

특별세션 논문초록

디셉션 섬 현무암의 감람석과 사장석 내의 Pb 동위원소 연구
Pb isotope of olivine- and plagioclase-hosted melt inclusion in basalt from Deception Island
양윤석 ^{1,2*} · 서정훈 ¹ · 박송현 ² · 이신애 ³
Yun-Seok Yang ^{1,2*} · Jung Hun Seo ¹ · Sung-Hyun Park ² · Shinae Lee ³
¹ 인하대학교 에너지자원공학과, zinid@kopri.re.kr
² 한국해양과학기술원 부설 극지연구소 극지지구시스템연구부
³ 한국기초과학지원연구원 환경·소재 분석본부

논문초록

멜트포유물은 마그마 진화함에 따라 결정이 정출시에 결정 내에 마그마가 포획되어 만들어지는 것으로 이는 근원마그마 조성에 대한 연구가 용이하다 (e.g. Roedder, 1979, 1984). 동위원소는 주원소나 미량원소에 비해 마그마 진화시 변화가 적음으로 마그마 초기의 성질을 잘 나타낸다. 그렇지만, 멜트포유물에 대한 Pb 동위원소 연구는 분석 방법에 어려움 등으로 국내외적으로 많지는 않은 실정이다. 우리는 디셉션섬의 화산암에서 획득한 감람석과 사장석 내의 멜트포유물 Pb 동위원소 연구를 진행함에 따라 우리는 디셉션섬의 근원마그마 조성에 대한 연구를 진행하였다.

감람석과 사장석 내의 멜트포유물은 에폭시 마운트를 이용하여 각 결정 내의 멜트포유물이 가장 많이 노출되는 깊이에서 폴리싱 후에 골드 코팅을 하였다. 오창 한국기초과학지원연구원에 설치된 SHRIMP를 이용하여 결정 내의 멜트포유물의 Pb 동위원소를 분석하였다. Pb 동위원소인 ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb 를 측정하였다. Pb 동위원소 값이 알려져 있는 NIST614와 TIMS로 분석한 KRR2-RC08를 표준물질로 이용하여 분석하였다.

감람석 내의 멜트포유물은 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 는 각 20.27, 16.86, 41.58 로 나타났다. 기존의 알려진 암석 값보다 매우 높은 값으로 이는 ^{204}Pb 분석의 ^{204}Hg isobaric overlap correlation 문제 또는 시료의 ^{204}Pb 양, 그리고 시료의 특이한 특징으로 생각하고 있다. 이에 대한 추가적인 분석 및 확인이 필요하다. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 과 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 는 각각 0.82-0.84와 2.03-2.22로 전암분석 결과 및 브랜스필드 해협 시료와 비슷한 영역에 도시된다. 사장석 내의 멜트포유물은 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 과 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 는 각각 0.81-0.85와 1.83-2.09로 감람석 내의 멜트포유물 및 전암보다 EM2에 가까운 영역에 분산되어 나타난다. 정출시기가 늦은 사장석 내의 멜트포유물에 arc-like 또는 continent 성분이 동화되었을 가능성이 크다.

가. 발표분야	: ⑬
나. 세션변경시	: ③ 포스터발표(구두발표 불가)
다. 발표자 연락처	: 010-3930-3479
• 주소	: 인천광역시 연수구 송도미래로 26 R1-408 (우. 21990)
• 휴대전화	: 010-3930-3479
	• 연구실 : 032-760-5457
• 메일주소	: zinid@kopri.re.kr

원자력 발전 전주기 지질학적 부지 안전성 평가 ㉔

- 22-1 9.12지진(M_L 5.8)의 지진원 규명을 위한 경주일원 고밀도 임시 지진관측망 운영 302
김민욱*, 민기훈, 우현동, 조호현

해양지각 및 맨틀의 지구화학, 지구물리, 지구시스템 연구 ㉔

- 27-1 디셉션 섬 현무암의 감람석과 사장석 내의 멜트포유물 Pb 동위원소 연구 303
양윤석*, 서정훈, 박송현, 이신애
- 27-2 남극중앙해령 KR1 주변 해저화산에 대한 지자기 연령 추산 304
최학겸*, 김승섭, 박송현
- 27-3 피지 삼중합점의 맨틀 유동 구조와 헬륨의 수평 변위 305
오지혜*, 김종욱, Finlay M. Stuart, 박문재, 이인성
- 27-4 중앙 인도양 해령 하부지각에서 산출하는 마그마 기원 황화물의 산상과 생성기작 306
최성준*, 박정우, 박창근

