로 구성되어 있으며, 각 지질명소들은 매우 다양한 암석들과 구조, 화석, 지형 기록들을 간직하고 있다. 특히 고정리 지역의 백악기 퇴적층에서는 국내 최대의 공룡알 화석산지가 발견되었고 *Koreaceratops hwaseongensis*로 명명된 원시각룡류 신종이 보고되어 학술적 가치가 매우 높다.

또한 화성 지질공원은 문화, 고고, 생태 등 비지질명소도 다수 포함하고 있으며, 위치상 수도권 지역 학생들이 쉽게 방문할 수 있어 수도권을 대표하는 지질공원으로 손색이 없을 것으로 판단된다. 최근 수행되고 있는 ‘화성 국가지질공원 인증 추진 용역’을 통해 추가적인 학술 연구, 지오토레일과 교육 프로그램 개발, 인프라 구축 사업 등이 지속적으로 진행되고 있으므로, 화성 지질공원이 국가지질공원으로 인증 받게 되면 화성 지질공원의 학술 및 교육적 가치가 더욱 높아질 것이며, 국가지질공원으로서 충실한 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

## 강원평화지역 국가지질공원(고성지역)의 지질명소와 지질학적 가치 Geosites and Geological values in the Gosung Area, Gangwon Peace National Geopark, Korea

최돈원<sup>1</sup>, 김태형<sup>2</sup>  
Donwon Choi, Taehyeong Kim

강원도청 환경과<sup>1</sup>, 문화재청 천연기념물과<sup>22</sup>

강원평화지역 국가지질공원의 동쪽에 위치한 고성지역은 신생대 제3기 화산활동과 제4기 해안지형이 잘 발달되었으며, 4개의 지질명소(화진포 석호, 고성 제3기 현무암, 송지호 해안 서낭바위, 능파대)로 구성되었다. 특히, 서낭바위는 해안의 침식에 의해 만들어져 모양이 독특하다. 이 바위는 고성군 죽왕면 송지호해수욕장 부근에 위치하며, 송지호에서 남동쪽으로 약 1km 떨어져 있다. 서낭바위 일대는 중생대 백악기 속초화강암과 이를 부정합으로 총적층이 덮고 있는 단순한 암석분포를 보인다. 이곳의 서낭바위는 바닷가의 풍습에 의해 기도처로 활용되고 있어 붙여진 이름이다. 서낭바위는 화강암과 이를 관입한 산성암맥으로 이루어져 있다. 서낭바위 주변은 수직절리 (N50E/80NW와 N40W/84NW)와 수직절리와 직각을 이루는 수평절리가 발달하고, 지표에서의 풍화와 침식작용으로 모서리가 깎기며 지금의 서낭바위가 만들어졌다. 서낭바위를 이루는 속초화강암은 약 1~3cm 크기의 알칼리장석 반정이 발달한 조립질 반상 화강암으로 이루어져 있다. 서낭바위 주변에는 절리, 단층, 엽리, 관입암맥 등 다양한 지질구조들이 발달하며, 풍화의 흔적,과 토르, 타포니, 그루브, 나마와 같은 지형학적 요소도 관찰된다. 따라서 지질학 및 지형학적 가치를 바탕으로 초등, 중등학생들을 위한 학습장으로 활용할 가치가 높은 곳으로 판단된다. 최근 방사상으로 발달한 주상절리가 오음산 부근에서 발견되었다.

**천연기념물 제415호 포항 달전리 주상절리에 대한  
보존 관리의 필요성**  
**The Necessity for preservation management of the Daljeon-ri  
columnar joint in Pohang**

JaeHwan Kim, Yeong-Wan Yu, Seung-Ho Jung, TaeHyeong Kim,  
Dal-Yong Kong\*

National Research Institute of Cultural Heritage, Natural Heritage

천연기념물 제415호로 지정되어 있는 포항 달전리 주상절리(이하, 주상절리)는 중요한 지질학적 가치를 지니고 있는 지질유산이다. 그러나 과거 채석 과정에서 발견된 이후로 많은 양의 낙석이 지속적으로 발생하고 있으며, 최근 2017년 11월에 발생한 규모 5.4의 포항 지진으로부터 주상절리의 안정성에 대한 우려가 높아지고 있다. 이번 연구는 2018년 1월부터 2019년 4월까지 모니터링 결과를 바탕으로 주상절리에 대한 보존 관리의 필요성에 대해 알아보고자 하였다. 낙석 빈도를 산출한 결과, 주상절리의 사면 아래까지 떨어진 낙석의 수 총1321이며, 월별로 살펴보면 2018년 3, 4, 7, 10월 및 2019년 4월에 약 87.4%로 집중적으로 발생하였다.

이러한 주상절리는 외부 환경에 노출되어 있기 때문에 월별 온. 습도 변화 양상을 통해 낙석 발생과의 연관성을 살펴보았다. 월별 평균 온. 습도의 변화는 2018년 03월부터 08월까지 증가하다가 2018년 09월 부터 2019년 01월까지 감소한 후 02월부터 04월까지 다시 증가하는 경향을 보인다. 2018년 5월부터 10월까지 대체로 높은 습도를 유지하고 있으며, 이는 강우에 의한 영향으로 판단된다. 특히 2018년 7월과 10월에는 집중호우 및 태풍의 직접적인 영향으로 인해 많은 낙석이 발생하였으며, 3월과 4월에는 여름철에 비해 온. 습도가 낮으나, 동결-융해에 의한 영향으로 판단된다. 또한 사면에 분포하는 토양에 대한 광물학적 분석 결과, 스멕타이트(smectite)가 다량 함유하고 있어, 고습의 환경과 더불어 낙석 발생에 기인하는 것으로 판단된다. 낙석 발생시 낙석의 진행방향을 살펴보기 위해 경사향과 경사각을 살펴보면 주상절리는 평면상 반원 모양으로 사면 전면부가 형성되어 있고, 경사향의 경우 정면부는 남향, 좌측부는 남동-동향, 우측부는 서향이 우세하게 나타난다. 경사각은 사면 상단 수직단면에서 확인되는 표도와 주상절리 경계부에서는 약 60~72°, 좌측부는 51~60°, 우측부는 풍화와 침식이 다소 진행됨에 따라 45~51°의 경사각을 유지하고 있다. 주상절리의 사면에서 낙하하는 낙석은 경사방향을 고려할 때 반원의 중심을 향해 떨어질 것이며, 진행 경로상 장애물 및 굴곡 등으로 인해 산발적으로 분포할 것으로 판단된다. 또한 이러한 낙석들은 사면 정면 상단의 고각의 형성하고 있는 위치에서 주로 발생하는 것으로, 이는 낙하에너지가 높아 사면으로부터 먼 거리까지 이동하여 낙석에 의한 2차 피해가 우려된다.

## 부산 유네스코 세계지질공원 인증을 위한 주요 과제 Major Tasks for the Certification of Busan UNESCO Global Geopark

강가령<sup>1</sup>, 백기열<sup>1</sup>, 김미정<sup>1</sup>, 박근철<sup>1</sup>  
Karyung Kang<sup>1</sup>, Gi-yeol Baek<sup>1</sup>, Mi Jeong Kim<sup>1</sup>, Geun Cheol Park<sup>1</sup>

부산광역시 환경정책과<sup>1</sup>  
Busan Metropolitan City Environmental Policy Division<sup>1</sup>

부산은 대도시임에도 불구하고 강.산.바다를 아우르는 도시 전역에 지질명소가 분포하고 있어 지질다양성(geodiversity)에 우위를 점하고 있다. 또한 부산의 고유한 멋과 지구역사를 고스란히 간직하고 있는 뛰어난 자연경관과 지질유산이 시민이 생활하는 일상의 공간 주변에 위치하고 있어, 일상생활에서 자연과 휴식을 향유할 수 있다. 이러한 이점을 지닌 부산의 지질공원을 국내외에 홍보하고 부산의 관광 잠재력과 만족도 상승 등을 위해 유네스코 세계지질공원 인증을 추진 중에 있다. 이와 더불어 본 발표에서는 2024년 8월 부산에서 개최 예정인 세계지질과학총회(IGC)의 성공적인 개최와 부산의 지질공원을 세계적 관광자원으로 업그레이드 시키고 지속가능한 활용 방안을 마련하기 위한 주요 과제들을 논의하고자 한다.

## 무등산권 유네스코세계지질공원 내 안내판 현황 및 개선방안 제언 Information boards in the Mudeungsan Area UNESCO Global Geopark: current status and suggestions for their improvement

최용석<sup>1</sup>, 김대우<sup>2</sup>  
Yong Seok Choi<sup>1</sup>, Daewoo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>지오클루㈜, <sup>2</sup>연천군청  
<sup>1</sup>Geoclew Inc., <sup>2</sup>Yeoncheon-gun County Office

광주시와 전라남도에 분포하는 무등산권 유네스코세계지질공원은 수려한 경관과 더불어 역사와 문화적 요소가 가미된 훌륭한 지질명소를 많이 포함하고 있다. 그러나 현재 설정된 지질명소 및 지오투레일을 따라 설치된 안내판의 위치 및 형태, 그리고 문안 내용을 분석한 결과 여러 관점에서 개선을 필요로 하는 문제점들이 여럿 발견되므로 본 발표에서는 이의 주요 사례를 예시하고 그에 대한 개선 방향을 함께 제시하고자 한다. 현재 거의 모든 안내판 문안에서 가장 빈번하게 발견되는 문제는 영문 안내문에서의 오역이다. 즉 영문 내용의 대부분이 기본적인 문법적 오류(시제와 수의 일치)와 함께 동사나 전치사 등 용어의 선택이 영어 식 표현과 다른 어색한 문장으로 이루어져 있으며, 또한 국문 안내문 내용과 상당 부분이 다르거나 일부 동떨어진 내용이 존재한다. 또한 국문 자체도 주어-술어 불일치가 자주 보이는 등 적절하지 않은 서술 형태가 적지 않게 관찰되며, 그 내용의 상당 부분이 학문적 관점에서 잘못된 정보나 사실관계에 맞지 않는 내용을 담고 있음이 확인되었다. 안내판의 외형적 관점에서는 우선 지오투레일 경로를 따라 기 지정된 지질명소뿐만 아니라 지질명소 중간중간에 여러 장소에서 훌륭한 노두나 지질 현상이 관찰되므로 그러한 내용이 설명된 안내판의 추가 설치가 필요할 것으로 판단된다. 또한 가능하다면 각 지오투레일 내 지질명소 안내판 간의 스토리텔링을 가미한 연결성이 추가된다면 탐방객들에게 이제까지 찾던 단순한 국립공원이 아니라 지질공원으로서의 특별함에 대한 호기심과 탐구심을 유발하는 사용자 친화적(user friendly) 환경을 조성할 수 있을 것이다. 한편 지질공원 내 여러 안내판의 설치 시기 및 주체가 다른 경우가 많아 안내판 문안은 물론이고 그 요소와 형태도 서로 달라 혼란을 주는 경우가 많으므로 ‘지질공원’ 로고가 들어가는 모든 안내판, 리플렛, 홈페이지 등에 있는 모든 정보를 함께 개선하는 것이 필요하다고 판단된다. 결론적으로 기존 안내판 문안에서 잘못된 정보에 대한 학술적 검증과 함께 무등산권 지질공원 전체 지역을 총괄하여 안내판 문안 내용 및 위치와 형태를 포괄적으로 개선하는 것이 단기간에 지질공원에 대한 이미지 제고 및 통일성과 완성도를 높이는 전략이 될 것이다.

핵심어: 무등산권 유네스코세계지질공원, 지질명소, 안내판, 지오투레일, 개선 방안

THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

SS-04

근지구 우주환경 워크숍



## 다양한 우주환경에서의 EMIC 파동 EMIC waves under various geomagnetic conditions

김관혁<sup>1</sup>  
Khan-Hyuk Kim<sup>1</sup>

경희대학교<sup>1</sup>  
Kyung Hee University<sup>1</sup>

Electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves have been observed in the magnetosphere under various (extremely quiet, moderate, and extremely disturbed) geomagnetic conditions. They play an important role in the dynamics of ring current and/or radiation belt particles, leading to precipitation loss through resonant wave-particle interactions. In this study we will show “spectral characteristics”, “spatial distribution” of EMIC waves, and a causal relationship between EMIC wave occurrence and energetic particle loss during various geomagnetic conditions.

**지구 자기권내에서 위성의 현장관측을 이용한  
EMIC파동 발생 조건 시험**  
**Test of triggering conditions for electromagnetic ion cyclotron waves  
using in-situ satellite observations in the Earth's magnetosphere**

노성준, 이대영  
Sung-Jun Noh, Dae-Young Lee

충북대학교  
 Chungbuk national university

지구 자기권에서 발생하는 Electromagnetic Ion Cyclotron (EMIC) 파동은 파동-입자 상호작용을 통해 방사선 벨트 입자의 소실을 야기하는 중요한 파동으로 알려져 있다. EMIC 파동은 양성자의 자이로 (gyro) 회전 주파수 이하의 주파수에서 원형 편광으로 발생하며 배경자기장에 평행한 방향으로 전파해 나간다. 선형이론에 따르면 EMIC 파동의 생성은 양성자의 비등방적 분포에 의해 발생할 수 있는데, 이 비등방적 분포는 흔히 온도의 수직성분과 수평성분의 비로 기술된다. 본 논문에서는 위성에서 관측된 EMIC 파동과 양성자 자료를 이용하여 선형 불안정 이론을 엄밀히 시험하였다. 그 결과 다음과 같은 주요 결론에 도달하였다. 첫째로, 선형 불안정 이론에서 정의하는 양성자 비등방성 인자는 특별한 경우를 제외하고는 일반적인 경우에는 온도 비등방성과 다르며, 비등방성 인자는 파동발생에 참여하는 특정 에너지의 입자에 대한 정보를 담고 있음을 확인하였다. 또 5년간의 위성 관측을 통해 얻어진 비등방성 인자를 통해 공간적 분석을 수행하였는데, 지자기 활동 상태와 태양풍 동압력 수준에 따라 공간적 분포의 특성이 크게 좌우됨을 발견하였다. 둘째로, EMIC 파동이 시작한 직후의 비등방성 인자가 파동의 시작 직전이나 파동이 존재하지 않는 고요한 시간에 비해 통계적으로 높음을 확인하였다. 하지만 그 차이는 10% 내외로 매우 작았다. 그럼에도 불구하고 대부분의 EMIC 파동은 Ion Cyclotron 불안정성 발생 조건을 만족함을 확인하였다. 이와 같은 결과는 자기권내부의 플라즈마 상태가 주로 불안정성의 임계 조건 근처에 존재한다는 것을 시사한다. 만약 어떤 이유에 의해 불안정성 임계 조건을 넘길 수 있게 유도하는 물리적 현상이 발생하면 EMIC 파동이 증폭되고 그 결과 자유에너지를 바로 해소하여 불안정성 임계 조건 바로 아래로 내려주게 된다. 따라서 실제 관측에서는 비등방성 인자의 값이 EMIC 파동의 존재 여부에 상관없이 거의 비슷한 값으로 나타날 수 있다. 마지막으로, EMIC 파동의 불안정성 분석에서 널리 사용되는 양성자 비등방성과 플라즈마  $b$  (자기 압력 대비 플라즈마 압력 비) 사이의 역 비례 관계를 위성 관측데이터에 적용해본 결과, 실제 그와 같은 역비례 관계가 성립함을 확인하였다. 그러나, 이 관계는 정량적으로 배경 플라즈마의 여러 조건에 따라 상당히 다를 수 있어서 실제로 EMIC 파동 불안정성 발생 여부를 결정하기 위해 사용하는 데는 한계가 있다. 결론적으로 본 학위 논문에서는 양성자 분포 비등방성이 EMIC 파동 발생에 결정적 역할을 함을 위성 관측 자료 분석을 통해 엄격히 증명하였다.

## 극지연구소의 남북극 고층대기 연구를 위한 관측 Ground-based Observations for the Polar Upper Atmosphere Research at Korea Polar Research Institute

김정환<sup>1</sup>, 지건화<sup>1</sup>, 이창섭<sup>1</sup>  
Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>

극지연구소<sup>1</sup>  
Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>

KOPRI has been conducting a number of ground-based observations for the mesosphere and lower thermosphere (MLT) region for more than a decade at Korean Arctic and Antarctic stations. In addition, recently we have been expanding the observation area into the ionosphere and thermosphere in southern high latitude region since the 2<sup>nd</sup> Korea Antarctic station, Jang Bogo Station (JBS) was established in Terra Nova Bay (74° 37'S, 164° 12'E), which is mostly located in the polar cap region, while the 1<sup>st</sup> Antarctic station, King Sejong Station (KSS), is located in the subauroral region. These stations allow us to systematically monitor the upper atmosphere including the mesosphere, thermosphere, and ionosphere, by using various optical and radar instruments such as FTS, ASC, FPI, meteor radar, digisonde, GPS etc.. In this presentation, we briefly introduce our ground-based observations for the polar upper atmosphere at Arctic and Antarctic stations, and several ongoing researches which our research group has been carrying out.

## Mission and Data Preview of the KSEM on GK-2A

오대현<sup>1</sup>, 김지영<sup>1</sup>, 임한철<sup>1</sup>  
Daehyeon Oh<sup>1</sup>, Jiyoung Kim<sup>1</sup>, Hancheol Yim<sup>1</sup>

국가기상위성센터<sup>1</sup>  
National Meteorological Satellite Center<sup>1</sup>

Because many recent satellites have long mission periods of over 10 years, satellite-based local space weather monitoring is becoming more important than ever. This presentation describes the instruments, data applications, and data preview of the Korean Space wEather Monitor (KSEM), which is a space weather payload of the GeoKomsat-2A (GK-2A) geostationary satellite. The KSEM payload consists of energetic particle detectors, magnetometers, and a satellite charging monitor. KSEM will provide accurate measurements of the energetic particle flux and three-axis magnetic field, which are the most essential elements of space weather events. KSEM will use those sensors and external data such as GOES to provide five valuable space weather products; particle flux in magnetosphere, particle flux prediction at geostationary orbit, internal charging, Kp Kp prediction, and Dst prediction. The longitude of GK-2A is 128.2° E, while those of the GOES satellite series are 75° W and 135° W. Multi-satellite measurements of a wide distribution of geostationary equatorial orbits by KSEM/GK-2A and other satellites will help in the construction of a new field of developing, improving, and verifying space weather forecasting models.

## Scientific Instruments on SNIPE mission

이재진<sup>1</sup>  
Jaejin Lee<sup>1</sup>

한국천문연구원<sup>1</sup>  
Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>1</sup>

SNIPE mission consisted of four nanosatellites will do ambitious scientific observations with formation flying changing each satellite distance from 10 km to several hundred km. With such a unique operation, we can measure the spatial and temporal variation of near-earth space plasma phenomena. The SNIPE mission will be launched into a polar orbit of the altitude of ~600 km in 2021. The SNIPE mission is equipped with scientific payloads which can measure the following geophysical parameters: density/temperature of cold ionospheric plasmas, energetic electron flux, and magnetic fields. In addition, this mission has enhanced communication equipment, UHF up/downlink, S-band up/downlink and Iridium module. For the attitude control, this mission will use three-axis reaction wheels with sun sensor, gyro, and star tracker. KASI, KARI and Yonsei university cooperate for this mission, and lots of domestic companies provide subsystems on the SNIPE mission. The SNIPE mission will pave way for the next generation CubeSat missions in Korea.

## Initial Operation of the Instrument for the Study of Space Storms (ISSS) onboard NEXTSat-1 and Its Data Distribution Plan

Kwangsun Ryu<sup>1</sup>, Eojin Kim<sup>1</sup>, Kyoungwook Min<sup>2</sup>, Hoonkyu Seo<sup>1</sup>, Young-Soo Jo<sup>3</sup>, Jongdae Sohn<sup>4</sup>, Gowoon Na<sup>3</sup>, Chol Lee<sup>1</sup>, Sung-Og Park<sup>1</sup>, Son-Goo Kim<sup>1</sup>, Hee-Eun Kim<sup>3</sup>, Sang-Yun Lee<sup>1</sup>, Ji-Hyeon Yoo<sup>5</sup>, Dae Young Lee<sup>5</sup>, Jangsoo Chae<sup>1</sup>, Gowoon Na<sup>3</sup>, Goo-Hwan Shin<sup>1</sup>, Jongho Seon<sup>3</sup>

Satellite Technology Research Center, KAIST<sup>1</sup>, Department of Physics, KAIST<sup>2</sup>, School of Space Research, Kyung Hee University<sup>3</sup>, Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>4</sup>, Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University<sup>5</sup>

The Next generation small satellite-1 (NEXTSat-1) was successfully launched in December 2018 into the low earth (~ 575 km) sun-synchronous orbit. The Instruments for the Study of Space Storms (ISSS) onboard NEXTSat-1 is an instrument suite consisting of two packages of radiation (High Energy Particle Detector, Medium Energy Particle Detector) and plasma detectors (Langmuir Probe, Retarding Potential Analyzer and Ion Drift Meter). The main goals of ISSS are to understand the space storm effect on the polar region, precipitating radiation belt particles and also mid-low latitude ionospheric disturbances.

For the ISSS operation, appropriate attitude control and well-structured operation scenarios is required. Throughout the initial operation phase, the operation scenarios for each instrument were tested so to prepare for the normal operation which will observe the ionospheric and magnetospheric disturbances during the mission lifetime. In this presentation, we introduce the operation concepts of ISSS during commissioning phase of NEXTSat-1 and initial observation results obtained during the commission phase. In addition, the data structure and its distribution plan are introduced.

## Development of the Regional Ionospheric Model over Korean Peninsula and neighbors

김정현<sup>1</sup>, 김용하<sup>1</sup>  
JeongHeon Kim<sup>1</sup>, YongHa Kim<sup>1</sup>

충남대학교<sup>1</sup>  
 Chungnam National University<sup>1</sup>

For decades, a comprehensive timely specification of the Earth's ionosphere has been in the quest not only in academic fields but also in practical fields that utilize trans-ionospheric radio signals. In general, space weather surveillance and forecasting are usually carried out on a global scale perspective. Numerous groups have developed and implemented various flavors of global physics-based simulation model. However, it is essential to monitor and forecast the ionosphere locally for practical reasons because the ionosphere has various local phenomena and anomalies. Currently, the global model results are too coarse to apply to the region of Korean peninsula in terms of space and time resolutions. Therefore, it is necessary to develop a regional ionospheric model to monitor and predict the impact on radio communication and satellite-based navigation system from ionospheric variations over the Korean peninsula.

By revising the SAMI2 global ionospheric model to overcome its weakness, we have developed regional models (SAMI2-CNU and KIPM) that can estimate and predict the regional ionosphere over the Korean peninsula and neighbors. In this talk, we present details of the regional models and validation analysis with measured ionospheric parameters.

Thanks : This research was conducted by a fund from the Korea Astronomy and Space Science Institute under a contract with the Korea Space Weather Center.

## Aurora, dynamical instability and radar echoes in the polar mesosphere and lower thermosphere induced by energetic electron precipitation

YoungSook Lee<sup>1</sup>, YongHa Kim<sup>1</sup>, KyungChan Kim<sup>2</sup>, YoungSil Kwak<sup>3</sup>,  
Sheila Kirkwood<sup>4</sup>, Timothy Sergienko<sup>4</sup>

Chungnam National University<sup>1</sup>, Daegu University<sup>2</sup>, Korea Astronomy and Space  
Science Institute<sup>3</sup>, Swedish Institute of Space Physics<sup>4</sup>

In solar declining phase high-speed solar wind streams (HSS) frequently occur to induce medium level of geomagnetic disturbances ( $Dst > -70$  nT) [Tsurutani *et al.*, 2006, *JGR*]. HSS emanates from coronal holes composed with open magnetic field lines stretching to interplanetary magnetic field to reach Earth's magnetosphere. The major effects of HSS in the magnetosphere are known for multiplying ULF/VLF waves to induce an acceleration of electrons up to high and relativistic energies. The high-energy particle ( $>30$  keV) precipitation plays important roles of producing daytime lower altitude aurora, changing the chemical composition, generating gravity waves and providing facilitation of polar mesospheric summer echo (PMSE) in the mesosphere and lower thermosphere. This paper will present the relevant observations using space-based optical measurements of WINDII/UARS satellite, MST radar in Esrange, Sweden and EISCAT radar in Tromso.

THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

SS-05

사용 후 핵 연료



## 심층처분 및 저장을 위한 심지층 특성화 관련연구 현황 R&D Status of Subsurface Characterization for Deep Geological Disposal and Storage

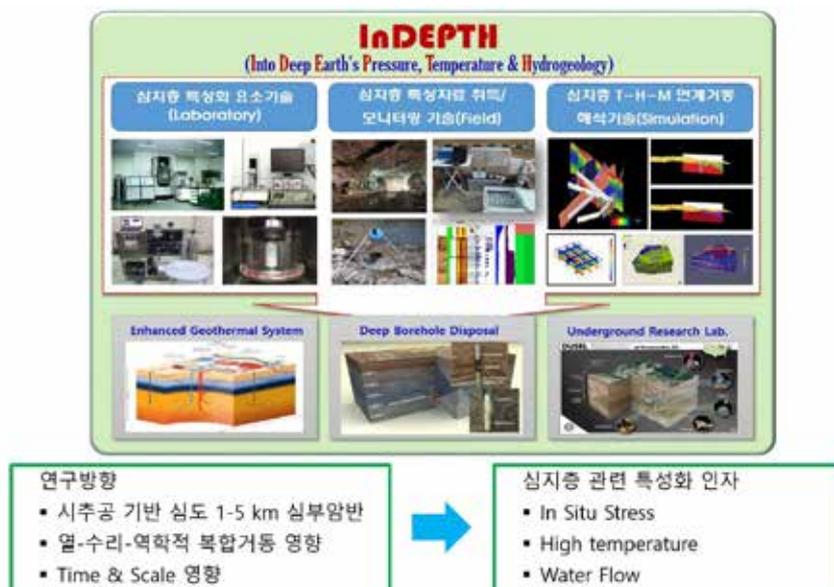
박 의섭, 정 용복

한국지질자원연구원 지질환경연구본부

최근 들어 예기치 못한 급격한 기후변화 및 잦은 대규모 자연재해의 발생으로 전세계적 차원의 신기후 체제 대응과 지속가능성장을 위한 기후변화 저감/완화 기술 개발의 시급성에 따른 심층 처분 및 저장(고준위방폐물 지층처분, CO2 지층저장 등)에 대한 수요가 증가하는 추세이다. 또한 그동안 국내에선 천심도 지하환경에 국한된 연구가 수행되었으나, 최근에 제기되는 글로벌 이슈의 국내 관심도가 증가함에 따라 심지층 특성화 기술의 요구가 증가하고 있다.

특히 정부 차원의 고준위방폐물 관리 기본계획의 재공론화 및 입법활동과 관련하여 HLW 심층처분에 연계한 장기간 연구계획이 활발히 준비되고 있는 실정이다.

무엇보다 심지층은 천부지층 환경과는 달리 고온, 고압의 극한환경으로 인하여 매우 복잡한 열-수리-역학적 연계거동을 보이는 한편, 심지층으로의 매우 제한된 접근성으로 인하여 자료 취득의 어려움과 불확실성이 크다. 이에 한국지질자원연구원에서 연구 중인 시추공 기반 심지층(1-5 km, 고온고압환경) 특성규명 요소기술의 개발 현황을 소개하고자 한다(그림 1).



## 부지 선정 및 특성화: CO<sub>2</sub> 지중저장 시험 부지 사례 연구 Site Selection and Characterization: a Case Study from CO<sub>2</sub> Geological Storage Test Site

박권규, 신영재  
Kwon Gyu Park, Young Jae Shinn

한국지질자원연구원 CO<sub>2</sub>지중저장연구단  
Center for CO<sub>2</sub> Geological Storage, Korea Institute of Geoscience and Mineral  
Resources

2010년 관계부처 합동으로 수립된 국가 CCS(CO<sub>2</sub> 포집 및 저장) 종합추진 계획과 2019년에 확정된 제3차 녹색성장 5개년 계획에 의하면 국내 해양에서 대규모 CO<sub>2</sub> 지중저장소를 확보하고 2030년까지 대규모 CCS 실증사업을 추진하도록 계획되어 있다. 이와 같은 정부 추진 계획에 따라 부처별로 CCS 기술 개발 사업들이 10년 이상 수행되어 왔다. 장기분지에서 수행되는 육상 소규모 지중저장 실증 사업도 이러한 연구개발의 하나이다. 이 사업은 부지 탐색과 선정, 특성화, 주입 및 모니터링 등 CCS 생애 기술들에 대한 원천/핵심 기술 개발과 실증을 목표로 약 10년에 가까운 부지 탐색 및 선정과 특성화 연구를 수행해 왔다. 여기서는 이러한 부지탐색 및 선정 과정과 결과를 소개하고 그 과정에서 획득된 경험을 공유하고자 한다.

상업적 규모의 CO<sub>2</sub> 지중저장이 아니라 기술 실증을 위한 시험 부지를 확보하는 것이 목적이었기 때문에 부지선정 과정에서는 다음과 같은 지질학적 조건을 주로 고려하였다. 첫째로 CO<sub>2</sub>의 효율적 저장을 위해 초임계 상태의 지중저장이 가능한 심도, 두 번째로 CO<sub>2</sub> 주입 및 저장이 용이한 저장층 존재, 세 번째로 광역적인 덮개층에 의한 상부 밀폐, 마지막으로 단층에 의한 교란이 미약한 지층 조건을 고려하였다. 상기의 지질학적 조건에 부합하는 시험 부지 선정을 위해 1단계 연구 기간 동안 육상 퇴적분지를 대상으로 광역적인 선별(basin screening)을 수행하였다. 비교적 조건이 양호한 것으로 해석된 경상분지, 포항분지, 장기분지를 대상으로 지표지질조사, 심부 시추 및 지구물리 탐사 등을 수행하였고, 장기분지를 가장 유망한 분지로 선정하였다. 2단계에서는 장기분지를 대상으로 상세 지표지질조사 및 추가 시추와 지구물리탐사를 수행하여 현재의 시험 부지를 선정(site selection) 하였다. 선정된 부지 내에 평가정을 시추하여 실제 주입을 위한 저장층 및 덮개층에 대한 특성화(site characterization) 연구를 수행하였다. 특성화 연구 결과를 종합적으로 해석하여 최종 주입 심도를 결정하고, 주입정 및 관측정 위치를 확정하였다. 3단계에서는 관측정을 시추하였고, 관정 내 CO<sub>2</sub> 모니터링 시스템을 성공적으로 설치하였다.

CO<sub>2</sub> 지중저장 시험 부지 선정 과정은 광역 지질을 검토하여 후보 분지/지역을 선별하는 (1) 분지/지역 선별(basin/region screening) 과정, 유망 분지/지역에 대해 상세 조사 및 탐사를 통해 부지를 확정하는 (2) 부지 선정(site selection) 과정, (3) 선정된 부지에 대해 지질학적, 수리지질학적, 역학적 특성 등을 규명하는 부지 특성화(site characterization) 과정으로 요약된다. 이러한 절차에 따라 시험 부지를 선정한 경험과 각 과정에서 검토하였던 평가 항목, 선정 방법, 조사 및 탐사 내용 등은 HLW 심층처분을 위한 암종 특성 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글 : 이 연구는 과학기술정보통신부 산하 재단법인 한국 CO<sub>2</sub> 포집 및 처리 연구개발 센터의 지원(no. NRF-2014M1A8A1049287)을 받아 수행되었음.

## 방사성폐기물의 지층 처분을 위한 부지특성평가에서 시추공의 활용 방안 연구

### Borehole application plan during site characterization for geological disposal of radioactive waste

박경우<sup>1</sup>, 지성훈<sup>1</sup>

Kyung-Woo Park<sup>1</sup>, Sung-Hoon Ji<sup>1</sup>

한국원자력연구원<sup>1</sup>

Korea Atomic Energy Research Institute<sup>1</sup>

현재 방사성폐기물의 최종 관리방안으로 심층 처분이 유일한 방안으로 고려되는 가운데, 최종 부지를 선정하는 과정에서 지층 처분장으로서의 안전성을 평가하는데 주요한 입력 자료를 제공하기 위한 부지특성평가를 수행한다. IAEA에서 제안하고 있는 부지특성평가 방법은 지층 처분을 선행하고 있는 해외 각국에서도 따르고 있는데, 부지특성평가를 위한 현장조사는 시기 별, 조사 항목별로 다수의 지역에서 개략적인 부지의 정보를 도출하는 예비 부지특성조사와 예비 부지특성조사 결과 선정된 지역에서 보다 자세한 부지특성자료를 생산하기 위한 상세 부지특성조사로 구분하는 단계별 부지특성조사가 일반적이다. 각 부지특성조사 단계에서는 지표에서 수행하는 다양한 현장조사 이외에 처분의 대상이 심도에서 지질, 수리지질, 지구화학, 암반역학 등 부지 고유의 지질환경 특성을 도출해야 하는데 이를 위해서 시추공을 이용한 조사를 수행한다. 한국원자력연구원은 지하처분연구시설 (KURT, KAERI Underground Research Tunnel)을 건설하였으며 심부지질환경 규명하기 위해 KURT내에 500m 길이의 시추공(DB-1)과 KURT 입구의 남쪽에 1,000m의 장심도 시추공(DB-2)을 굴착하여 다양한 부지특성평가 연구를 수행하였다. 또한, 국내에 분포하는 주요 기반암인 화강암의 특성을 평가하기 위해 KURT 주변에 연구지역을 선정하여 3개의 장심도 시추공(AH-1, AH-2, AH-3)을 굴착하고 부지특성을 평가하였다. 한국원자력연구원에서는 각 시추공을 굴착하기 전 단계에 시추 조사에 필요한 Drilling program을 준비하였으며, 이에 따라 시추공을 굴착하여 현장 조사를 수행하였다. 본 논문에서는 부지특성평가 연구를 위해 KURT 연구지역에서 굴착한 장심도 시추공에 대한 Drilling program을 소개하고, 앞서 기술한 방사성폐기물의 심층 처분을 위한 부지특성조사 과정에서 장심도 시추공을 활용하여 부지 고유의 지질환경 특성을 도출한 설명하고자 한다.

## 사용후핵연료 심층처분을 위한 암종 심부 특성 연구와 계획 Research and plan on deep rock properties for HLW geological disposal

김유홍  
You Hong Kihm

한국지질자원연구원  
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

사용후핵연료는 현재 원자력발전소 부지 내에 임시 저장되고 있으며, 2021년에 임시 저장이 포화될 예정이다. 따라서 원자력발전을 지속하기 위해서는 처분 시설의 확보가 매우 시급하다. IAEA는 현재 가장 검증된 사용후핵연료 처분 방법으로 심층처분을 제안하고 있다.

사용후핵연료의 안전한 심층처분을 위해서는 국내 지질환경에 적합한 처분시스템 결정이 선행되어야 하나 국내에서는 아직 처분시스템의 가장 기초적인 사항인 처분 모양을 결정하지 못한 상태이다. 해외의 경우 30년 이상의 시추 연구를 통해서 암종 심부 특성에 대한 자료를 확보하고 심층처분 가능성에 대한 연구를 수행하였다. 이를 통해서 결정질암이나 이암을 처분 모양으로 결정하고 있으나 국내는 처분 모양을 결정하기 위한 기초 자료가 매우 부족하다.

한국지질자원연구원에서는 2013년에서 2015년까지 3년간 안동지역 3공(1km, 500m, 500m)의 심부시추를 통해서 공내 불연속면 연구, 시추공 전기비저항 토모그래피와 레이더 반사법 탐사를 통한 심부지질구조 해석, 시추코어를 활용한 암석물성 규명과 열물성 측정 및 해석, 현지 암반 초기응력 평가, 역학적 안전성 평가 등을 수행한 바 있다. 또한 대전지역의 시추코어를 활용한 지구화학적/광물학적 특성 연구, 대보화강암과 변성암 지역에 대한 용질 거동 특성 분석, 포항지역에 대한 지하수 모델링 등을 수행하였다. 기존의 연구는 주로 결정질암에 집중하고 있으며 퇴적암과 화산암에 대한 연구는 충분하지 못하였다.

이와 같은 상황을 해결하고 처분 모양을 결정할 근거를 마련하고자 지체구조별 암종 심부 특성에 대한 다학제적 연구를 추진 중이다. 이 연구는 2020부터 2024년까지 5년에 걸쳐서 이루어질 예정이며, 매년 2공씩 총 10공의 심부 시추를 통해서 지체구조별 주요 암종에 대한 심부 특성 통합 DB인 D-GIVES(Deep Geoenvironmental Information Verification System)을 구축하고자 한다. 그리고 암종별로 6개 분야(지질, 지화학, 역학, 수리지질, 지열, 지구물리)별 핵심평가인자를 선정하고 평가인자별 조사, 평가 방법을 검토, 적용, 검증하여 2단계 부지 조사에 사용이 가능하도록 조사, 평가 방법을 정립하고자 한다. 또한 구축된 DB를 이용하여 주요 평가인자의 분포와 범위를 산정하고자 한다.

지체구조별 암종 심부 특성에 대한 연구 결과와 DB 자료는 처분암종과 처분시스템을 결정하는데 핵심 자료로 활용할 수 있으며, 이 연구를 통해서 정립된 핵심 평가인자 조사·분석 표준절차는 향후 부지선정과 관련된 부지조사에 활용될 것으로 기대된다.

## 심층처분을 위한 심부환경 규명 연구의 필요성 A Study on deep geological properties for geological disposal and their implication

이정환, 이상진, 김형진  
Jeogn-Hwan Lee, Sang-Jin Lee, Hyeon-Jin Kim

고준위연구팀, 방사성폐기물연구소, 한국원자력환경공단  
HLW R&D Team, R&D Institute of Radioactive Wastes, Korea Radioactive Waste Agency (KORAD)

스웨덴의 경우, 1977년 정부 주도로 고준위방폐물의 안전한 처분방안에 대한 법안이 통과되면서 2000년까지 전국을 대상으로 처분부지 선정을 위한 일반연구 및 타당성연구를 수행하였으며, 2001년 정부의 부지선정 단계 계획 승인 후 2개 후보부지(포스마르크, 락세마르)에 대한 부지특성 조사를 2007년에 완료하였다.

고준위방폐물 처분장 부지선정절차는 4단계에 걸쳐 추진되었으며, 단계적 접근방식으로 전국에서 추출된 약 1,000개의 연구부지에 대해 조사를 하고, 10개 부지로 압축시킨 후 상세조사를 진행하여 이를 DB화 하였으며, 최종 처분장부지 선정에 활용하였다. 심층 처분시설 부지선정은 크게 4단계로 구성되어 있다 <단계 1>은 일반연구(General study), <단계 2>는 타당성연구(Feasibility study), <단계 3>은 부지특성조사(Site investigation), <단계 4>는 상세조사(Detailed characterization)로 구분되어 추진되었다.

따라서, 스웨덴은 타당성연구 후, 상세 부지특성조사 이전에 부지특성조사 결과를 바탕으로 처분에 보다 적합한 선호부지에 대해 보완된 조사를 추가로 수행한 후, 상세 부지특성조사를 착수하였으며, 단계적인 수행을 통해 진행하여 부지의 심부환경을 규명하였다.

이는 심층처분을 위해서는 단계적으로 심부환경 연구가 수행됨을 의미하며, 불확실성 관리 및 부지평가의 탄력성을 확보하기 위한 절차로 사료된다.

**고준위방사성폐기물 처분시설 부지특성 조사 및 평가 기술 개발연구**  
**- 심지층 특성 조사방법 및 기준에 대한 기술현황분석 -**  
**Development of guidelines to evaluate and survey the**  
**characteristics of site for HLW disposal facility**  
**- The Status analysis of Site Investigation Methods and Criteria for Deep**  
**Geological Properties -**

현승규<sup>1)\*</sup>, 임창복, 심택모, 노명현, 최호선, 양준모, 박선정, 차훈, 박호, 박선중,  
이세현, 우현동, 박보나

S.G. Hyun, C.B. Im, M. Noh, T.M. Shim, H.S. Choi, J.M. Yang, S.J. Park, H.  
Cha, H. Park, Sunjong Park, S.H. Lee, H. Woo, B.N. Park

1)\* 한국원자력안전기술원, mgodo@kins.re.kr

상업용 원자력발전소를 운영하는 많은 나라에서는 사용후핵연료를 포함하는 고준위방사성폐기물을 처분하기 위한 방법에 대해 많은 연구를 수행하여 왔으며, 그중 미국, 스웨덴, 핀란드 등의 국가에서는 심지층 처분방식을 채택하여 부지특성 조사결과를 이용하여 심지층 처분시설에 대한 건설 허가를 신청하였다.

국내는 1978년 상업운전을 시작한 고리 1호기가 2017년 영구정지 되면서 고준위방사성폐기물의 영구처분에 대한 요구가 증대되었다. 사용후핵연료를 포함하는 고준위방사성폐기물의 처분과 관련하여 IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-5 “Disposal of Radioactive Waste”의 요구사항 2(Requirement 2 : Responsibilities of the regulatory body)는 ‘규제기관은 방사성 폐기물을 위한 서로 다른 유형의 처분시설 개발을 위한 규제 요건을 수립하여야 하며, 다양한 단계의 인·허가 과정에 대한 요건에 부합되는 절차를 수립하여야 한다. 또한 각 개별 처분시설의 개발, 운영 및 폐쇄를 위한 조건을 설정하여야 하며 조건이 충족됨을 확인하는데 필요한 활동을 수행하여야 한다.’고 정하고 있다. 이와 같은 요구에 따라 심지층 처분시설 부지의 선정 및 부지 특성화에 대해서는 엄밀한 지질조사 등 부지적합성 평가를 위한 과학적인 타당성을 확인하는 절차를 사업자가 준수하도록 하기 위해 고준위방사성폐기물 처분시설 부지의 선정 및 이를 위한 부지조사 및 부지특성화 평가에 대한 세부요건 개발의 필요성이 제기되었다.

이에 고준위방사성폐기물의 심지층 처분시설 부지에 대한 조사 및 특성화 평가를 이미 수행한 바 있는 미국, 핀란드, 스웨덴 등의 부지조사 방법 및 기준 등에 대한 현황을 분석하여 고준위방사성폐기물 처분시설 부지특성보고서 작성지침 고시(안) 및 고준위방사성폐기물 처분시설부지특성조사 품질보증 규제지침(안)을 개발하기 위한 주요 내용을 다음과 같이 도출하였다.

- 부지특성 조사 및 평가, 정보의 수집, 기록 및 보유에 적용될 품질보증 프로그램을 수립하여 시행하여야 한다.
- 사업자가 직접 조사 및 평가하지 않은 자료를 이용하는 경우 해당 자료의 품질을 확인하기 위한 절차가 품질보증 프로그램에 반영되어야 한다.
- 폐기물 특성과 기반암의 상호작용, 처분시설의 개념적 설계특성을 고려한 부지특성 조사 및 평가를 수행하여야 한다.

- 부지특성화는 폐기물이 적치되는 심도에서의 현장 탐사 및 시험에 대한 프로그램을 포함하여야 하며, 각 부지특성 인자별 연계성을 고려하여 조사 심도를 결정하여야 한다.
- 부지특성 조사 및 평가 방법의 특성을 제시하고, 조사 및 평가 결과의 불확실성을 관리하기 위한 절차를 수립하여야 한다. 아울러 부지특성의 개선을 위한 프로그램을 수립 및 이행하여야 한다.

지질특성, 수리지질특성 등에 대한 조사방법 및 기준에 대한 국내·외 현황을 분석하여 부지특성 평가 및 조사와 관련 현황 분석결과는 다음과 같다.

- 지구물리탐사, 열적/양반역학적 특성, 수리지질특성 및 수리지화학특성 조사를 위한 최대 심도에 적합한 조사방법 및 수행절차가 적절하게 수립되어야 한다.
- 방사성물질의 거동특성과 연계되는 수리지질특성, 지질특성, 수리지화학특성 및 열적 특성의 모니터링 방법 및 각 분야별 연계성 조사방법이 적절하게 수립되어야 한다.

감사의 글 : 이 연구는 원자력안전재단의 지원(NSRM 1805020-0219-CG100)을 받아 수행되었습니다.

## 대전 화강암에서의 flow path 구조에 대한 특성 분석 Observation of flow path structures in granite in Daejeon

최정해<sup>1\*</sup>, 박종규<sup>2</sup>  
Choi, Junghae<sup>1\*</sup>, Park, Jong-Kyu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 지구과학교육과, <sup>2</sup>경북대학교 지구시스템과학부

<sup>1</sup>Earth science education, Kyungpook national university,

<sup>2</sup>School of earth system science, Kyungpook national university

본 연구는 지하 1km의 심부에서 획득한 시추코어를 활용하여 시추코어에 발달되어 있는 flow path의 역할을 할 수 있는 불연속면에 대한 형태학적 및 광물학적 분석을 통해 대전 화강암체의 진화에 대한 분석을 실시하는 것이 목적이다. 이를 위해서 심도에 따른 불연속면의 분포 양상과 코어에서 확인되는 불연속면의 경사 값에 대한 특성을 분석하였다. 또한 화강암체의 진화를 논하기 위해서 불연속면에 분포하고 있는 광물들의 종류를 분석하였다. 광물분석의 자료는 시추 당시 확인된 시추코어에 존재하는 vein 또는 불연속면을 채우고 있는 광물의 종류를 1차적으로 분석하고 심도에 따른 열린 불연속면 혹은 닫힌 불연속면에 존재하는 광물들에 대해 화학분석을 실시하였다.

형태학적 분석의 결과에 따르면 1km 심부의 전 구간에 걸쳐 불연속면이 발달하고 있는 것을 확인하였으며, 0-30도의 경사를 가지는 불연속면은 지표 부근, 300m, 500m, 850m 부근에서 많이 분포하고 있으며, 60-90도의 경사를 가지는 불연속면은 주로 250m, 980m 구간에서 특징적으로 분포하고 있다. 그리고 60-90도의 경사를 가지는 불연속면은 전체 구간에서 소수 발달하고 있는 것을 확인하였다. 또한 전 구간에 걸친 경사에 따른 불연속면의 개수는 0-30도의 경사값을 가지는 불연속면이 가장 많이 분포하고 있으며, 30-60도와 60-90도가 각각 분포하고 있는 것으로 확인되었다.

1차 육안으로 관찰된 광물분석의 결과는 전구간에 걸쳐 석영과 방해석이 관찰이 되고 있으며, 지표 200m 부근에서는 점토광물이 분포하고 있는 것으로 확인되었다. 녹니석은 지표 400m 부근까지 분포하고 있으며, 그 이하에서는 거의 관찰이 되지 않는다. 황철석은 350m 일부 구간에서 관찰이 되는 것으로 확인되었다.

본 연구를 통해서 대전지역에 분포하고 있는 화강암체는 주변의 응력장 또는 화강암체의 노출에 따른 수평절리가 발달하고 있으며, 진화 과정을 거치면서 다양한 구간에서 불연속면이 다량분포하는 파쇄대 구간이 형성되었다. 그리고 이렇게 형성된 구간을 따라서 주변에 분포하는 열수 혹은 지표로부터 유입된 지하수로 인해 다양한 종류의 광물을 집적 시킨 것으로 확인된다.

## 고준위 방사성폐기물의 심층처분을 위한 기반암의 수리지질학적 특성 연구

### Study on hydrogeological characteristics of base rock for deep geological disposal of high-level waste

박진영<sup>1</sup>, 장성간<sup>2</sup>, 김창민<sup>2</sup>, 양민준<sup>2,\*</sup>  
Jinyoung Park<sup>1</sup>, Seonggan Jang<sup>2</sup>, Changmin Kim<sup>2</sup>, Minjune Yang<sup>2,\*</sup>

부경대학교 지구환경재해시스템사업단<sup>1</sup>, 부경대학교 지구환경과학과<sup>2</sup>  
 BK21 Plus Project of the Graduate School of Earth Environmental Hazard System,  
 Pukyong National University<sup>1</sup>, Department of Earth Environmental Sciences,  
 Pukyong National University<sup>2</sup>

원자력 발전의 부산물인 고준위 방사성 폐기물은 매우 긴 방사성 핵종의 반감기를 가지기 때문에 수 만년 후에도 생태계에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 고준위 방사성 폐기물의 경우, 방사능의 영향이 없어질 때까지 심도 500 m 이상의 심지층에 처분하여 영구적으로 격리시켜야 한다. 이러한 방사성 폐기물의 안정적인 지층 처분을 위해서는 다양한 부지특성조사가 수반된 부지 선정과정이 필수적으로 요구된다. 일반적으로 부지특성조사는 지표부터 심부까지의 지질 환경을 포함하며, 지질, 수리 지질, 지질공학, 암반역학, 지구화학, 용질 이동 등의 특성으로 구분하여 수행된다. 미국, 스웨덴, 핀란드, 프랑스 등과 같은 선진국가에서도 고준위 방사성 폐기물 처분을 위해 위와 유사한 방법들을 적용하여 부지 선정과정을 수행하였다. 부지특성 중 기반암의 암종은 처분장의 안정성에 있어 매우 중요하다. 이는 처분장의 심부 기반암은 방사성 핵종의 이동과 처분시설로의 지하수 침투를 제한하는 천연방벽 역할을 하기 때문이다. 특히, 기반암의 공극률과 투수율은 지하수 유동에 직접적으로 관여하는 수리지질학적 인자로 부지 선정을 위해 필요한 가장 기초적인 데이터라고 할 수 있다. 국내에서도 연구용 URL 및 심지층 처분장 건설을 계획하고 있지만, 처분 암종을 결정하기 위한 다양한 암종의 수리지질학적 기초 자료가 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 산출되는 저투수성 암종(화강암, 편마암과 이암)을 대상으로 심부 시추(약 1 km)를 통해 회수된 시추코어 시료를 이용하여 심도별 공극률 및 투수율 측정을 수행하였다. 또한 용질 확산 패턴을 이용하여 심도별 이온 농도와 동위원소비를 비교함으로써 암반 내 불연속면의 존재 유무를 파악하고자 하였다. 본 연구 결과는 국내 후보지의 주요 처분대상 암종 및 심도를 결정하기 위한 수리지질학적 기초 자료를 제공해줄 뿐만 아니라 방사성 핵종의 거동 연구에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 고전분자동역학 시뮬레이션을 이용한 세슘-토도로카이트 연구 A classical molecular dynamics simulation study of cesium- todorokite

김주혁<sup>1</sup>, 권기덕<sup>1</sup>  
Juhyeok Kim<sup>1</sup>, Kideok D. Kwon<sup>1</sup>

강원대학교 지질학과<sup>1</sup>  
Department of Geology, Kangwon National University<sup>1</sup>

세슘(cesium, Cs)은 주요 핵분열 생성물이자 고준위 방사성폐기물 중 하나로 자연에 방출될 경우 토양이나 지하수의 심각한 오염을 초래할 수 있다. 최근 2011년 후쿠시마 원전 사고는 대기 및 해양으로 세슘의 누출에 대한 경각심을 불러일으켰다. 방사성폐기물을 처리하기 위해서 많은 연구들이 수행되고 있고, 그 중 터널구조의 산화망간광물(manganese oxide minerals) 중 하나인 토도로카이트(todorokite)가 산성조건에서 세슘에 대해 높은 흡착력을 가진다고 보고되었다. 토도로카이트는 3개의 Mn팔면체로 구성된 기둥이 우각을 공유하여 3×3의 상대적으로 큰 터널구조를 형성하는 광물로 양이온에 대한 흡착력이 높아 미량원소 및 중금속의 순환을 조절하는 중요한 역할을 수행한다. 토도로카이트의 특성을 활용하여 방사성폐기물 처리를 위한 목적으로 많은 연구들이 진행되고 있다. 하지만, 토도로카이트는 결정도가 불량하고 나노 단위의 크기로 산출되기 때문에 실험적으로 결정구조와 양이온과의 상관관계 연구에는 한계가 존재한다. 이번 연구에서는 원자 수준에서의 연구가 가능한 고전분자동역학 시뮬레이션(classical molecular dynamics simulation) 방법론을 사용하여 토도로카이트와 내부 양이온 구조를 규명하고자 한다. 시뮬레이션에서 사용되는 원자 간의 상호작용을 묘사하는 가변변수는 최근 우리 실험실에서 개발한 산화망간에 특화된 힘 장(force field)을 사용하였다. 이론적 계산으로 얻은 토도로카이트의 격자상수와 원자간 거리는 기존 실험에서 보고된 결과와 일치하여 시뮬레이션의 높은 신뢰성을 확인하였다. 토도로카이트 터널 내부에 다양한 양이온(Mg<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>)을 함유시킨 구조를 분석한 결과, 물 분자와의 배위환경에 따라 양이온들이 점유하는 위치가 다른 것을 확인하였으며 물과의 상호작용이 양이온의 위치에 영향을 미치는 것으로 추측된다. 물의 함량을 증가하며 시뮬레이션을 진행한 결과, Cs<sup>+</sup>를 제외한 모든 양이온은 터널 중앙에 일렬로 배열되는 경향을 보여 물의 영향을 크게 받는 것으로 판단된다. Cs<sup>+</sup>는 다른 양이온들과는 다르게 물의 함량에 관계없이 항상 터널의 표면 근처에 위치하며, Cs<sup>+</sup>의 위치는 물의 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다. Cs<sup>+</sup>는 터널 표면에서 Mn 팔면체의 산소와 배위하는 것이 관찰되며, 터널 내부 공간에서 inner-sphere complex를 형성할 가능성이 있다고 판단된다. 고전분자동역학 시뮬레이션 결과, 각 양이온 마다 토도로카이트와 다른 구조를 형성하는 것을 확인하였으며 토도로카이트는 Cs<sup>+</sup>를 제거하는데 효과적일 가능성이 있다고 판단된다.

THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

SS-06

지구과학 현장자료의  
보존과 활용



## 지질공원과 연계한 ‘지구과학 창의적 체험학습’ 운영

권홍진  
Hong Jin Kwon

판곡고등학교<sup>1</sup>  
 Pangok High School<sup>1</sup>

경기도중등지구과학교육연구회에서는 2015년부터 한탄강국가지질공원(연천, 포천), 포천아트밸리, 시화호공룡알화석지에서 ‘지구과학 창의적 체험학습’을 진행해오고 있다. ‘지구과학 창의적 체험학습’은 학교 교육과정과 지질공원과 연계한 지질체험학습프로그램이다. 연구회에서는 연구회원 선생님들과 지질학습을 할 수 있는 곳을 야외학습장으로 개발하여 학생 체험 프로그램을 개발하였다. 경기도 중.고등학교에 공문을 발송하여 신청학교를 접수받은 후, 강사를 선정하여, 지질공원에서 프로그램을 진행하였다.

각각의 지질공원에서의 프로그램을 보면, 한탄강지질공원(연천)에서는 은대리 지역 지질답사, 재인폭포 지질답사, 배개옹암, 물문화관탐방, 전국선사박물관 탐방으로 진행된다. 한탄강지질공원(포천)에서는 비둘기낭폭포, 하늘다리, 화적연, 한탄강지질공원센터 탐방으로 진행된다. 두 지역에서는 현무암과 화강암의 관찰, 다양한 지질구조의 형성과정을 토의하고, 한탄강 지역 지질의 형성과정을 추론하는 활동을 진행한다. 포천아트밸리에서는 화강암 관찰, 다양한 지질구조를 관찰하고, 천문대에서 오늘밤의 밤하늘과 태양관측을 진행한다. 또한 실내 프로그램으로 다양한 암석분류와 암석관찰을 통해 다양한 암석의 형성과정을 학습하게 된다. 시화호공룡알화석지와 음섬에서는 퇴적암과 화강암, 변성암, 다양한 지질구조를 관찰하고 시대별 암석의 형성과정을 추론하는 활동을 진행하고 있다.

2015년부터 2019년까지 ‘지구과학 창의적 체험학습’에 참여한 학교는 513학교이고, 참여한 학생과 교사는 17,387명으로 참여 학교 수는 매년 증가하고 있다. 각 지질공원 별로는 시화호공룡알화석지 174학교, 5881명, 한탄강지질공원(연천) 102학교, 3671명, 한탄강지질공원(포천) 119학교, 4044명, 포천아트밸리 118학교, 3791명이 참여하였다. 경기도에서 진행되고 있는 ‘지구과학 창의적 체험학습’은 여러 국가지질공원의 지질교육프로그램에 좋은 모범이 될 것이다.

## 경남 하동군 대도 화석산지 조사 및 지질유산 활용 방안

김태완<sup>1</sup>, 김경수<sup>2</sup>, 류춘렬<sup>3</sup>

국립대구과학관<sup>1</sup>, 진주교육대학교<sup>2</sup>, 한국지질환경연구소<sup>3</sup>

경남 하동의 대도는 중생대 전기 백악기 지층인 하산동층이 분포하는 곳으로 이 지역을 연구한 결과 대도 전체 해안가 약 5km를 따라 모두 26곳에서 화석산지를 발견하였으며, 기존의 연구에서 알려진 화석이외의 다양한 화석이 산출되었다. 척추동물 화석으로는 공룡이빨 1점, 익룡의 날개뼈로 추정되는 화석과 파편상의 척추동물 골격 화석, 그리고 거북 두개골로 추정되는 화석이 거의 완전한 형태로 발견되었다. 무척추동물 화석으로는 이매패류(*Plicatounio* sp., *Schistodesmus* sp. 및 *Trigonioides* sp.)와 복족류(*Brotiopsis kobayashi*, *Viviparus* sp.) 등의 화석이 산출된다. 또한 수각류, 조각류, 익룡발자국 화석과 공룡알 화석이 관찰되었으며 무척추동물의 생흔 화석과 갑각류의 분화석, 목재 화석 등이 발견되었다.

대도의 퇴적 환경은 하천 범람에 의한 세립질 퇴적물의 부유 퇴적 작용이 활발한 충적 평원으로서 간헐적으로 사질의 층상류와 사질 또는 역질의 하도 작용이 수반되었던 것으로 해석된다. 세립질 퇴적층에 다량의 탄산염 물질을 포함하고 있어 당시 기후는 건조 또는 반건조 환경이 우세하였으며 보다 습윤한 기후가 간헐적으로 발생하였던 것으로 추정된다.

대도 해안을 따라서 파식 대지, 파식 절벽, 해변, 조간대 및 육계사주 등의 다양한 해안 지형이 발달하고 있으며, 본 연구를 통해 발견된 대도의 화석산출 지점들을 연계하면 훌륭한 지질교육 관광자원으로 활용할 수 있을 것이다.

## 평창 바위공원을 활용한 스토리텔링 수업 사례 Storytelling Lesson Using the Pyeongchang Rock Park

이경원  
KyoungWon Lee

평창고등학교  
PyeongChang High School

강원도 평창군은 강원도의 중남부, 태백산맥의 줄기에 위치하고 있다. 지질학적으로는 선캄브리아기 편마암류, 고생대 조선누층군과 평안누층군, 중생대 트라이아스기, 쥐라기 화강암류 등 다양한 암석이 분포하고 있다.

평창군에서는 평창 지역을 개발하는 과정에서 발견된 다양한 형태의 바위들을 수습하여 국내 최대의 '평창 바위공원'을 조성하였다. 이 바위공원에는 2-140톤 규모에 이르는 123개의 바위들이 전시되어 있는데, 형상에 따라서 거북바위, 두꺼비 바위, 선녀 바위 등으로 불린다. 평창 바위공원은 평창을 찾는 관광객을 위한 관광지로 조성되었으나, 평창의 다양한 암석을 관찰할 수 있는 훌륭한 지구과학 스토리텔링 학습 공간으로도 활용될 수 있는 조건을 갖추고 있다.

이에 지구과학 스토리텔링 수업에서는 123개에 이르는 다양한 암석들을 소재로 1) 암석의 종류 및 명칭, 2) 암석의 생성 시기와 생성 과정, 3) 암석의 발견 장소 등을 학습하고, 4) 이를 통해 평창군의 지질을 이해하는 계기로 삼았다. 또한 단순히 지질도와 암석을 알아보는 것에 그치지 않고, 각자 임의의 암석을 선택하여 5) 스토리를 입히는 과정을 수행하였으며, 항공사진에 맵핑(mapping)하기, 바위공원 해설서 제안하기, 바위공원 개선 방안 제안하기, 학생들이 기획하고 진행하는 바위공원 축제 개최하기 등 교과 지식-학생-지역사회를 연결해 보고자 하였다.

이는 학생들이 내 고장에 대해서 각자의 시선과 관심으로 바라보고 개개인의 재능이 지역 지질명소에 적용됨으로써 중요한 지질-문화-관광 콘텐츠가 되어 지역 문화로 자리매김할 수 있을 것으로 판단된다.

## 고고유적에서 지질학적 가치가 있는 유산에 대한 보존과 활용방안

신승원

부산대학교 지질환경과학과

최근들어, 기후변화에 대한 전세계적인 관심이 증가하고 있으며, 지구환경변화에 대응하기 위한 연구가 매우 활발히 진행중에 있다. 이렇듯 지구는 끊임없이 변화하고 있으며, 인류가 출현한 이후 지구 환경변화와는 밀접한 관련이 있다. 제4기 동안의 빙하기와 간빙기의 주기적 변화는 인류 생활에 직접적인 영향을 미쳤을 것이다.

국내에 고고지질학이라는 개념은 1990년대 후반으로 얼마 지나지 않았으며, 주로 구석기 유적의 연대측정에 주로 활용되어져 왔다. 이후 가마터와 노지에 대한 고고지자기 측정이나 산성 혹은 지석묘, 옥, 흑요석 등의 암석에 대한 산지추정 연구, 일부 퇴적환경 변화에 대한 연구가 일부 진행되어져 왔다. 그러나 국내 발굴되는 유적지의 매우 일부만이 고고지질학적 분석을 하고 있으며, 국제적으로 소개되는 경우는 매우 드문편이다. 이러한 원인으로는 고고학과 지질학에 오는 학문적 경향 차이가 있으며, 서로에 대한 신뢰가 높지 않은 것도 하나의 원인으로 작용하고 있다.

그럼에도 불구하고 고고학 발굴 지역에서의 지질학적 가치가 높은 유산들이 존재하고 있다. 예를들어 가마터와 주거지의 노지의 경우는 모든 사이트에 대한 분석이 이루어 진다면 한반도에 맞는 자기 곡선을 완성할 수 있으며, 나아가 세계적인 지자기 방향 연구에 크게 이바지할 수 있을 것이다. 또한, 유적에서 발굴되는 석기와 토기의 연대를 측정한다면, 고고학적 편년과 자연과학적 분석 결과의 신뢰도를 높일수 있는 기회가 제공될 것이다. 나아가 유적의 생성과 소멸에 관한 퇴적학적 연구 결과는 제4기 퇴적환경 연구에 많은 도움이 될 것이다.

이러한 고고지질학적 발전을 위하여 발굴조사기관 혹은 문화재청과의 협의가 매우 중요할 것이며, 나아가 법제화의 노력이 필요할 것이다.

## 발자국 화석의 응급 보존 처리를 위한 풍화 양상과 물리적 특성 검토 Review of Weathering Characteristics and Physical Properties for the Conservation Treatments of the Fossil Footprints

김경수<sup>1</sup>, 배슬미<sup>2</sup>  
Kyung Soo Kim<sup>1</sup>, Seul Mi Bae<sup>2</sup>

진주교육대학교<sup>1</sup>, 진주교육대학교부설 한국지질유산연구소<sup>2</sup>  
Chinju National University of Education<sup>1</sup>, Korea Insititute of Geoheritage<sup>2</sup>

최근 진주 지역의 대규모 발자국 화석을 발굴 및 조사, 보존하는 과정에서 발자국 화석 표본을 풍화 작용으로부터 보호하기 위한 과학적 보존 처리의 필요성이 대두되었다. 특히 발자국 화석의 현장 보존을 위해서는 1차적인 과학적 보존 처리가 필수적이며, 발굴 기간이 소요되는 발자국 화석에 대해서도 응급 보존 처리 후 발굴하여 안전하게 운반하는 것이 매우 중요하다. 따라서 발자국 화석의 발굴 과정 중에 화석 표본 원형을 유지하기 위한 응급 보존 처리 방법 적용을 위해서 퇴적암의 풍화 양상과 고고 문화재 보존에 사용되는 강화처리제와 관련된 물리적 특성들을 검토하였다.

발자국 화석을 발굴하여 수장고로 이동하는 동안에는 필연적으로 야외에 노출된 상태가 일정 시간 지속된다. 발굴 과정을 통해 드러난 발자국 화석은 조구조적 환경에 의해 형성된 수직 균열과 층리면을 따라 발생하는 수평 균열, 상부 압력 제거로 인한 박리·박락 및 미세 균열이 존재하고, 발굴 과정에서 가해지는 다양한 충격과 압력 등에 의한 파쇄 현상 등의 물리적 손상을 받는다. 또한 빗물과 같은 물의 작용은 균열을 따라 침투하면서 광물을 용해·변질시켜 화학적 풍화를 촉진하며, 동결과 해빙의 물리적 풍화에도 기여한다. 빗물의 이러한 요소는 퇴적암의 풍화를 급속하게 진행시키는 결정적인 작용을 한다.

고고 문화재 분야에서는 석기, 석탑, 토기, 청동기, 철기, 목재, 벽화 등 다양한 재질을 보존하기 위해 적용되는 강화처리제를 사용한다. 이때 그 효과를 검증하기 위해서 확인하는 물리적 특성은 1) 강화처리제의 도포 상태(코팅 박막의 두께와 접착력), 2) 광택 여부, 3) 미세 조직 관찰(현미경과 SEM), 4) 함수율, 5) 표면 경도 테스트, 6) 열적외선 조사(照射) 실험, 7) 침수 실험, 8) 자외선 조사(照射) 실험, 9) 강화제 침투율, 10) 밀도와 공극율, 11) 발수성(표면 에너지), 12) 색상 변화, 13) 강도 향상 효과, 14) 염을 이용한 촉진 열화 시험(내구성 풍화 실험) 등이다.

이와 같은 상황에서 발자국 화석 발굴 조사에서 요구되는 필수적인 보존 처리 유형은 표면 세정, 균열부 접합, 강화처리 과정이다. 강화처리제에 의한 보존 처리는 1) 표면 경도 향상, 2) 강화제의 효율적 침투, 3) 발수성 향상, 4) 암석 강도 향상의 조건을 만족하여야 한다. 이외의 다양한 암석 균열은 충전제 적용 또는 접착제를 이용한 균열부 접합이 필요하다.

## 백악기 척추동물 발자국 화석산지 발굴 현장의 응급 보존 처리 사례

### Cases of the Conservation Treatments during the Excavation of the Cretaceous Vertebrate Tracksites

김경수<sup>1</sup>, 배슬미<sup>2</sup>, 강지원<sup>3</sup>  
Kyung Soo Kim<sup>1</sup>, Seul Mi Bae<sup>2</sup>, Ji Won Kang<sup>3</sup>

진주교육대학교<sup>1</sup>, 진주교육대학교부설 한국지질유산연구소<sup>2</sup>, 경북대학교<sup>3</sup>  
 Chinju National University of Education<sup>1</sup>, Korea Institute of Geoheritage<sup>2</sup>,  
 Kyungpook National University<sup>3</sup>

중생대 백악기 진주층이 분포하고 있는 진주 지역에서는 지난 10여 년간 대규모 개발 공사가 진행되었고, 『환경영향평가법』에 따른 사후환경영향조사 및 『문화재보호법』의 절차에 따라 화석 조사가 실시되었다. 이로 인해 세계 최대 규모의 화석들이 발견되었다. 첫 번째는 세계 최대 규모의 대규모 익룡 발자국 화석산지가 발견되어 천연기념물 제539호 진주 호탄동 익룡·새·공룡 발자국 화석산지로 지정되었고, 두 번째는 세계 최대 규모의 육식 공룡 발자국 화석산지로 인정되어 지정 여부를 검토하고 있는 중이다.

보존 상태가 훌륭한 발자국 화석들은 주로 세일이나 실트 또는 이질 사암 등의 층리면에 보존되어 있다. 중요한 학술적 가치를 지닌 발자국 화석일수록 그 구성 암석은 세립질인 경우가 많고, 이는 상대적으로 풍화에 약한 특성을 보인다. 따라서 발굴 과정과 화석산지의 현장 보존을 위해서 응급 보존 처리를 실시하였다. 발굴 과정에서 적용된 응급 보존 처리 과정은 표면 세정, 강화처리제 도포, 균열부 접합 작업 순으로 진행되었다. 표면 세정 작업은 발자국 화석이 보존된 층리면 상부의 퇴적암을 완전히 제거한 후 고압 분사기를 이용하여 잔여물들을 제거하는 것으로 습식 세정 방식으로 진행하였다. 강화처리제 도포는 암석의 강도를 향상시키기 위해서 Paraloid B-72와 OH-100을 사용하였으며, 각각 4회 이상 도포하면서 1회 도포시 암석 내부로 충분히 스며들 수 있는 시간을 확보하였다. 두 종류의 강화처리제는 화석을 포함하는 퇴적암의 강도를 향상시키는 데 효과가 있는 것으로 판단된다. Paraloid B-72의 경우는 과다 도포시 빛을 반사하는 광택 현상이 나타난다. 이는 3D 레이저 스캐닝 작업을 불가능하게 함으로 사용에 주의할 필요가 있다. OH-100은 기존 연구 결과와 동일하게 암석 강도 향상 효과가 있었으며, 발수성, 침투성이 좋은 것으로 판단되어 발자국 화석산지 발굴 조사시 응급 보존 처리 시에 적절한 것으로 판단된다. 강화처리제 도포 후 암석의 미세 균열, 수직 균열, 수평 균열을 접합하기 위해서 석재용 순간접착제인 엑시아 CA-91G를 사용하였다. 균열 접합 작업은 발굴 조사 과정 중 필요하다고 판단되는 경우에 수시로 실시하여야 한다. 또한 발굴 조사 과정에서는 화석산지에 천막을 덮어 빗물에 의한 수분 유입을 철저히 차단하는 것이 화석의 보존을 위해 필수적이다.

## 지구과학 교육을 위한 자연학습장의 보존과 활용 Preservation and utilization of the outdoor classroom for earth science education

박정웅  
JeongWoong Park

승문고등학교  
Soongmoon High School

2015 개정 교육과정에서 ‘과학’은 모든 학생이 과학적 탐구 능력과 태도를 함양하여 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결할 수 있는 과학적 소양을 기르기 위한 교과이다. ‘과학’ 교과에서는 다양한 탐구 중심의 학습을 강조한다. 학생은 탐구 학습을 통해 기본 개념을 이해하고, 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력 등을 기른다(교육부, 2015).

자연을 대상으로 학습하는 ‘지구과학’에서 학생들은 실험, 탐사 및 조사, 자료 수집, 해석과 토론 등의 다양한 학습 방법을 사용하여 새로운 과학 지식을 얻거나 탐구 방법을 배운다. 이 목표를 달성하기 위해서 지구과학 교육을 위한 좋은 자연학습장이 갖추어져야 하고, 적합한 탐구 활동 자료가 준비되어야 한다. 지질명소는 초등학교 3~4학년부터 고등학교 3학년(K3~12)까지 과학 교과에서 다룬다. 우리나라는 자연공원(국립공원, 도립공원, 지질공원)을 지정하여 운영하고 있다(환경부 자연공원법, 2011년 개정). 현재 우리나라에는 22개 국립공원, 10개 국가지질공원이 있는데, 그 중 3곳이 UNESCO 세계지질공원으로 인증되었다. 국립공원이나 국가지질공원의 지질명소를 탐방할 때는 운영기관에서 발행한 다양한 탐구활동 안내서를 이용하면 좋다(박정웅 외, 2017, 2018, 2019, 녹색지구환경연구소, 2018). 아직 국가지질공원 인증을 받지 않았으나 인증을 준비하고 있는 지역이 10여개 있고, 일부는 심사가 진행 중에 있다.

국가지질공원은 다양한 하천과 해안 지형, 공룡화석지 등 지질명소를 교육과 관광 사업으로 활용하는 프로그램이다. 국가지질공원으로 인증된 지역은 방문객이 급증하여 지역 경제 활성화에 크게 기여하고 있다. 지질명소로 알려진 이후 탐방객이 부쩍 늘어난 제주 수월봉, 경기도 연천, 포천, 화성, 공룡엑스포 개최로 성공한 경남 고성 등은 자연 환경 보존과 활용이 지역 경제 활성화에 기여할 수 있음을 증명하고 있다. 다양한 지형과 지질이 분포하는 지질명소, 공룡화석 등 화석 명소는 자연학습장으로 가치가 높아 잘 보존하고 활용하면 국내 관광지뿐 아니라 세계적인 관광지로 발전할 수 있다. 자연은 학생은 물론 어른들에게도 평생학습장으로 충분한 기능을 갖고 있고, 교육과 관광명소로 활용될 수 있어서 지역 경제 발전에 큰 도움이 된다.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

SS-07

독도



## 독도의 지속가능한 이용 및 보전연구 현황과 향후 과제 Research for Sustainable conservation and development of Dokdo

박찬홍  
ChanHong Park

한국해양과학기술원 동해연구소  
독도전문연구센터  
East Sea Research Institute Korea Institute of Ocean Science&Technology

한국해양과학기술원은 2006년 국가 독도전문연구기관으로 지정되어 독도전문연구센터를 설치 운영하고 있으며 「독도의 지속가능한 이용에 관한 법률」에 의거 “독도의 지속가능한 이용 연구” 사업을 2006년부터 현재까지(2019년 3단계 4차년도) 수행중이다. 본 사업의 목적은 독도 주변해역에 대한 과학조사를 통해 1) 독도와 독도 주변해역에 대한 자료 확보 및 데이터베이스화, 2) 독도 주변 해양생태계 환경특성 규명과 생태환경 보전 및 관리기반 구축, 3) 독도에 대한 새로운 정보 및 성과 확산 등이다. 이를 위해 독도 주변해역의 해양생태계 및 서식지 장기모니터링, 생물다양성 연구, 연안환경 변화에 따른 생물영향 연구, 수중생태지도 작성, 해저 영토요소 조사 및 맵핑 등 다양한 분야에 걸쳐 종합해양과학조사를 수행해왔다. 또한 축적된 데이터를 기반으로 독도 4D 종합시뮬레이터 구축 및 운영, 독도관련 국가정책수립 지원, 유관기관과의 협력체제 구축, 독도관련 정보의 대국민 서비스 제공 등의 주요 역할을 수행하고 있다. 이러한 연구들을 통하여 독도에 대한 중요한 과학적 성과를 도출함은 물론 독도의 지속가능한 보전·관리에 필요한 토대 마련과 독도에 대한 학술적 발견 및 독도 영토주권 강화에 크게 기여할 것이다. 한편으로 국민들에게는 독도의 실체를 이해하고 독도의 가치와 중요성을 인식하는데 도움을 주게 될 것이다.

## 독도 화산쇄설암의 입자조성과 분화과정

손영관, 박선인

경상대학교 지질학과

독도는 섬의 크기에 비해 매우 거대한 평정해산이 해저에 자리 잡고 있는 대형화산의 잔존체이다. 따라서 수면 위에 드러난 화산체로부터 얻을 수 있는 정보는 매우 제한적이다. 하지만 독도에 대한 반복적인 야외조사와 화산쇄설암에 대한 상세한 암석기재가 진행됨에 따라 독도의 분출과정에 대한 새로운 사실들이 속속 드러나고 있다. 현재 독도의 하부를 이루고 있는 화산쇄설암은 동도응회암과 서도응회암으로 구분되어 있다. 과거 동도응회암은 해저에서 쇄설류에 의해 주로 퇴적되었던 반면 서도응회암은 화성쇄설성밀도류에 의해 대기 하 환경에서 퇴적된 것으로 해석된바 있다. 이러한 퇴적작용 및 퇴적환경의 차이 외에도 동도응회암과 서도응회암은 현격한 입자조성의 차이를 지니고 있다. 동도응회암은 현무암질 암편이 월등히 우세한 반면 서도응회암은 다량의 조면암질 암편을 지니고 있어 서로 다른 기반에서 화산물질이 유래하였던 것으로 보인다. 즉 동도응회암과 서도응회암은 서로 다른 근원화구에서 유래하였을 가능성이 높다. 동도응회암의 하부 지층은 다량의 부석편과 산성 유리질 화산회를 포함하고 있어 색깔이 밝은 반면 상부 지층은 현무암질 물질로만 이루어져 있어 암갈색 또는 적갈색을 띠고 있다는 점도 새로이 확인되었다. 동도응회암 하부의 부석편과 유리질 화산회는 현 독도화산체 이외의 장소에 만들어진 또 다른 분화구에서 공급되었을 가능성이 높다. 결론적으로, 독도 하부의 화산쇄설암을 형성시키고 화산물질을 공급한 근원화구는 최소한 세 개였으며, 이들이 동시기에 또는 순차적으로 활동하며 독도 하부의 화산쇄설암을 육상과 해저에 쌓은 것으로 보인다. 이러한 해석은 독도가 하나의 분화구를 중심으로 성장한 단순한 원추형 화산체가 아니라 다양한 조성의 마그마를 분출시킨 여러 분화구의 복합체였음을 의미한다는 점에서 독도의 화산분화사 재구성에 시사하는 바가 크다.

## 광물학적 분석을 통한 독도 심해저 퇴적물의 고퇴적 환경 유추 Tracking the paleo-depositional environment in the deep-sea sediments around Dokdo Island by using mineralogical characteristics

이기환<sup>1</sup>, 김창환<sup>2</sup>, 박찬홍<sup>2</sup>, 양기호<sup>2</sup>, 김진욱<sup>1</sup>  
Kee Hwan Lee<sup>1</sup>, Chang Hwan Kim<sup>2</sup>, Kiho Yang<sup>2</sup>, Chan Hong Park<sup>2</sup>,  
Jinwook Kim<sup>1</sup>

연세대학교 지구시스템과학과<sup>1</sup>, 동해연구소 독도전문연구센터<sup>2</sup>  
Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul, Korea<sup>1</sup>, Dokdo  
Research Center, East Sea Research Institute, Korea Ocean Research &  
Development Institute, Uljin, Korea<sup>2</sup>

동해 독도 근해 심해저 퇴적물의 점토광물 분석을 포함한 광물학적 분석은 독도 주변 퇴적환경 변화 및 성인을 이해하는데 중요한 데이터로 이용될 수 있다. 최근에 코어 시추를 진행했던 지역 (132° 00.371', 37° 24.252')은 퇴적물이 많이 퇴적되는 분지로 퇴적상, 입도 분포, 광물학적 분석, 점토광물의 분석, 점토광물의 상대적 함량을 이용하여 고환경 이해 및 광물학적/생화학적 데이터 베이스 구축을 위하여 조사되었다.

독도 주변의 고기후 및 고퇴적 환경의 변화는 간빙기, 빙하기 후기, 빙하기에 따라 다른 광물학적 특징을 보여준다. X-선 회절분석을 통해서 빙하기 후기와 빙하기의 경계 부분에서는 망간 탄산염 광물이 측정되었다. 이러한 망간 탄산염 층은 환원환경에서 산화환경으로 변화를 지시한다. 망간 탄산염 층의 하부인 빙하기 때는 총리 니가 주 퇴적상을 이루고 있어 환원환경임을 잘 보여주고 있다. 반면에, 빙하기 후기와 간빙기에 해당되는 상부는 생교란된 니가 주를 이루고 있어 산화환경임을 잘 보여주고 있다. 퇴적물 내의 입자 크기를 모래, 실트, 점토로 구분하였고, 깊이 별 입도 분포의 함량 변화가 코어의 퇴적상과 일치하는 결과를 보여주었다. 간빙기와 빙하기 후기에는 입자가 작은 생교란된 니가 주 퇴적상을 이루고 있지만, 빙하기 때는 입자가 비교적 큰 총리 니가 주를 이루고 있다. 또한, 간빙기에서의 높은 퇴적률은 원양에서 뿐만 아니라 다른 곳에서의 퇴적 가능성을 암시하고 있다.

스멕타이트, 일라이트, 녹니석, 고령석같은 점토광물의 상대적 함량 변화는 빙하기와 간빙기 사이의 고퇴적 환경이 변했음을 지시한다. 빙하기 후기는 빙하기에 비하여 스멕타이트가 더 증가했고, 일라이트는 감소했다. 간빙기는 빙하기 후기에 비해 스멕타이트가 약간 감소하고, 일라이트는 약간 증가하였다. 이러한 점토광물 함량의 변화는 기원지의 변화와 연관되어 있다.

## Geochemistry of minerals grown from melt inclusions in the Dokdo and Ulleungdo volcanic rocks

문인경<sup>1</sup>, 이현우<sup>2</sup>, 성동훈<sup>3</sup>  
Inkyeong Moon<sup>1,2</sup>, Hyunwoo Lee<sup>1</sup>, Donghoon Seoung<sup>3</sup>

서울대학교<sup>1</sup>, 한국기초과학지원연구원<sup>2</sup>, 전남대학교<sup>3</sup>  
Seoul National University<sup>1</sup>, Korea Basic Science Institute<sup>2</sup>,  
Chonnam National University<sup>3</sup>

We report mineral phases grown in melt inclusions hosted in phenocrysts of the Dokdo and Ulleungdo volcanic rocks using Raman spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), electron probe microanalysis (EPMA), and X-ray diffraction (XRD). Melt inclusions are small glassy blobs of melts which were trapped in host minerals during magmatic differentiation by crystal fractionation. Melt inclusions provide information about volatile contents, initial trapping temperature, cooling rate, primitive melt compositions, and the sequence of crystallization phase changes. Also, secondary minerals and bubbles are shown in melt inclusions due to slow cooling in association with diffusive reaction. In this study, we found amphiboles, Fe-Ti oxides, and pyroxenes in pyroxene phenocrysts. Our results show that post-entrapment processes are common in the melt inclusions of the Dokdo and Ulleungdo samples on the basis of characterizing mineral phases and geochemical features.