2020 추계지질과학 연합학술대회

대한지질학회 제75차 정기총회

온라인 학술대회

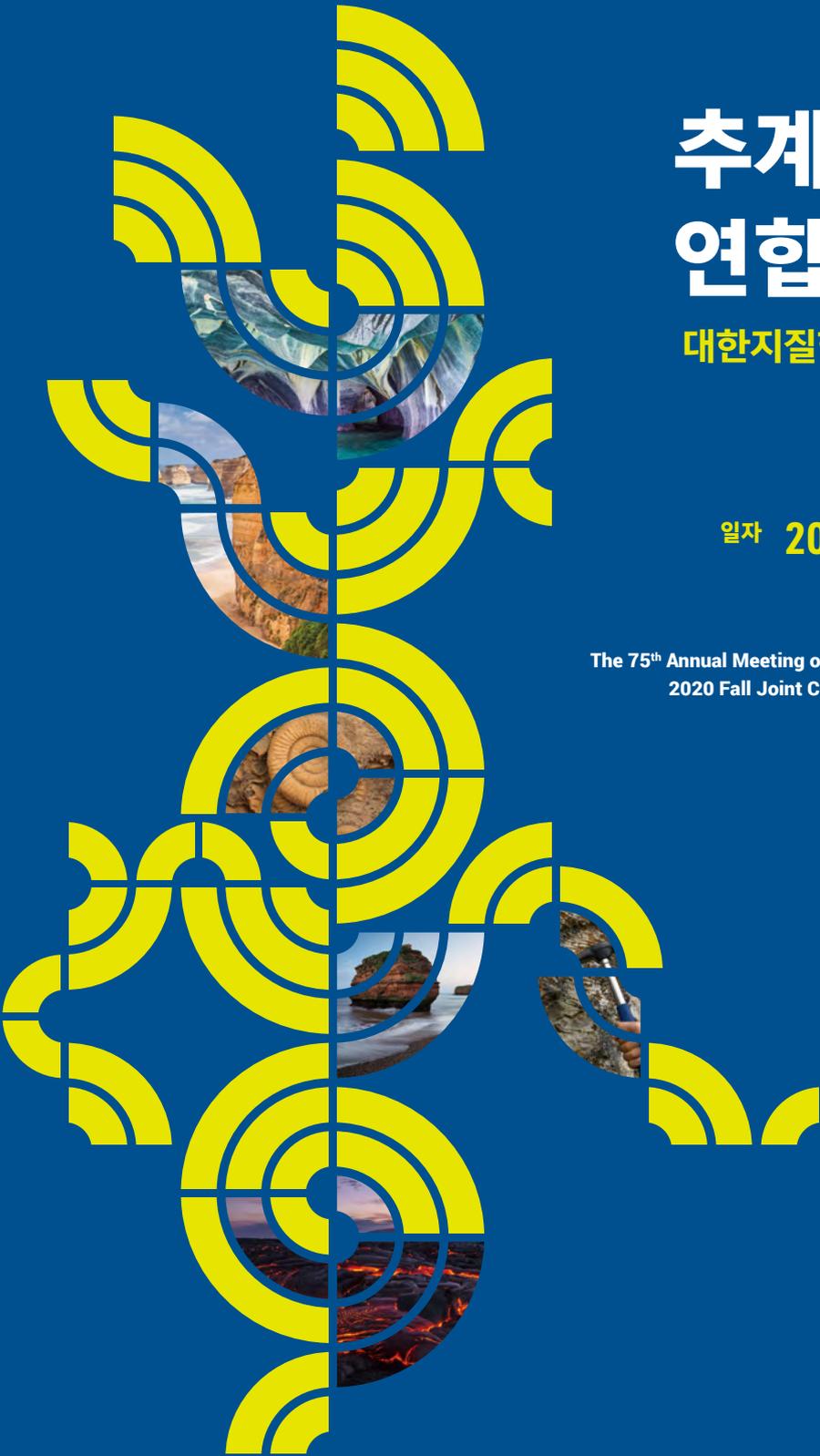
일자 2020. 10. 27. 화 - 29. 목

The 75th Annual Meeting of the Geological Society of Korea and
2020 Fall Joint Conference of the Geological Sciences

주최
대한지질학회

주관
대한지질학회
대한자원환경지질학회
한국고생물학회
한국광물학회
한국암석학회

공식후원사
한국과학기술단체총연합회
한국지질자원연구원
한국기초과학지원연구원
극지연구소
한국수력원자력(주)
한국석유공사
한국환경공단
네이버



그린뉴딜, 친환경 미래를 그리다

기후변화 대응과 녹색혁신을 위해 한국환경공단이 앞장서겠습니다.



한국환경공단은 기후·대기, 물·토양, 자원순환, 환경안전까지 국민을 위한 최상의 환경 서비스를 제공하기 위해 노력하겠습니다.