## 2018년 봄철 동해 식물플랑크톤의 번무 특징과 독도 주변해역의 사계절 식물플랑크톤 동태

### Spring phytoplankton bloom of East Sea and Seasonal phytoplankton dynamics in offshore water of Dokdo, 2018

이민지, 김윤배, 강정훈, 박찬홍, 백승호

Minji Lee, Yun-Bae Kim, Jung-Hoon Kang, Chan Hong Park, Seung Ho Baek

한국해양과학기술원

Korea Institute of Ocean Science & Technology

본 연구는 2018년 춘계 동해 울진-울릉도-독도 해역의 식물플랑크톤 번무 특징과 함께 지리적인 이유로 부유생물 생태연구가 상대적으로 다수 진행되지 않은 독도 주변 연안 해역에서 계절적 환경 특성 및 부유생물 식물플랑크톤 군집구조 변화 특성을 파악하고자 하였다. 춘계 동해의 28개의 정점에서 표층조사를 수행하였고, 울진-울릉도 해역은 조사 7일 후 반복 조사를 실시하였다. 독도 주변 연안 5개 정점에서 4계절 수직조사를 수행하였다. 춘계 동해 해역에서는 연안에서 은편모조류와 규조류가 번무하였으며, 외해에서는 매우 낮은 생물량을 보였다. 하지만 7일 경과 후 울진-울릉도 해역에서 *Pseudo-nitzschia delicatissima*와 *Akashiwo sanguinea*가 크게 번무하였다. 독도 해역에서는 총 4문 72종의 식물플랑크톤이 출현하였으며, 4 계절 평균 식물플랑크톤 현존량은  $2.38 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>로 낮은 값을 보였다. 동계 평균 식물플랑크톤 개체수는  $3.32 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>로 비교적 높은 개체수를 보였다. 종조성은 규조류 *Chaetoceros lorenzianus*, *C. pseudocurvisetus* 등이 우점하였다. 춘계 개체수는  $1.04 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>로 춘계임에도 매우 낮은 개체수를 보였다. 종조성은 다양한 종류의 nano-flagellate가 출현하였다. 하계는 식물플랑크톤 개체수가  $0.28 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>로 낮았으며, *Chaetoceros* spp., *Guinardia striata*, *Rhizosolenia* spp., *Skeletonema* spp.가 출현하였다. 추계는 가장 다양한 식물플랑크톤이 출현하였으며, 평균 개체수는  $4.86 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>, 규조류 *Pseudo-nitzschia* spp.가 크게 번무하여 가장 높은 생산력을 보였다. 또한, 종조성에서 특이적으로 열대 지표종인 와편모조류 *Amphisolenia* sp.와 *Ornithocercus magnificus*가 출현하여, 쓰시마난류가 추계에 강하게 유입된 것을 시사할 뿐만 아니라, 이들의 출현으로 과거에 비해 해류와 기후가 변화한 것으로 사료된다. 따라서 독도의 지속가능한 이용을 위해서 독도를 중심으로 지속적인 물리-화학적 연구와 함께 생물학적 연구를 실시하여 독도연안 생태계 변화 추이를 장기간 관찰할 필요가 있다.

감사의 글 : 이 연구는 해양수산부의 연구과제 "독도의 지속가능한 이용연구(PG51010)"의 지원을 받아 수행되었음

## 수중생태지도를 이용한 독도 연안생태 보존 Conservation of the coastal ecosystem of Dokdo, Korea by Eco-mapping

명정구, 노현수, 민원기, 박찬홍  
Jung-Goo MYOUNG, Hyun Soo Rho, Won Gi Min, Chan Hong Park

한국해양과학기술원  
Korea Institute of Ocean Science & Technology

독도의 연안 생태보전을 위한 수중탐사 활동은 1990년대 중반부터 추진되어 오고 있다. 독도 연안 수중조사는 연안에 서식하는 해양생물종 다양성과 해양환경의 계절 변화에 따른 생태종의 분포 및 피도 변화에 대한 장기모니터링 등 다양한 분야의 연구들이 진행되었다.

생태지도는 독도 연안의 생태를 이해하고 분석하기 위한 장기모니터링의 일환으로 조사 방법의 표준화와 일관성있는 자료의 장기축적을 위한 하나의 방법이기도 하다. 지난 2008년 이후 2018년까지 독도 연안 총 10개 정점의 생태지도가 완성되었다. 최근 갯녹음 현상이 나타났던 독도연안 정점 중 해녀바위에서는 갯녹음의 진행과정과 회복현상이 수중 생태조사 과정에서 확인되고 있어 생태지도는 독도 연안생태와 수중경관을 널리 알리고 장기적인 보존을 위한 유효한 방법으로 생각되었다.

감사의 글 : 이 연구는 해양수산부 용역사업(‘독도의 지속가능한 이용 연구’)으로 수행되었음.

## 독도 주변 표층혼합층에서 중형동물플랑크톤의 장기간 분포특성

강정훈<sup>1,2</sup>, 김민주<sup>1,2</sup>, 권오윤<sup>1</sup>  
 Jung-Hoon Kang<sup>1,2</sup>, Minju Kim<sup>1,2</sup>, Oh Youn, Kwon<sup>1</sup>

한국해양과학기술원 위해성분석연구센터<sup>1</sup>, 과학기술연합대학원대학교 해양과학과<sup>2</sup>  
 Risk Assessment Research Center, South Sea Research Institute, KIOST<sup>1</sup>,  
 Department of Ocean Science, Korea University of Science and Technology<sup>2</sup>

동해에 위치한 독도 주변해역에서 중형동물플랑크톤 군집의 장기간(2006-2015년, 2017-2018년) 분포특성을 조사하였다. 동물플랑크톤 시료는 고정정점(정점 16, 20, 30, 45, 47, 50)에서 수심 100 m까지 표준네트로 수직예인하여 획득하였다. 조사기간 중 관찰된 중형동물플랑크톤 평균 개체수는 2006년(157 개체/m<sup>3</sup>)부터 2018년(3,631개체/m<sup>3</sup>)까지 증가추세를 나타냈다. 2006년부터 2010년까지 개체수는 약 1.9배 소폭 증가하였고, 2010년부터 2018년까지는 약 4.0배 대폭 증가하였다. 장기간 개체수 증가를 주도한 종은 야광충, 살파류, 요각류(*Clausocalanus* sp., *Paracalanus* sp.)였다. 2016년을 제외한 장기간(2006-2018년) 조사를 매년 수행하였지만 매해 조사한 계절은 달랐다. 총 22회 조사 중 봄철 7회, 여름철 9회, 가을철 2회, 그리고 겨울철 4회를 수행하였다. 봄철에는 요각류 미성숙체와 소형요각류인 *Pseudocalanus minutus*의 수가 많았고, 여름철에는 야광충, 탈리아류(*Doliolum nationalis*), 요각류(*Paracalanus parvus* s.l.), 그리고 지각류(*Penilia avirostris*)의 수가 많았다. 겨울철에는 요각류(*Oithona similis*, *P. parvus* s.l.)가 장기간 개체수 증가를 주도한 것으로 파악된다. 예외로 가을철은 2회(2009-2010년) 조사로 장기간 분포특성 추세를 설명하기 부족하였다. 2008년 이후 나타난 야광충 대발생과 같은 특이 현상들이 일시적인지 혹은 생태계 구조변화로 인해 일어나는 현상인지 대해 지속적인 종합조사를 통해 해석할 필요가 있다.

감사의 글 : 이 연구는 독도의 지속가능한 이용연구 과제의 지원을 받아 수행되었음



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

SS-08

자연지진과 유발지진



## 포항지진 정밀 진원 결정을 위한 1차원 속도 모델 개발 Development of an 1D velocity model for determining precise hypocenters of the Pohang earthquakes

김민욱<sup>1</sup>, 우정웅<sup>2</sup>, 강태섭<sup>1</sup>, 이준기<sup>2</sup>, 신동훈<sup>3</sup>, 편석준<sup>4</sup>  
Minook Kim<sup>1</sup>, Jeong-Ung Woo<sup>2</sup>, Tae-Seob Kang<sup>1</sup>, Junkee Rhie<sup>2</sup>,  
Dong-Hoon Sheen<sup>3</sup>, Sukjoon Pyun<sup>4</sup>

부경대학교<sup>1</sup>, 서울대학교<sup>2</sup>, 전남대학교<sup>3</sup>, 인하대학교<sup>4</sup>  
Pukyong National University<sup>1</sup>, Seoul National University<sup>2</sup>,  
Chonnam National University<sup>3</sup>, Inha University<sup>4</sup>

2017년 11월 15일 규모( $M_w$ ) 5.5 포항지진과 지열발전 시스템 개발을 위한 지중 유체 주입의 연관성을 분석하기 위하여, 지열발전 부지 주변에서 발생한 지진에 대한 정밀 진원 결정이 요구되었다. 진원은 P파와 S파의 주시 자료와 속도 모델의 결합으로 결정되므로, 속도 모델은 진원 결정의 정확도에 큰 영향을 미친다. 지진파 속도는 불균질한 지질 매체의 물리적 특성을 나타내는 중요한 속성으로, 포항 지열발전 부지 하부를 구성하는 암상의 변화를 대표하는 정보를 최대한 반영하는 속도 모델 구축이 필요하다. 포항 지열발전 부지 하부 지층에 대한 1차원 지진파 속도 모델을 작성하기 위하여, 기존 지질조사 결과를 통하여 얻은 지질 단면도의 깊이에 따른 암상 변화를 기준으로 층 경계를 설정하여 6개의 층으로 구성된 1차원 지진파 속도 모델을 구성하였다. 암상의 변화에도 불구하고, 같은 물리적인 특성을 갖는 연속한 층은 속도 모델에서 하나의 동일한 층으로 설정하였다. 각 층을 대표하는 지진파 속도를 결정하기 위하여, 지진파 탐사 자료를 이용한 굴절법 해석 결과와 시추공 물리검층 자료 및 지열발전 시스템 개발을 위한 수리자극 시험 동안 발생한 미소지진의 지표 및 시추공 수직배열 지진관측 자료 등을 이용하였다. 이와 같은 지열발전 부지 하부에 대한 직접적인 정보는 약 5 km 깊이의 천부에 국한된다. 포항지진의 진원 결정을 위하여 광역 지진관측망 자료를 사용하기 때문에, 상대적으로 멀고 깊은 지진파 전파경로에 대한 심부 속도구조 정보가 필요하다. 개발된 1차원 속도 모델의 심부구조는 기존 경상분지에 대하여 개발된 광역 속도모델로부터 깊이 5 km 하부로부터 지각의 2개 층과 모호면 하부 층에 대한 속도 정보를 이용하였다. 결과적으로 지열발전 부지를 대표하는 1차원 속도구조 모델은 부지 하부의 6개 층과 광역 모델의 2개 층 및 반무한 공간을 결합하여 작성되었다. 개발한 1차원 속도 모델을 진원-속도 모델 동시 역산을 통하여 교차 검증하였고, 포항 지열발전 시스템 개발 과정에서 발생한 지진파 규모( $M_w$ ) 5.5 포항지진의 진원 결정에 사용하였다.

## 포항 지열 발전소 인근에서 발생한 지진원 특성 정밀 분석 (High-resolution analysis of source characteristics of earthquakes at Pohang EGS site)

우정웅<sup>1</sup>, 김민욱<sup>2</sup>, 신동훈<sup>3</sup>, 강태섭<sup>2</sup>, 이준기<sup>1\*</sup>  
Jeong-Ung Woo<sup>1</sup>, Minook Kim<sup>2</sup>, Dong-Hoon Sheen<sup>3</sup>, Tae-Seob Kang<sup>2</sup>,  
Junkee Rhie<sup>1\*</sup>

서울대학교<sup>1</sup>, 부경대학교<sup>2</sup>, 전남대학교<sup>3</sup>  
Seoul National University<sup>1</sup>, Bukyong National University<sup>2</sup>,  
Chonnam National University<sup>3</sup>

Hydraulic stimulation into geologic formations fracture rocks by perturbing stress field and occasionally causes damaging earthquakes. On 15 November 2017, a moderate-size earthquake of moment magnitude ( $M_w$ ) 5.5 occurred at the Pohang enhanced geothermal system (EGS) site. Given that it follows the last stimulation experiment by just 2 months, it has been suspected that the earthquake occurrence was affected by injected fluids. In this study, we analyzed source properties of earthquakes in the vicinity of the EGS site and compared them with the hydraulic stimulations of the geothermal reservoir. Among 239 events identified by using matched filter technique, the first event occurred on 1 November 2015, when massive mud was lost during drilling a geothermal well of PX-2. The temporal evolution of seismic activity is highly correlated with 5 times of stimulation periods and the hypocenters related to the two geothermal wells of PX-1 and PX-2 were clearly separated from each other. In particular, spatial distribution of events related to the fluid injection into PX-2 is approximated to a planar structure and they gradually migrated to the southwest direction and reached at the location of the  $M_w$  5.5 earthquake. The fault plane obtained from hypocenter distribution is matched with the focal mechanisms of events on the fault. The fault zone crosses PX-2 at  $\sim 3,800$  m, corresponding to not only the intervals for the large mud loss but also the breakage zone observed via an image logging device. To sum up our observations, we concluded that diffused pore pressure by lost mud and injected fluid at PX-2 locally perturbed stress fields and causes migrating earthquakes, leading to the  $M_w$  5.5 Pohang earthquake on a tectonically critically stressed fault zone.

Acknowledgement : This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Foundation Of Nuclear Safety(KoFONS) using the financial resource granted by the Nuclear Safety and Security Commission(NSSC) of the Republic of Korea. (No. 1705010)

## 포항 지열발전 실증연구부지 지진 자료의 삼차원 시각화 및 해석 Three-dimensional visualization and interpretation of earthquake data at the Pohang enhanced geothermal system site

박재용<sup>1</sup>, 김지연<sup>1</sup>, 장찬동<sup>1</sup>, 우정웅<sup>2</sup>, 이준기<sup>2</sup>  
Jai-Yong Park<sup>1</sup>, Jiyeon Kim<sup>1</sup>, Chandong Chang<sup>1</sup>, Jeong-Ung Woo<sup>2</sup>, Junkee  
Rhie<sup>2</sup>

충남대학교<sup>1</sup>, 서울대학교<sup>2</sup>  
Chungnam National University<sup>1</sup>, Seoul National University<sup>2</sup>

지하의 지진성 단층 자세를 파악하는 것은 지진발생 메커니즘을 해석하거나 이후 발생할 수 있는 지진의 위험도 등을 평가하기 위해 필수적이다. 본 연구에서는 포항 지열발전 실증연구부지 물 주입단계에서 발생한 지진들의 단층면해 자료를 이용하여 개별 지하 단층의 자세를 파악하고 이를 종합하여 지하 단층의 자세와 위치를 파악할 수 있도록 삼차원으로 시각화하고 그 결과를 해석하였다. 이를 위해 포항 본진 발생 전 두 지열시추정(PX-1과 PX-2)을 이용한 수리자극 기간 중에 발생한 다수의 지진들 중 자료의 질이 높은 53개 지진들의 단층면해 자료를 활용하였다. 각 단층면해의 두 절면 중 현장 응력 상태에서 단층 운동에 더 유리한 방향의 절면을 단층면으로 추정하는 기법을 적용하였다. 현장의 응력의 불확실성을 고려하여, 역 단층성 응력 조건과 주향이동단층성 응력 조건 등 여러 경우에 대해 단층면 추정을 하였다. 그리고 PX-1 지열시추정 주입기간에 발생한 지진의 경우에는 임의의 방향의 절면을 단층면으로 하는 경우를 추가하였다. 지진 규모와 단층 파열 면적의 관계를 이용하여 개별 단층면의 자세와 위치를 표현하면서 단층면 구조로 시각화하였다. 이렇게 생성된 단층면들을 종합하여 해당 지역의 지하 단층의 자세와 위치를 종합적으로 파악할 수 있도록 삼차원으로 시각화하면서 단층면해의 주향 및 경사에 대한 불확실성을 반영하기 위해 지하 단층의 자세가 유사하고 공간적인 위치가 서로 유의미한 단층면들을 그룹화하여 그 범위를 부피로 나타내었다. 이렇게 삼차원으로 시각화 된 포항 지열발전 실증연구부지의 지진 자료들을 활용하여 PX-1과 PX-2 지열시추정과 위치 관계 및 지진 메커니즘 등을 해석하였다.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

GS-01  
KGU 일반세션



강원도 인제군 기린면 일대의  
금왕단층핵의 특성 및 제4기 활동형태  
Structural features of the fault core and Quaternary activity patterns of the  
Keumwang fault at Girin-myeon, Inje-gun, Gangwon-do

최지민, 이희권  
Ji-Min Choi, Hee-Kwon Lee

강원대학교 지질학과  
Department of Geology, Kangwon University

항공사진, 수치표고모델(DEM; Digital Elevation Mapping) 및 야외지질조사를 통해 설악산 일대에 발달한 금왕단층의 자취에서 두 개의 단층핵을 발견하였다. 단층핵(fault core)의 폭은 약 23 m이며, 모암의 잔유물, 단층각력암 및 단층비지로 구성되어 있다. 단층핵 내부에 발달한 지질구조 요소들을 분석한 결과, 백악기 후기에서 제3기까지의 좌수향 주향이동 운동이 단층의 역전현상에 의해 제4기에는 우수향 주향이동 운동으로 바뀌었다. 단층핵 내의 화강암 잔유물들은 주로 단층의 주향방향으로 배열되어 있다. 단층각력암대 내의 암편들은 단층운동 중에 마찰미끄러짐(frictional sliding)에 의해 원마도가 양호해졌다. 단층비지로 구성된 전단띠에서는 점토광물의 배열에 의해 인편상 조직(scaly fabric)을 보인다. 단층핵과 부수단층에서 각각 단층비지 시료를 채취하여 ESR 연대측정을 한 결과, 약 30만 년 전과 약 20만 년 전에 집중되어 나타나고, 부수단층에서 채취한 단층비지 시료의 ESR 연대가 단층핵에서 채취한 단층비지 시료의 ESR 연대와 일치하는 경향을 보인다. 금왕단층의 이전 ESR 연대측정 결과들과 비교·분석한 결과, 약 50만 년 전에는 금왕단층의 남서부에서, 약 33만 년 전에는 금왕단층 전체에서 그리고 약 20만 년 전에는 금왕단층의 북동부에서 단층운동이 활발했던 것으로 해석된다.

## 제주도 화산암류의 지구화학적 성인과 근원 맨틀에 대한 고찰 Petrogenesis and the mantle source of volcanic rocks from Jeju Island

김지인<sup>1</sup> · 최성희<sup>1,2</sup> · 고기원<sup>3</sup> · 박준범<sup>4</sup> · 류종식<sup>5</sup>  
Ji-In Kim<sup>1</sup> · Sung Hi Choi<sup>1,2</sup> · Gi Won Koh<sup>3</sup> · Jun Beom Park<sup>4</sup> · Jong-Sik Ryu<sup>5</sup>

충남대학교 우주·지질학과 (chois@cnu.ac.kr)<sup>1</sup>, 충남대학교 지질환경과학과<sup>2</sup>, 제주특별자치도개발  
공사 물산업연구센터<sup>3</sup>, 미육군극동공병단 지반환경공학부<sup>4</sup>, 부경대학교 지구환경과학과<sup>5</sup>  
Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University<sup>1</sup>,  
Department of Geological Sciences, Chungnam National University<sup>2</sup>,  
Department of Water Industry Promotion, Jeju Special Self-Governing Province Institute of  
Environment Research<sup>3</sup>, US Army Corps of Engineers Far East District<sup>4</sup>, Department of Earth  
and Environmental Sciences, Pukyong National University<sup>5</sup>

제주도는 대개 알칼리 계열의 화산암류로 구성되어 있으나, 동부와 서부 일부 지역에서 소량의 쏘리아이트(TH) 계열 현무암-안산암류가 알칼리 화산암류를 협재하며 분포한다. 제주도의 알칼리 계열 화산암류는 알루미늄 함량에 따라 HAA(High-Al alkali)와 LAA(Low-Al alkali) 계열로 하위분류된다. 본 연구에서는 HAA-LAA-TH 계열 화산암류의 성인과 근원맨틀의 특징을 이해하기 위해 동서남북 네 지역의 시추공에서 회수된 51개의 시료와 9개의 노두 시료에 대한 지구화학적 성분분석을 수행하였다. 연구 시료들은 968~24 Ka 범위의 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 전암 분출연대를 가지며 HAA 계열의 분출이 약간 앞서 시작된 것을 제외하면 세 계열 간의 뚜렷한 연대 차이는 관찰되지 않는다. 콘드라이트 값으로 표준화한 희토류원소 분포도에서 현무암질(SiO<sub>2</sub> < 52 wt%) 시료들은 경희토류원소에 부화되어 있으며 [(La/Yb)<sub>N</sub> = 5.0~23.3], Eu 양의 이상이 나타나는 것이 특징이다. 초기 맨틀 값으로 표준화한 미량원소 분포도에서 모든 시료는 LILE (large ion lithophile element)에 부화된 전형적인 해양도현무암의 패턴을 보인다. 그러나 TH와 HAA 계열의 현무암질 시료들에서는 Eu와 Sr 양의 이상이 관찰된다. 이는 TH와 HAA 계열 현무암질 시료에서 나타나는 높은 값의 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr, Δ7/4Pb, Pb/Ce 비와 더불어 제주도 마그마가 진화 과정 동안 과거에 형성된 회장암의 동화작용을 받았음을 지시한다. 모든 현무암질 시료들은 석류석 러졸라이트 기원 마그마 영역에 해당하는 Dy/Yb 비를 가지나, 상대적으로 Yb 함량이 높아 에클로자이트 기원 마그마 영역에 가까이 도시된다. 또한 모든 시료는 휘석암/에클로자이트에서 기원한 액과 유사한 높은 Fe/Mn 비(>~60)와 FeO/CaO-3MgO/SiO<sub>2</sub> 값(>0.45)을 가진다. 아울러 연구 시료들에서 재활성화된(recycled) 해양지각의 특징으로 알려진 K, Rb 부의 이상과 분별된 Zr/Hf 비가 관찰되는 점으로 미루어보아 제주도 화산암류의 근원맨틀에 에클로자이트가 존재할 것으로 추정되며, Ti 부의 이상과 분별된 Na/Ta 비는 에클로자이트에 금홍석이 포함되어 있었음을 지시한다. Sr-Nd 및 Pb-Pb 동위원소 상관도에서 연구 시료들은 DMM-EM2 맨틀 단성분의 혼합 선상에 도시된다. <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd, Δ8/4Pb 및 δ<sup>26</sup>Mg 동위원소 비에서 HAA-LAA-TH 계열 간의 뚜렷한 차이가 나타나지 않으므로 제주도 화산암류들이 동일한 근원물질에서 유래한 것을 유추할 수 있으며, 다만 서로 다른 정도의 부분용융을 겪은 것으로 해석된다. 더불어 δ<sup>26</sup>Mg 값(-0.53 ~ -0.20‰)은 보통 맨틀 값(δ<sup>26</sup>Mg = -0.25 ± 0.07‰)에 비해 다소 가벼운 특징이 나타나는데 이는 탄산염 광물이 근원맨틀에 포함되었을 가능성을 지시한다. 위 결과를 종합하면 제주도 화산활동을 유발한 근원물질에는 전형적인 페리도타이트 이외에도 금홍석을 포함하는 에클로자이트와 탄산염 광물이 포함되어 있으며, 부분용융 정도의 차이와 마그마의 진화과정동안 발생한 회장암의 동화작용 등에 의하여 제주도 화산암류의 계열이 나뉘게 된 것으로 추론된다.

## 대마도 마이오세 관입암류의 성인에 관한 예비연구 Petrogenesis of Miocene intrusive rocks from Tsushima Islands, Japan : Preliminary study

이은지<sup>1</sup>, 최성희<sup>1,2</sup>, 김지인<sup>1</sup>, 이정현<sup>1,2</sup>  
Eun Ji Yi<sup>1</sup>, Sung Hi Choi<sup>1,2</sup>, Ji In Kim<sup>1</sup>, Jeong-Hyun Lee<sup>1,2</sup>

충남대학교 우주·지질학과<sup>1</sup>, 충남대학교 지질환경과학과<sup>2</sup>  
Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National  
University<sup>1</sup>, Department of Geological Sciences, Chungnam National University<sup>2</sup>

이 연구에서는 대마도 마이오세 관입암류의 화성활동 시기를 파악하기 위한 저어콘 U-Pb 연대측정과 암석화학적 성인을 이해하기 위한 전암의 주성분 및 미량원소 성분 분석을 수행하였다. 연구지역의 암종은 화강암류와 조립현무암(dolerite)으로 쌍봉형(bimodal) 화성활동의 특성을 가진다. 화강암류의 광물 구성비에 따른 암석의 종류는 화강암과 화강섬록암으로 나뉜다. 화강암류 시료는 석영과 사장석 반정에 석영, 사장석, 흑운모 및 K-장석의 석기로 구성된 반상질 조직을 가진다. 일부 화강암 시료에서는 퍼사이트(perthite)와 K-장석 반정이 함께 관찰된다. 화강섬록암은 염기성 미립 포유암(mafic microgranular enclaves)을 함유하고 있는데, 이 포유암은 주로 흑운모, 사장석, 석영, 각섬석으로 구성되어 있으며 등립질 조직을 보인다. 조립현무암 시료는 대부분 변질되어 사장석, 녹니석, 석영, 녹렴석과 방해석으로 구성되어 있다. 녹니석, 석영, 녹렴석과 방해석은 2차 광물로 생각된다. 비교적 신선한 한 시료에서는 사장석, 단사휘석 및 변질된 감람석이 관찰된다. 고분해능 이차이온질량분석기(SHRIMP)를 활용한 화강암 시료 내 저어콘의 U-Pb 연대를 측정 결과 신생대 마이오세 중기(16.23 ± 0.16 Ma)에 해당하는 생성 연대를 얻었다. 이는 대마도가 위치한 대한해협 일대에 작용하고 있던 북서-남동 방향의 인장력이 복잡한 필리핀판에 의해 북북서 방향의 압축력으로 변화하던 시기에 해당한다. 전암의 주원소 상관도와 미량원소 상관도에서 화강암류와 조립현무암은 서로 연결되지 않는 경향성을 띤다. TAS 분류도에서 모든 암석은 비알칼리 계열 영역에 도시된다. SiO<sub>2</sub> 대 K<sub>2</sub>O도에서 화강암류는 모두 고-K 칼크-알칼리 계열로, 조립현무암은 중간-K 칼크-알칼리 계열로 분류된다. 모든 화강암류는 A/CNK 대 A/NK 도에서 I-type 화강암 범위 내에 도시되며 고알루미나질(peraluminous)에서 중알루미나질(metaluminous)의 전이적인 성분 특성을 보인다. 콘드라이트 값으로 표준화한 희토류원소 분포도에서 화강암류는 경희토류원소에 부화되어 있으며[(La/Yb)<sub>N</sub> = 3.0 ~ 8.1], Eu에서 부(-)의 이상을 보인다. 조립현무암도 경희토류에 부화되어 있으나[(La/Yb)<sub>N</sub> = 3.6 ~ 4.9], Eu에서 부의 이상은 관찰되지 않는다. 염기성 미립 포유암은 조립현무암과 거의 유사한 패턴을 보이지만, 조립현무암에 비해 경희토류가 부화되어 있는[(La/Yb)<sub>N</sub> = 5.7] 특징을 가진다. 초기 맨틀 값으로 표준화한 미량원소 함량 분포도에서 모든 시료는 K, Rb, Pb와 같은 LILE (large ion lithophile element)에 부화된 양상을, Nb, Ta, Ti와 같은 HFSE (high field strength element)에서 결핍된 양상을 보인다. 이는 섭입대 화성활동의 특징이다. Ba-Rb-Sr 삼각도에서 화강암류는 고-Ba-Sr 화강암류와 저-Ba-Sr 화강암류의 경계

부위에 도시된다. 모든 화강암류는 Y-Nb 조구조환경 판별도에서 화산호 기원 화강암류의 범주에 도시된다. 그러나 (Y+Nb)-Rb 조구조환경 판별도에서는 충돌후기(post-collision) 기원에 도시된다. 조립현무암은 Ti-Zr-Y과 Ti-Zr-Sr 조구조환경 판별도에서 대부분 칼크알칼리 현무암 영역에 도시되나 V-Ti 판별도에서는 화산호 기원 현무암 영역과 중앙해령 및 판내부 현

무암 영역의 전이대에 도시된다. 위 관찰사실을 종합하면, 대마도 관입암류는 섭입대와 확장대의 전이적 환경에서 생성된 것으로 사료된다. 그러나 이는 예비연구로, 대마도 마이오세 관입암류를 형성한 물질의 근원을 정밀 규명하기 위해서는 Sr-Nd-Pb-Hf-O 동위원소 성분 자료를 이용한 추가적인 연구가 필요하다.

## Conodonts from the 'Lower Limestone' and Haengmae Formation in western Jeongseon, Korea and their implication for lithostratigraphic correlation

Byung-Su Lee

Department of Earth Science Education, Chonbuk National University

The Middle Ordovician conodont fauna consisting of six species was recovered from the upper part of the Lower Limestone and overlying Haengmae Formation in the Jeongseon-Pyeongchang area, Korea. Based on the occurrence of *Acontiodus viriosus* Cui, *Erraticodon tangshanensis* Yang and Xu, and *Triangulodus changshanensis* Zhang from the upper part of the Lower Limestone, the *Erraticodon tangshanensis* Interval Zone is proposed. This assemblage is comparable to the Darriwilian (early Dw2) *Tangshanodus tangshanensis*-*Histiodella holodentata* Zone in the Beianzuang Formation, Tangshan area, North China and the *Tangshanodus tangshanensis* Zone in the Maggol Formation, Taebaek area, Korea. The occurrence of *Eoplacognathus suecicus* Bergström, *E. sp.*, *Erraticodon tangshanensis*, *Panderodus nogamii* (Lee) and *Triangulodus changshanensis* from the uppermost part of the Lower Limestone and the middle part of the Haengmae Formation leads to assign this interval to the *Eoplacognathus suecicus* Range Zone which corresponds to the Darriwilian (late Dw2) biozones of the eponymous zones in North China and Korea. Therefore, the Lower Limestone and Haengmae Formation in the western Jeongseon area are correlatable to the lower and middle parts of the Jeongseon Limestone in the central and eastern Jeongseon area.

Keywords: Darriwilian, conodonts, biostratigraphy, Lower Limestone and Haengmae Formation, western Jeongseon



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

포스터세션



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

JS-01

해수면 변동  
: 과거, 현재 그리고 미래



## 연안 지형 변화에 따른 한반도 주변 해역의 조석 특성 변화 Tidal Characteristic Changes around the Korean marginal Seas by the Coastal Topographic Changes

임병준, 장유순  
Byeong-Jun Lim, You-Soon Chang

공주대학교 지구과학교육과  
Department of Earth Science, Kongju National University

본 연구에서는 3차원 순환 모델인 MOHID(MOdelo HIdrodinâmico)를 이용하여 한반도 주변 해역의 해안선 및 해저 지형 변화에 따른 조석 특성 변화를 분석하였다. 갯벌 간척 효과에 따른 해수면 진폭의 변화를 모의한 기존 연구(Song et al., 2013)에 근거하여, 한국 경기만과 중국 장수만 연안의 해안선 및 해저 지형을 순차적으로 변화시키면서 해수면 변동에 따른 각 조석 분조의 장주기 진폭 변동을 분석하였다. 해안선 및 지형 변화에 따라 M2 분조의 진폭이 해역 별로 매우 다르게 반응하였으며, 황해에서는 조간대 소실에 따라 M2 분조의 진폭이 유의미하게 증가하였고, 남해에서는 감소하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 특정 해역의 해안선 및 해저 지형의 변화가 조석 에너지 재분배 과정을 통해 주변 해역의 해수면 변화를 유발할 수 있음을 의미한다. 향후 보다 다양한 수치 실험과 함께, 관측 자료를 이용한 분위 회귀 분석 결과(임과 장, 2018)와의 비교 검증은 추가로 실시할 예정이다.

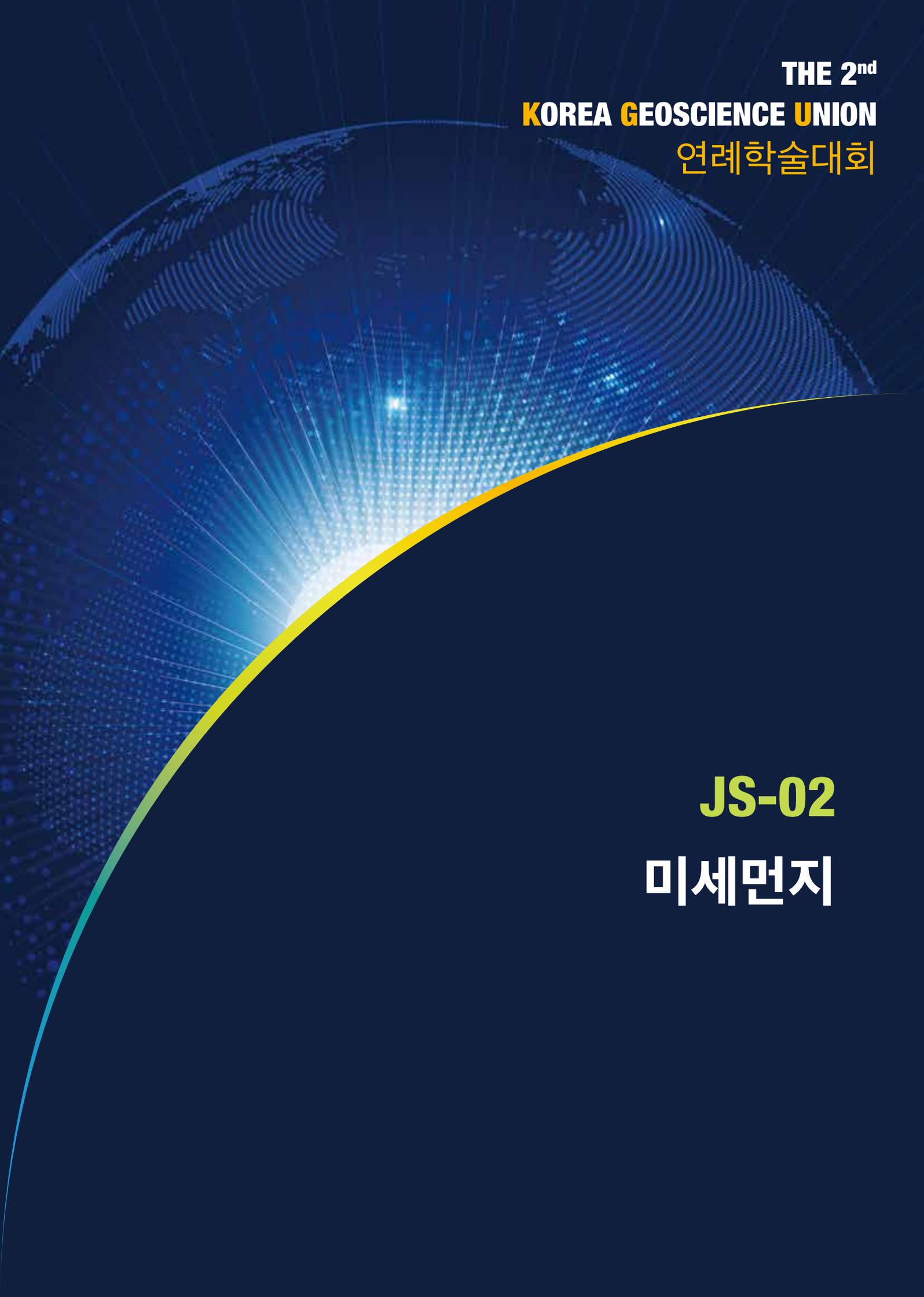
감사의 글: 본 연구는 “총청 씨그랜트 사업”과 “한국연구재단 (2016R1D1A1B03931519)”의 지원에 의해 수행 되었습니다.

### [참고 문헌]

임병준, 장유순 (2018) 분위회귀를 이용한 한반도 연안 해면 고도의 장주기 선형 추세 분석, 한국해양학회지 바다, 23(2), 63-75

Song, D., X.H. Wang, X. Zhu and X. Bao (2013) Modeling studies of the far-field effects of tidal flat reclamation on tidal dynamics in the East China Seas, Estuar. Coast. Shelf Sci., 133, 147-160.





**THE 2<sup>nd</sup>**  
**KOREA GEOSCIENCE UNION**  
연례학술대회

**JS-02**  
**미세먼지**



가스크로마토그래피-질량분석기(GC-MS)를 이용하여 31종 nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons (NPAHs)를 분석하는 방법  
 A method of analyzing a total of 31 nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons (NPAHs) using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

이승현<sup>1,2</sup>, 하성용<sup>2</sup>, 최원식<sup>1</sup>, 임운혁<sup>2,3</sup>  
 Seung Hyun Lee<sup>1,2</sup>, Sung Yong Ha<sup>2</sup>, Wonsik Choi<sup>1</sup>, Un Hyuk Yim<sup>2,3</sup>

부경대학교 지구환경시스템과학부, 한국해양과학기술원, 남해연구소, 위해성분석연구센터<sup>2</sup>,  
 과학기술연합대학원대학교 해양과학부<sup>3</sup>

Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University<sup>1</sup>, Korea Institute of Ocean Science and Technology<sup>2</sup>, Department of Ocean Science, Korea University of Science and Technology<sup>3</sup>

Nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons (NPAHs) are derivatives of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) with one or more nitro functional groups. NPAHs are released directly into the atmosphere during combustion processes or, in the atmosphere, formed by both gas and heterogeneous phase reaction of PAHs with nitrogen oxides initiated by OH or NO<sub>3</sub> radicals. PAHs are commonly known for their toxic effects but NPAHs have 10 and 100,000 times higher carcinogenicity and mutagenicity than PAHs, respectively, although their atmospheric concentrations are only 10% of PAHs. Despite their detrimental effects on human health, related studies and standardized methodology are still lack in Korea. In this study, we present the optimized methodology for quantifying NPAHs in the laboratory using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Optimization was performed by identifying optimum, column polarity, temperature program, injection, and detection mode. A total of 31 NPAHs were analyzed. As a result, negative chemical ionization mode, NCI was adopted. A DB-17MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm, film thickness, J&Q Scientific) was used. A programmed temperature vaporization injector (PTV) splitless injection mode and a step-wise temperature-raising program were used. For quality assurance and quality control, NPAHs standard reference materials (SRM 2264 and 2265, National Institutes of Standards and Technology) were analyzed. The method was applied to analyze atmospheric filter samples collected in Tianjin, China. We expect this methodology can be applied to analysis of NPAHs and understanding their atmospheric behavior in our future studies.

## 국내 대도시 지표대기오염물질의 계절별 일간 변동성 특징

### Diurnal variation of surface air pollutants for different season in metropolitan area

이태경<sup>1</sup>, 이윤곤<sup>1</sup>, 구자호<sup>2</sup>  
 TaeGyung Lee<sup>1</sup>, YunGon Lee<sup>1</sup>, JaHo Koo<sup>2</sup>

충남대학교 대기과학과<sup>1</sup>  
 연세대학교 대기과학과<sup>2</sup>

ChungNam National University Department of Atmospheric sciences<sup>1</sup>  
 YonSei University Department of Atmospheric sciences<sup>2</sup>

대기오염물질은 기후와 생태계에 직·간접적으로 영향을 주며, 시정을 악화시키고 건강에 부정적인 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 특히 도시는 인구가 밀집되어 그로 인해 차량과 같은 오염물질 배출원이 집중되어 있다. 여러 선행연구는 국·내 왜 도시 대기질의 저하가 심각한 것을 밝힌 바 있다. 환경부는 대기오염도를 상시적으로 감시하기 위해서 관측망을 구축하였고, 에어코리아 (AirKorea) 사이트를 통해 실시간으로 자료를 공개하고 있다. 본 연구는 2015년부터 2017년까지 도시의 대기질 파악을 목적으로 하는 도시대기 관측망의 자료를 사용하였다. 국내 광역시급 대도시인 서울, 인천, 대전, 광주, 대구, 부산, 울산을 연구 지역으로 하며, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO 여섯 가지 오염물질의 계절에 따른 일간 농도 변동성을 살펴보았다.

한반도는 계절이 뚜렷하게 존재하고, 이러한 기후적 특성이 오염물질 농도에도 영향을 미친다. O<sub>3</sub>을 제외한 대부분의 오염물질은 봄과 겨울에 농도가 높고, 여름에 농도가 낮았다. 봄과 겨울은 풍상측으로부터 수송이 강화되기 때문에 오염물질 농도가 증가하게 된다. 특히 겨울에는 대기 안정도가 심화되어 오염물질 축적에 유리한 환경이 조성된다. 여름에는 강수로 인한 세정효과로 오염물질이 제거되어 농도가 낮아진다. O<sub>3</sub>은 다른 오염물질과는 달리 봄과 초여름에 농도가 높았다. O<sub>3</sub>의 특징은 O<sub>3</sub>의 주요 발생 기작인 광화학 반응으로 설명할 수 있다. 오염물질의 일간 농도 변동성을 살펴보았을 때, 내륙에 위치한 도시는 계절별로 농도의 순위 변동이 미약했으나, 부산이나 울산은 다소 차이를 나타냈다. 해안에 위치한 도시이기 때문에 해륙풍과 계절풍과 각 도시 오염물질 배출원의 차이로 인해 나타나는 특징으로 분석된다.

계절에 따른 오염물질의 일간 변동성 공간 분포를 살펴봄으로써, 한반도의 기후 특징과 오염물질의 관계를 이해할 수 있다. 일간 변동을 통해 나타나는 인위적 활동에 의한 효과와, 도시간 공간 분포의 상이함은 대기오염 저감을 달성하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

감사의 글 : 본 연구는 한국연구재단신진연구과제 (NRF-2018R1C1B6008223)의 지원으로 수행되었음

## 한반도 지상 미세먼지 농도 추정을 위한 미세먼지와 기상인자의 상관성 분석과 통계적 기법 활용 연구

Analysis of the relationship between particulate matter and meteorological factors and application of statistical techniques for estimation of surface particulate matter concentration on the Korean peninsula

정은선, 김광년, 조용한, 이윤곤

Eunsun Jeong, Kwang Nyun Kim, Yong Han Jo, Yun Gon Lee

충남대학교 대기과학과

Department of Atmospheric Sciences, Chungnam National University

최근 기후, 환경 및 인체건강에 영향을 미치는 대기오염물질로 알려진 미세먼지(PM; Particulate Matter)의 고농도 사례가 빈번하게 발생함에 따라, 지상 미세먼지농도의 감시와 예보 필요성이 증가하였다. 이를 위해 한반도의 지상 미세먼지농도 관측망도 확대되었으나, 지점 기반의 지상관측은 국지적 감시는 가능하나 미세먼지의 장거리 수송과 같은 시공간적 변화를 분석하기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 높은 시공간적 해상도를 갖는 위성관측자료를 이용하여 지상의 미세먼지 농도를 추정하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다 (Chu et al., 2013; Xie et al., 2015; Ma et al., 2014; Park et al., 2019). 전 대기광학경로 상의 에어로졸 소산 계수 적분 값을 나타내는 AOD와 지상에서 공기를 채집하여 질량 농도로 측정하는 PM을 물리적 관계로 나타내고, PM 농도 추정의 성능을 향상시키기 위해서 행성경계층을 이용한 수직 보정 방법과 에어로졸의 흡습성장을 고려하는 습도 보정방법 등이 이용되어왔다 (Seo et al., 2015; Kim et al., 2016). 본 연구에서는 위성 AOD를 이용한 한반도 지역의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>를 추정하기 위해서 기계학습 랜덤 포레스트(RF; Random Forest) 통계 기법을 활용하였으며, 수직 보정을 고려하기 위한 행성경계층고도, 습도 보정을 위한 흡습성장계수, 하층 대기 미세먼지의 수직 혼합과 수평 확산을 고려하기 위한 풍속과 지면기압을 종속변수로 사용하였다. 미세먼지와 기상인자와의 관계를 파악하기 위해 서울지역의 PM 자료와 다양한 기상 관측자료들과의 상관성을 분석하였고, PM과 기상인자간의 상관관계는 일별로 큰 변동을 보였으며, 계절별로도 다른 관계를 보였다. 지상 PM 추정모델의 개발과 검증은 AirKorea에서 제공되는 2011년부터 2017년까지의 PM 농도 자료를 사용했으며, AOD는 GOCI AOD 자료를 사용하고, 기상인자는 ERA-interim에서 제공되는 재분석장 자료를 사용하였다. RF모델로 각 변수별 기여도를 분석한 결과, PM 추정에 있어서 AOD의 상대적 중요도가 가장 높게 나타났고 풍속, 행성경계층고도, 흡습성장계수, 지면기압 순으로 높은 기여도를 보였다. 그리고 대기오염물질보다는 기상인자의 중요도가 더 높은 것으로 확인되었지만, 대기오염물질을 독립변수로 추가함으로써 모델의 PM추정 성능이 향상됨을 확인하였다. PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>의 모델에서도 각각 기상인자와 오염물질들의 중요도가 다르게 나타났고, 지역 및 계절별로도 각 변수들의 중요도가 다름이 나타났다.

감사의 글 : 본 연구는 한국연구재단 신진연구과제(NRF-2018R1C1B6008223)의 지원으로 수행되었음

## 대기 경계층 두께의 시공간 분포 예측 및 모니터링 Predicting and Monitoring the Spatiotemporal Distribution of PBL Depth in Korea

노일석, 이승재  
IlSeok Noh, Seung-Jae Lee

국가농림기상센터  
National Center for AgroMeorology

대기 경계층(PBL)은 우리 인간들이 살고 있는 삶의 주된 공간이며, 그 두께(PBLD)는 기상, 기후, 환경 분야의 역학 및 물리과정 이해에 있어서 중요 변수이다. PBLD는 자연적으로 또는 인위적으로 발생한 대기오염 물질의 확산, 농도, 지상낙하 결정 등에 유용하며, 지표면 생태계와 대기 간 에너지, 물질, 정보 교환에도 직간접적 영향을 미친다.

본 연구에서는 국가농림기상센터에서 운영하는 지면대기모델링패키지(LAMP) 시스템과 라디오존데 상층관측 자료 기반의 경계층 두께 정보 산출물을 소개한다. LAMP의 농림기상연직시계열도(Agrometeogram)를 이용한 고해상도 PBLD 예측과 라디오존데 연직 프로파일을 이용한 주간 혼합고(MD) 산출에 초점을 두었다. 아울러, MD 산출 알고리즘의 개선 및 결과를 강풍, 폭염, 고농도 미세먼지 사례별로 살펴보고, 관측 MD를 이용한 LAMP MD 예측에 대한 평가 결과도 제시하고자 한다.

감사의 글 : 이 연구는 농촌진흥청 시설재배작물 손실평가를 위한 대기화학 모델링 및 경영통계 분석(PJ0141892019)과 한국임업진흥원 산악기상망과 위성자료를 이용한 기계학습 및 자료동화기반 고해상도 토양수분 진단 및 중기 예측 모델 개발(2018119A00-1920-AB01)의 지원을 받아 수행되었음.

## 관측 자료에 기반한 부산시 도로통제에 따른 대기오염물질 농도 분포 특성

### Characteristics of air pollutant concentration distribution according to road control based on observations in Busan

박용미<sup>1</sup>, 김라은<sup>1</sup>, 박호선<sup>1</sup>, 이승현<sup>1,3</sup>, 황규철<sup>1,3</sup>, 강준영<sup>1</sup>, 최원식<sup>2\*</sup>  
Yong-Mi Park<sup>1</sup>, Ra-Eun Kim<sup>1</sup>, Ho-Seon Park<sup>1</sup>, Seung-Hyun Lee<sup>1,3</sup>, Kyu-  
 Cheol Hwang<sup>1,3</sup>, Jun-yeong Kang and Wonsik Choi<sup>2</sup>  
 Correspondence to: Wonsik Choi (wschoi@pknu.ac.kr)

부경대학교 지구환경시스템 과학부 (환경대기과학 전공)<sup>1</sup>, 부경대학교 환경대기과학과<sup>2</sup>,  
 한국해양과학기술원, 남해연구소<sup>3</sup>

Pukyong National University, Department of Earth Environmental System Science  
 (Major of Environmental Atmosphere Sciences), Busan, Korea.<sup>1</sup>, Pukyong National  
 University, Department of Environmental Atmospheric Sciences, Busan, Korea.<sup>2</sup>,  
 Oil and POPs Research Group, Korea Institute of Ocean Science and Technology<sup>3</sup>.

자동차의 증가로 대기오염물질 중 도로부문에서 배출되는 비중이 증가하고 있다. 대기 질 개선을 위해 차량에서 배출되는 오염물질 저감 정책들이 강화되고 단속이 계속해서 강화되고 있는 추세이다. 도로부문에서 자동차의 영향을 살펴보고자 본 연구에서는 관측에 기반한 부산 서면 부근에서 도로통제가 이루어지고 있는 도로(동천로)를 통해 분석 하였다. 동천로에서는 출근 시간(오전 7-9시)과 퇴근 시간(오후 5시-7시30분)에 대중교통( 시내버스)를 제외한 차량이 통제된다. 통제 영향을 보기 위해 다양한 건조 환경을 가지는 도로변 양쪽에 대기오염 센서를 설치하여 CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> 등의 대기오염물질과 함께 교통량을 관측하였다. 교통량은 시간당 통행하는 차량의 조성을 고려하여 정량화하였다(승용차, 디젤 SUV, CNG 버스, LPG 택시, 디젤 트럭, 디젤 버스, 오토바이). 도로 통제에 대한 영향 분석을 위해 관측 구역 중 교통량이 많은 도로(중앙대로)와 비교분석을 진행 하였고, 중앙대로와 동천로의 상대 비율과 교통량의 상관분석을 통해 도로 통제가 대기 질에 미치는 영향을 정량화하고자 하였다. 본 연구를 통해 교통량이 검증 오염물질의 농도에 미치는 영향을 확인 할 수 있었다. 그러나 교통량이 적음에도 농도가 높았던 경우도 존재했으며, 이는 교통량만의 원인이 아니라는 것을 의미 한다. 주변 건물 구성의 영향에 대한 분석이 추가 요구된다. 그럼에도 지속적인 관측과 추가 분석을 통해 도로 이동 오염원이 도로 주변에 미치는 영향을 상세히 정량화 하고 이동 오염원의 배출 농도를 통제 할 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

※ 이 연구는 국립환경과학원의 ‘예보권역별 맞춤형 상세 대기오염물질 배출량 구축 연구(II)’의 지원으로 수행되었습니다.

## 저 비용 센서 네트워크를 이용한 도로변 오염물질 농도 상세 공간 분포 분석

### Analysis of detailed spatial distribution of pollutant concentration on the road using cost-effective air quality sensors network

박호선<sup>1</sup>, 김라은<sup>1</sup>, 박용미<sup>1</sup>, 이승현<sup>1,3</sup>, 황규철<sup>1,3</sup>, 강준영<sup>1</sup>, 최원식<sup>2\*</sup>  
Ho-Seon Park<sup>1</sup>, Ra-Eun Kim<sup>1</sup>, Yong-Mi Park<sup>1</sup>, Seung-Hyun Lee<sup>1,3</sup>,  
 Kyu-Cheol Hwang<sup>1,3</sup>, Jun-yeong Kang and Wonsik Choi<sup>2</sup>

부경대학교 지구환경시스템 과학부 (환경대기과학 전공)<sup>1</sup>, 부경대학교 환경대기과학과<sup>2</sup>,  
 한국해양과학기술원 남해연구소<sup>3</sup>

Pukyong National University, Department of Earth Environmental System Science (Major of Environmental Atmosphere Sciences), Busan, Korea.<sup>1</sup>, Pukyong National University, Department of Environmental Atmospheric Sciences, Busan, Korea.<sup>2</sup>, Oil and POPs Research Group, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Geje 53201, Republic of Korea.<sup>3</sup>

최근 잦은 고 농도 미세먼지로 인해 대기 환경문제에 대한 사람들의 관심이 높아지고 있다. 현재 대도시를 중심으로 도시대기질 관측소와 도로변 대기 관측소를 운용하여 오염물질을 측정, 예보하고 있다. 하지만 복잡한 도심구조로 인해 공간적으로 불균일한 농도를 보이는 도시 지역의 넓은 면적에 비해 관측의 공간적 해상도가 낮은 수준이다. 따라서 오염물질의 노출 위험도를 평가하기에는 한계가 있으므로 더 높은 공간적 해상도를 가진 관측이 필요하다.

현재 관측소의 공간적 해상도의 증가가 필수적이지만 운용되고 있는 장비는 고가이며 전문 기술이 필요하여 자원적 제약이 있다. 따라서 저렴하면서도 정확한 센서를 오염원 주변 또는 특정지역에 다량으로 배치하여 높은 공간 해상도를 가질 수 있는 네트워크의 개발과 이 네트워크에 사용할 비용 효율적 센서에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 하지만 이러한 센서들은 실제 대기 중에서 사용할 만한 정확도와 민감도를 가졌는가에 대한 검증이 요구된다.

본 연구에서는 여러 선행연구를 기반으로 높은 정확도와 민감도를 가진 센서들을 선정하여 이들이 적절한 보정을 통해 실제 대기 조건에서 사용할 수 있는 정확도를 가짐을 확인하였다. 관측 대상은 O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>을 포함하였고 추후 NO를 추가하였다. 이를 이용하여 대표적인 대도시인 서울과 부산지역의 도심지역 도로변에 조밀한 센서 네트워크를 구축하여 상세 공간규모 농도 분포를 관측하였다. 센서는 높이 가로등의 약 2.5m에, 센서 간 거리는 약 20-40m로 설치되었다. 이러한 시스템이 성공적으로 도입된다면 도심 내 높은 공간적 해상도를 가진 오염물질 측정과 더불어 예보질의 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글 : 이 연구는 국립환경과학원의 ‘예보권역별 맞춤형 상세 대기오염물질 배출량 구축 연구(II)’의 지원으로 수행되었습니다.

## Relationship between source air masses and inter-day isotopic changes of nitrate in PM<sub>2.5</sub> at Seoul and Baengnyeong Island, South Korea

Heejo Lee<sup>a</sup>, Jinho Ahn<sup>a,\*</sup>, Jinsoo Park<sup>b</sup>, Daniel M. Sigman<sup>c</sup>, Mira A. Weigand<sup>c</sup>, Hanna Choi<sup>a</sup> and Yeongjun Ryu<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup>*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University,  
heejolee0512@snu.ac.kr*

<sup>b</sup>*Climate and Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research*

<sup>c</sup>*Department of Geosciences, Princeton University*

Atmospheric nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) isotopic compositions may help better understand long-distance transport if the isotopes have distinct isotopic compositions are mainly controlled by source regions. The PM<sub>2.5</sub> aerosols were sampled at Seoul and Baengnyeong Island, South Korea from 2015 to 2016 and the <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N and <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O of nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) were analyzed using a bacterial denitrification method. The measured average δ<sup>15</sup>N and δ<sup>18</sup>O-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> values show a pattern of seasonal variation: enriched in winter (avg. δ<sup>15</sup>N: 7.5 ± 3.3% at Seoul; and 6.7 ± 7.2% at Baengnyeong; avg. δ<sup>18</sup>O: 71.6 ± 16.9% at Seoul; and 73.0 ± 29.0% at Baengnyeong) and depleted in summer (avg. δ<sup>15</sup>N: -3.6 ± 4.6% at Seoul; and -5.5 ± 3.5% at Baengnyeong; avg. δ<sup>18</sup>O: 41.0 ± 22.0% at Seoul; and 42.7 ± 31.6% at Baengnyeong). Additional measurements of δ<sup>15</sup>N and δ<sup>18</sup>O-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> for consecutive days during four seasons: 22 Mar to 30 April of 2018 (spring), 9 May to 8 June of 2016 (early summer), 1-30 November of 2017 (fall), and 3-31 January of 2018 (winter) at Seoul show correlations of particularly enriched δ<sup>15</sup>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> values during the enhanced PM<sub>2.5</sub> episodes when air clusters moved from eastern and northeastern China while the δ<sup>18</sup>O-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> values become enriched when the air mass originated from China passing through the Yellow Sea, known by 72-hour back trajectory analyses of air mass calculated by the NOAA's HYSPLIT model. In particular, the δ<sup>15</sup>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (2.4 to 15.7%) during the winter at Seoul reflects the δ<sup>15</sup>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> of the PM<sub>2.5</sub> sources in northeastern China. This is consistent with the assumption that the source areas of polluted air mainly control the seasonal changes in δ<sup>15</sup>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> of the Korean peninsula. Further characterization of the aerosol nitrate isotopic compositions in different source origins will help to trace the PM<sub>2.5</sub> source appointments and expect to wisely manage and reduce air pollution in South Korea.

## Mineralogy and structures of Asian Dust Particles

정기영  
Gi Young Jeong

안동대학교 지구환경과학과

Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

Asian dust interacts with radiation, atmospheric gas, cloud, ocean, and soils. The assessment of the roles of Asian dust requires the information on the mineralogical and structural properties of dust particles. The mineralogy and internal structures of fine single particles of Asian dust were examined by using SEM and TEM of cross-sectional slices. TEM analyses showed that the dust particles were porous aggregates of mineral grains of varying species, chemistry, and size. Internal structures of the dust particles were classified into clay-rich aggregates, mineral grains coated with clays, and their intergrades. Submicron pores were scattered through the particles, particularly common in the intergrade particles. Iron oxides were submicron grains of goethite and hematite dispersed through the aggregate particles. Clay minerals were dominated by illite-smectite series clay minerals including nano-thin plates of illite, smectite, illite-smectite mixed layers, and their mixtures. A comparison with previous analyses on the coarse particles showed that the mineralogy and internal structures of fine dust were not different from those of very coarse dust particles.

THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

JS-03

지구 전 대기층 에너지 순환



## 전천카메라를 이용한 극지방 양성자 오로라 지상관측 Ground based observation of proton aurora from polar region with All-Sky Camera

김지은<sup>1</sup>, 김정환<sup>1</sup>, 지건화<sup>1</sup>, 이창섭<sup>1</sup>, 길효섭<sup>2</sup>

Ji Eun Kim<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Geonwha Jee<sup>1</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>, Hyosub Kil<sup>2</sup>

극지연구소<sup>1</sup>, 존스홉킨스대학교<sup>2</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Johns Hopkins University<sup>2</sup>

The hydrogen emission is a unique feature of proton aurora in distinction from electron auroras. The emission profile viewed along the magnetic zenith from the ground is Doppler shifted with its peak blue shifted, resulting from excited energetic H atoms. Since traditional all-sky cameras (ASC) using wide band filter do not provide the information of the Doppler shift, tilting filter type ASC for observation of proton aurora (PASC) has been developed in collaboration with Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory. This PASC provides images of H $\alpha$  emission at centered 656.3 nm, and the line profile can be identified using the effect of shifting the center of the wavelength by tilting the filter. The PASC was first installed at the Jang Bogo station, Antarctica in end of 2016, followed by second PASC at Kjell Henriksen Observatory, Norway, in 2017. Both sites contain polar cusp regions in the south and north, respectively, which offers opportunity to investigate the Doppler velocity and energy of cusp precipitating protons contributing to the Earth's atmosphere variability. In this presentation, we are going to introduce to a novel method of PASC, and some early results and their implications are reported.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

JS-04

해양-대기 상호작용



## Air-sea fluxes of moisture, heat, and momentum at Socheongcho Ocean Research Station in the Yellow Sea

Junghee Yun<sup>1,2</sup>, Kyung-Ja Ha<sup>1,2</sup>, Hyeryeom Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusan National University

<sup>2</sup>Center for Climate Physics, Institute for Basic Sciences

This study focuses on the measurement and analysis of air-sea fluxes of moisture, heat, and momentum at the Socheongcho ocean research station (S-ORS) over the Yellow Sea. Installed in October 2014, S-ORS is an important site for monitoring various ocean and weather phenomena. However, some potential limitations in scientific usage are present because the observation data could be distorted under atmospheric and oceanic conditions. Here, this study examines methods for improving the quality of air-sea fluxes and the dependency of flux data on atmospheric conditions. First, the 20 Hz S-ORS data is improved through a quality control method including sequential and parallel processes. It is noted that the factors in the erroneous flux measurements are horizontal wind speed, significant wave height, relative humidity, and visibility. In particular, many water vapor records are eliminated by this method. This study determines that the flux data became contaminated owing to intense sea fog under weak wind and stable conditions. The reliability of the qualified data is determined by demonstrating their close match with National Centers for Environmental Prediction Global Data Assimilation System/Final Global Surface Flux Grids dataset except for a short-term discrepancy in the mixing ratio. Second, this study examines the relationship between wind speed and surface turbulent fluxes according to the stability. Although latent and sensible heat fluxes depend on wind speed in unstable conditions and spread with winds stronger than 10 ms<sup>-1</sup> in the stable condition, the friction velocity closely follows the Charnock relation-based prediction except for overestimation under unstable conditions. The present study reveals that seasonality in terms of weather conditions, including stability, modulates the characteristics of turbulent fluxes at S-ORS.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

JS-06

생지화학적 순환과 지구시스템



## Influence of Soil-Plant System to Horse Health at Hustai National Park in Mongolia

Young-Gwang Kim<sup>1</sup>, Lunchakorn Prathumratana<sup>1</sup>  
Bolormaa Oyuntsetseg<sup>2</sup>, Kyoung-Woong Kim<sup>1</sup>

Gwangju Institute of Science and Technology<sup>1</sup>  
National University of Mongolia<sup>2</sup>

The objective of this research is to evaluate the mineral nutrients of soil and plants in Hustai National Park (HNP) in Mongolia. The HNP has been designed to conserve the ecosystem and various wildlife, especially, a wild horse (*Przewalskii's* horse). Soil, plants, and salt samples were collected at HNP and analyzed for elemental & available P concentrations. Results showed that the concentrations of Na (94.9 mg/kg) and P (8.3 mg/kg) were extremely low compared to the world's average soil. The  $I_{geo}$  values of Cd indicated that the HNP soil may be contaminated by anthropogenic source, but Cd concentration in plant (0.04 mg/kg) was relatively low. The average concentration of P in the HNP plants (1,405 mg/kg) was consistent with the fact that the soil indicated the deficiency of P in the horse feeding. Sodium concentration in the salt (235,000 mg/kg) was enough as a dietary supplement for *Przewalskii's* horses to treat the deficiency. However, the average K concentration of the salt (223 mg/kg) was not sufficient according to the recommendation of daily uptake for horses. For the plants, *Stipa* shows the highest P uptake ratio which can be used as a bioindicator for P availability in the HNP. We may tentatively conclude that the horses in HNP are expected to experience the nutritional imbalance of P deficiency. Further studies on concentration & fractions of other elements and their relationships between soil and plants are planned.

Thanks : This research was supported by GIST Research Institute (GRI) grant funded by the GIST in 2018

## Quantitative Analysis of Nitrogen–Cycle Related Gene from Rice Paddy Soil.

Anamika Khanal<sup>1,\*</sup>, Ji–Hoon Lee<sup>1, 2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Chemistry, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

<sup>2</sup>Department of Bioenvironmental Chemistry, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

The nitrogen cycle and the microbes mediating this process has been investigated and reported in a diverse type of soil such as agriculture field, acidic forest soils, paddy soils, intertidal soil, wetlands but comprehensive understanding of these processes and also the primers for detecting the genes of those microbes still has some limitations. The main aim of this study is to quantify some of the key functional genes that are involved in the process of nitrogen cycle i.e., nitrogen fixation (*nifH*), hydrazine synthase (*hzsA*), nitrous oxide reductase (*nosZ*), copper–containing (*nirK*), cytochrome cd1– containing nitrite reductase (*nirS*), nitrite oxidoreductase (*nxrB*), and ammonium monooxygenase (*amoA*). Real–time PCR of all the genes was performed by using the absolute quantification method on the basis of gene copy number. The gene copy number of *nifH*, *amoA*, *hzsA*, *nxrB*, *nirK*, *nirS*, *nosZ1* and *nosZ2* were found to be  $8.93E+07 \pm 2.00E+07$  copies/g soil,  $1.79E+07 \pm 0.32E+07$  copies/g soil,  $4.00E+05 \pm 1.10E+05$  copies/g soil,  $4.10E+09 \pm 0.45E+09$  copies/g soil,  $3.93E+06 \pm 0.77E+06$  copies/g soil,  $2.22E+09 \pm 0.61E+09$  copies/g soil,  $9.50E+07 \pm 1.58E+07$  copies/g soil,  $2.99E+08 \pm 1.26E+08$  copies/g soil respectively showing high abundance of *nxrB* gene and low abundance of *hzsA* gene. This finding will be very helpful in studying the microbial community involved in nitrogen cycle in more detail

## Greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O) concentrations in entrapped gas in permafrost ice wedges and control mechanisms

Ji-Woong Yang<sup>1</sup>, Jinho Ahn<sup>1</sup>, Kyungmin Kim<sup>1</sup>, Taekyu Lee<sup>1</sup>, Sangyoung Han<sup>1</sup>, Ji-Hoon Kim<sup>2</sup>, Iwahana Go<sup>3</sup>, Youngjoon Jang<sup>1</sup>, Yeongjun Ryu<sup>1</sup>, Yongwon Kim<sup>3</sup>, Alexander Fedorov<sup>4</sup>, Thomas Douglas<sup>5</sup> and Jong-Sik Ryu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

<sup>2</sup>Korean Institute of Geosciences and Mineral Resources, Daejeon, Republic of Korea

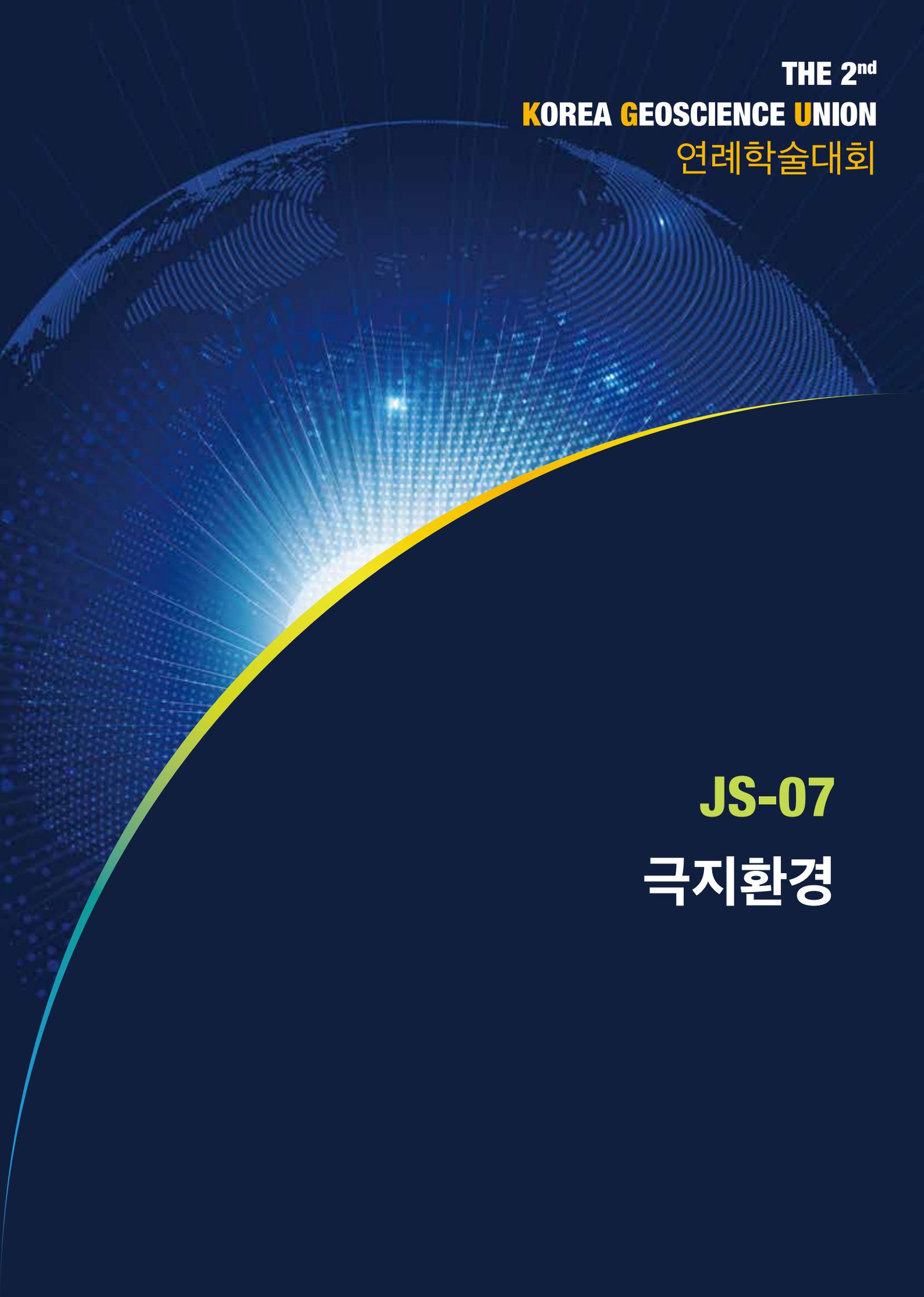
<sup>3</sup>International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, USA

<sup>4</sup>Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Science, Yakutsk, Russia

<sup>5</sup>U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Fort Wainwright, Alaska, USA

Projection of permafrost stability in the future has been of great interest so far, particularly because the thawing permafrost may lead to abrupt, and massive emission of greenhouse gases (GHGs) into the atmosphere, which in turn trigger a positive feedback processes. However, the in-situ GHG production in permafrost ground ice is poorly understood, despite the ground ice account for around 40 to 90% by volume of the upper permafrost. This study presents the compositions and centimetre-scale distributions of the important GHGs (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) in the five Pleistocene-aged ice wedges located in Alaska and Siberia, and discusses the possible origin of the observed GHGs. The GHG compositions do not represent past atmospheric signals, indicating that in-situ production and/or alteration processes occurred. The depleted molar ratio of O<sub>2</sub>-Ar ( $\delta(O_2/Ar) < -95\%$ ) and  $\delta^{13}C-CO_2$  signal ( $-26.6 \pm 2.5\%$ ) imply that the excess CO<sub>2</sub> was mainly caused by microbial respiration, consuming O<sub>2</sub>. The inverse relationship between CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, as well as subfreezing temperature of ice wedge ice which is unsuitable for thermogenic (geologic) CH<sub>4</sub> production suggest that methanogenesis is a dominant CH<sub>4</sub> source. The N<sub>2</sub>O compositions are not only higher but also lower than atmospheric level, indicating the occurrence of in-situ production and consumption by denitrification. Different ranges of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O compositions are observed in different ice wedges. The meltwater chemistry of Siberian ice wedges suggests that different reduction-oxidation conditions might be responsible for the different CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O ranges. High-resolution analysis of the CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O compositions exhibit decimeter scale variabilities, while the centimeter scale fluctuations are probably smoothed by gas diffusion in ice. In addition, comparisons between the dark, foliated, soil rich ice and relatively clear ice of Siberian ice wedges show no significant difference in the GHG compositions.





**THE 2<sup>nd</sup>**  
**KOREA GEOSCIENCE UNION**  
연례학술대회

**JS-07**  
**극지환경**



## 남극 Hercules Neve snow pit의 물안정동위원소비 변동 특성 Variability of water stable isotope ratios in a snow pit from Hercules Neve, Antarctica

김송이, 한영철, 장채원, 전성준, 홍상범, 허순도, 이정훈  
Songyi Kim<sup>1,2</sup>, Yeongcheol Han<sup>2</sup>, Chaewon Chang<sup>2</sup>, Seong Joon Jun<sup>2</sup>,  
Sang-Bum Hong<sup>2</sup>, Soon Do Hur<sup>2</sup>, Jeonghoon Lee<sup>1</sup>

이화여자대학교<sup>1</sup>, 극지연구소<sup>2</sup>  
Ewha Womans University<sup>1</sup>, Korea Polar Research Institute<sup>2</sup>

극지역의 주상 눈 시료는 비교적 최근에 내린 강설로 기후 및 기상을 이해하는데 활용된다. 강설의 물안정동위원소비는 대기 온도와 상관성이 있어 주상 눈 시료의 물동위원소비를 통해 채취 지역의 계절성을 파악할 수 있고 이는 연간 강설량 계산 및 연대 측정을 하는데 쓰인다. 이를 통해 펀코어(firn core)와 빙하코어(ice core)가 어떻게 만들어지는지, 어떻게 쌓이는 지에 대한 정보를 알 수 있다. 이 연구에서는 2014-2015년 남극 Hercules Neve 지역 (73°03'10.57"S, 165°24'38.72"E, 2864m)에서 획득한 200cm의 주상 눈 시료를 5cm 간격으로 분석하여 그 변동을 관찰하였다. 주상 눈 시료의 물안정동위원소비는 산소의 경우 -45.10 ~ -29.51‰, 수소의 경우 -355.8 ~ -229.2‰ 값을 가졌으며, 계절성이 뚜렷하게 나타났다. 이를 바탕으로 연대 측정을 하였을 때, Hercules Neve의 200cm 주상 눈 시료는 2012년부터 2015년 하계까지의 눈 시료임을 추론할 수 있었다. 이러한 연대 측정 결과는 눈 시료의 이온 데이터와 함께 기후 및 환경 변화 연구에 활용될 수 있을 것이다.

**남극 북빅토리아랜드 Styx 편코어의  
주요 이온성분 분석 및 특성**  
**Analysis of main ion components and characterization of Styx  
glacier firn core in Northern Victoria Land, Antarctica**

장채원<sup>1</sup>, 문장일<sup>1,2</sup>, 한영철<sup>1</sup>, 노석현<sup>1,2</sup>, Yalalt Nyamgerel<sup>3</sup>,  
김송이<sup>3</sup>, 전성준<sup>1</sup>, 허순도<sup>1</sup>, 김성중<sup>1</sup>, 홍상범<sup>1</sup>  
Chaewon Chang<sup>1</sup>, Jangil Moon<sup>1,2</sup>, Yeongcheol Han<sup>1</sup>, Seokhyun Ro<sup>1,2</sup>, Yalalt Nyamgerel<sup>3</sup>,  
Songyi Kim<sup>3</sup>, Seong Joon Jun<sup>1</sup>, Seong-Joong Kim<sup>1</sup>, Soon Do Hur<sup>1</sup>, Sang-Bum Hong<sup>1</sup>

한국해양과학기술원 부설 극지연구소<sup>1</sup>, 인하대학교 해양과학과<sup>2</sup>  
이화여자대학교 과학교육학과<sup>3</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Department of Ocean Sciences, Inha University<sup>2</sup>,  
Department of Science Education, Ewha Womans University<sup>3</sup>

극지방의 빙하에서 획득한 얼음코어시료는 과거의 대기 및 기후 환경을 복원하고 그 변화를 파악하는데 유용하다. 그중 주로 대기 미세먼지와 가스로부터 기원하는 주요이온성분들( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$  등)의 조성과 농도변화 특성은 과거의 대기환경 변화를 복원함에 있어 필수적인 요소이다. 본 연구에서는 남극장보고과학기지에서 북쪽으로 약 85 km 떨어진 스틱스(73° 51.10'S, 163° 41.22'E, 1623 m)에서 획득한 약 9 m의 편코어(firn core)에서 35년간의 주요이온성분들의 기록을 복원하고, 비해염기원 이온성분들( $\text{nssSO}_4^{2-}$ ,  $\text{nssCa}^{2+}$ ,  $\text{nssCl}^-$ ,  $\text{F}^-$ )의 특성을 파악하고자 하였다. 비해염기원 이온성분 중 플루오르이온( $\text{F}^-$ )은  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 와 더불어 과거 대규모 화산활동을 지시하는 대표적인 프록시로 알려져 있다. 특히  $\text{F}^-$ 은  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  피크가 관찰되지 않는 특정 지역 화산활동을 식별할 수 있는 프록시로 활용할 수 있다. 하지만 극지역의 눈과 빙하코어의  $\text{F}^-$ 는 미량(sub-ppb)으로 함유되어 있기 때문에 대규모 화산활동과 관련된 남극지역의 일부 연구를 제외하면 비교할 만한 자료가 거의 없는 실정이다. 분석 결과  $\text{F}^-$ 의 농도범위는 0.04  $\mu\text{g/L}$ ~8.80  $\mu\text{g/L}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는 16.30  $\mu\text{g/L}$ ~2117  $\mu\text{g/L}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 는 2.38  $\mu\text{g/L}$ ~311  $\mu\text{g/L}$  수준으로 나타났으며, 상대적으로 높은 농도의  $\text{F}^-$ 가 0.1 m, 1.4 m, 3 m, 6.5 m, 8 m 부근에서 관찰되었다. 이는 일부 비해염기원 이온성분들과 유사한 경향을 나타냈다.

## 겨울철 한국 PM10 농도의 경년 변동에 대한 북극 해빙의 영향 Impact of Arctic Sea Ice Concentration on Interannual Variability of PM10 Concentration in South Korea during winter season

김정훈<sup>1,5</sup>, 김맹기<sup>1</sup>, 허창회<sup>2</sup>, 박록진<sup>2</sup>, 김민중<sup>3</sup>, 임철수<sup>4</sup>, 김성중<sup>5</sup>  
Jeong-Hun Kim<sup>1</sup>, Maeng-Ki Kim<sup>1</sup>, Chang-Hoi Ho<sup>2</sup>, Rokjin J. Park<sup>2</sup>,  
Minjoong J. Kim<sup>3</sup>, Cheol-Soo Lim<sup>4</sup>, Seong-Joong Kim<sup>5</sup>

공주대학교 대기과학과<sup>1</sup>, 서울대학교 지구환경과학부<sup>2</sup>, 명지대학교 환경공학과<sup>3</sup>,  
국립기상과학원 지구환경연구과<sup>4</sup>, 극지연구소 극지기후과학연구부<sup>5</sup>  
Kongju National University<sup>1</sup>, Seoul National University<sup>2</sup>, Myongji University<sup>3</sup>,  
National Institute of Environmental Research<sup>4</sup>, Korea Polar Research Institute<sup>5</sup>

최근 기후 변화에 의해 북극 온난화가 빠른 속도로 진행되고 있으며, 북극 해빙 역시 빠르게 감소하는 추세이다. 하지만 해빙 농도의 변동이 한국 PM10 농도에 미치는 영향에 대한 연구가 매우 부족하다. 본 연구에서는 국립환경과학원에서 제공하는 최근 18년간 (2001~2018년) 관측소 별 한국 PM10 농도 자료와 최근 40년간 (1979~2018년) NCEP/NCAR의 재분석자료를 사용하여, 겨울철 한국 PM10 농도의 경년 변동과 이와 관련된 북반구 대기 순환의 특성을 분석하였다. 또한, 고농도 PM10 오염과 관련된 북반구 대기 순환과 북극 해빙과의 관련성을 분석하기 위하여 최근 19년간 (2000~2018년) NOAA에서 제공되는 OISST의 해빙 농도 자료를 분석하였다. 겨울철 한국 PM10 농도는 연직 대기 안정도 지수에 비해 수평 환기 지수에 지배적인 영향을 받는 것으로 나타났다. 잠재오염농도 지수(Potential Pollution Index, PPI)는 PM10 농도와 환기 효과간의 상관계수가 가중치로 적용된 두 환기 지수의 선형 결합으로 정의되었으며, 한국 PM10 농도의 주요 경년 변동을 설명할 수 있는 것으로 나타났다. PPI는 한반도의 대기 상층에 위치한 아노말리성 고기압과 한반도의 북쪽으로 상대적으로 강화된 제트 기류에 영향을 받으며, 하층 시베리아 고기압과 알루산 저기압이 상대적으로 약화되는 대기 순환 구조에서 고농도 PM10 오염이 발생하는 것으로 나타났다. 특히, 관측에서 겨울철 한국 PM10 농도와 연관된 북반구 대기 순환은 선행하는 계절의 북극 바렌츠 해의 해빙 농도와 유의한 관련성이 나타났으며, 전지구 기후모형 실험을 통하여 해빙 농도의 변화가 한국 PM10 농도 증가에 유리한 대기 순환 패턴을 유도하는지 검증하였다.

감사의 글 : 이 연구는 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행되었음

극지 빙하코어시료의 주요미량원소 농도 측정을 위한  
실험수의 배경농도 분석  
Determination of blanks in laboratory water for measurement of  
trace elements in polar ice core

정혜진, 한창희, 한영철, 허순도  
Hyejin Jung, Changhee Han, Yeongcheol Han, Soon Do Hur

극지연구소  
Korea Polar Research Institute

극지역은 청정한 지역으로 빙하 내 무기원소의 함량은 ppt 또는 sub-ppt ( $10^{-12} \text{ g g}^{-1}$ ) 수준으로 빙하의 연구에 이용되기 위해서는 분석결과에 영향을 줄 수 있는 실험배경농도 측정은 매우 중요하다. 실험배경농도에는 분석과정동안 시료와 직접적으로 접촉하는 실험용기로 부터의 오염과 시약 및 실험수(초순수)의 배경농도가 포함된다. 특히, 실험수는 실험용기의 세척을 포함한 모든 청정실험실에 기본이 되고 시약의 희석에도 이용되므로 실험수의 배경농도를 정밀 측정할 필요가 있다. 본 연구에서는 빙하시료 분석을 위한 실험수로 활용하고 있는 Milli-Q water와 이를 추가 정제한 두 종류의 Sub-boiled water를 비교하였다. Sub-boiled water는 Quartz재질인 Milestone사의 DuePUR와 Teflon재질인 Savillex사의 DST-1000 정제장치를 이용하였다. 주요 미량원소의 분석은 극지연구소의 고분해능 유도결합 플라즈마 질량분석기 (Inductively Coupled Plasma Sector Field Mass Spectrometry, Element 2, Thermo Scientific)를 활용하였다. 본 연구를 통해 극지 빙하코어 내 극미량 농도의 무기원소 분석에 기반이 될 청정실험 환경(실험수)을 구축하고자 한다.