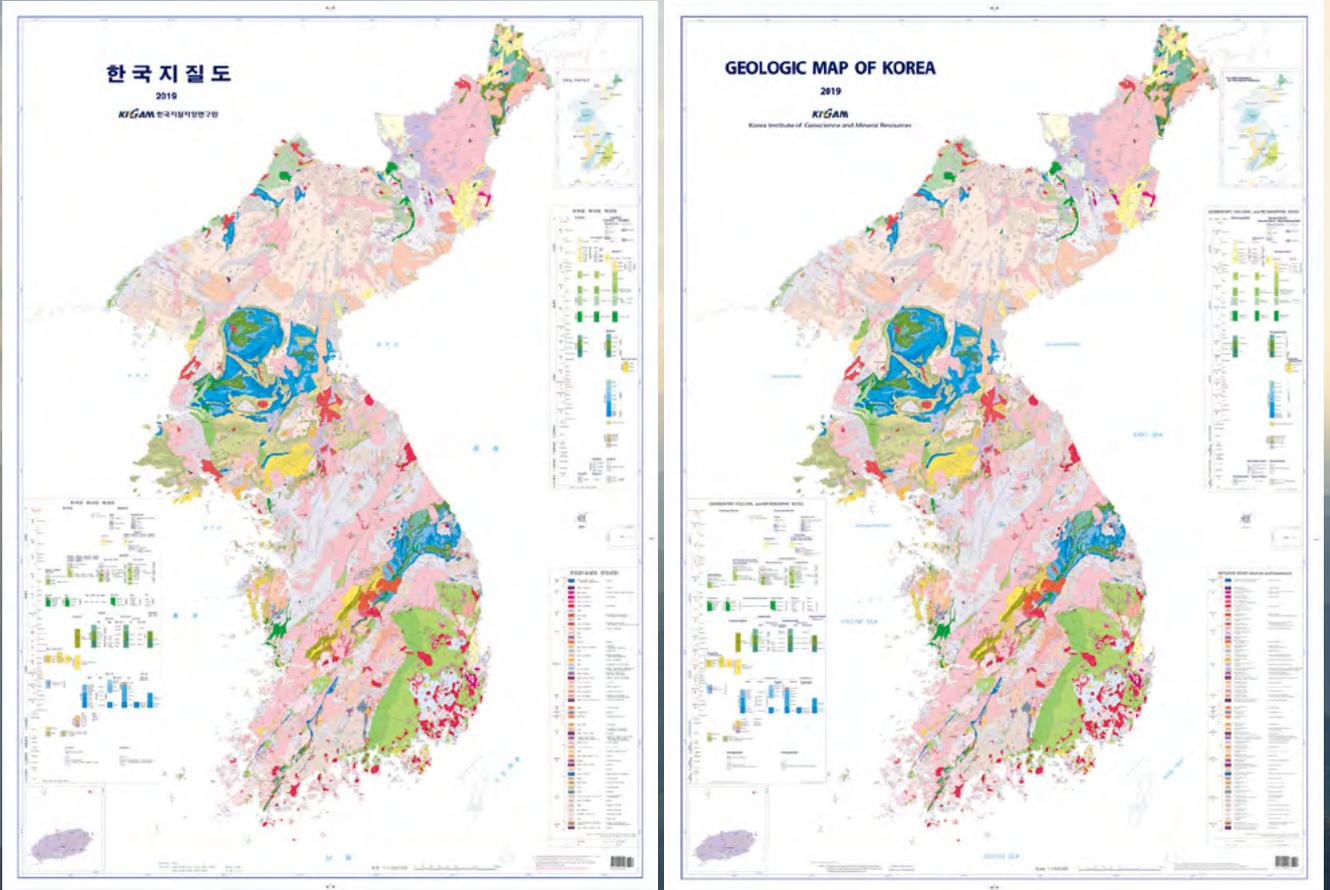
www.keco.or.kr



한국환경공단
Korea Environment Corporation

한국지질도

2019 한글-영문 개정판



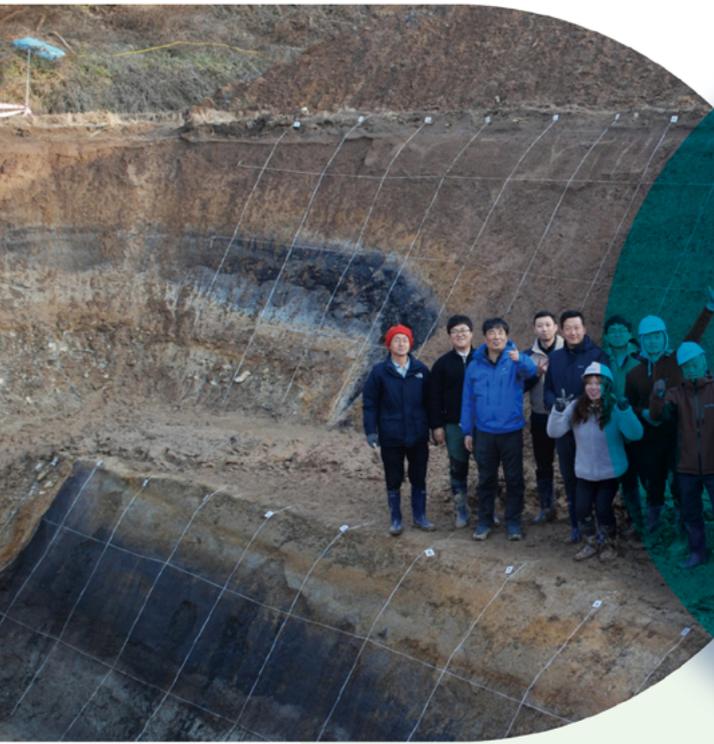
24년만에 새롭게 선보이는 한국지질도
KIGAM의 역사와 함께 해온 지질연구센터



그럼에도 가야 할 길

길을 갈 때,
역경보다 힘겨운 것은
'멈춤'입니다.
대한민국의 미래에너지를 위한 길!
우리는 오늘도,
달려가고 있습니다.

“석유로 세상을 풍요롭게, 한국석유공사”



활성단층 지도제작! 지진재해 대비의 첫걸음입니다!

유기적이고 체계적인
활성단층 조사

활성단층 DB구축 및
지도제작



사업명: 한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술 개발

- 주관연구기관: 부경대학교
- 공동연구기관: 부산대학교, 한국지질자원연구원, 한국기초과학지원연구원
- 연구참여기관: 강원대학교, 경북대학교, 경상대학교, 고려대학교, 대전대학교, 안동대학교, 육군사관학교, 한국교원대학교