극지역 여름철 기후모드의 조절자들;  
 스톰부터 전구 규모 원격상관까지  
 Modulators of the Arctic summer climate modes;  
 from storm to global teleconnection

이민희<sup>1</sup>, 김주홍<sup>1</sup>  
 Min-Hee Lee<sup>1</sup>, Joo-Hong Kim<sup>1</sup>

극지연구소<sup>1</sup>  
 Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>

In this study, we investigate several factors to modulate the summer Arctic circulation which has a significant linkage with the sea-ice variation. Using self-organizing map (SOM) clustering, the daily Arctic (north of 60 °N) mean sea level pressure (MSLP) during 1979–2017 is classified to three SOM modes through the procedure finding the optimal number. The resultant patterns are characterized by the negative Arctic mode, the dipole mode between Pacific (positive) and Atlantic (negative) sides, and the positive Arctic mode with weak negative Russia for SOM1, SOM2, and SOM3, respectively. The occurrences of the frequency of each SOM pattern computed by counting the number of days that are matched to each SOM in a year show not only the large interannual variation but also the decadal shift. Since Arctic summer is well known as the most synoptic period with the frequent storm occurrence in Arctic central Ocean, we first check the influence of storms on these variabilities in SOM occurrences. All spatial and temporal changes in Arctic MSLP are largely explained by the storm distributions in the interannual time scale. Considering the short scale of e-folding time of all three SOM mode, we also analyze the daily evolution of atmospheric condition in the synoptic scale, and obtain the consistent results with the unfiltered daily SOM pattern and the associated storm distribution. From these, we can conclude that the Arctic summer MSLP variability is attributed to the accumulated effect of the spatio-temporal distribution of synoptic storms.

Further, the possible factors to modulate summer Arctic MSLP via affecting the storm distribution in the longer time scale are investigated. Basically, it is well known that the activity of storm is strongly related to the baroclinic instability. Indeed, the storm activity related to each SOM pattern are all significantly linked with the baroclinic instability which is determined from the surface temperature distribution. Since the Arctic surface condition can be modulated by the snow cover or sea-ice condition from the preceding season, we also investigated the snow cover, sea-ice, and the SST teleconnection from the preceding winter to the following winter.

## 통계복원을 이용한 과거 아문젠해 저기압의 활동 연구 A study of past Amundsen Sea Low intensity using a statistical reconstruction

임창규<sup>1</sup>, 김주홍<sup>1</sup>, 김성중<sup>1</sup>  
ChangKyu Lim<sup>1</sup>, Joo-Hong Kim<sup>1</sup>, Seong-Joong Kim<sup>1</sup>

극지연구소<sup>1</sup>  
Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>

In recent decades, West Antarctic has experienced extremely climate change with increase temperature in Antarctic Peninsula and change sea ice. The Amundsen Sea Low (ASL) is climatological low system in Antarctic. ASL is major factor of West Antarctic climate change such as warming in Antarctic Peninsula and loss of Bellinghausen sea ice but increase of Ross sea. So in understanding the Antarctic climate, ASL has the same importance as Antarctic Oscillation (AAO). Past climates studies can reduce the uncertainty of future forecasts (Henderson et al., 2009). In other words, the reason for studying the changes of the ASL in the past twentieth century is that the understanding of the past can reasonably predict the future. However, because the history of observations in situ is not long, it is difficult to understand the past through observation data. So, in this study we used a statistical approach based on teleconnection between ASL and various variables such as surface air temperature, sea level pressure, sea surface temperature.

To reconstruct the past of ASL intensity, we employed a multi-linear regression model. Three reanalysis data to be used in this statistical models have been selected such as JRA55 of Japan Meteorological Agency, ERA 40 of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, and NCEP reanalysis 1 of National Centers for Environmental Prediction. The CRUTEM4, HadSLP2, HadSST3 data from Met Office is suitable for use as predictor because it provides monthly average of 5 degree by 5 degree grid at ground stations, ships and buoy since 1850. Three statistical models of each season were used to reconstruct ASL's centre pressure from 1900 to 2000. We also perform an ensemble experiment with 1000 members for each statistical models. The results of reconstruction show that ASL had deepened during 20th century. In addition, there was deepening trend of ASL during only austral spring season at 95% significant level.

Thanks : This study was funded by "Investigation for the cause of east-west different climate responses in Antarctica(PE19010)"

## Water isotopic composition of Styx Glacier firn cores and its association to air temperature

Yalalt Nyamgerel<sup>1,2</sup>, Yeongcheol Han<sup>2</sup>, Songyi Kim<sup>1,2</sup>, Sang-Bum Hong<sup>2</sup>  
Jeonghoon Lee<sup>1</sup>, Soon Do Hur<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Science Education, Ewha Womans University,  
Seoul 120-750, Korea

<sup>2</sup>Division of Paleoenvironment, Korea Polar Research Institute (KOPRI), Incheon  
406-840, Korea

Stable water isotopic ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$ ) composition of a polar ice core is correlated to the surface air temperature and used as a proxy for paleo-temperature. This study focused on the coastal Antarctic site (Styx Glacier, northern Victoria Land) where precipitation and its chemical impurities are dominantly sourced from the neighboring ocean. The firn cores and snow pit samples obtained during the 2014-2015 austral summer and examined with its isotopic and chemical compositions. The annual mean isotope ratios were compared to the air temperature recorded by automatic weather stations (AWS) near the site and ERA-Interim reanalysis 2-m temperature data. The less varied snow pit  $\delta^{18}\text{O}$  and temperature reveals the correlation ( $R^2=0.5$ ,  $n=32$ ,  $p<0.001$ ), confirming the identical seasonal pattern. However this correlation was weakened for the firn cores, as seasonal peaks and dips of the isotope ratios have been shifted and attenuated with increasing depth. This indefinite variability is likely to imply contribution of various influencing factors on isotope composition of aged precipitation.

## Paleoceanographic changes during the past one million years in the Central Basin, northwestern Ross Sea

Min Kyung Lee<sup>1</sup>, Kyu-Cheul Yoo<sup>1</sup>, Jae Il Lee<sup>1</sup>, Christian Ohneiser<sup>2</sup>, Sunghan Kim<sup>1</sup>, Robert McKay<sup>3</sup>, Olya Albot<sup>3</sup>, Christina Riesselman<sup>2</sup>, Michael Bollen<sup>2</sup>, Richard Levy<sup>4</sup>, Ho Il Yoon<sup>1</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, University of Otago, NZ<sup>2</sup>  
Victoria University of Wellington<sup>3</sup>, NZ, GNS Science, NZ<sup>4</sup>

The Central Basin is located in the northwestern Ross Sea continental slope and rise. A 11.75 m-long core RS15-LC42 was collected from the southwestern part of the Central Basin (71° 49' S, 178°35' E, 2084 m deep) by the Korean RVIB Araon in 2015. This core covers about 1.3 million years, and the chronology is established based on paleomagnetism and diatom biostratigraphy. Ohneiser et al. (2019) reported Brunhes-Matuyama reversal (0.78 Ma) at 8.26 mbsf of this core, and according to paleo-intensity records the sedimentation is almost continuous although there is a hiatus near 9.54 mbsf. LC42 core is composed of two distinct sedimentary facies: 1) well-laminated greenish gray diatom-rich silty mud, and 2) massive/bioturbated light gray sandy mud. Well-laminated facies include high content of TOC, opal and carbonate with no IRD (clasts > 2 mm), while massive/bioturbated sandy mud facies show high MS value and bear IRDs. Clay mineral composition indicates that illite is rich in facies 1, while smectite and kaolinite is relatively rich in facies 2. The difference in clay mineral composition between two facies suggests that clay minerals within two facies originated from different sources. The diatom assemblage in LC42 include reworking indicator species (early-Pliocene and Miocene taxa), and the degree of reworking is severe in facies 1 compared to facies 2. The tendency of reworking is evident in the lower part of the boundary between 2.8 and 3.25 mbsf. This result suggest that there was a significant shift in the oceanographic regime in this region around 0.3 Ma.

Thanks : This research was conducted by Korea Polar Research Institute's support.

그린란드 NEEM 빙하코어에 기록된 지난 5만년 동안의 북반구  
고위도 먼지기원지 추적  
Provenance of dust to the NEEM site, Greenland, during the last  
50,000 years

한창희<sup>1</sup>, 한영철<sup>1</sup>, 이강현<sup>1</sup>, 허순도<sup>1</sup>, 홍성민<sup>2</sup>  
Changhee Han<sup>1</sup>, Yeongcheol Han<sup>1</sup>, Khanghyun Lee<sup>1</sup>, Soon Do Hur<sup>1</sup>,  
Sungmin Hong<sup>2</sup>

극지연구소<sup>1</sup>, 인하대학교<sup>2</sup>  
Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Inha University<sup>2</sup>

과거 북반구 고위도로 이동된 먼지의 기원지 추적을 위해 그린란드에서 시추한 NEEM (North Greenland Eemian Ice Drilling) 빙하코어 샘플에서 납(Pb)과 스트론튬(Sr) 안정동위원소 조성을 분석하였다. 빙하코어 시료는 청정실험환경에서 외부오염제거 과정을 거친 후에 열이온화질량분석기(Thermal Ionization Mass Spectrometry, Thermo Scientific)를 이용하여 동위원소를 분석하였으며, 납의 정량분석은 동위원소희석법(Isotope Dilution Mass Spectrometry; <sup>204</sup>Pb enriched spike)을 이용하였다.

그린란드 빙하코어에 존재하는 납은 주로 지각먼지(mineral dust)로부터 유래하기 때문에 빙하코어 시료의 납안정동위원소 조성은 지각먼지 입자의 기원지에 따라 다르게 나타난다. 따라서 납안정동위원소 변화는 지각먼지의 기원지를 추적하는데 활용할 수 있으며, 기후변화에 따른 발원지의 환경변화를 유추할 수 있고, 그린란드로 장거리 이동된 경로를 파악하여 반구규모에서의 대기순환 변화를 규명할 수 있다. 이전 연구들은 그린란드에서 시추한 여러 빙하코어에서 광물학적 화학특성 및 다양한 동위원소(Nd, Sm, Sr, Pb 등) 분석을 통하여 그린란드로 유입되는 지각먼지들이 빙하기와 간빙기의 구분 없이 주로 중앙아시아의 사막지역(고비, 타클라마칸)에서 발원하여 장거리 이동에 의해 그린란드까지 도달한다고 제시하고 있다. NEEM 빙하코어에서는 가장 기후변화가 급격하게 진행된 지난 3만년 동안의 기간동안 중앙아시아의 사막지역 이외에도 아프리카의 사하라 사막에서도 먼지가 유입될 수 있음이 보고되었다. 본 연구에서는 NEEM 빙하코어의 납, 스트론튬 동위원소 기록을 과거 5만년 전까지 연장하여 지난 최대빙하기 이전 시기에 기후변화에 따른 지각먼지의 기원지 변화를 추적하고 대규모 대기순환 변화와의 연관성을 규명하고자 한다.

## 위성관측 자료를 활용한 남반구 중위도 에어로졸, 일산화탄소, 이산화질소, 포름알데히드의 시공간적 분포 및 경향

안다현<sup>1</sup>, 최태진<sup>2</sup>, 김 준<sup>1</sup>, 박상서<sup>3</sup>, 이윤곤<sup>4</sup>, 김성중<sup>2</sup>, 구자호<sup>1</sup>  
 Dha Hyun Ahn<sup>1</sup>, Taejin Choi<sup>2</sup>, Jhoon Kim<sup>1</sup>, Sang Seo Park<sup>3</sup>, Yun Gon Lee<sup>4</sup>,  
 Seong-Joong Kim<sup>2</sup>, Ja-Ho Koo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 대기과학과, <sup>2</sup>한국해양과학기술원 부설 극지연구소,  
<sup>3</sup>서울대학교 대기과학과, <sup>4</sup>충남대학교 대기과학과

<sup>1</sup>Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University, <sup>2</sup>Korea Polar Research Institute, <sup>3</sup>School of Earth and Environment Sciences, Seoul National University, <sup>4</sup>Department of Atmospheric Sciences, Chungnam National University

남극 지역은 지형 및 기상학적 특성 때문에 외부 영향을 거의 받지 않는 것으로 알려져 있었지만, 최근의 연구들은 중위도로부터의 오염이 남극에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 본 연구에서는 남반구 중위도에서 발생한 대기오염이 남극 지역에 미치는 영향을 보기 위해 에어로졸 광학 깊이(Aerosol optical depth, AOD), 일산화탄소(Carbon monoxide, CO), 이산화질소(Nitrogen dioxide, NO<sub>2</sub>) 및 포름알데히드(Formaldehyde, HCHO) 위성관측 자료를 이용하여 기후학적 평균 및 트렌드를 살펴보았다. 분석을 위해 2005년부터 2016년까지 12년간의 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) AOD, Measurements of Pollution in the Troposphere (MOPITT) CO, Ozone Monitoring Instrument (OMI) NO<sub>2</sub>, HCHO level 3 자료를 이용하였다. 모든 물질이 남아메리카, 아프리카, 호주 대륙 부근에서 높게 나타남을 확인하였는데, 이러한 패턴은 인간 활동과 바이오매스 연소 과정에 의한 대규모 배출 효과로 해석된다. 중위도 대기 오염물질의 남극 대륙으로의 수송 가능성을 보기 위해 Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPPLIT) 모델을 이용하여 10일간의 역궤적을 분석한 결과, 동남극 지역에서는 중위도로부터의 유의미한 수송 패턴을 볼 수 없는 반면, 서남극 지역에서는 중위도로부터 오염물질이 유입될 가능성을 보이는 역궤적 분포를 확인할 수 있었다. 이는 남아메리카와 아프리카에서 배출되는 오염물질이 남극으로 유입될 수 있음을 시사한다. 추가적으로 지난 10년 동안 AOD, CO, NO<sub>2</sub> 및 HCHO의 선형 트렌드를 계산한 결과, CO는 감소하나 AOD, NO<sub>2</sub>, HCHO는 증가하는 경향을 확인하였다.

※ 이 연구는 극지연구소의 지원을 받아 수행되었습니다.(PE19010)

## 로스해 대륙주변부 동쪽과 서쪽의 점토광물 조성 and 퇴적물 기원지 비교 Comparison of clay mineral compositions and sediment provenances between the eastern and western parts of the continental margin in the Ross Sea

하상범<sup>1</sup>, 김부근<sup>1</sup>, E. Colizza<sup>2</sup>, 조현구<sup>3</sup>, 구효진<sup>3</sup>  
Sangbeom Ha<sup>1</sup>, Boo-Keun Khim<sup>1</sup>, Ester Colizza<sup>2</sup>, Hyen Koo Cho<sup>3</sup>, Hyojin  
Koo<sup>3</sup>

부산대학교<sup>1</sup>, 트리에스테대학교<sup>2</sup>, 경상대학교<sup>3</sup>  
Pusan National University<sup>1</sup>, University of Trieste<sup>2</sup>, Gyeongsang National  
University<sup>3</sup>

로스해 대륙주변부 동쪽과 서쪽의 퇴적물 기원지를 파악하기 위하여 동쪽 대륙사면에서 중력코어 RS14-GC2를 서쪽 중앙분지에서 중력코어 KI-13-GC2를 각각 채취하여 대자율측정, 입도분석, 그리고 점토광물 조성 분석이 AMS <sup>14</sup>C 연대 측정과 함께 수행되었다. KI-13-GC2의 코어 퇴적물은 주로 빙운퇴적물(IRD)를 포함한 점토 또는 사질 점토로 구성되어 있으며, RS14-GC2의 코어 퇴적물은 빙운퇴적물을 포함한 반원양성 사질 점토 또는 실트질 점토로 구성되어 있다. 두 코어 퇴적물은 모두 상부에서 밝은 갈색의 퇴적물이 하부에는 회색 퇴적물이 나타나며, RS14-GC2에서는 갈색의 퇴적물이 코어 최하부에서 다시 나타나는 반면, KI-13-GC2에서는 갈색과 회색 퇴적물이 수 회 교호하며 나타난다. 세립퇴적물의 점토광물 조성은 두 코어 모두에서 일라이트(KI-13-GC2: 59.1~76.2%, RS14-GC2: 61.8~76.7%)가 가장 우세하게 나타나며, 다음으로 녹니석(KI-13-GC2: 12.4~21.4%, RS14-GC2: 15.7%~21.3%), 카올리나이트(KI-13-GC2: 4.1~11.6%, RS14-GC2: 3.6%~15.4%), 마지막으로 스�멕타이트(KI-13-GC2: 1.2%~22.6%, RS14-GC2: 0.9%~5.1%)의 순서로 나타났다. 빙하기동안 로스해의 대륙주변부 동쪽과 서쪽에는 일라이트와 녹니석이 모두 우세하게 나타나며, 로스해의 남쪽에 위치한 남극횡단산맥의 기반암으로부터 빙하의 침식과 용빙수에 의하여 일라이트와 녹니석이 풍부한 점토광물이 활발하게 공급되었을 것으로 추정된다. 반면 간빙기동안 대륙주변부 동쪽과 서쪽에 점토광물의 조성이 다르게 나타나는 것은 퇴적물 기원지의 차이 때문으로 해석된다. 로스해의 동쪽에 위치한 Mary Bird Land 또는 Edward 7세 반도로부터 스�멕타이트와 카올리나이트가 남극사면류에 의해 주로 대륙주변부 동쪽으로 공급된다. 반면, 대륙주변부 서쪽의 스�멕타이트와 카올리나이트는 로스해 남서쪽 대륙붕에 분포하는 맥머도화산군과 카올리나이트를 포함하고 있을 것으로 추측되는 퇴적암에서 공급되어 대륙붕을 빠져나가 외해로 흐르는 해류에 의해 운반된 것으로 추정된다.

## Preliminary result: Investigation of microbe–mineral interaction in the paleo–Subglacial lake: Crystal Sound, Antarctica

Young Kyu Park<sup>1</sup>, Jaewoo Jung<sup>1</sup>, Kee Hwan Lee<sup>1</sup>, Kyu–Cheul Yoo<sup>2</sup>, Chung Yeon Hwang<sup>2</sup>, Jae Il Lee<sup>2</sup>, Jinwook Kim<sup>1</sup>

Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul, Korea<sup>1</sup>,  
Korea Polar Research Institute, Incheon, Korea<sup>2</sup>

Dissolution of Fe from Fe-bearing mineral through biotic/abiotic process beneath the Antarctic ice sheet is being significantly recognized as a source of bioavailable iron in the Antarctic region. However, the microbially-mediated mineral reaction in the subglacial lake, which is unique, isolated and low temperature subglacial aqueous environments remain poorly understood. Here, total 884 cm of marine core sediments at Crystal Sound, Antarctic Peninsula was collected during ANA07D CRUISE 2017 Expedition. The recovered sedimentary succession of the marine core consists of three lithostratigraphic units. Sedimentary facies below 680 cm are likely to be characterized by turbidite with stacked sequences of interbedded fine-grained sediments & dropstone diamicton, represented paleo-subglacial lake. In addition, mineralogical characteristic of paleo-subglacial lake sediment showed variation of clay mineral assemblage and mineral composition. Batch experiment of the paleo-subglacial lake sediment under the low temperature (from 4 °C, pH 7), anoxic and dark condition were also performed to understand the microbial Fe respiration in the subglacial lake environment. Furthermore, observation of structural/chemical modification of mineral using XRD, SEM and TEM, porewater chemistry of core sediment, and analysis of microbial diversity using 16S rRNA pyrosequencing in enrichment sample will be discussed.

## Seasonal Changes in As, Bi, Cd, Mo and halogen elements recorded in Greenland EastGRIP snow pit

이승미<sup>1</sup>, 이강현<sup>2</sup>, 장채원<sup>1</sup>, 홍상범<sup>1</sup>, 김송이<sup>1,3</sup>, 한영철<sup>1</sup>, 허순도<sup>1</sup>  
Seungmi Lee<sup>1</sup>, Khanghyun Lee<sup>2</sup>, Chaewon Chang<sup>1</sup>, Sang-Bum Hong<sup>1</sup>,  
 Songyi Kim<sup>1,2</sup>, Yeongcheol Han<sup>1</sup>, Soon Do Hur<sup>1</sup>

극지연구소 극지고환경연구부<sup>1</sup>, 극지연구소 K-루트사업단<sup>2</sup>, 이화여자대학교<sup>3</sup>  
 Division of Paleoenvironment, Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>,  
 Unit of Antarctic K-route Expedition, Korea Polar Research Institute<sup>2</sup>, Department  
 of Science Education, Ewha Womans University<sup>3</sup>

On July 2017, a series of 38 snow samples were collected from 1.9 m deep snow pit at the Greenland EastGRIP deep ice core drilling camp in 5 cm interval. We determined As, Ba, Bi, Cd, Mo and halogen elements together with water stable isotope ratios ( $\delta^{18}\text{O}$ ) and ion species such as  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , MSA (methylsulfonic acid), and  $\text{SO}_4^{2-}$  from these samples.

Well defined  $\delta^{18}\text{O}$  record indicates that the 1.9m deep snow pit samples cover 4.5 years from 2012 winter to 2017 summer. The concentration records of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and Ba generally show peaks during spring seasons. This implies the large increases of atmospheric input of crust dust and sea salt for that season as well as other Greenland snow and icecore records. However,  $\text{SO}_4^{2-}$  also showed large peak from 2014 fall to 2015 spring. This is most likely due to the eruption of Holuhraun volcano, Iceland.

As, Bi, Cd and Mo are known to be largely contributed by volcanic eruption. However, in our samples, no significant enrichment of these elements were found for the period of 2014~2015. Only Cd showed 2~3 times increase of crust enrichment factor (EFC). Considering the high EFC values of As, Bi, Cd and Mo over all samples, these elements seem to be significantly enriched by anthropogenic emissions, and thus the volcanic contributions were relatively small. In additions, Holuhraun eruption was known to be gas rich and ash poor. This also well supports the little influence of that volcanic eruption on the atmospheric input of the trace metals. Halogen elements such as Br and I reveal the seasonal change of these elements are characterized by summer peak. This represents that the atmospheric input of Br and I are related to bio-activities in polar region which is maximized during summer season.

## 북극 온난화에서 강한 대서양 폭풍의 중요한 역할 A Critical Role of Extreme Atlantic Windstorms in Arctic Warming

홍자영<sup>1</sup>, 김백민<sup>2</sup>, 백은혁<sup>3</sup>, 김주홍<sup>1</sup>, Xiangdong Zhang<sup>4</sup>, 김성중<sup>1</sup>, 이솔지<sup>1</sup>  
JaYoung Hong<sup>1</sup>, BaekMin Kim<sup>2</sup>, EunHyuk Baek<sup>3</sup>, JooHong Kim<sup>1</sup>, Xiangdong  
 Zhang<sup>4</sup>, SeongJoong Kim<sup>1</sup>, Solji Lee<sup>1</sup>

극지연구소<sup>1</sup>, 부경대학교<sup>2</sup>, 전남대학교<sup>3</sup>, 알래스카 대학교<sup>4</sup>  
 Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Pukyong National University<sup>2</sup>, Chonnam National  
 University<sup>3</sup>, University of Alaska Fairbanks<sup>4</sup>

Here we show that Atlantic windstorms of extreme category in northern winter tend to follow a well-defined route toward the Atlantic sector of Arctic, and that heat and moisture transported by these extreme storms significantly warm the Arctic. A positive North Atlantic Oscillation condition and the associated intensified upper-level Atlantic jet provide favorable conditions for those extreme storm developments through enhanced vertical wind shear. These extreme windstorms lead to two discernible impacts on the Arctic: 1) enhanced poleward energy transport by moisture intrusion to the Arctic, which accompanies increased longwave downward radiation and 2) the occurrence of blocking-like patterns after the storm break-up. During these periods, significant Arctic warming was observed of a 10-fold increase versus normal and weak storms. The poleward deflections of extreme storms, and the Arctic warming driven by such storms, are well simulated in numerical experiments with oceanatmosphere coupled models.

Thanks : This study was supported by ‘Development and Application of the Korea Polar Prediction System (KPOPS) for Climate Change and Weather Disaster (PE19130)’ project of the Korea Polar Research Institute.

## River discharge over the pan-Arctic region at the end of 21<sup>st</sup> century

Mee-Hyun Cho<sup>1</sup>, Baek-Min Kim<sup>2</sup>

Korea Polar Research Institute<sup>1</sup>, Pukyong National University<sup>2</sup>

The warming of the Arctic has progressed much faster than the global average, which is expected to amplify by the end of the 21st century. In this study, we evaluated runoff simulations against observations R-ArcticNET version 4. We utilized the National Center for Atmospheric Research's Community Land Model (CLM) 4.5. The CLM 4.5 simulates average runoff over the pan-Arctic region reasonably well. Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5 and RCP 8.5 scenarios are applied to project the change of the runoff at the end of the 21st century compared to the present. In both scenarios, an overall increase in river flow is anticipated over the pan-Arctic, but under RCP 8.5, the increase is expected to be 19% greater than RCP 4.5. The runoff is the difference between precipitation and evaporation. Under the RCP 8.5, the rise in precipitation-evaporation is higher than under RCP 4.5, so the increase in runoff under the RCP 8.5 is more significant. However, the horizontal distribution of the rise showed regional differences. The regional melting of permafrost soils shows a substantial contribution to the increase of the runoff in the Lena, Anadyr, Kolyma, and Mackenzie Basin. In fact, under RCP 4.5, these areas remained frozen, but under RCP 8.5, at the end of the 21st century, the frozen soil of this area disappeared, and soil ice turned into soil liquid, leading to the increased river flow. Under the RCP 8.5 where greenhouse gases are continuously emitted as at present, it implicates that at the end of the 21st century, the permafrost almost disappeared and this could significantly increase the freshwater inflow to the Arctic Ocean.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

JS-09

동아시아-인도 몬순  
: 과거, 현재 그리고 미래



## 대형연구선 이사부호의 이동향해 자료를 이용한 뱅갈 해저 선상지 활성 해저 수로의 지형학적 특징분석 Geomorphologic features of Bengal Submarine Canyon captured by RV ISABU

박요섭, 고지은  
Yosup Park, Jieun Ko

한국해양과학기술원

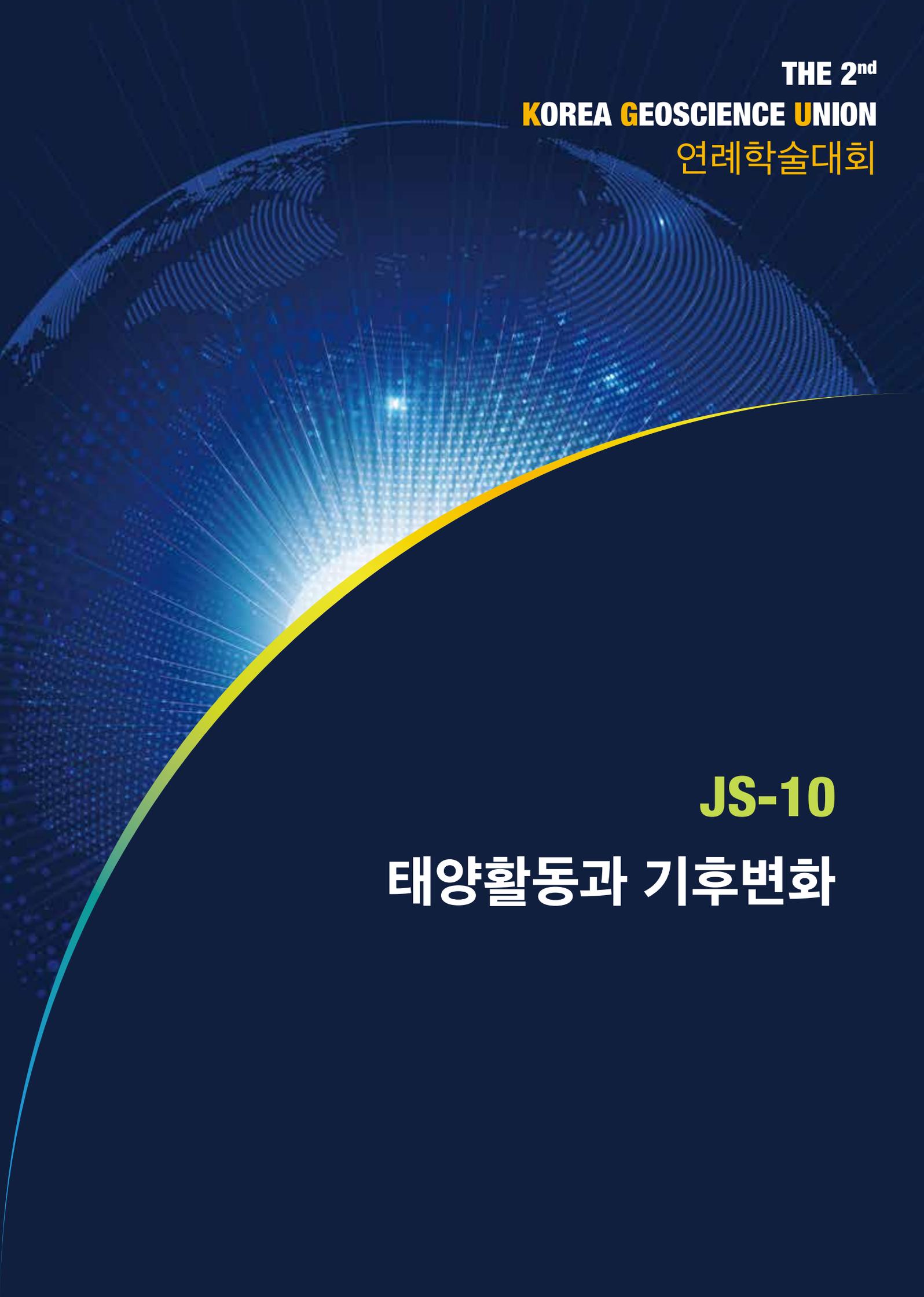
뱅갈 해저 선상지(Bengal Deep Sea Channel)는 지구상의 최대 규모의 해저 선상지로서 히말라야에서 유래한 퇴적물들이 매년 약 1 기가톤씩 운반되어 퇴적되는 곳이다. 뱅갈 해저 선상지의 지탁암은 “source-to-sink” 개념에 따라 인도 몬순 변화에 의한 육상의 풍화, 하천에 의한 퇴적물 운반, 식생의 변화 양상을 기록하였을 것으로 여겨지며, 현재까지 알려진 바에 의하면, 인도 겐지스강 하구에서부터 적도를 지나 남위 3° 48'까지 연장되어 있으며, 탐사 자료의 미비로 종단부는 확인되지 않고 있다.

한국해양과학기술원 대형연구선 이사부호는 인도양에서의 연구조사 수행을 위하여, 해저 선상지가 발달한 뱅갈만 해역을 매년 수차례 왕복이동하며, 이사부호 선저에 장착된 KM EM122(12 KHz) 멀티빔 음향측심기를 이용하여 정밀해저지형을 취득하고 있다. 본 연구는 이동향해에서 취득된 정밀해저지형을 처리하여, 뱅갈 해저수로의 지형적 특징을 분석한 사전연구 결과를 제시하고 있다. 분석 대상은 이사부호가 이동하는 위도인 북위 5° 부근대에서 확인된 멀티빔 음향측심자료이며, 해저 수로의 특징적 형상을 분석하였다. 뱅갈 해저 수로에서는 다양한 구배의 사행천(meandering)과 우각호(cut-off loops)가 존재하며, 북위 5°, 동경 83° 부근 해저 수로의 폭은 3km, 깊이는 100m에 달한다.

향후, 이사부호의 이동향해 항로를 보다 계획적으로 설정하여, 조사 범위를 남북으로 확대하고, 활성 수로의 연차변화 등을 관찰할 수 있는 해역을 선정하여, 기후 이벤트에 따른 지형 변화의 기초자료로 활용될 수 있도록 연차 자료를 구축할 예정이다. 구축된 이동향해 자료는 GEBCO(The General Bathymetric Chart of the Oceans) 및 IOC Seabed 2030 Program등의 대양해저지형 DB 구축사업에 제공하여 국제적인 연구에 이바지 할 것이다.

감사의 글 : 이 연구는 한국해양과학기술원의 연구선 산.학.연 공동활용 과제지원(뱅갈 해저 선상지 지탁암에 기록된 인도 몬순 변화 연구)을 받아 수행되었음.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

JS-10

태양활동과 기후변화



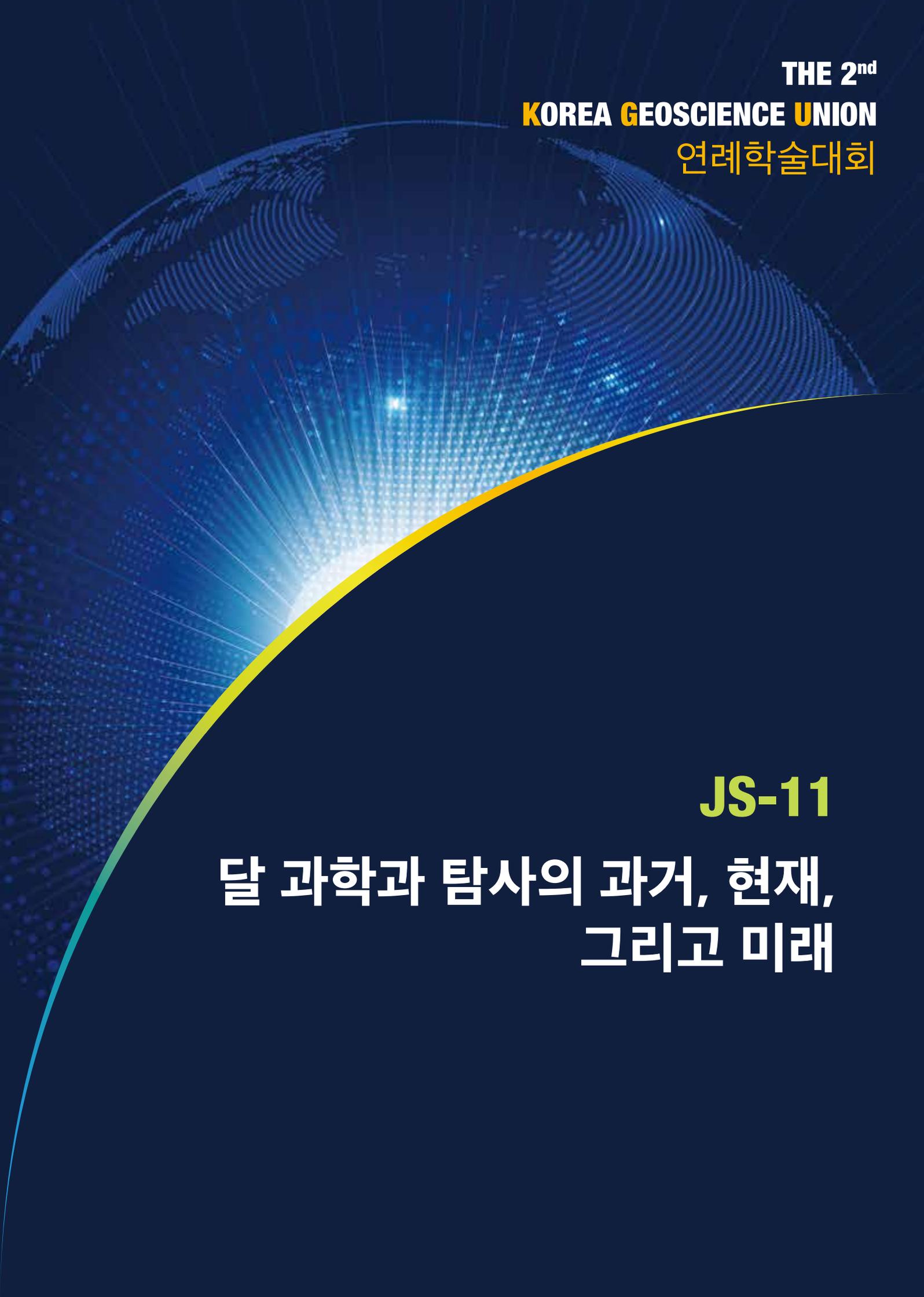
## 외부 코로나 동역학적 관점에서 본 태양활동의 변화 Solar Dynamic Activities in the Perspective of Outer Coronal Dynamics

최광선, 장민환  
G. S. Choe, Minhwan Jang

경희대학교  
Kyung Hee University

The traditional solar cycle is based on the sunspot number. The solar wind magnetic flux, however, shows a different time evolution than the sunspot number. The peak of the former lies in the declining phase of the solar cycle. It can be reasonably argued that the solar wind magnetic flux represents the open magnetic flux from the sun. For a given magnetic flux distribution on the sun, one can increase the open magnetic flux by energizing (nonpotentializing) the magnetic field through shearing and twisting. Thus, we conjecture that the solar magnetic field is more dynamic in the sense that more shearing and twisting motions appear in the surface in the declining phase of the solar cycle. To test this conjecture, we have investigated three statistics along solar cycle 23: the total area of coronal holes, the number of coronal mass ejection observed by SOHO/LASCO C3, and the number of events involving coronal hole splitting and/or merging. The total area of coronal holes can be a rough proxy of the open magnetic flux emanating from the sun. The number of LASCO C3 CMEs is a rough proxy of the field opening events of highly energized non-potential coronal fields. The splitting and/or merging of coronal holes can take place by dynamic motions on the solar surface. We have found that all three statistics follow a similar time variation, in which their peaks are located in the declining phase of the solar cycle. Therefore, we propose that the solar “dynamic” activities do not follow the sunspot number, but form a different temporal distribution, which is retarded compared to the sunspot generation trend.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-11**

**달 과학과 탐사의 과거, 현재,  
그리고 미래**



## KMAG : 달 자기장 연구를 위한 과학 탑재체 KMAG : Scientific payload to investigate Lunar magnetic field

정병욱<sup>1</sup>, 이효정<sup>1</sup>, 신재혁<sup>1</sup>, 이만규<sup>1</sup>, 진호<sup>1</sup>, 김관혁<sup>1</sup>  
ByungWook Jeong<sup>1</sup>, HyoJeong Lee<sup>1</sup>, JeHyuck Shin<sup>1</sup>, ManGyu Lee<sup>1</sup>, Ho Jin<sup>1</sup>  
KhanHyuk Kim<sup>1</sup>

경희대학교<sup>1</sup>  
Kyung Hee University<sup>1</sup>

The Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLLO) project is the first space exploration mission of South Korea beyond earth orbit. KPLLO has five scientific payloads and one technology demonstration instrument. KPLLO MAGentometer (KMAG) is one of the scientific payloads to investigate a lunar magnetic field. KMAG has three fluxgate sensors mounted in a 1.2 m boom structure. Three magnetometers are located at the far end of the boom, the closest thing to the spacecraft is to allow spacecraft interference to be subtracted from observational data. The sampling rate is 10 Hz and the resolution is 0.2 nT with a  $\pm 1,000$  nT dynamic range. The KMAG data will be used to create a 3D map of lunar magnetic fields including previous mission data set and to investigate the origin of the Moon's crustal magnetism (including widely scattered paleopoles) and magnetic 'swirls'. KMAG will operate at 100% duty cycle with measurement going on until the spacecraft impacts the lunar surface. KMAG had completed the delivery at Q2 2019 after finishing the flight model test.

## 달 중력모델에서 지하에 비어있는 공간 탐지 Detection of lunar subsurface void in lunar gravity model

홍익선<sup>1,2</sup>, 문홍규<sup>2</sup>, 최영준<sup>2,3</sup>, 이유<sup>1</sup>  
Ik-Seon Hong<sup>1,2</sup>, Hong-kyu Moon<sup>2</sup>, Young-Jun Choi<sup>2,3</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>

충남대학교<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>, 과학기술연합대학원대학교<sup>3</sup>  
 Chungnam National University<sup>1</sup>, Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>,  
 Astronomy and Space Science, University of Science and Technology<sup>3</sup>

After the release of the high resolution lunar gravity model, several studies of lunar subsurface have been published. The gravity model has the form of spherical harmonics, and degree and order are related to depth of the body. In this study, we use the lunar gravity model to find the lava tubes in the lunar subsurface. In order to reduce the regional trends of the deeper place and error of high degree and order, we specify the filtering range and apply spherical harmonics localization. We generate a simple window, for region of interest, for power spectrum analysis. Power spectrum analysis, used for excluding error in higher degree, is has shown different shape with localized area. We limit higher degree from spectral analysis and limit lower degree 50 for excluding regional trends. As a result of spectral analysis, an error in higher degrees appears differently depending on localized area and low gravity signal is detected. In addition, we need precise analysis method such as spherical harmonics localization with Slepian function.

## 태양입사각에 대한 얼음물 분포의 변화 연구 Water Ice Area Variation with Solar Incidence Angle on Ceres

서행자<sup>1</sup>, 조은진<sup>2,4</sup>, 홍익선<sup>2,3</sup>, 최영준<sup>2,4</sup>, 김미정<sup>1</sup>, 최명진<sup>1</sup>  
Haingja Seo<sup>1</sup>, Eunjin Cho<sup>2,4</sup>, Ik-Seon Hong<sup>2,3</sup>, Young-Jun Choi<sup>2,4</sup>, Mijeong Kim<sup>1</sup>, Myungjin Cho<sup>1</sup>

인스페이스<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>, 충남대학교<sup>3</sup>, 과학기술연합대학원대학교<sup>4</sup>  
InSpace<sup>1</sup>, Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>, Chungnam National University<sup>3</sup>, University of Science and Technology<sup>4</sup>

Water ice has been discovered in PSR(Permanent Shadow Region) of Ceres as following Platz et al.(2016). The amount of water ice in PSR would correlate with the temperature nearby, which is proportional to solar incidence angle. We investigated the variation of water ice area with respect to solar incidence angle. We took more than 2(??) images at different solar incidence angles for the same location on surface of Ceres and calculated the area where water ice observed. The images, which are observed by FC(Framing Camera) on DAWN, are given from PDS, and we performed the data reduction using ISIS software developed by USGS and ENVI/IDL. One can expect that small solar incidence angle derives large area of water ice, Although there is no correlation between water ice area and solar incidence angle by previous analysis. We will present the details of analysis and interpretation, and discuss a possible method to try.

We are grateful to have a chance to collaborate with ShadowCam team of Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO) from a Korean participating scientist program, and to contribute to the science in space exploration as a company.

Thanks : This research was conducted by NRF (2018M1A3A3A02065832) support.

## 달 착륙 후보지역 조사: 증기의 바다와 열의 만 The lunar candidate landing sites around Mare Vaporum and Sinus Aestuum

이응석<sup>1,2</sup>, 김경자<sup>2</sup>, 김용하<sup>1</sup>  
Yi Eung Seok<sup>1,2</sup>, Kim Kyeong Ja<sup>2</sup>, Kim Yong Ha<sup>1</sup>

충남대학교<sup>1</sup>, 한국지질자원연구원<sup>2</sup>  
CNU<sup>1</sup>, KIGAM<sup>2</sup>

Department of Astronomy, Space Science, and Geology, Chugnam national university, Daejeon 305-764, Republic of Korea<sup>1</sup>  
Geology research center, Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Republic of Korea<sup>2</sup>

달 표면에는 Fe, Ti, He-3 등 많은 종류의 자원을 가지고 있다. 이들은 아시아 주요 국가들의 달 탐사 (현재까지 미국의 아폴로 프로그램 및 Clementine 위성을 비롯한 일본 (SELENE), 중국 (Chang'E), 인도 (Chandrayaan) 등) 결과에서 확인되었다. 최근 달 우주정거장 및 기지 건설 등 미래계획을 세우면서 이전에 연구되었던 달 표면의 자원 함량이 주목받고 있다. 향후 인류가 달 표면에 착륙하여 최소한의 비용으로 주변의 많은 자원을 활용하려면, 많은 종류의 자원이 있는 지역을 탐사하는 것이 적합하다. 본 연구는 달 표면에 분포한 가장 다양한 자원을 가지고 있는 증기의 바다 (Mare Vaporum)와 열의 후미 (Sinus Aestuum, 월면의 제 2 사분면) 주변지역을 선정하기 위한 조사를 수행하였다. 이 조사를 위해 이전연구의 자료 중 Fe, Ti, He-3가 분포되어있는 지역 위주로 조사하였고, 반사도 유형을 이용한 광물분포 조사를 실시하였다. 본 연구의 결과는 향후 인류가 광물자원 탐사 및 활용을 위한 착륙지 후보선정과 관련해 유효한 정보를 줄 것으로 전망한다.

사사: 이 연구는 한국지질자원연구원 과학기술정보통신부의 재원을 받아 수행되었음.

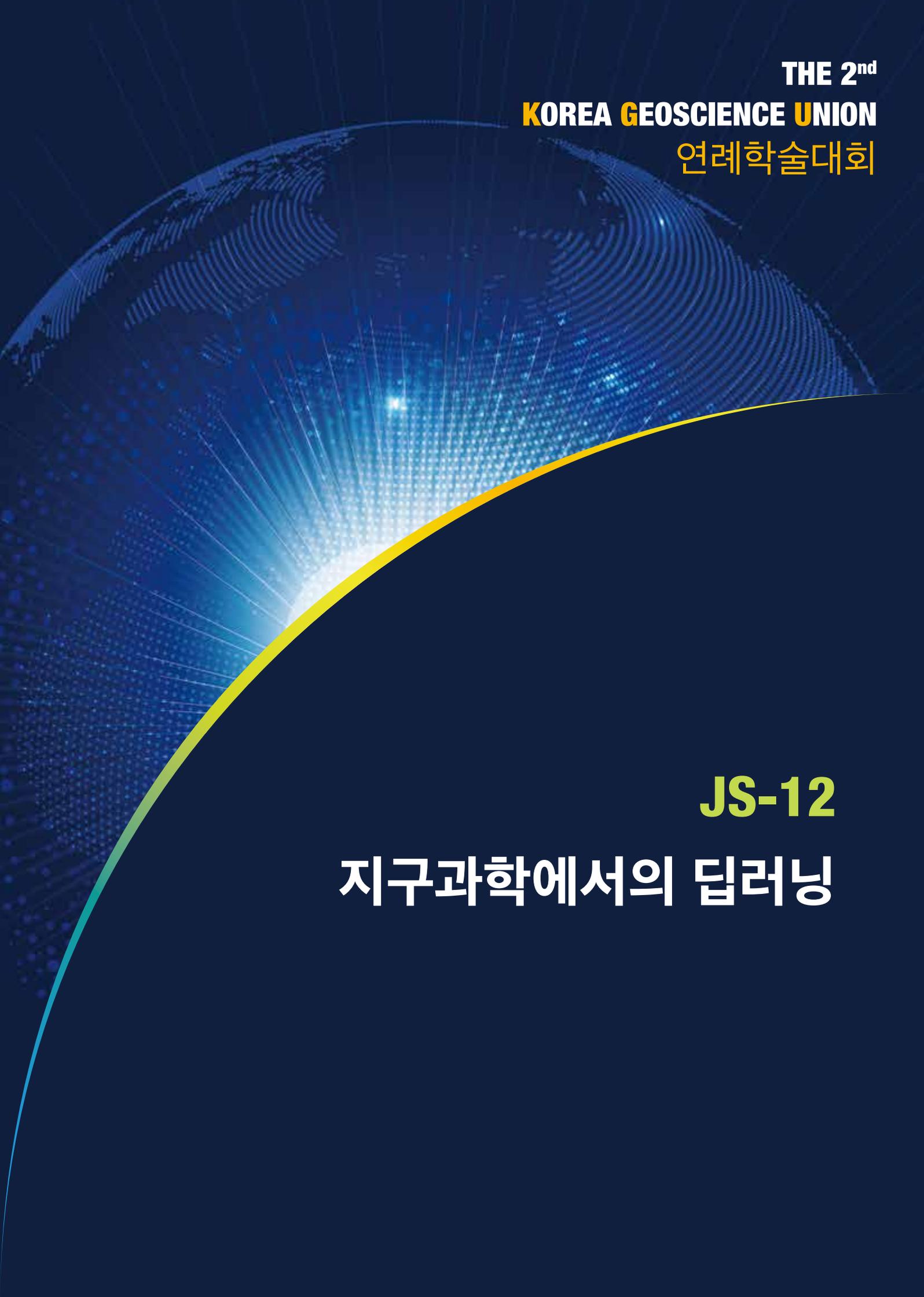
## 향후 한국 달 탐사를 위한 달 착륙 후보지 제안 Lunar landing candidate site for future Korean lunar exploration mission

김수연<sup>1,2</sup>, 김경자<sup>2</sup>, 이유<sup>1</sup>  
Suyeon Kim<sup>1,2</sup>, Kyeong Ja Kim<sup>2</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>

충남대학교<sup>1</sup>, 한국지질자원연구원<sup>2</sup>  
Chungnam National University<sup>1</sup>, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources<sup>2</sup>

향후 한국 달 탐사 계획은 달에 착륙선을 보내는 것을 포함하고 있다. 본 연구는 우리나라 달 탐사를 위해 과학적 목적과 기술적 목적을 모두 고려한 두 곳의 착륙지 후보를 제안한다. 첫 번째 후보는 Meton 크레이터이다. Meton 크레이터가 위치한 달의 북극 지역은 상대적으로 탐사가 많이 이루어지지 않았으며  $M^3$  데이터를 이용하여 이 연구에서 조사된 다른 지역에 비해 더 많은 수산기가 분포하고 있다는 것이 확인되었다. 또한, 크레이터 중앙에는 화산활동으로 인해 생성된 돔 형태의 지형이 위치하고 있지만 그 지역은 달의 바다가 아닌 고지 지역으로서 지형학적 측면에서 조사해볼 가치가 충분하다. 두 번째 후보는 Copernicus 크레이터이다. 이 지역은  $M^3$  데이터에 의해 높은 수산기와 감람석 분포를 보이고 있다는 것이 확인되었다. 감람석은 지구 맨틀의 주요 성분으로서 크레이터가 생성될 당시의 충돌 때문에 바깥으로 노출되었을 것으로 생각된다. 따라서 이 지역을 연구함으로써 달 내부 구조에 관한 정보를 얻을 수 있을 것이다. 또한 Copernicus 크레이터 내부에 분포하고 있는 수산기는 달 자원으로서의 유망한 지표이다. 이 외에도 LROC 모자이크 이미지를 통한 크레이터 내부에 분포하는 바위와 소형 크레이터 개수 등의 지형 조사가 이루어졌다. 추가적으로, 두 후보지 모두에서 SELENE 고도 데이터를 이용하여 Slope 지도를 제작해 우주선이 안전하게 착륙할 수 있는 평평한 땅의 위치를 확인하였다. 본 연구결과는 시험용 달 궤도선(KPLO)에 탑재된 고해상도 카메라(LUTI)가 우리나라 달 착륙지 후보지역 선정을 위한 조사 목적으로 사전 촬영하는 데에 기초자료를 제공하게 된다.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**JS-12**

**지구과학에서의 딥러닝**



## Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical data: 8. Prediction of major solar flare profiles using LSTM

Kangwoo Yi, Yong-Jae Moon, Daye Lim and Gyungin Shin

School of Space Research, Kyung Hee University

Intense X-ray flux from large flare events cause ionization in lower layer of the ionosphere on the sunlit side of Earth which can cause short-wave fade out. Due to the radiation travels at the speed of light, it is very difficult to pre-estimate the effects of hazard. In this study, we apply a Long short-Term Memory, which is a popular deep learning method for time dependent data, to the forecast of X-ray flux profiles of solar major(M and X-class) flares. For this we use GOES10 x-ray flux data with 1 minute time cadence and NASA flare catalogue from August 1998 to April 2006. 760 events are used for training and 85 ones for testing. We consider major flare events without double peaks, pre-flares, and abnormal distributions to train and test models. Our models use 30 minutes X-ray flux data to predict the next 30 minutes and stop the prediction at the peak flux. We compare our forecasting results giving the best performance with those of the conventional method based on Auto-regressive Integrated Moving Average(ARIMA). The results are as follows. First, the root mean square error(RMSE) of the next 30 minute soft x-ray flux prediction with the LSTM model is 0.297 and ARIMA model is 1.089. Second, RMSE of peak flux prediction with LSTM model is 0.266 and ARIMA model is 1.401. These result show that the flare profile prediction based on LSTM is much better than that based on ARIMA.

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).

## Application of deep learning to astronomical and geophysical data: 3. Generation of solar magnetograms and UV images from historical sunspot drawings

Harim Lee<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1,2</sup>, Eunsu Park<sup>2</sup>, Daye Lim<sup>2</sup>, Gyungin Shin<sup>2</sup>,  
Hyunjin Jeong<sup>2</sup>, and Taeyoung Kim<sup>2,3</sup>

Department of Astronomy and Space Science College of Applied Science,  
Kyung Hee University<sup>1</sup>, School of Space Research, Kyung Hee University<sup>2</sup>,  
Department of Research and Development, InSpace Co., Ltd<sup>3</sup>

We apply an image-to-image translation model, which is a popular deep learning method based on conditional Generative Adversarial Networks (cGANs), to the generation from sunspot drawings to the corresponding magnetograms and EUV images. For this, we train a model using pairs of sunspot drawing from Mount Wilson Observatory (MWO) and their corresponding SDO/HMI magnetogram (or SDO/AIA images) from 2012 to 2013. We test the model by comparing pairs of actual magnetogram (EUV image) and the corresponding AI-generated one in 2014. Our results show that bipolar structures of the AI-generated magnetograms are consistent with those of the original ones and their unsigned magnetic fluxes (or intensities) are well consistent with those of the original ones. Using this model with the Carrington sunspot drawing, we successfully produce AI-generated magnetogram (EUV image) and estimate its unsigned magnetic flux. Using several empirical relationships (magnetic flux vs. CME speed, CME speed vs. ICME speed, and ICME speed vs. Dst) in 23 and 24th solar cycle, we conjecture the Dst value of the Carrington event, about  $-1,670\text{nT}$ , which is similar to that of Tsurutani et al. (2003). Applying this model to the Galileo sunspot drawings in 1612, we generate HMI-like magnetograms and AIA-like EUV images of the sunspots.

NOTE: This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).

## Application of deep learning to astronomical and geophysical data: 6. Generation of future magnetograms from past ones

Seonggyeong Jeon<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Eunsu Park<sup>1</sup>, Kyungin Shin<sup>1</sup>,  
Taeyoung Kim<sup>2</sup>

School of Space Research, Kyung Hee University<sup>1</sup>, Department of Research and Development, InSpace Co., Ltd<sup>2</sup>

In this study, we generate future full disk magnetograms in 12, 24, 36 and 48 hours advance from SDO/HMI images using deep learning. For this, we apply the conditional generative adversarial network (cGAN) algorithm to a series of SDO/HMI magnetograms. We use SDO/HMI data from 2011 to 2016 for training four models. The models make AI-generated images for 2017 HMI data and compare them with the actual HMI magnetograms for evaluation. The AI-generated images by each model are similar to the actual images. In the case of 12 hour forecast, the average correlation coefficients between the two images with 2 by 2 binning are 0.76 for full-disk images and 0.77 for active regions. We have a plan to use pix2pix HD and video2video translation networks for image prediction.

Thanks : This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).

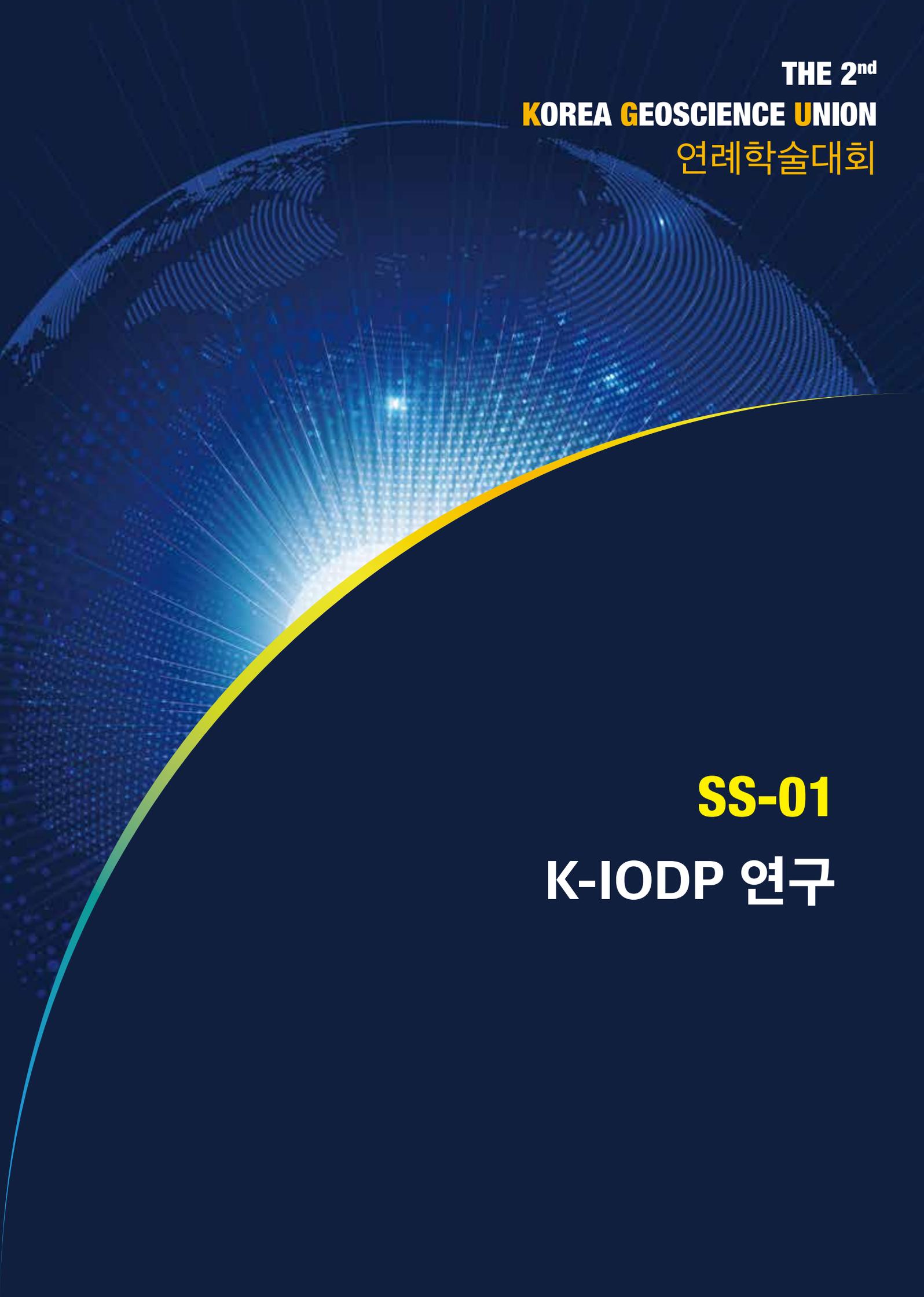
## Application of Deep Learning to Astronomical and Geophysical data: 2. Generation of Solar UV Images from Magnetograms

Eunsu Park<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Jin-Yi Lee<sup>2</sup>, Rok-Soon Kim<sup>3,4</sup>, Harim Lee<sup>2</sup>,  
Daye Lim<sup>1</sup>, Gyungin Shin<sup>1</sup>, and Taeyoung Kim<sup>1,5</sup>,

School of Space Research, Kyung Hee University<sup>1</sup>, Department of Astronomy and  
Space Science, College of Applied Science, Kyung Hee University<sup>2</sup>, Korea  
Astronomy and Space Science Institute<sup>3</sup>, University of Science and Technology<sup>4</sup>,  
InSpace Co., Ltd.,<sup>5</sup>

In this study, we apply a deep learning method based on conditional generative adversarial network (cGAN) to the image-to-image translation from solar magnetograms to solar ultraviolet (UV) and extreme UV (EUV) images. For this, we train a model using pairs of SDO/AIA 9 passbands (94, 131, 171, 193, 211, 304, 335, 1600, and 1700 Å) UV/EUV images and their corresponding SDO/HMI line-of-sight (LOS) magnetograms from 2011 to 2017 except August and September of each year. We evaluate the model by comparing pairs of SDO/AIA images and corresponding generated ones in August and September. Our results from this study are as follows. First, we successfully generate SDO/AIA like solar UV and EUV images from SDO/HMI magnetograms. Second, pixel-to-pixel correlation coefficients (CC) after 4X4 binning for all passbands are higher than 0.78. Third, our model slightly underestimates pixel values within 0.04 in view of relative error (RE). Fourth, generated 1700 Å images from magnetograms are quite consistent with real ones with a very high CC of 0.97, even small-scale structures. Fifth, our results from cGAN-based model are noticeably better than the results from convolutional neural network (CNN) model in view of the percentage of pixels having errors less than 10 or 50 % (PPE10 or PPE50).

Thanks : This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**SS-01**  
**K-IODP 연구**



## Estimation of in situ stress in the northern Hikurangi subduction margin, New Zealand

Hikweon Lee<sup>1</sup>, GilYoung Kim<sup>1</sup>

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources<sup>1</sup>

International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 375, together with expedition 372, had been carried out to investigate the physical process and in situ conditions that govern shallow slow slip events (SSEs) recurring approximately every 2 years along the northern Hikurangi subduction margin, New Zealand. For studying the physical process of fault slip, knowledge of in situ stress is critical. In situ stress is characterized by its orientation and magnitude and represented by the three principal stresses (vertical stress,  $S_v$ , maximum and minimum horizontal principal stress,  $SH_{max}$  and  $SH_{min}$ ) which are mutually orthogonal. In this study, in situ stress including pore-pressure was estimated with the stress polygon combined with the analysis of wellbore failures (borehole breakout and/or drilling-induced tensile fracture). Borehole breakouts are diametrically opposed compressive failure zone at the borehole wall aligned with the direction of the  $SH_{min}$  in a vertical borehole, while excessive borehole pressurization during drilling can induce diametrically opposed tensile fractures that form along the  $SH_{max}$  direction in a vertical borehole.

Borehole breakouts have been observed along the depth interval (590 ~ 650 mbsf) of the borehole (1519A) at the drill site of the upper plate (U1519), and at the depths (~536 mbsf and ~560 mbsf) in the 1518B drilled at the frontal thrust site (U1518). Borehole breakouts observed in 1519A are approximately aligned with 054°/234°, indicating  $SH_{min}$  is acting along northeast to southwest. On the other hand, borehole breakouts in 1518B have an average azimuth of 173°/353° from which the  $SH_{min}$  orientation is inferred to be north-south. The preliminary estimation of in situ stress magnitude using the stress polygon combined with the of wellbore failure analysis indicates that strike-slip to thrust faulting stress regime is prevailing in the frontal thrust site (U1518), and the stress ratio of  $SH_{min}/S_v$  ranges from 1.005 to 1.205 and  $SH_{max}/S_v = 1.005$  to 1.265. In contrast, the in situ stress regime is normal faulting in the upper plate site, and the stress ratio ranges 0.3 ~ 0.883 for  $SH_{min}/S_v$  and 0.665 ~ 0.914 for  $SH_{max}/S_v$ .

## Quantitative analysis of Cretaceous subsidence of the Naturaliste Plateau, offshore SW Australia (IODP Expedition 369, Site U1513)

Eun Young Lee<sup>1</sup>, Erik Wolfgring<sup>2</sup>

Chonnam National University<sup>1</sup>, University of Vienna<sup>2</sup>

The Naturaliste Plateau (NP) offshore southwestern Australia is a submarine continental fragment left behind during the Early Cretaceous breakup of East Gondwana, between Greater India and Australia–Antarctica. Seafloor spreading began ca. 136 Ma on the Cuvier and Perth Abyssal Plains adjacent to the central Western Australian margins, and propagated rapidly southwards during the Valanginian through Hauterivian time. The late rifting stage is characterized by widespread volcanic eruption phases along continental margins and on continental fragments. On the eastern flank of the NP, a full succession of Cretaceous sediments including the Early Cretaceous volcanoclastic sequence as well as the first in-situ evidence of volcanism were recovered at Site U1513 by International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 369 in 2017. To improve our understanding of the post-rift subsidence of the NP and adjacent Mentelle Basin, this study analyzes high-resolution subsidence curves of Site U1513 using detailed age–depth models arranged from the paleontological and paleomagnetic data. Paleobathymetric variations were arranged from lithological descriptions and shipboard benthic foraminiferal data. The required parameters for the subsidence analysis process (e.g. compaction trend estimation) were taken from the physical properties data. After rapid subsidence during Hauterivian time, the subsidence curves are variable including several uplift events. The resulting variation is considerably influenced by paleobathymetric records accompanying large error range. However, part/major of subsidence variations are indicated for the seafloor spreading west of the NP, the rifting on the southern margin of the NP (breakup between Australia and Antarctica), and the regional paleoenvironmental changes.

Thanks : This research was supported by a part of the project titled 'International Ocean Discovery Program' funded by the Ministry of Oceans and Fisheries and the KRF program funded by the Ministry of Science and ICT through the NRF [2017H1D3A1A01054745] of Korea to E.Y.L.. Brian J. O'Neill Memorial Scholarship to E.W.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**SS-02**  
**백두산 화산**



## 울릉도 말잔등응회암에서 부석편의 기공률과 분화유형의 관계 Relationship between Vesicularities of Pumice Clasts and Shifts of Eruption Types in the Maljandeung Tuff, Ulleung Island

SangKoo Hwang, SoJin Lee, KyungSik Oh

Andong National University

백두산은 940년대에 대규모로 분화한 후, 2002년부터 2005년 사이에 화산활동 전조증상으로 주변 지열이 상승하고 온천수의 화학성분 변화가 탐지되었다. 2003년에는 200회 이상 지진이 발생하고 2004년에는 규모 3.7까지 감지되었다(Xu *et al.*, 2012). 기상청에서는 위성영상을 활용하여 백두산의 화산활동에 대한 지속적인 추이 분석과 모니터링을 수행하였다. 장기간의 영상을 확보할 수 있는 열적외선(Thermal Infrared) 광학 위성영상(Landsat)을 이용하여 백두산 지표온도, 천지 이상지역의 온도 및 면적, 천지 수위 및 면적을 산출하였다. 또한, InSAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar) 기법으로 시계열 지표변화율을 산출하여 총 6개의 요소(백두산 지표온도, 천지 이상지역의 온도 및 면적, 천지 수위 및 면적, 지표 변위)로 백두산 화산의 활동성을 평가하였다. 1985년부터 2018년까지 광학 위성 영상은 백두산 지역 80장, 천지 지역 207장으로 30m-60m 해상도의 위성영상이 사용되었다. 입력 자료로 필요한 기온 및 습도 자료는 백두산 동남쪽에 위치한 삼지연(SAMJIYON) AWS 자료를 활용하였다. 위성 레이더 Sentinel-1 SAR 자료는 10m 해상도로 2017년부터 2018년까지 59장(76쌍)을 활용하였다. 그 결과 백두산 지표온도, 천지 이상지역의 면적 및 온도, 천지의 면적 및 수위는 영상이 활용된 전체 기간의 평균을 기준으로 표준편차 범위 내로 산출되어 안정적인 상태로 판단하였다. 지표변위는 분기별로 사용된 영상의 개수에 따라 변위의 차이를 보이지만 평균 1cm 이내로 산출되어 안정적인 상태로 판단하였다. 광학 위성 영상의 경우 구름의 영향으로 자료 확보가 어려운 한계점이 존재한다. 이에 추가로 다양한 위성영상을 활용하는 등의 보완점을 마련하여 지속적인 백두산 모니터링 수행이 필요하다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 수치예보·지진업무 지원 및 활용 연구의 지원을 받아 수행되었습니다.

## Risk Evaluation of Geological Hazard of Lava Flow using Computational Simulation

Jooyong Lee, Sungsu Lee, Jeongah Um, Seulgi Lee

Chungbuk National University<sup>1,2,3,4</sup>

The lava flow is one of the highly intriguing phenomena in fluid dynamics due to its complicated behaviour mostly determined by materials composition. One of the most important features is that the substances undergo stiffening and cooling caused by temperature variation, which changes the material property of the lava flow. While the portion of lava flow exposed to the atmosphere is gradually going into hardening but molten rocks below the surface are still very fluidic. For this reason, the lava flows inside the hardened surface usually travel farther. Due to its complicated phenomenon, experimental estimation of spatial extent of lava flow in the laboratory is very difficult, and instead, most studies have been carried out by using numerical approaches. In this study, an open source tool is employed to analyse the lava flow in the view of computational fluid dynamic. The computation was conducted using OpenFOAM-v2.4.0 with two-phase modelling for lava and the surrounding atmosphere. For two phase flow, the momentum equation and the continuity are supplemented by transport equation for volume fractions of the atmosphere and the lava flow. In order to consider the non-linearity of viscosity of the lava flow, Herschel-Bulkley or Bingham plastic fluid model is employed.

Acknowledgment : This thesis(paper) was financially supported by Ministry of the Interior and Safety as “Human resource development Project in Disaster management.



**THE 2<sup>nd</sup>**  
**KOREA GEOSCIENCE UNION**  
연례학술대회

**SS-03**  
**지질공원**



## 경남권 지질유산의 분포 및 가치평가 Assessment and distribution of geological heritages in the Gyeongnam Province, Korea

조형성<sup>1</sup>, 신승원<sup>2</sup>, 강희철<sup>2</sup>, 김종선<sup>3</sup>, 김현주<sup>4</sup>, 정대교<sup>5</sup>, 임현수<sup>2</sup>, 손문<sup>2</sup>, 좌용주<sup>1</sup>,  
김경수<sup>6</sup>, 하수진<sup>2</sup>, 백인성<sup>4</sup>

Hyeongseong Cho<sup>1</sup>, Seungwon Shin<sup>2</sup>, Hee-Cheol Kang<sup>2</sup>, Jong-Sun Kim<sup>3</sup>,  
Hyun Joo Kim<sup>4</sup>, Daekyo Cheong<sup>5</sup>, Hyoun Soo Lim<sup>2</sup>, Moon Son<sup>2</sup>, Yong-Joo  
Jwa<sup>1</sup>, Kyung Soo Kim<sup>10</sup>, Sujin Ha<sup>2</sup>, In Sung Paik<sup>4</sup>

경상대학교<sup>1</sup>, 부산대학교<sup>2</sup>, 전남대학교<sup>3</sup>, 부경대학교<sup>4</sup>, 강원대학교<sup>5</sup>,  
진주교육대학교<sup>6</sup>

Gyeongsang Nat' l Univ.<sup>1</sup>, Pusan Nat' l Univ.<sup>2</sup>, Chonnam Nat' l Univ.<sup>3</sup>, Pukyong  
Nat' l Univ.<sup>4</sup>, Kangwon Nat' l Univ.<sup>5</sup>, Chinju Nat' l Univ. of Education<sup>6</sup>

최근 지질학적 중요성을 가진 지질유산의 보존에 대한 사회적 인식이 확산됨에 따라 지질공원과 같은 다양한 제도적 장치가 마련되고 있으며, 지질유산의 발굴, 가치평가, 체계적인 보존 그리고 관리 및 활용을 위한 지질학자들의 노력이 요구되고 있다. 이번 연구에서는 경남권을 대상으로 기초문헌조사와 야외조사를 통한 지질유산의 발굴, 가치평가 및 등급화, DB구축에 이르기까지 체계적인 연구를 수행하였으며, 그 결과를 바탕으로 국가지질공원 유망 후보지를 제안하였다.

지질유산의 발굴은 문헌조사와 관련 연구자의 자문을 통해 총 339개의 지질유산 목록을 작성하고, 이들 중 167개를 선정하여 상세한 야외조사를 통한 기재와 가치평가를 실시하였다. 각 지질유산의 가치평가는 본질적 가치, 부수적 가치, 보존 및 관리의 세 항목으로 구분하여 실시하였다. 본질적 가치는 다시 학술 및 교육적 가치(대표성, 희소성, 다양성, 전형성, 재현성, 특이성), 지형 및 경관적 가치(규모, 자연성, 심미성) 그리고 기타(가중치)로, 부수적 가치는 기능적 가치(토양기능, 생태기능), 경제적 가치(관광자원, 지질자원) 그리고 역사 및 문화적 가치(역사성, 민속성, 상징성)로 각각 세분하여 평가하였다. 보존 및 관리분야는 접근성, 편의 및 방호시설, 관리현황 항목에 대해 평가하였다. 지질유산의 관리등급은 본질적 가치의 점수를 기준으로 5단계로 구분하였다. 이상의 기준으로 경남권 지질유산들의 가치평가 및 등급화 결과, 세계급 보호대상인 I등급은 10개, 국가급 보호대상인 II등급은 60개, 국가지정 관리대상인 III등급은 71개, 관리목록 등록대상인 IV등급은 25개, 마지막으로 목록 작성대상인 V등급은 1개로 각각 나타났다. 이상의 지질유산 상세 기재와 가치평가 및 등급화 결과들은 Arc-GIS를 기반으로 한 DB로 구축되었으며, 조사된 지질유산의 등급과 분포를 바탕으로 '경남 서부권(진주, 사천, 하동, 고성) 지질공원'의 한 곳을 국가지질공원 유망후보지로 제안하였다.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**SS-04**

**근지구 우주환경 워크숍**



## Neural network prediction model for relativistic electron flux at geostationary orbit

박근찬<sup>1,2</sup>, 이재진<sup>2</sup>, 김경찬<sup>3</sup>, 이유<sup>1</sup>  
Keunchan Park<sup>1,2</sup>, Jaejin Lee<sup>2</sup>, Kyungchan Kim<sup>3</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>

충남대학교 우주지질학과<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>, 대구대학교 교육대학원 과학교육학부<sup>3</sup>  
*Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University<sup>1</sup>, Korea Astronomy & Space science Institute<sup>2</sup>  
 Division of Science education, College of Education, Daegu University<sup>3</sup>*

The outer radiation belt is changed rapidly by solar wind condition. Particles that are trapped in Earth's magnetosphere have an bad effect on many satellites. So, it is important to prevent these hazards. To protect the various risk, many researches have been progressed and prediction models have been developed. we have designed the electron flux prediction algorithm using artificial neural network (ANN) since 2016. We modified the ANN to solve the problem called overfitting, time shift and tried to improve the model performance. Input parameters are 1, 2, 3, 4 days ago data of solar wind (density, speed, IMF By and Bz), geomagnetic index (Dst, Kp) and electron flux data. The outputs of ANN are 24 hour ahead relativistic electron flux for each LT and we performed some correction for output. Also, we got two prediction results both only GOES electron data and GOES electron data with KSEM data as input. Consequently, to some extent, we confirmed that time shift disappeared for every prediction time. Comparing with two results, we got better accuracy when we use the GOES electron data with KSEM. The correlation coefficient and prediction efficiency are getting low according to prediction time. Our purpose is to get better and more precise accuracy when the prediction data used.

## Structural analysis of Qualification Model for scientific payload unit for the Small scale magNetospheric Ionospheric Plasma Experiments mission

조경복<sup>1,2</sup>, 손종대<sup>1</sup>, 이재진<sup>1,3</sup>, 황정아<sup>1,3</sup>, 광영실<sup>1,3</sup>, 박재홍<sup>1,3</sup>, 남옥원<sup>1,3</sup>, 박원기<sup>1</sup>, 이유<sup>2</sup>  
Gyeongbok Jo<sup>1,2</sup>, Jongdae Sohn<sup>1</sup>, Jaejin Lee<sup>1,3</sup>, Junga Hwang<sup>1,3</sup>, Young-Sil Kwak<sup>1,3</sup>, Jaeheung Park<sup>1,3</sup>, Uk-Won Nam<sup>1,3</sup>, Won-Kee Park<sup>1</sup> and Yu Yi<sup>2</sup>

한국천문연구원<sup>1</sup>, 충남대학교<sup>2</sup>, 과학기술연합대학원대학교<sup>3</sup>  
 Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>1</sup>, Chungnam National University<sup>2</sup>,  
 University of Science and Technology<sup>3</sup>

In this time, we report the progress of Structural analysis of Qualification Model for scientific payload unit for the Small scale magNetospheric Ionospheric Plasma Experiments(SNIPE) mission. The SNIPE mission will be launched in the second half of 2020 to resolve micro-scale plasma structure and their spatial, temporal variation on the topside ionosphere. To these scientific aim, there will be onboarded scientific instruments to measure the geophysical phenomena such as electron microbursts, plasma bubbles/blobs, field aligned current and electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves. The scientific instruments is comprised of Solid-State Detector(SST; measurement for energy and flux of particle device), MAGnetometer(MAG; magnetic field measurement device) and Langmuir Probe(LP; measurement for properties of electron and plasma device). We performed the modal analysis and 10G analysis by simulation program. The result of modal analysis is 365.68 Hz(1st), 438.65 Hz(2nd), 461.71 Hz(3rd), 475.21 Hz(4th), 482.62 Hz(5th). In the 10G analysis, the maximum stress is 16.61 MPa and the maximum displacement is 0.025 mm. As a result of the analysis, the SNIPE payload has sufficient structural stability.

Thanks : This research was supported by a part of the project titled 'International Ocean Discovery Program' funded by the Ministry of Oceans and Fisheries and the KRF program funded by the Ministry of Science and ICT through the NRF [2017H1D3A1A01054745] of Korea to E.Y.L.. Brian J. O'Neill Memorial Scholarship to E.W.

## 근지구 우주 환경 관측위성의 과학 탑재체 시험인증모델 개발 Development of the Engineering Qualification Model (EQM) for scientific Payloads for scientific instruments for Small scale magNetospheric Ionospheric Plasma Experiments (SNIPE) mission

손중대<sup>1</sup>, 이재진<sup>1</sup>, 황정아<sup>1</sup>, 곽영실<sup>1</sup>, 박재홍<sup>1</sup>, 남옥원<sup>1</sup>, 박원기<sup>1</sup>  
Jongdae Sohn<sup>1</sup>, Jaejin Lee<sup>1</sup>, Junga Hwang<sup>1</sup>, Young-Sil Kwak<sup>1</sup>, Jaeheung  
Park<sup>1</sup>, Uk-Won Nam<sup>1</sup>, Won-Kee Park<sup>1</sup>

한국천문연구원<sup>1</sup>

Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>1</sup>

The Small scale magNetospheric Ionospheric Plasma Experiments (SNIPE) mission consist of four 6 Unit nanosatellittess to launch in the 2020~2021 to understand the spatial and temporal variation of micro-scale plasma structures on the topside ionosphere. The SNIPE mission have scientific targets such as electron microbursts, plasma trough, polar cap patches, bubbles/blobs, field aligned current and EMIC waves. The SNIPE payload is comprised of three Small but Powerful Space Weather instruments to measure the geophysical phenomena: the Solid State Telescopes (SST), the Langmuir Probe (LP), the 3 Axis Fluxgate Magnetometer (MAG). We developed scientific Payloads of the Engineering Qualification Model (EQM) for the SNIPE mission. In terms of the payload, We performed the total ionizing dose test, the functional test and the environmental test such as the Thermal Vacuum Test and Vibration Test for the payloads. In this time, we report the progress of the Engineering Qualification Model (EQM) for scientific payloads onboard the Korea Astronomy and Space Science Institute satellite-1.

Thanks : This research was conducted by the Korea Astronomy and Space Science Institute's support.(can be omitted)

## Improve radiation belt distribution algorithm performance using VAP electron flux accompany GOES-13 electron flux.

이종길<sup>1,2</sup>, 이재진<sup>2</sup>, 김경찬<sup>3</sup>  
Jongkil Lee<sup>1,2</sup>, Jaejin Lee<sup>2</sup>, Kyung-chan Kim<sup>3</sup>

연합대학원대학교<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>, 대구대학교<sup>3</sup>  
University of Science and Technology<sup>1</sup>, Korea Astronomy and Space Science  
Institute<sup>2</sup>, Dae-gu University<sup>3</sup>

The distribution of the radiation belt through the MPF(Magnetospheric Particle Flux) algorithm has been shown in previous studies up to  $L^* = 1 \sim 7$ . In this study, we use VAP MAGEIS data from 1.2 to 6 Re to reinforce GOES-13 electron flux ( $L^* = 7$ ) at a single location as initial input value. To convert this data to PSD (Phase Space Density), we calculated the time and flux. The space between 6 and 7 was filled using interpolation. The results of MPF algorithm using only GOES-13 and the result of algorithm that added VAP data are compared with measured data and the results are shown

## Simulation Analysis of Langmuir Probe for ISSS onboard NEXTSat-1

Sang-Yun Lee<sup>1</sup>, Kwangsun Ryu<sup>1</sup>, Ensang Lee<sup>2</sup>,  
Kyung-Wook Min<sup>3</sup>, Hee-Eun Kim<sup>2</sup>, Eojin Kim<sup>1</sup>

SaTReC, KAIST<sup>1</sup>  
School of Space Research, Kyung Hee University<sup>2</sup>  
Department of Physics, KAIST<sup>3</sup>

The next generation small satellite-1 (NEXTSat-1) launched on Dec. 2018 including the Instrument for the Study of Space Storms (ISSS). The disk-type Langmuir Probe (LP) is one of the ISSS payload and calculate the temperature and density of electrons. The plasma current with sweeping voltage is obtained as an I-V curve to measure plasma parameters by the instruments. The temperature and density of the electrons can be obtained by fitting the I-V curve with the theoretical equations. The feature of the I-V curve is affected by the shape of the LP and the Debye length. Therefore, we investigate effects of the two factors through a simple test-particle simulation study and compare to the satellite and chamber data.

## Characteristics of Ionospheric scintillation in GNSS signals measured at single site, Jang Bogo Station (74.62°S, 164.22°E), in Antarctica

홍준석<sup>1,2</sup>, 김용하<sup>1</sup>, 정종균<sup>2</sup>, 권혁진<sup>3</sup>, 김정한<sup>3</sup>, 광영실<sup>2</sup>, 최종민<sup>2</sup>  
Junseok Hong<sup>1,2</sup>, Yong Ha Kim<sup>1</sup>, Jong-Kyun Chung<sup>2</sup>, Hyuck-Jin Kwon<sup>3</sup>,  
 Jeong-Han Kim<sup>3</sup>, Young-Sil Kwak<sup>2</sup>, Jong-Min Choi<sup>2</sup>

충남대학교<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>, 극지연구소<sup>2</sup>  
 Chungnam National University<sup>1</sup>, Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>,  
 Korea Polar Research Institute<sup>3</sup>

It is well known that the ionosphere is main error source for Global Navigation Satellite System (GNSS) communication. At high latitudes, various ionospheric phenomena, such as auroral activity and fast flow of plasma convection, can disturb GNSS signals, resulting in scintillation in the received signals and even loss of signal lock that eventually leads to socioeconomic impacts. Korea Polar Research Institute (KOPRI) and Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) have operated the ionospheric scintillation monitors at high latitude site, Jang Bogo station (JBS; 74.62°S, 164.22°E), in Antarctic to observe the ionospheric scintillation activities since 2016. We statistically analyzed the scintillation indices ( $\sigma\phi$ , S4) measured by CASES at JBS according to geomagnetic activity, season, local time and signal type. Occurrence rate of phase scintillation ( $\sigma\phi$ ) is clearly greater at L2 signal (1227.60 MHz) than L1 signal (1575.42 MHz), and also during high geomagnetic activity ( $kp > 2$ ) than low geomagnetic activity ( $kp < 2$ ). The occurrence rate shows not only obvious seasonal and daily variations, but also characteristic spatial distributions in terms of azimuth angle. It implies that the ionospheric scintillation occurrence rate tends to be affected by magnetic cusp activity as well as ionospheric polar cap patch due to polar convection flows. In this presentation, we will report the results of statistical analysis for the occurrence rate of scintillation indices, and discuss the related mechanisms.

## 지구 뱃머리충격파에서의 이온 반사 과정 Ion Reflection Mechanism At The Earth's Bow Shock

강준석<sup>1</sup>, 이은상<sup>1</sup>, 김희은<sup>1</sup>  
Juneseok Kang<sup>1</sup>, Ensang Lee<sup>1</sup>, Hee-Eun Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>대한민국 용인시 경희대학교 우주탐사학과  
<sup>1</sup> School of Space Research, Kyung Hee University, Yongin-si, South Korea

It is well known that some fraction of the incident solar wind ions is reflected at the Earth's bow shock. Recently, it has been studied with Particle-In-Cell and test particle simulations that the amount of reflected ions is regulated by shock parameters. In this study, we investigated the mechanism of the ion reflection at the shock ramp microscopically with simplified shock model using a test particle simulation. The analysis of the simulation results shows that the incident phase angle is the key to accelerate ions parallel to the magnetic field from cross-shock potential, which is crucial in reflecting ions. Also, when the ions have large pitch angles, large number of ions are reflected. We will discuss why and how the reflection of the solar wind ions depends on the cross-shock potential, the angle between the interplanetary magnetic field and shock normal vector, and the plasma beta at the Earth's bow shock.

## Forecasting Ionospheric Parameters over Jeju Station (126.30°E 33.43°N) using Long Short-Term Memory Method

Suin Moon<sup>1</sup>, YongHa Kim<sup>1</sup>, JeongHeon Kim<sup>1</sup>, SeHeon Jeong<sup>1</sup>,  
SangWoo Lee<sup>1</sup>, YongSil Kwak<sup>2</sup>, JongYeon Yun<sup>3</sup>, WooYeon Park<sup>1,2</sup>

Chungnam National University<sup>1</sup>,  
Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>,  
Korea Space Weather Center<sup>3</sup>

The critical frequency of ionospheric F2 layer (foF2) and height of the F2 peak (hmF2) measured by ionosondes have been used to monitor local ionospheric conditions. Numerous efforts have been made to predict these ionospheric parameters. In this study, using Long Short-Term Memory (LSTM) method, we attempted to predict the ionospheric parameters over Jeju ionosonde station (126.30°E, 33.43°N), operated by Korean Space Weather Center (KSWC). The LSTM method is developed from recurrent neural networks (RNNs) by taking into consideration of sequential variation among data, unlike traditional artificial neural networks (ANN). In LSTM algorithm, the model results from the current epoch will influence outcome in the next epoch. We constructed an LSTM model to predict hourly foF2s and hmF2s at the next 1 to 24 hours using sequential measured data of the past 6 to 24 hours. The sequential data for model inputs include the day of year, hour, solar activity indices (sunspot number and F10.7 solar flux) and geomagnetic activity index (Ap), foF2 and hmF2. We attempted various sequence lengths of the model inputs to find an optimal length. The LSTM model are trained by hourly foF2s and hmF2s measured by the Jeju ionosonde during a period of 2014 – 2016. The LSTM model performance will be compared with that of ANN models in terms of root mean square error (RMSE) and correlation coefficient between measured and predicted values.

## Identification of high latitude trough by Swarm observation

Su-In Kim<sup>1,2</sup>, Young-Sil Kwak<sup>2,3</sup>, Hyosub Kil<sup>4</sup>, Jaeheung Park<sup>2,3</sup>,  
Khan-Hyuk Kim<sup>1</sup>, Hyosub Kil<sup>4</sup>, and Jae-Jin Lee<sup>2,3</sup>

School of Space Research, Kyung Hee University<sup>1</sup>, Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>, University of Science and Technology<sup>3</sup>, Space Departments, the Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory<sup>4</sup>

Different ionization troughs develop in the sub-auroral and high-latitude F region by different physical processes. Mid-latitude trough at the sub-auroral region is a well-known phenomenon identified by many space-borne and ground-based observations, whereas the existence of a trough inside an auroral oval (we call it high-latitude trough) is identified by only a few radar observations. This study for the first time reports the detection of high-latitude trough from satellite observations. We distinguish mid- and high-latitude troughs by their locations relative to the auroral oval. Information of the auroral oval is obtained from the ionospheric radial current (IRC) derived with the SWARM magnetic field data and the DMSP particle data. Our preliminary results show that mid-latitude troughs are pronounced in the evening during local winter and high latitude troughs occur preferentially early in the morning during local summer. The location of the high-latitude trough coincides with the location of downward field-aligned current and significant eastward ion drift. These observations support the idea that the formation of the high-latitude trough is associated with field-aligned plasma flow and heating of the upper atmosphere by the ion-neutral collision.

플라즈마권 지역 내부에 형성된 이온의 밴드 구조 연구  
Investigation of narrow band structures of ions in the  
plasmaspheric region observed by the Van Allen Probes satellites

이준현, 이은상, 김관혁  
Junhyun Lee, Ensang Lee, Khan-hyuk Kim

경희대학교  
Kyung Hee University

In the previous studies during the last 40 years, various kinds of ion spectral structures have been observed around the plasmaspheric region, which have contributed to the understanding of the dynamics of ions that transport from the plasma sheet to the plasmasphere. In this study, we report the observations of the narrow band structure of ions in the energy-time spectrogram in the plasmasphere by the Helium Oxygen Proton Electron (HOPE) instrument onboard the Van Allen Probes (VAP) satellites. The band structure is characterized by the ion fluxes in narrow energy ranges and the gradual decrease of the energy of the fluxes as the satellites move outward. For example, on the outbound pass of the VAP-B satellite on 7 December 2016, the narrow band structure was observed for all ion species with the energy of the fluxes decreasing for 20 to 0.1 keV. The nose-like structure, formed inside  $L=3$ , was observed in the preceding orbit suggesting that the band structure might be the remnant of the nose-like structure. A statistical study for the spatial distribution of the band structures near the equatorial plane shows that the band structures occur more frequently around the dusk sector inside  $L=4$ . Also, the band structures of heavy ions are formed deeper in the plasmasphere than those of protons. The energy of the innermost tip of the band structures is largest at the noon sector and decreases as the magnetic local time (MLT) increases. The characteristics of the narrow band structures suggest that the loss of ions in the nose-like structures occurs with different lifetimes at different energies and locations.

태양 활동 23, 24주기에서의 태양 자전주기에 대한 정지궤도  
상대론적 전자 플럭스 변화와 태양풍 조건과의 상관관계  
Solar rotational periodicity of geosynchronous relativistic electron  
flux variation and its relationship with solar wind conditions during  
solar cycles 23 and 24

최경은<sup>1</sup>, 이대영<sup>1</sup>, 김경찬<sup>2</sup>, 노성준<sup>1</sup>, 최정림<sup>1</sup>, 박경선<sup>1</sup>, 이승욱<sup>1</sup>, 유지현<sup>1</sup>, 왕희은<sup>1</sup>  
Kyung-Eun Choi<sup>1</sup>, Dae-Young Lee<sup>1</sup>, Kyung-Chan Kim<sup>2</sup>, Sung-Jun Noh<sup>1</sup>, Cheong-  
Rim Choi<sup>1</sup>, Kyung Sun Park<sup>1</sup>, Seunguk Lee<sup>1</sup>, Ji-Hyeon Yoo<sup>1</sup>, Hee eun Wang<sup>1</sup>

충북대학교 천문우주학과<sup>1</sup>, 대구대학교 사범대학 과학교육학부<sup>2</sup>  
Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University,  
Korea<sup>1</sup>, Department of Earth Science Education, Daegu University, Korea<sup>2</sup>

행성 간 자기장 (IMF)과 지구 자기장은 서로 밀접히 연결되어 있으며, 태양풍, IMF 및 자기권 변수는 이전 연구들에서 보고 된 것과 같이 주기적인 유사성을 갖는다. 우리의 최근 연구에서는 웨이블릿 분석에 기초하여, IMF 섹터구조가 잘 조직되면 GSM 좌표의 IMF Bz가 Russell-McPherron 효과에 의해 태양 회전주기 또는 그 고조파에서 주기적으로 변한다는 것을 확인했다. 본 연구에서는 동일한 방법을 이용해 분석 범위를 정지궤도 상대론적 전자 (> 2MeV) 플럭스와 관련 파라미터로 확장했다. 그 결과 정지궤도 상대론적 전자가 종종 태양 자전주기와 그 고조파에의 주기를 가지고 변화한다는 것을 발견했다. 정지궤도 상대론적 전자 플럭스의 주기적인 특성은 우리가 테스트 한 다른 파라미터 중에서 AE지수의 주기 특성과 가장 밀접하게 관련되었다. 또한, 이것은 자기권계면에서 태양 자기 플럭스에 의해 자기 재결합 비율을 표현한 Newell et al. (2007) 커플링 함수( $d\Phi_{MP}/dt$ )의 주기적 변화와 밀접하게 관련되어 있다. 본 연구에서는 정지궤도 상대론적 전자와  $d\Phi_{MP}/dt$  함수 사이의 결합이 태양 활동주기와 위상에 의존한다는 것을 발견했으며, 태양풍 동압력 효과를 고려하여 수정된 커플링 함수를 테스트했다. 마지막으로 수정된 커플링 함수의 유용성과 한계를 포함한 결과에 대해 논의를 할 예정이다.

# Estimation of neutral atmospheric temperature profiles in the mesosphere and lower thermosphere region from meteor radar observations

이원석, 김용하  
Wonseok Lee, Yong Ha Kim

충남대학교  
Chungnam National University

We discuss a method for estimating the height profiles of atmospheric temperatures in the mesosphere and lower thermosphere (MLT) region from meteor radar observations. In the profiles of the diffusion coefficients that were derived from meteor decay times measured by the meteor radar in King Sejong Station (KSS) Antarctica, the heights at which the slope of diffusion coefficient reverses (i.e. turnaround heights) were found to match well to constant pressure levels. It was also found in the height distribution of meteor echoes that the meteor peak height (MPH) closely follows a constant pressure level and full width at half maximum (FWHM) is related to difference between two constant pressure levels around the MPH. Using the hydrostatic equation in which the altitude difference is proportional to the logarithm of a pressure ratio, those enable us to estimate the daily temperature between specific altitudes. Applying this method to the meteor radar data of KSS in 2014 – 2017, we estimate daily mean temperatures at 10 altitudes (82 – 96 km) in the MLT region. We discuss the validity of this new method by comparing the estimated temperatures with TIMED/SABER temperatures in 2014 – 2017.

## 서브오로라지역에서의 EMIC Pc1-Pc2 파동의 통계적 연구 Statistical study of EMIC Pc1-Pc2 waves observed at subauroral latitudes

권중우<sup>1</sup>, 김관혁<sup>1</sup>, 진호<sup>1</sup>, 권혁진<sup>2</sup>, Kazuo Shiokawa<sup>3</sup>, Martin Connors<sup>4</sup>  
Jong-Woo Kwon<sup>1</sup>, Khan-Hyuk Kim<sup>1</sup>, Ho Jin<sup>1</sup>, Hyuck-Jin Kwon<sup>2</sup>, Kazuo  
Shiokawa<sup>3</sup>, and Martin Connors<sup>4</sup>

경희대학교<sup>1</sup>, 극지연구소<sup>2</sup>, Nagoya University<sup>3</sup>, Athabasca University<sup>4</sup>  
Kyung Hee University<sup>1</sup>, Korea Polar Research Institute<sup>2</sup>, Nagoya University<sup>3</sup>, and  
Athabasca University<sup>4</sup>

We have statistically studied spectral properties of subauroral latitude Pc1-Pc2 waves observed at Athabasca (ATH) station, Canada (magnetic latitude:  $\sim 62^\circ$ , and  $L \sim 4.6$ ) during the period of 2007-2008 in solar minimum year. The statistical results are as follows: (1) Although there is a considerable spread of Pc1-Pc2 wave frequencies along the local time (LT), most of wave samples appear in the helium band. (2) The median values of wave frequencies in each LT bin show a clear LT dependence. That is, the median frequencies are higher in the postmidnight-to-dawn sector and lower in the late afternoon sector. (3) The occurrence rate of Pc1-Pc2 waves has a peak in the prenoon sector at the 0900-1100 LT under quiet geomagnetic conditions, while the peak occurrence appears in the afternoon sector under moderate and disturbed geomagnetic conditions. (4) The Pc1-Pc2 waves observed at ATH were composed of a mixture of left-hand, right-hand, and linearly polarized waves. By comparing previous studies with our observations, we suggest that the subauroral latitude Pc1-Pc2 waves are associated with electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves generated near the plasmopause and discuss the EMIC wave properties in a region of cold and dense plasmas containing heavy ions in the inner magnetosphere.

## Swarm 위성 자기장 자료를 이용한 전리권 Pi2 파동의 통계적 연구 A statistical study of Pi2 pulsations observed in the upper ionosphere using Swarm magnetic field data

박재희<sup>1</sup>, 김관혁<sup>1</sup>, 황정아<sup>2</sup>

Jae-Hee Park<sup>1</sup>, Khan-Hyuk Kim<sup>1</sup>, Junga Hwang<sup>2</sup>

경희대학교<sup>1</sup>, 한국천문연구원<sup>2</sup>

Kyung Hee University<sup>1</sup>, Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>

The properties of Pi2 pulsations observed in the upper ionosphere are studied using magnetic field data acquired by the Swarm-A spacecraft in low Earth orbit (LEO) and at the low-latitude Bohyun ground station (BOH, L = 1,3) for January 2014–Jun 2015. From time intervals when Swarm-A was on the nightside (magnetic local time (MLT) = 1800–0600 hrs) and the BOH station was near midnight (MLT = 2100–0300 hrs), we identified 621 Pi2 events in the horizontal H component of the BOH data. For each event we examine the coherence between the horizontal H component on the ground and the  $B_x$  (radial),  $B_y$  (azimuthal), or  $B_z$  (compressional) components at Swarm-A. Out of 621 events, the  $B_x$ -H high coherence ( $> 0.7$ ) events are ~6%, the  $B_y$ -H high coherence events are ~3%, and the  $B_z$ -H high coherence events are ~25%. The ground-satellite high coherence events occurred when the spacecraft was located within a magnetic latitude range of  $\pm 50^\circ$ . Using the ground-satellite high coherence events, we examined the latitudinal structure of the relative amplitude and phase of the ionospheric Pi2 pulsations detected at Swarm-A. Confirming previous observations at LEO, we found that the ionospheric Pi2 pulsations are characterized by symmetric odd mode standing oscillations in the north-south direction, having a node for  $B_x$  oscillation and an antinode for  $B_z$  oscillation, respectively, at the equator. This indicates that the source of ionospheric Pi2 pulsations is the plasmaspheric resonance.

## ASSA\_Spot 예측모델 검증시스템 개발 Development of a Verification System for ASSA-Spot Prediction Model

최규철<sup>1</sup>, 계창우<sup>1</sup>, 김현수<sup>1</sup>, 이정덕<sup>1</sup>, 문준철<sup>2</sup>  
Kyu-cheol Choi<sup>1</sup>, Chang-Woo Gye<sup>1</sup>, Hyun-Soo Kim<sup>1</sup>,  
Jeong-Deok Lee<sup>1</sup>, Jun-Cheol Mun<sup>2</sup>

에스이랩<sup>1</sup>, 국립전파연구원 우주전파센터<sup>2</sup>  
SELab, Inc.<sup>1</sup>,  
Korean Space Weather Center<sup>2</sup>

우주전파환경 분석 및 예보 모델들을 운영하고 있는 국립전파연구원 우주전파센터는 비정기적인 수동으로 예보 모델들의 검증을 수행하고 있다. 우주전파환경 예보모델에 대한 객관적인 검증이 없어 모델의 신뢰도와 정확도가 낮은 편이다. 예보 모델의 정확도 개선 및 예보 정확도의 객관적이고 정량적인 검증을 위해 현재 운용중이고 검증이 가능한 모델들에 대한 자동 검증시스템이 필요하다. 우주전파환경 분석 및 예보 모델들을 정기적이고 자동으로 검증하는 검증시스템을 개발하여 ASSA\_Spot 모델에 적용했다. ASSA\_Spot 모델은 1시간마다 태양흑점 탐지 및 분류, 흑점위치, 플레어 발생 확률 등을 산출하는 모델로 모델의 산출결과와 실제 관측결과와의 비교 및 검증이 가능하다. 우주전파환경 분석 및 예보 모델 검증시스템은 각 모델들의 예보 및 관측 자료를 표준화한 후 WMO에서 권장하는 20여개의 메트릭을 적용하여 검증하는 시스템으로 1. 모델 meta DB 및 검증자료 meta DB 구축 2. 모델 자료 수집 및 표준화 3. 모델 자료 검증 4. 검증 결과 웹페이지 표출로 구성하였다. 흑점탐지 및 분류, 흑점 위치는 높은 적중률을 보였고 플레어 발생 확률도 높은 적중률을 보였다. 이번에 개발한 검증시스템은 다른 예보 모델에도 적용할 예정이다.

감사의 글 : 이 연구는 정보통신기획평가원(IITP)의 지원을 받아 수행되었음.

## Prediction of Major Solar Flares Based on Short, Mid, and Long-term Active Region Properties

Daye Lim<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Eunsu Park<sup>1</sup>, and Jin-Yi Lee<sup>2</sup>

School of Space Research, Kyung Hee University<sup>1</sup>, Department of Astronomy & Space Science, Kyung Hee University<sup>2</sup>

We investigate prediction of major flares based on short, mid, and long-term active region properties and their relative contribution. For this, we consider magnetic parameters from Solar Dynamics Observatory/Helioseismic and Magnetic Imager and flare list from Geostationary Operational Environmental Satellites. In this study, we use flare occurrence rates during short (1 day), mid (several days), and long-term (several years) together. In our model, the predicted rate is given by the combination of weighted three rates satisfying that their sum of the weights is 1. We calculate Brier skill scores (BSSs) for investigating prediction performance and weights of three terms giving the best result using ARs from 2015 to 2018. The BSS (0.22) of the model with only long-term is higher than that with only short-term (0.07) or mid-term (0.08). When short/mid-term is additionally considered, the BSS is improved to 0.28/0.24. Our model has the best performance (BSS = 0.29) when all terms are considered, and their relative contribution of short, mid, and long-term rates are 20%, 20%, and 60%, respectively. In addition, this model with three terms seems to be more effective when predicting major flares in strong ARs. In view of a process of energy storage and release, long-term magnetic properties may indicate the storage of magnetic free energy, while short and mid-term flare history may reflect a recent trend of energy release process. Our results suggest that the performances of other existing flare models based on long-term properties should be improved by considering short or/and mid-term flare history.

Thanks : This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIP) (2018-0-01422, Study on analysis and prediction technique of solar flares).

THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**SS-05**

**사용 후 핵 연료**



황화 환경에서 황화철광물의 상변환 경로에 대한  
밀도범함수이론 연구  
(Phase transition pathways of iron sulfides in a sulfidic condition:  
A density functional theory study)

손상보(Sangbo Son)<sup>1</sup>, 권기덕(Kideok D. Kwon)<sup>1</sup>

강원대학교 지질학과(Department of Geology, Kangwon National University)<sup>1</sup>

황화환경(sulfidic condition)이 우세한 지하 환원 환경에서는 황화철광물(iron sulfides;  $\text{FeS}_{1+x}$ )이 많은 이온들의 화학종과 거동을 결정할 수 있다. 안전한 고준위 방사성 폐기물 처분 계획 수립 단계에서는 순수 황화철광물과 방사성원소의 반응에 대한 열역학 데이터가 반드시 필요하다. 그러나 황화철광물은 규산염 및 산화광물들에 비해 지하 환원 환경과 같은 퇴적 환경에서의 열역학 데이터가 매우 부족하다. 실험에 의하면 황화철광물은 가장 초기에 열역학적으로 가장 준안정한(metastable) 막크나와이트(mackinawite;  $\text{FeS}$ )라는 전구체(precursor)로 먼저 형성되고, 이후 그레자이트(greigite;  $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) 또는 자류철석(pyrrhotite;  $\text{FeS}_{1-x}$ )과 같은 중간산물을 거쳐 최종적으로는 황철석으로 상변환(phase transformations)되는 것으로 알려져 있다. 막크나와이트에서 상변환 되는 중간 단계 광물은 주변 환경 조건[예) 산화환원전위, pH 등]에 따라 크게 좌우될 수 있다. 황화환경에서의 많은 이온들의 거동을 이해하기 위해서는 주변 환경 조건에 따른 황화철광물의 상변환 경로를 반드시 규명해야만 한다. 그러나 황철석을 제외한 상변환 중간 산물들은 열역학적으로 준안정하거나, 산화 반응 등에 매우 민감하여 실험적으로 다루기가 매우 까다롭고, 황화철광물들의 상변환 경로에 대한 실험결과들은 서로 이견을 보인다. 이번 발표에서는 양자역학 이론을 기반으로 하는 밀도범함수이론(density functional theory) 계산에 *ab initio* thermodynamics 방법론을 적용하여 황화철광물들의 포베 다이어그램(Eh-pH 다이어그램)과  $\text{H}_2\text{S}$  농도에 따른 상대적인 열역학적 안정성을 비교하고,  $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2$  비율에 따른 황화철광물의 상전이 경로에 대해서 예측하였다. 이번 연구의 방법 및 결과는 추후 지하 환원 조건에서 중금속 및 방사성 폐기물의 거동을 광물화작용(mineralization)을 통해 제어하기 위한 계획 수립 단계에서 크게 응용될 수 있을 것이라 기대된다.



THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**SS-06**

**지구과학 현장자료의  
보존과 활용**



## 지질유산 정보시설로서 천연기념물센터의 라키비움 도입 전략 Strategies for introducing Larchiveum in the Natural Monument Centers at geo-heritage information provision facilities

김태형, 유영완, 김재환, 공달용, 정승호  
TaeHyeong Kim, Yeong Wan Yu, Jae Hwan Kim, Dal-Yong Kong, Seung-Ho Jung

국립문화재연구소  
National Research Institute of Cultural Heritage

최근 세계자연유산, 천연기념물, 국가지질공원 등의 제도를 도입하여 지질유산을 지속가능한 보전(sustainable conservation)을 위한 노력들이 이루어지고 있다. 이러한 시대적 패러다임에 따라 지질유산과 관련된 지질학적 정보, 인문 및 역사적 자료, 민속학적 자료 등 다양하고 복합적인 정보를 제공해 줄 수 있는 핵심적인 공간의 필요성을 인식하게 되었으며, 이에 대한 논의가 이루어질 시점이라고 판단된다.

천연기념물센터는 우리나라의 지질유산을 조사하고 연구하는 기관으로써 다양한 종류의 지질 표본과 자료를 소장하고 있으며 이를 전시하는 대표적인 국가 기관이다. 또한 소장하고 있는 표본과 전시 표본들을 활용하여 천연기념물센터를 교육의 장으로 운영하고 있다.

라카비움(Larchiveum)은 다양한 정보자원을 이용자에게 통합적으로 제공해주기 위해 도서관(Library), 기록관(Archives), 박물관(Museum)의 특성을 반영한 복합 공간의 개념이다.

우리나라 지질유산에 대한 복합적인 정보 교류와 이용자들이 능동적인 참여를 할 수 있는 공간으로 천연기념물센터가 가장 적합하다고 할 수 있다. 따라서 천연기념물센터를 복합정보 공간으로 활용하고자 라카비움 기능을 도입하기 위한 전략을 도출하고자 한다. 라키비움의 기능적 관점을 도입하기 위해 천연기념물센터의 기능적 측면을 파악하고, 라키비움 논의를 위해 선결되어야 할 핵심사항에 대해서도 분석하였다.

이를 통해 지질유산에 대한 정보와 문화, 예술까지 향유할 수 기회의 제공과 함께, 새로운 아이디어를 탐구하고 이용자가 능동적으로 참여할 수 있는 라키비움 기능이 도입된 천연기념물센터가 될 것이다.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

**SS-08**

**자연지진과 유발지진**



## 2017 Mw 5.4 포항지진과 유체주입에 의한 공극탄성응력 변화 The 2017 Mw 5.4 Pohang earthquake, South Korea, and poroelastic stress changes associated with fluid injection

임호빈<sup>1</sup>, Kai Deng<sup>2</sup>, 김영희<sup>1</sup>, 이진한<sup>3</sup>, Teh-Ru Alex Song<sup>4</sup>, 김광희<sup>5</sup>  
Hobin Lim<sup>1</sup>, Kai Deng<sup>2</sup>, YoungHee Kim<sup>1</sup>, Jin-Han Ree<sup>3</sup>,  
Teh-Ru Alex Song<sup>4</sup>, Kwang-Hee Kim<sup>5</sup>

서울대학교 지구환경과학부<sup>1</sup>, College of Geophysics, Chengdu University of  
Technology, Sichuan 610059, China<sup>2</sup>, 고려대학교 지구환경과학과<sup>3</sup>, Department of  
Earth Sciences, University College London, Kathleen-Lonsdale Building, Gower  
Street, London WC1E 6BT, United Kingdom<sup>4</sup>, 부산대학교 지질환경과학과<sup>5</sup>

The 2017 Mw 5.4 Pohang earthquake in South Korea, the first reported and largest induced earthquake, occurred near the enhanced geothermal power plant in Pohang on 15 November 2017. We compute the spatiotemporal changes in poroelastic stresses perturbed by injected fluid under various conditions to better understand the occurrences of the Pohang earthquake and its precedent small-magnitude earthquakes. We also examine the locations of 311 earthquakes that occurred between December 2016 and February 2018 to determine the correlation between stress change and hypocenters. Space-time variation of the relocated earthquakes that occurred before the Pohang earthquake correlates significantly with fluid injection occurring between January 2016 and September 2017. We attribute the timing in earthquake occurrence to slow fluid diffusion, making hydraulic diffusivity ( $D$ ) the most critical model parameter for representing this slow process. The delay between the injection and the Pohang earthquake requires  $D$  estimates within a range of  $0.66 - 1.46 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  for damaged granodiorite at 4–5 km, corresponding to the depth between the tip of the well and the focal depth. According to these estimates, the pore pressure, and thus the Coulomb stress, are further enhanced with each injection, without involvement of significant stress dissipation. Fluid injection can create Coulomb stress change,  $\Delta CFS$ , up to 0.66 bar, exceeding those precipitated by natural sources or the 2016 Mw 5.5 Gyeongju earthquake by two orders of magnitude. Sensitivity tests involving other candidate earthquake source models and poroelastic parameters to  $\Delta CFS$  yield 0.4–3.1 bar.





THE 2<sup>nd</sup>  
KOREA GEOSCIENCE UNION  
연례학술대회

GS-01  
KGU 일반세션



## 저투수층 내 DNAPL 확산 및 역확산 현상에 대한 해석해의 검증 An analytical solution for forward and back diffusion in low-permeability zones

장성간<sup>1</sup>, 이주연<sup>1</sup>, 김창민<sup>1</sup>, 양민준<sup>2,\*</sup>  
Seonggan Jang<sup>1</sup>, Juyeon Lee<sup>1</sup>, Changmin Kim<sup>1</sup>, Minjune Yang<sup>2,\*</sup>

부경대학교 지구환경시스템과학부<sup>1</sup>  
부경대학교 지구환경과학과<sup>2</sup>

Division of Earth Environmental System Sciences, Pukyong National University<sup>1</sup>  
Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University<sup>2</sup>

확산(forward diffusion)과 역확산(back diffusion)은 대수층과 저투수층 내에 존재하는 오염물질의 농도구배로 인해 발생하는 현상이며, 저투수층에서 발생하는 역확산은 장기간 대수층의 오염을 발생시킨다. 따라서, 오염된 저투수층은 대수층 정화에 있어서 중요한 변수로 작용하며, 본 연구를 통해 대수층과 저투수층의 오염 농도 분포 및 역확산으로 인한 대수층의 오염 지속성을 파악하고자 한다. 저투수층 내 오염물질 확산 현상을 해석하기 위해 사용된 해석해는 Carslaw and Jaeger (1959)의 열전달 해석해(analytical solution)이며, 해석해의 타당성을 규명하기 위해 Yang et al. (2015)의 연구에서 개발된 해석해와 비교하였다. 본 연구에서 plume zone의 길이와 폭은 각각 10 m, 5 m이며, 상부에 대수층(두께 5 m)과 하부에 저투수층(두께,  $z = 0.5$  m)인 단일 시스템으로 설정하였다. 또한, 저투수층의 최하부 지점은 오염물질의 이동이 제한되는 경계조건(no flux boundary condition)으로 설정하였다. 오염물질은 Dense non-aqueous phase liquid (DNAPL)의 Trichloroethylene (TCE)과 Tetrachloroethylene (PCE)이며, 대수층의 오염은 7년 동안 지속되었다고 가정하였다. 저투수층에서 TCE와 PCE의 농도는 저투수층의 최하부 지점 ( $z = 0.5$  m)에서 각각 612, 102 mg/L까지 지속적으로 증가하였다. source zone의 오염물질이 완전히 제거된 이후에도 plume zone 내 오염물질의 농도구배로 역확산이 발생하게 되며, 저투수층의 TCE와 PCE의 상대농도( $C/C_0$ )는 시간의 경과에 따라 지속적으로 감소하였다. 또한, 대수층으로 역확산된 TCE와 PCE의 농도는 음용수 기준(maximum contaminant level (MCL) = 5  $\mu\text{g/L}$ )을 각각 24년, 13년 동안 초과하는 결과를 나타내었다. 본 연구에서 열이동 해석해를 이용하여 도출된 결과는 Yang et al. (2015)에서 개발된 해석해를 적용한 결과와 매우 유사하게 나타났다( $R^2 = 0.99$ ). 그러므로, Carslaw and Jaeger (1959)의 열전달 해석해는 확산 현상을 효과적으로 해석할 것으로 사료된다.

## 대수층 내 우라늄 오염 지속성에 pH조건이 미치는 영향 The effect of pH conditions in an aquifer on uranium persistence due to aquitard back diffusion

김수빈<sup>1</sup>, 장성간<sup>1</sup>, 이주연<sup>1</sup>, 양민준<sup>2\*</sup>  
Subin Kim<sup>1</sup>, Seonggan Jang<sup>1</sup>, Juyeon Lee<sup>1</sup>, Minjune Yang<sup>2\*</sup>

부경대학교 지구환경시스템과학부<sup>1</sup>  
부경대학교 지구환경과학과<sup>2</sup>

Division of Earth Environmental System Sciences, Pukyong National University<sup>1</sup>  
Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University<sup>2</sup>

우라늄이 생수에서 검출되면서 최근 환경부에서는 우라늄을 먹는 물 수질기준 항목으로 포함시켰다. 우라늄은 긴 반감기와 높은 이동성을 가지고 있어 비교적 지하수에서 검출되기 쉽고, 인체 내로 흡수되면 화학적 독성에 의해 신장에 치명적인 질환을 유발할 수 있다. 특히 우리나라는 지질학적 특성상 우라늄이 일부 광상에 함유되어 있으며, 광물의 분리나 용출로 인해 주변 지하수 내 우라늄 농도가 매우 높게 나타나고 있다. 따라서 우라늄으로 오염된 지하수를 복원시키기 위한 다양한 정화방법과 우라늄 이동에 관한 모델링 연구가 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 선행된 모델링 연구는 핵종들의 이류(advection), 분산(dispersion)에 대한 내용으로, 지하 내 저투수성 매체로 인한 핵종들의 확산(forward diffusion) 및 역확산(back diffusion) 이동은 고려되지 않았다. 본 연구에서는 해석학적 모델링을 이용해 저투수성 매체가 고려된 대수층 내 우라늄 유동특성에 대해 파악하고자 한다. 실험환경은 챔버 내 4 cm 높이의 대수층과 2 cm 높이의 저투수층으로 설정하였고 챔버 내로 주입되는 인공오염수는 우라늄(3.6 mg/L)으로 3가지 pH조건(pH 4, pH 7, pH 9.5)을 가정하였다. 또한, 총 80일의 실험 기간 중 확산 기간을 30일, 역확산 기간을 50일로 가정하였다. 저투수층 2 cm 깊이에서 우라늄의 상대 농도( $C/C_0$ )는 pH 4 = 0.34, pH 7 = 0.15, pH 9 = 0.65의 수치를 보였으며, 오염수를 증류수로 대체한 후 10일이 되었을 때 우라늄의 상대농도는 pH 4 = 0.43, pH 7 = 0.25, pH 9.5 = 0.59로 나타났다. 또한, 증류수가 주입된 후 대수층으로 역확산된 우라늄의 농도는 평균 36일 동안 먹는물 수질기준(30  $\mu\text{g/L}$ )을 초과하였으며, 오염지속성은 pH 7 < pH 4 < pH 9.5 순으로 높게 나타났다. 본 연구를 통해 대수층 내 우라늄 오염이 발생했을 경우, 저투수성 매체에서 발생하는 역확산에 의해 오염이 지속되는 것을 확인할 수 있었다. 끝으로 우라늄은 대수층의 pH 조건 뿐만 아니라 Eh, carbonate와 같은 지화학조건에도 큰 영향을 받기 때문에 이들을 고려한 추가적인 핵종 이동특성 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 카르스트 대수층 내 Darcy flux 측정을 위한 플럭스미터의 적용 가능성

### Feasibility of the passive flux meter for measuring Darcy flux in a karst aquifer

이주연<sup>1</sup>, 김수빈<sup>1</sup>, 김창민<sup>1</sup>, 양민준<sup>2\*</sup>  
Juyeon Lee<sup>1</sup>, Subin Kim<sup>1</sup>, Changmin Kim<sup>1</sup>, Minjune Yang<sup>2\*</sup>

부경대학교 지구환경시스템과학부<sup>1</sup>  
부경대학교 지구환경과학과<sup>2</sup>

Division of Earth Environmental System Sciences, Pukyong National University<sup>1</sup>  
Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University<sup>2</sup>

카르스트란 석회암의 주 성분인 탄산염광물이 지하수에 용해되어 지하공동이 형성된 곳을 의미하며, 카르스트 대수층은 크게 matrix zone과 절리, 공로를 포함한 non-matrix zone으로 분류된다. 카르스트 대수층 내 형성된 다양한 규모의 지하공동은 지하수 흐름을 복잡하게 만들기 때문에 오염물질의 거동을 예측하기 위해서는 Darcy flux를 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 플럭스미터(Passive flux meter, PFM)는 대수층 내 Darcy flux를 측정할 수 있는 공법 중 하나이며, 저렴한 제작비용과 측정방법이 간단하다는 이점이 있다. 그러나 국내에서는 아직 플럭스미터가 도입된 사례가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 플럭스미터를 이용하여 Darcy flux를 측정하고, 단공희석시험(Borehole dilution test, BHT)의 측정값과 비교하여 신뢰성을 판단하였다. 연구지역은 미국 플로리다 주 실버스프링스(Silversprings) 주변에 위치한 세 곳의 관측정을 대상으로 하였으며, 관측정 M625의 경우 73일, M762, M764는 13일간 같은 조건으로 두 측정기기를 이용하여 Darcy flux를 측정하였다. 연구결과 matrix zone에서 단공희석시험의 경우 평균 5.9 cm/day, 플럭스미터는 평균 6.1 cm/day로 유사한 값을 보였고 non-matrix zone의 경우 단공희석시험은 평균 1275.5 cm/day, 플럭스미터는 9.7 cm/day로 큰 차이를 나타내었다. 그 이유는 플럭스미터에 흡착된 알코올성분이 플럭스미터를 통과하는 유량에 비례하여 희석이 된다고 가정하였으나, 빠른 Darcy flux를 가진 카르스트 대수층의 경우 지하수가 플럭스미터를 우회하여 흐르기 때문에 측정값이 낮게 나오는 것으로 확인되었다. 이러한 이유로 플럭스미터는 약 8 cm/day 이상의 지하수 흐름에서는 적용이 어려울 것으로 판단되며, 빠른 Darcy flux에서도 측정가능한 새로운 플럭스미터 개발이 필요할 것으로 보인다.

## 단일 저투수층을 고려한 확산 및 역확산 해석해의 고찰 A review of analytical solutions for forward and back diffusion from a single aquitard system

김창민<sup>1</sup>, 장성간<sup>1</sup>, 김수빈<sup>1</sup>, 양민준<sup>2\*</sup>  
Changmin Kim<sup>1</sup>, Seonggan Jang<sup>1</sup>, Subin Kim<sup>1</sup>, Minjune Yang<sup>2\*</sup>

부경대학교 지구환경시스템과학부<sup>1</sup>  
부경대학교 지구환경과학과<sup>2</sup>

Division of Earth Environmental System Sciences, Pukyong National University<sup>1</sup>  
Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University<sup>2</sup>

지하수 오염 정화분야는 1970년대 미국에서 유기 오염물질의 관측과 함께 대두되어 지금까지 다양한 분야에 걸쳐 발전해 나가고 있다. 당시 대다수 지하수 오염부지에서는 양수처리법 (Pump and Treat, P&T)을 적용하여 정화 처리가 이루어졌다. 그러나 지속적인 노력에도 불구하고 오염 이전 수준의 환경 복원에 실패하는 사례가 상당수 보고되었다. 이후 다수의 연구를 통하여 오염원 차단 이후 저투수성 매체로부터 역확산하는 오염물질이 지속적으로 대수층을 오염시키는 원인임을 규명하였다. 현재 국외에서는 저투수층에서 발생하는 확산 및 역확산에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있으나, 국내에서는 관련 연구가 미비한 실정이다. 따라서 본 연구를 통해, 저투수층 매체에서의 오염물질 확산 및 역확산 현상을 소개하고 대표적인 연구 사례를 통해 그 중요성을 제안하고자 한다. 본 연구에서는 실내 실험 규모의 저투수층 내 오염물질 농도 분포 모델링 결과를 통해 대수층과 저투수층의 경계면에서 발생하는 오염물질의 거동 특성을 파악하고자 하였다. 또한 저투수층의 경계조건에 따른 시나리오의 해석해를 각각 제시하고 그 결과를 비교하였다. 본 연구에서 실시한 모델링은 2-D flow chamber를 가정하여 이루어 졌다. 전체 챔버의 길이는 30 cm이며 대수층의 높이는 4 cm로 그 하부에 깊이 6 cm의 저투수층이 위치한다. 유효확산계수는 추적자 용액으로 사용한 Br를 가정하여 결정하였으며 확산 기간은 22일로 설정하였다. 모델링 결과, 깊이 6 cm 지점에서 Br의 상대농도는 유한한 경우는 확산 7일에 0.08, 21일에는 0.47로 나타났으며, 무한한 경우는 동일한 시간에 각각 0.04와 0.23으로 나타났다. 역확산 시나리오에서 유한한 경우는 29일에 0.54, 43일에 0.34이며 무한한 경우는 동일한 시간에 각각 0.27, 0.17로 나타났으며, 확산과 역확산 모두 유한 조건의 상대농도가 더 높게 나타났다. 이는 유한 조건의 해석해가 무한 조건에서 고려되지 않은 깊이 6 cm 하부의 농도를 추가로 고려하고 있기 때문에 유한조건의 농도가 상대적으로 높게 나타난 것으로 해석이 가능하다. 본 연구결과를 통해 저투수층의 경계조건에 따라 오염물질의 분포 특성이 상이하게 나타날 수 있음을 확인하였다. 추가적으로 실제 현장의 저투수층내 오염물질의 농도분포를 모델링하는 경우 오염원의 구조(source architecture), 저투수층의 종류, 대수층내 저투수층의 분포 특성 등, 주요 영향인자를 함께 고려하는 것이 필요하다.

## Predictability of Boreal winter Temperature over South Korea in PNU CGCM Ensemble Forecast System

Joong-Bae Ahn<sup>1</sup>, Sera Jo<sup>1</sup>, Joonlee Lee<sup>2</sup>

Pusan National University<sup>1</sup>, Ulsan National Institute of Science and Technology<sup>2</sup>

초기화 방안의 다양화로 새롭게 구축된 PNU CGCM 앙상블 예보 시스템의 예측자료의 결정론적 그리고 확률론적 예측성능 평가를 수행하였다. 11월 초기조건을 이용하여 생산된 1980년부터 2017년까지 총 38년의 40개 앙상블 예측자료를 이용하여 겨울철(DEC-JAN-FEB) 남한의 기온 예측에 초점을 두고 분석하였다.

먼저 앙상블 개수가 예측성능에 미치는 영향을 살펴본 결과, 앙상블 멤버가 작을수록 어떤 앙상블 멤버를 선택하느냐에 따라 예측성의 차이가 매우 크게 나타났고, 앙상블 멤버의 수가 20개 이상부터는 중간 값의 예측성능이 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 값을 보였다. 이를 통해 겨울철 남한 기온을 통계적으로 유의하게 예측하기 위해 최소 20개 이상의 앙상블 멤버가 필요함을 알 수 있다. 40개 앙상블 멤버를 평균하여 예측성을 평가해 본 결과 시간상 관계수가 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 값을 나타내었고, 개별앙상블 멤버보다 앙상블 평균이 높은 시간상관계수와 낮은 오차제곱근, 높은 HR, HSS와 낮은 FR을 보였다.

또한 겨울철 동아시아 몬순의 특징인 대륙에 발달한 시베리아 고기압과 해양의 알루산 저기압, 한반도에 나타나는 북서계절풍, 상층 제트 및 기압골의 발달이 관측과 유사하게 모의하고, 평년보다 따뜻하고 추운 겨울철의 합성장에서도 관측과 유사한 구조를 나타내었다. 그러므로 PNU CGCM이 동아시아의 겨울철 기후의 기후(평년)장과 아노말리 종관 패턴을 관측과 유사하게 모의함으로써 남한의 겨울철 기온을 예측해 낸다는 것을 확인하였다.

결정론적 그리고 확률론적으로 기온에 대한 3분위 예보 예측성을 살펴본 결과 전체적인 정답률은 결정론적 예보가 높지만 평년보다 기온이 높은 겨울의 경우 확률론적 예보의 정답률이 71%로 매우 높았으며, 평년보다 추운 겨울의 경우 결정론적 예보의 정답률이 67%로 가장 높았다. 평년과 유사할 경우 결정론적 예보의 정답률이 50%임에 반해, 확률론적 예보의 정답률이 17%로 임의의 예측 확률(33%)보다 낮은 수준이었다. 그리고 확률론적 예보는 3개의 카테고리 고리에 대해 매우 고르게 앙상블 멤버들이 분포한 경우 정답률이 매우 낮은 반면, 한쪽으로 편중되어 있을 때는 정답률이 매우 높았다.

감사의 글 : 이 연구는 기상청 <「기상·지진See-At기술개발연구」>(KMI2018-01213)의 지원으로 수행되었습니다.)

## Development of ECLSS for the Manned Space Exploration

JooHee Lee, YounKyu Kim, JongWon Lee, and GiHyuk Choi

Korea Aerospace Research Institute

지구근접 우주환경의 유인 탐사와 달 및 화성의 유인 우주탐사 등에서 우주인들의 안전한 운송과 장기적인 체류를 돕는 시설인 국제우주정거장(International Space Station: ISS), 소유즈(Soyuz) 유인 우주선, 지금은 퇴역한 우주왕복선(Space Shuttle), 그리고 향후 유인 달 탐사나 화성 탐사를 통해 건설하게 될 유인 탐사기지까지 우주인들의 다양한 우주임무 활동과 의식주 생활을 안전하게 지켜주는데 필요한 우주 주거모듈(module) 시설에는 반드시 ‘환경 제어 및 생명유지시스템(Environmental Control and Life Support System: ECLSS, 이하 생명유지시스템)’ 기술이 필수적이다. 생명유지시스템은 우주 주거모듈 시설 내부에서 생활하는 우주인들의 호흡에 필요한 대기질 관리(산소공급, 이산화탄소 제거, 공기 정화 등), 물 관리(식수 공급 및 전기분해를 통한 산소 공급, 오염수 및 소변 정수 등), 폐기물 관리(생활쓰레기 처리) 등 크게 3개의 주요 서브시스템(subsystem)으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 올해부터 한국항공우주연구원에서 향후 유인 우주탐사 핵심기술 개발과 관련하여 수행중인 생명유지시스템 지상모델 개발과 관련하여 생명유지시스템 개발의 필요성과 3개의 주요 서브시스템 부분 중에서 1단계 개발 목표인 대기질(공기) 관리 시스템 개발 개요 및 개념에 대해서 소개하고자 한다.

## 북서태평양 중규모 소용돌이 내의 내부조석파 변동

박종진

경북대학교 자연과학대학 지구시스템과학부/경북해양과학연구소

중규모 소용돌이는 다른 지역에 있는 열과 염, 물질들을 수송하고, 이를 주변과 혼합시키는 역할을 수행하기 때문에 중요하다. 본 연구에서는 대양조사선 이사부호를 활용하여 해양관측 로봇 수중글라이더를 투하하는 시험을 국내 최초로 실시하였는데, 이 운용 시험의 일환으로 수중글라이더를 중규모 소용돌이로 투입시켜 소용돌이 내부 물성의 시간적 변화를 관측하였다. 2019년 9월 8일 09시, 북서태평양 위도 20.71 °N 경도 131.11 °E 에서 수중글라이더 1기를 투하하였으며 투하 후 약 50 km 북상시켜, 위도 21.03 °N 경도 131.25 °E에서 위치 유지를 하도록 제어하였고 2018년 9월 9일부터 18일 13시까지 관측을 수행하였다. 이 기간 동안 수중글라이더는 지정한 지점에서 RMS 거리 720 m 범위를 벗어나지 않으면서 위치 유지 관측을 성공적으로 수행하였다. 해당 수중글라이더는 수온 및 염분의 수직 구조를 표층부터 수심 800 m까지 약 1시간 30분의 시간간격으로 측정하였다. 수중글라이더 관측 기간 동안 중규모 소용돌이는 북동쪽으로 약 55 km 정도 이동하였으며, 초기 관측은 중규모 소용돌이 중심부에서 이루어졌으나, 소용돌이의 이동에 따라 9월 13일 이후부터는 소용돌이 가장자리에서 관측이 이루어졌다. 수중글라이더에서 관측된 수온과 염분의 시간 변동을 살펴보면, 약 24시간 주기의 진동이 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이것을 20시간~ 28시간 사이로 밴드 패스 필터를 하여 일주기 내부조석파를 분리하여 분석하였다. 해당 내부조석파는 1차 순압성 구조를 가지는 것으로 판단되며, 중규모 소용돌이 중앙부에 머물렀던 기간동안에는 소용돌이 하부에 조석파 에너지가 집중되어 있었으나, 소용돌이 가장자리로 오면서 조석파 에너지가 전층에 걸쳐서 나타나는 것을 알 수 있다. 해당 결과는 내부조석파가 소용돌이를 통과하면서 소용돌이의 역학적 구조에 따라 변형이 일어나는 것으로 해석될 수 있으며, 소용돌이와의 상호작용을 통해 일어나는 내부조석파의 변형이 어떠한 물리적 과정의 결과물이고 내부조석파의 전파와 소멸 그리고 혼합 과정에 어떠한 영향을 줄 수 있을지 추가적인 연구가 필요하다.

## 수중글라이더를 활용한 동한 난류 단면 관측

박종진

경북대학교 자연과학대학 지구시스템과학부/경북해양과학연구소

동해에는 대양에 존재하는 서안경계류와 유사하게 한국 동해안을 따라 북상하는 동한 난류가 존재한다. 동한난류는 대양에서 나타나는 서안경계류의 변동 특성을 연구하는데 중요한 해류이기도 하지만, 동시에 다른 지형류적 강한 해류가 그렇듯이 수온과 염분 등 물성의 강한 전선 구배가 존재하는 전선역이다. 해양에서의 전선은 물질과 에너지의 교환을 가로막는 벽의 역할을 할 수도 있으나, 강한 해류에 의한 불안정성으로 오히려 중요한 물질과 에너지 교류가 발생할 수도 있다. 전선을 가로지르는 방향의 물질 및 에너지 수송은 전선을 따르는 방향보다 훨씬 작은 양임에는 틀림없으나, 기후변화와 밀접한 관련이 있는 해양의 자오선 순환입장에서는 이러한 전선을 가로지르는 방향의 수송이 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 게다가 전선역에서는 일반적으로 전선을 가로지르는 방향으로 등밀도면이 깊어지므로, 전선역을 가로질러 나타나는 물질 및 에너지 수송은 종종 표층의 물을 심해로 수송하는 과정과 관련된다. 이러한 과정은 해표면으로 녹아들어가던 대기중의 온실기체를 해양 심층으로 이동시키는 중요한 역할을 담당할 수 있으므로, 그 물리적 과정을 이해하는데 도움이 되는 관측이 필요하다. 그러나, 동해는 로스비 변형 반경이 10km 정도인데, 이것은 전선역에서 나타나는 물리적 현상들의 공간 규모가 같은 위도에서의 대양에 비해 1/3정도로 작다는 것을 의미하며, 이러한 동한 난류를 관측하고 연구하기 위해서는 대양보다 훨씬 고해상도의 관측이 요구된다고 할 수 있다. 본 연구에서는 수중글라이더라는 해양 관측 로봇을 활용하여 동한 난류 단면을 2017년 8월과 2018년 8월에 각각 성공적으로 관측한 결과를 제시한다. 두 해 모두 약 20일간 연속적으로 동한난류의 단면 관측을 수행했으며, 2017년에는 2번, 2018년에는 6번 연속 단면 관측을 실시하였다. 해당 단면은 국립수산과학원 106 정기 선박 관측 라인을 따라 이루어졌으며, RMS 거리로 약 0.4 km 범위 내에서 정확히 직선 항해를 하는데 성공하였다. 수중글라이더에서 얻어진 관측 자료는 는은 시기에 관측선을 이용해 얻은 물성 단면 자료와 비교함으로써 수중글라이더를 활용한 고해상도 관측의 중요성을 제시한다.

## 한국형 무인 해양 관측 네트워크 구축 방안

박종진

경북대학교 자연과학대학 지구시스템과학부/경북해양과학연구소

해양은 전자기파가 전달되지 않기 때문에 수중을 관측할 수 있는 수단이 제한적이다. 따라서 해양 수중의 상태를 측정하기 위해서는 센서를 장착한 플랫폼을 바다속으로 직접 넣거나 채수하여 측정할 수밖에 없다. 이를 위해서 전통적으로 배를 이용한 관측이 주를 이루었으며, 특정 지점에 계류하여 관측하는 부이시스템이 반세기 전부터 지금까지 활용되어 시간에 따른 변화 자료를 얻고 있었지만, 여전히 공간에 따른 변화는 배를 이용한 관측에 지배되고 있었다. 1990년 말 수중글라이더라는 무인해양관측 로봇이 개발됨으로써 해양의 수중 공간관측을 드디어 무인화할 수 있게 되었고, 이에 힘입어 부이시스템과 수중글라이더 선단시스템을 결합한 무인 해양 관측네트워크의 개념이 출현할 수 있었다. 무인 해양 관측 네트워크의 발달에 가장 큰 역할을 한 것은 수중글라이더의 개발이었지만, 2000년도부터 시작하여 큰 성공을 거둔 ARGO 프로그램의 역할도 컸다. 이 국제 관측 프로그램으로 인해 ARGO 플로트의 생산이 늘어나면서, ARGO 플로트에 탑재하는 센서의 종류도 다양하게 개발될 수 있었다. ARGO 플로트에 탑재하고자 개발되었던 센서는 비슷한 개념으로 작동하는 수중글라이더에 모두 탑재될 수 있기 때문에, 무인 해양 관측 네트워크의 발달을 앞당길 수 있었다고 볼 수 있다. 이제까지 해양 관측은 선박을 활용해야 했기 때문에 자료 수집에 천문학적 비용이 소요되므로 해양에서 정보를 수집하는 것은 거의 대부분 국가 주도로 이루어져 왔었다. 그러나, 무인 해양 관측 네트워크는 관측 비용을 크게 절감할 수 있으며 새로운 사업 창출도 가능하여 해양 정보 산업을 민간 주도로 발전시킬 수 있는 가능성이 높은 분야이다. 전 세계적으로 해양 관측 분야가 급속도로 무인화되어 가고 있는 것에 반해 한국형 무인 해양 관측 네트워크의 개발은 여전히 답보상태이다. 본 연구에서는 해양 선진국에서 구축하여 운영 중인 무인 해양 관측 네트워크에 대해 살펴보고, 이로부터 한국형 무인 해양 관측 네트워크를 구축하려할 때 고려해야 하는 사항들을 정리하고자 한다.

## 백령도-아산-평택 지역 알칼리 현무암의 지구화학적 특성 연구 Geochemistry of alkali basalts from Baengnyeong, Asan and Pyeongtaek areas.

김선규<sup>1</sup>, 최성희<sup>1,2</sup>  
Seongyu Kim<sup>1</sup>, Sung Hi Choi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 우주·지질학과

<sup>2</sup>충남대학교 지질환경과학과

Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University

Department of Geological Sciences, Chungnam National University

동아시아에는 신생대에 분출한 판내부 현무암이 넓게 분포하고 있으며, 한반도 내에서도 백두산, 전국, 백령도, 아산, 평택, 간성, 보은, 포항, 울릉도, 독도, 제주도 등지에서 산출되고 있다. 선행연구 결과들을 통해 한반도 내 현무암들은 LILE (Large Ion Lithophile Elements)가 중앙해령에 비해 부화되어 있고, HFSE (High Field Strength Elements)의 결핍이 나타나지 않으며, Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소 조성에서 해양도현무암(OIB, Ocean Island Basalts)과 유사한 화학조성을 갖는 것으로 알려져 있다. 더불어 현무암과 맨틀 포획암 간 동위원소 데이터의 비교를 통해 그 기원이 암석권 맨틀보다는 연약권에 기인한 것으로 판단됐다. 공간적 분포에 따라 한반도 북부에 위치하는 현무암들은 맨틀 도메인으로 DMM-EM1 (Depleted MORB Mantle-Enriched Mantle Type 1) 조성을 보였고, 남쪽으로 갈수록 DMM-EM2 (Depleted MORB Mantle-Enriched Mantle Type 2)로 동위원소 조성의 변화가 관찰되었다. 한반도 내에서 비교적 북쪽 지역에 위치한 백두산, 전국, 백령도, 평택, 아산의 현무암들은 DMM-EM1 조성을 나타낸다. 그러나 이들 내에서도 희토류원소, 미량원소 및 동위원소 조성에서 차이가 관찰되었다. 본 연구에서는 위 암석들을 연구대상으로 선정하였다. 희토류원소 분포도와 거미도에서 LILE에 해당되는 원소인 Ba, Rb, K, Sr 등이 백두산과 전국 현무암에서 부화되어 있는 경향을 보이며 백두산은 특징적으로 Eu 양(+)의 이상을 보인다. 반면, 다른 지역의 현무암들은 그런 경향성을 나타내지 않는다. 평택 현무암의 경우, Th이 다른 지역에 비해 상대적으로 부화되어 있는 것이 특징적이다. 그러나 분별된 Nb/Ta 비와 Ti에서의 부(-)의 이상 및 P에서의 양의 이상 등은 이들 현무암들에서 공통적으로 발견되는 특징이다. Sr-Nd과 Pb-Pb 동위원소상관도에서 백령도 현무암류는 백두산이나 전국 현무암류에 비해서 결핍된 중앙해령현무암류에 보다 근접하는 동위원소성분비를 가지는 것이 특징이다. 평택 현무암의 경우,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 과  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  동위원소 상관도에서는 백두산 현무암의 범위 내에 도시되나,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  상관도에서는  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  비 대비 매우 부화된  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  비를 가져 Th이 상대적으로 부화되어 있는 결과와 부합한다. Yb와 Dy의 분배계수를 활용하여 각 지역 현무암의 적합한 근원암을 모델링하였다. 그 결과 전국과 평택의 현무암은 청정석-석류석 페리도타이트와 에클로자이트의 혼합 성분에서 유래한 것으로 보이는 반면 백두산과 백령도의 현무암은 석류석 페리도타이트와 에클로자이트의 혼합 성분에서 유래한 것으로 판단된다. 백령도 시료의 일부는 다른 지역 현무암과 달리 매우 높은 Dy/Yb 비를 보였는데 이는 탄산염 교대작용(metasomatism)을 받은 석류석 페리도타이트가 근원물질에 존재했을 가능성 제시한다. 지금까지의 결과를 종합하면, 위 현무암류를 생성한 근원물질에는 석류석 페리도타이트와 함께 재활성화된 함금홍석-튜이트(tuite) 에클로자이트가 공통적으로 존재하나, K-hollandite를 포함하는 K가 풍부한 섭입된 원양성 퇴적물은 백두산과 전국 지역에 국한되어 분포하는 것으로 사료된다. 평택의 경우는 Th이 부화되어 있는 물질이 근원물질에 포함되어 있을 가능성이 있다. 그러나 백령도, 아산, 평택 지역 현무암류에 대한 현재까지 이용 가능한 데이터가 매우 제한적이므로, 통계적으로 유의미한 결론을 도출하기 위해서는 보다 많은 데이터를 추가 확보할 필요가 있다.

## 신생대 마이오세 울산분지에서 산출되는 연체동물 화석 보고 (Miocene molluscan fossils from the Tertiary Ulsan Basin)

김현진, 이동찬  
Hyunjin Kim, Dong-Chan Lee

충북대학교<sup>1</sup>  
Chungbuk National University<sup>1</sup>

울산 북구 송정동 부근에 분포하는 신생대 마이오세 지층에서 산출된 117점의 이매패류와 27점의 복족류 화석에 대하여 고생물학적 연구를 수행하였다. 화석이 산출되는 지층은 층리가 잘 발달하지 않은 이암 혹은 세립질 사암으로 이루어져 있다.

대부분의 화석은 풍화를 받아 외골격이 모두 사라지고 외형본 또는 내형본으로 보존되어 있다. 보존이 양호한 상태는 아니지만 산출된 120여 개의 표본 중 약 65% 정도의 표본을 동정하였다. 분류학적 연구 결과 이매패류 화석은 10속, 복족류 화석은 3속으로 분류되었다. 이매패류 화석은 *Crassotrea gravitesta* (18점), *Barbatia* cf. *uetsukiensis* (17점), *Nuculana* (*sacella*) sp. (12점), *Dosinia* cf. *nomurai* (10점), *Anadara* cf. *kakehataensis* (6점), *Anadara* sp. (4점), *Pitar* sp. (4점), *Vasticardium* sp. (2점), *Megaxinus* sp. (2점), *Archarax* cf. *tokunagai* (1점), *Solen* sp. (1점)으로 동정되었으며 복족류 화석은 *Batillaria* (*Tateiwaia*) sp. (13점), *Phos?* sp. (2점), *Euspira* sp. (1점)으로 동정되었다. 이 밖에도 소량의 탄화목편과 식물잎 화석 16점이 산출되었다.

*Crassotrea*에 속하는 굴 화석과 *Barbatia*, *Nuculana*, *Dosinia*에 속하는 이매패류 화석이 상대적으로 높은 산출빈도를 나타냈다. 특히 굴화석은 특정한 방향성을 보이지 않고 퇴적물과 함께 묻혀진 상태로 산출된다. 이러한 굴 화석의 산출특성은 이매패류 화석들이 폭풍 등과 같은 강한 에너지에 의해 재동(reworking)되어 퇴적되었음을 지시한다. 그리고 *Barbatia* cf. *uetsukiensis* 화석에는 갯지렁이들이 서식했던 관 형태의 흔적화석이 껍데기의 바깥 혹은 안쪽에 붙어 산출된다. 이는 이매패류의 껍데기가 죽은 후 폭풍과 같은 작용에 의해 재동된 후 갯지렁이가 껍데기에 붙어 서식했음을 의미한다. 복족류 화석은 이매패류에 비해 적은 수의 개체가 서식했던 것으로 보인다.

포항지진 신문기사의 비판적 담론분석을 통한  
재난대응에 대한 고찰  
A Review on Disaster Response through Critical Discourse  
Analysis of Newspaper Articles about Pohang Earthquake

이예슬<sup>1</sup>, 전해숙<sup>1</sup>, 이권민<sup>1</sup>, 민배현<sup>1</sup>, 최용상<sup>1</sup>  
Yeseul Lee<sup>1</sup>, Hye-Sook Jeon<sup>1</sup>, Kwonmin Lee<sup>1</sup>, Baehyun Min<sup>1</sup>, Yong-Sang Choi<sup>1</sup>

이화여자대학교<sup>1</sup>  
Ewha Womans University<sup>1</sup>

본 논문은 재난의 복잡다단한 맥락을 구성하는 정치·경제·사회의 다양한 이해관계자들이 생성해내는 담론과 사회적 실천의 함의를 파악하여 국내의 효율적 재난대응 방안 모색을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

페어클로(Fairclough)의 비판적 담론분석(Critical Discourse Analysis) 모델을 적용하여 국내 대표적인 세 일간지에 실린 2017년 11월 포항지진 관련 신문기사를 분석하였다. 담론분석 결과, 첫째, 세 언론사에서는 지진 발생 이후 대응의 측면에서 재난대응 매뉴얼과 대피훈련의 낮은 실효성을 지적하였다. 둘째, 지진피해 복구 측면에서 대피소 서비스 강화와 이재민 지원 확대의 필요성을 강조하였다. 셋째, 내진설계 강화 및 문자알림 서비스 질 향상 등 향후 피해를 미연에 방지하기 위한 실천 노력을 제시하였다.

본 연구에서는 효과적인 국내 재난대응을 위하여 재난 예방 대책의 현실성·실효성 제고, 유기적이고 통합적인 재난대응체계 마련, 시민의 역할과 참여 강조, 전문가 집단의 책임감 및 이에 대한 견제, 재난대응 관련 건전한 담론형성을 위한 미디어의 역할을 제안하였다.

감사의 글 : 이 연구는 2018년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2018R1A6A1A08025520)

## Na-, K-버네사이트 고전 분자동역학 시뮬레이션 연구 Classical Molecular Dynamics (MD) Simulations of Sodium and Potassium Birnessite

박수정<sup>1</sup>, 권기덕<sup>1</sup>  
Sujeong Park<sup>1</sup>, Kidoek Kwon<sup>1</sup>

강원대학교 지질학과<sup>1</sup>  
Department of Geology, Kangwon National University<sup>1</sup>

해저 망간단괴를 구성하는 주요 전락금속 중 하나이자 토양입자를 덮으며 나노 크기로 산출되는 산화망간 광물은 넓은 비표면적을 가지고 양이온 교환능력 및 산화환원 반응이 뛰어나 오염된 환경 내 중금속 또는 방사성 동위원소들의 거동을 조절하는 물질뿐만 아니라 배터리 물질로써도 이용되고 있다. 연구대상인 버네사이트(birnessite; Bi)는 Mn(III) 또는 Mn(IV)로 이루어진 MnO<sub>2</sub> 팔면체 층(octahedral layer) 사이에 수화된 양이온을 가지며 ~7 Å의  $d$ -spacing을 가지는 층상형 산화망간 광물이다. 환경과 산업 분야에서 유용하게 사용되는 버네사이트 광물의 물리·화학적인 반응성은 층간(interlayer) 내 양이온의 종류와 물의 함량 및 배열에 따라 크게 좌우되어 층간에 대한 원자 관점의 이해가 매우 중요하다. 하지만 자연상에서 산출되는 버네사이트는 결정도가 매우 낮아 층간 내 원자들의 배위 환경에 대해 실험적으로 연구하는 데 한계가 존재한다. 이번 연구에서는 원자 수준의 고전 분자동역학 시뮬레이션(classical molecular dynamics simulation) 방법을 사용하여 실험적인 한계를 보완하고, 층간 내 양이온 및 물 분자의 배열 구조에 대하여 미시적인 관점에서 연구하였다. 계산 결과, 양이온에 대한 물의 함량이 증가함에 따라  $d$ -spacing이 약  $H_2O/M^+=2.6$  ( $M^+$ = 층간 양이온) 이전에는 Na-Bi < K-Bi 순서로 이온반경의 크기와 일치하는 경향을 보였으나,  $H_2O/M^+=2.6$  에 도달하면서 Na-Bi의  $d$ -spacing이 급격히 증가하여 K-Bi < Na-Bi 순서로 역전되는 경향을 보였다. 이런 역전 현상에 대하여 자세한 관찰을 위해 동경분포함수(radial distribution function, RDF) 분석을 통해 일정 물 함량( $H_2O/M^+=1, 2, 2.6, 3, 4$ )에서의  $M^+$ -물분자( $O_{water}$ )와  $M^+$ -가교산소( $O_{layer}$ )의 평균 거리( $r_{max}$ )와 배위수(C.N.)를 분석한 결과, M-Bi가 급격한  $d$ -spacing의 증가를 보이는 물 함량에 도달하였을 때 층간 양이온의 배위 환경이 변하는 것을 알 수 있었다. 이런 층간 양이온의 배위 환경 변화가  $d$ -spacing의 역전 현상에 어떤 영향을 미치는지 토의하고, 향후 연구에서는 물의 함량에 따른 층간 내 양이온과 물 분자의 구조적인 배열 변화를 분석할 예정이다.

## 미얀마 북서부 마잉네 크롬광화대 추정자원량

허철호<sup>1,2</sup>, 오일환<sup>1,2</sup>, 양석준<sup>1</sup>, 이재호<sup>1</sup>, 박성원<sup>1</sup>, 조성준<sup>1</sup>  
 ChulHo Heo<sup>1,2</sup>, IlHwan Oh<sup>1,2</sup>, SeokJun Yang<sup>1</sup>, JaeHo Lee<sup>1</sup>,  
 SungWon Park<sup>1</sup>, SeongJun Cho<sup>1</sup>

한국지질자원연구원<sup>1</sup>, 과학기술연합대학원대학교 광물·지하수자원학과<sup>2</sup>  
 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources<sup>1</sup>,  
 Department of Mineral and Groundwater Resources,  
 University of Science and Technology<sup>2</sup>

2017년부터 2018년까지 수행된 지질조사, 토양지구화학탐사, 자력탐사 및 트렌치탐사 결과를 바탕으로, 한국지질자원연구원(KIGAM)과 미얀마 지질조사광물자원탐사국(DGSE)은 미얀마 북서부 마잉네 지역의 크롬 추정(indicated)자원량을 평가했다. 이 지역에서 시추는 수행되지 않았으나, 상기 언급한 탐사자료를 사용하여 추정자원량을 산출했다. 자원량 계산은 일련의 크롬철석암 노두를 가로지르는 총 5개 종단면을 대상으로 계산하였다. 각 종단면의 자원량은 상기 탐사결과를 참고하고 주로 트렌치 결과, 크롬철석 노두 산상 및 과거 채굴적 관찰결과에 근거하여 평가하였다. 각 광맥의 예상 연장은 영향법에 의해 결정되었다. 트렌치에서 관찰된 크롬철석암맥을 대상으로 맥폭이 결정되었고, 각 광맥의 평균 심도는 지질조사결과를 고려하여 15m로 가정하였다. AA-AA'종단면에서는 트렌치(MTR-03)에서 보이는 맥을 대상으로, 인근 채굴적에 부존하는 맥폭 및 지형을 고려하여 예상연장을 75m로 가정했다. BB-BB'종단면에서는 트렌치 MTR-02 및 MTR-03에서 두 개의 광맥을 관찰하였으며, 이들 맥들을 한 개의 복합맥으로 가정했다. 그리고, 인근 채굴적 및 산점상 크롬철석암 산출을 고려하여 예상연장을 250m로 책정했다. CC-CC'종단면에서는 트렌치 TR-05에서 보이는 한 개 맥을 대상으로, 인접 노두의 산출상태를 고려하여 예상연장은 175m로 가정했다. DD-DD'종단면에서는, 트렌치 TR-02, MTR-01 및 TR-04에서 3개 광맥을 관찰했고 이를 한 개의 복합맥으로 고려했다. 종단면에 의해 절단된 크롬철석암맥의 정황에 근거해서, 예상연장을 250m로 책정했다. EE-EE'종단면에서는, 트렌치 MTR-01에서 한 개 광맥을 대상으로, 광맥의 산상을 고려하여 예상연장은 25m로 책정했다. 상기 언급한 모든 맥들의 총 매장량은 20,404 톤이며 20%의 안전요인을 차감하여 자원량을 산정하면 약 16,323톤이다. 그리고, 크롬과 니켈의 비중 및 평균 품위는 미얀마 지질조사광물탐사국의 화학분석결과에 근거했다. 결과적으로, 마잉네 지역의 크롬 추정자원량은 약 16,323톤이며, 크롬 및 니켈의 평균 품위는 각각 37.96% 및 0.07%이다.

감사의 글 : 이 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 주요사업인 “3D 지질모델링 플랫폼 기반 광물자원 예측 및 채광효율 향상기술 개발(19-3211-1)”과제에서 지원을 받아 수행되었음

## Tidal Acceleration of the Planets and Satellites

허수연<sup>1</sup>, 유용재<sup>1,2</sup>  
 Suyeon Heo<sup>1</sup>, Yongjae Yu<sup>1,2</sup>

충남대학교 지질환경과학과<sup>1</sup>, 충남대학교 우주지질학과<sup>2</sup>  
 Department of Geological Sciences, Chungnam National University<sup>1</sup>, Department of  
 Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University<sup>2</sup>

Magnitude of the tidal force and tidal acceleration was determined at the surface of the planetary bodies in the Solar System. The tidal force and tidal acceleration at the Earth's surface caused by the Moon was  $6.6 \times 10^{18}$  N and  $1.1 \times 10^{-6}$  m s<sup>-2</sup>. On the other hand, the tidal force and tidal acceleration at the Earth's surface caused by the Sun was  $3.0 \times 10^{18}$  N and  $5.1 \times 10^{-7}$  m s<sup>-2</sup>. Thus, the Solar tidal acceleration is about half to the Lunar tidal acceleration on Earth. Results were extended to include terrestrial planets, Jovian planets, and major satellites of Jupiter, Saturn, and Neptune. Io revealed the largest tidal force ( $2.1 \times 10^{22}$  N) and the largest tidal acceleration ( $1.1 \times 10^{-5}$  m s<sup>-2</sup>). Both Europa and Ganymede showed the tidal acceleration much larger than that caused by the Sun. Therefore, tidal acceleration of Jupiter is mainly controlled by the three nearest Galilean Moons.

## On the Use of Radial Velocity in the Mass-Balanced Planetary System

하래경<sup>1</sup>, 유용재<sup>1,2</sup>  
Raegyung Ha<sup>1</sup>, Yongjae Yu<sup>1,2</sup>

충남대학교 우주지질학과<sup>1</sup>, 충남대학교 지질환경과학과<sup>2</sup>

Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University<sup>1</sup>, Department of Geological Sciences, Chungnam National University<sup>2</sup>

The center of mass (CM) is a unique point where the mean of the masses factored by their distances from the known reference position. The CM is analogous to the mass-balance with respect to a pivot point of the seesaw. Using the CM relation, magnitude of wobble of the Sun exerted by the Jupiter was estimated as  $7.5 \times 10^8$  m. Such wobble generates a Solar motion of  $2 \text{ m s}^{-1}$ . Similarly, the wobble of the Earth produced by the Moon was determined as  $4.7 \times 10^6$  m, induces radial velocity of Earth with  $6.0 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ . The wobble of the Neptune produced by the Triton was  $7.4 \times 10^4$  m, responsible for the small radial velocity of Neptune ( $7.5 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ ). The maximum angular diameter of the wobble would be about 500 micro arc sec at 10 pc for the Jupiter-Sun system. Magnitude Solar wobble produced by terrestrial planets are less than 1% to that produced by Jupiter.

## Growth of Proto-planet and Condensation of its Core

정지인<sup>1</sup>, 유용재<sup>2,3</sup>  
 Ji-in Jung<sup>1</sup>, Yongjae Yu<sup>2,3</sup>

위스콘신주립대학교 지구과학과<sup>1</sup>, 충남대학교 우주지질학과<sup>2</sup>, 충남대학교 지질환경과학과<sup>3</sup>  
 Department of Geosciences, University of Wisconsin-Milwaukee, USA<sup>1</sup>,  
 Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National  
 University<sup>2</sup>, Department of Geological Sciences, Chungnam National University<sup>3</sup>

The most dramatic evolution of planetary interiors is the differentiation of metallic core and silicate mantle. The next important accretion event would be the condensation of solid core from the liquid metal alloy. It is possible that the change of viscosity can constrain the segregation of metal drops out of liquid bubbles. The viscosity of metal drop increased from  $10^{-5}$  Pa s to  $10^{-2}$  Pa s as the size of metal drop increased from  $10^{-5}$  m to  $10^{-4}$  m. Under these conditions, metal drops would flow freely within the liquid core. The viscosity of metal drop is about  $10^{-2}$  to  $10^{-1}$  Pa s for metal drops larger than  $10^{-4}$  m. It is apparent that the particle morphology alone can modify the viscosity more than an order for sub-millimeter-sized metal drops. In terms of morphological dependence of metal viscosity, the cuboid achieved the highest viscosity while the cylinder displayed the lowest viscosity. The viscosity of millimeter-sized metal drops was 0.210 Pa s for Earth with  $g = 9.807 \text{ m s}^{-2}$ , 0.079 Pa s for Mars with  $g = 3.711 \text{ m s}^{-2}$ , 0.035 Pa s for the Moon with  $g = 1.62 \text{ m s}^{-2}$ , and 0.006 Pa s for Ceres with  $g = 0.27 \text{ m s}^{-2}$ , respectively. Such mass-dependent viscosity is natural because the viscosity is proportional to gravity as well as the metal drop size. In other words, accretion of solid core requires larger size of metal drops for smaller proto-planets.

## The Loss and Retention of Atmospheres in the Solar System

김하늘<sup>1</sup>, 유용재<sup>1,2</sup>  
Hanul Kim<sup>1</sup>, Yongjae Yu<sup>1,2</sup>

충남대학교 우주지질학과<sup>1</sup>, 충남대학교 지질환경과학과<sup>2</sup>

Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University<sup>1</sup>, Department of Geological Sciences, Chungnam National University<sup>2</sup>

Effective Solar temperature is about 5700 to 5800 K, much less than the temperature ( $= 1.552 \times 10^7$  K) needed for most hydrogen to escape from the Sun's gravity by thermal activation. It is therefore easy to anticipate that all the Hydrogens are gravitationally bound to the Sun. In fact, only a minute leakage of Hydrogen occurs from the Solar Corona in a form of Solar wind. For Jupiter, thermal activation velocity of Hydrogen (1.9 km/s) and Helium (0.9 km/s) are much smaller than the escape velocity (about 60 km/s). That is why Hydrogen and Helium are hardly lost from the Jupiter's surface. On the other hand, temperature of Earth's thermosphere (500 to 2000 K) is comparable to that of thermal activation temperature (about 5100 K) for Hydrogen. Then, it is natural to expect continuous leakage of Hydrogen and Helium from Earth's atmosphere. According to thermodynamic statistics, a significant proportion of atmospheric molecules can escape the planetary body when the ratio of escape velocity to thermal activation velocity is confined within 6. As a result, Jovian planets and Venus can retain nearly all the atmospheric constituents. On the other hand, only heavier atmospheric compounds left on Earth.

함께가는  
사람중심의  
연구원

조직문화 대개혁  
시대정신에 맞는 정체성 확립  
사람중심의 열린 경영

근본에  
충실한  
연구원

새로운고장을 통해 미래기초·재정립  
정부출연연구소 본연의 모습, 기능에 충실한 연구소

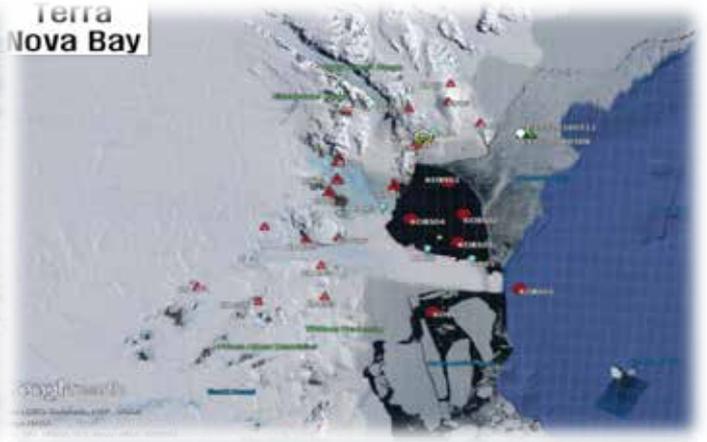


# KIGAM 2019

국가와  
국민에게  
대답하는  
연구원

월간기, 월간인 수억만 연구  
미래성장 동력 창출을 위한 공공적 미션

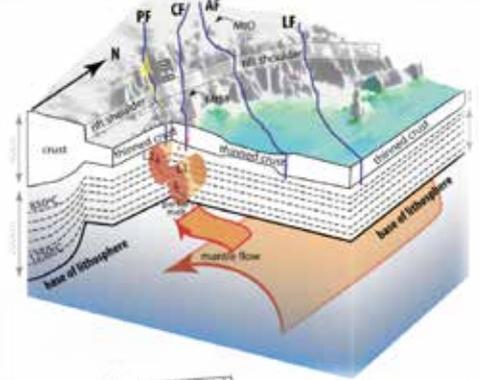
# 극지의 한국 미래의 도전



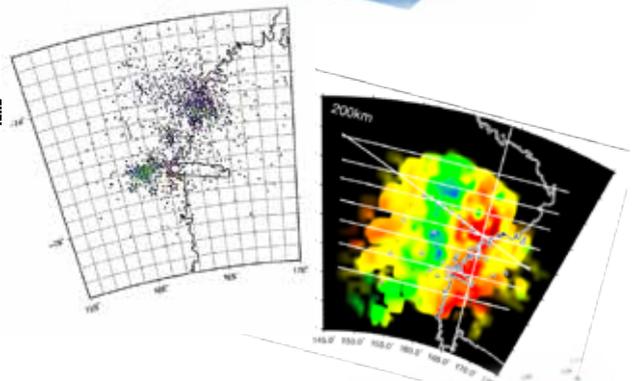
**극지연구소 지구물리팀은 남극 대륙과 결빙해역에서 지구환경변화를 연구하고 있습니다.**

## 서남극 열개구조 진화연구:

**Adare Trough, 남극 중앙해령 인근의 지구조 및 화산활동 성인규명**



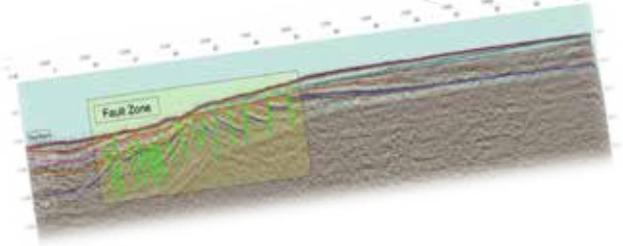
- 서남극 열개구조에서 활동성이 큰 Terror Rift 맨틀 구조 연구를 통한 지각 운동 특성과 형성 원인 규명
- 남극 중앙해령 KR3 구간 탐사와 연구를 통해 남극권 고유 맨틀 서쪽 경계 규명
- 서남극 열개구조와 남극 중앙해령 지역의 하부 맨틀 상호 연관성 이해



## 서남극 열개구조

남극대륙을 동남극과 서남극으로 구분하는 거대한 지질구조이며, 여러 개의 크고 작은 열개구조들이 모여 구성된 열개시스템

연수생(지구물리 관련 학부/대학원생) 및 연수연구원(Post-Doc.) 관련 문의 : 박용철 (ypark@kopri.re.kr), 정진훈(jhjung87@kopri.re.kr)



# NEXT GENERATION SOLAR CORONAGRAPH

## TOTAL ECLIPSE EXPERIMENT



- Filters and Sensor
- EM(Engineering Model)

## BITSE

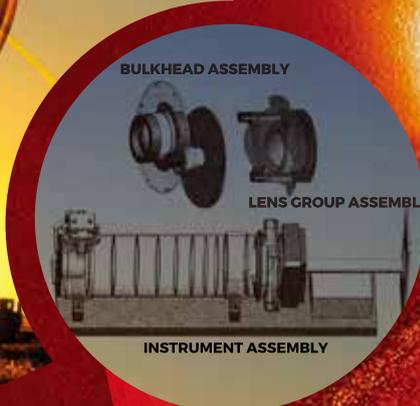


- Electronic and Mechanical Parts
- QM(Qualification Model) Level
- Pointing System

## CODEX



- Complete Product
- FM(Flight Model)
- Pointing System



## BITSE 2019

BALLOONBORNE INVESTIGATION OF TEMPERATURE AND SPEED OF ELECTRONS IN THE CORONA

### Technology Demonstration

- Validate the scientific performance of the occulter, electronics, and mechanical parts
- Pointing system: NASA Wallops Arc Second Pointer
- Altitude: Stratosphere (~40 km) for 6 ~ 9 hours
- Launch from New Mexico by NASA CSBF in 2019



**KGU** 한국지구과학연합회  
KOREA GEOSCIENCE UNION



초록집 다운로드