한수원이 가장 잘 하는 일, 바로 에너지 채용입니다

원자력, 태양광부터 풍력, 수력, 연료전지까지-
깨끗하고 효율적인 에너지가 될 수 있다면
그 어떤 무엇보다도 함께 해왔습니다.
앞으로 또 어떤 에너지가 가능해질까요?
한국수력원자력이 만들어가는
새로운 에너지를 기대하세요.
종합 에너지기업 한국수력원자력



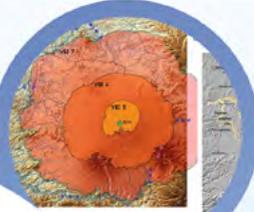
[화산특화연구센터]



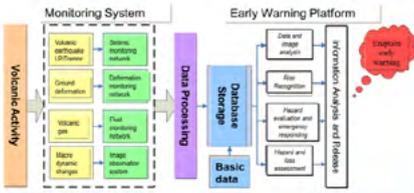
Volcano Specialized Research Center

Long-Term Collaborative Research for Mt. Baekdu volcano between the Republic of Korea and China

「한·중 백두산 공동 관측 장기 연구」

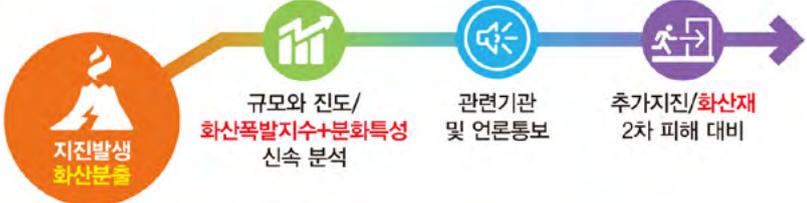


Virtual Simulation Results of Volcanic Hazard Area at Mt. Baekdu volcano (Korea Meteorological Administration and Chinese Meteorological Administration)

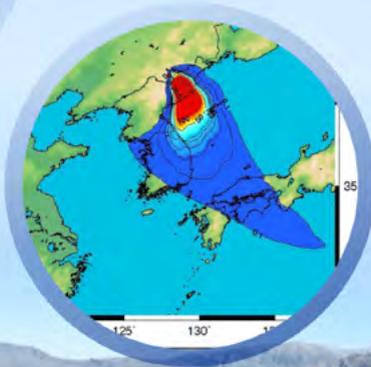
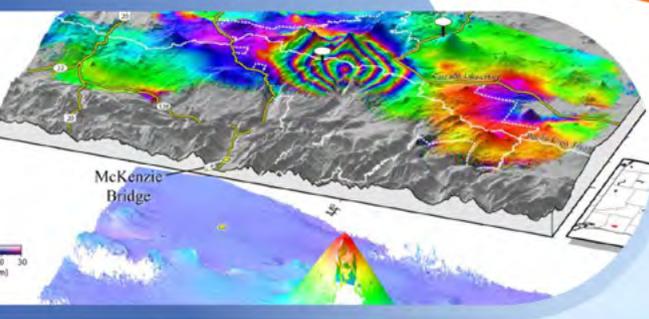


지진·지진해일·화산의 정보를 총괄하는 국가기관 기상청

"국민의 생명과 재산 보호를 위해
지진 화산관측·분석·통보 업무를 수행합니다."



국민의 생명과 재산보호



화산특화연구센터
Volcano Specialized Research Center
부산대학교 공동연구기동 609호
Tel. 051-510-7480

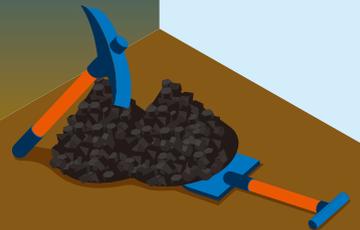
기상청
Korea Meteorological Administration

KMI 한국기상산업기술원
Korea Meteorological Institute

부산대학교
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY

*이 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술 개발사업(KMI2018-02710)의 지원으로 수행되었습니다.
This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-02710.

미래를 위한 에너지
포스코인터내셔널이 함께합니다.



Europlanet 2024
한국-EU 행성과학 연구시설
공동활용 지원사업

RESEARCH INFRASTRUCTURE



한국기초과학지원연구원(KBSI)는
과학기술정보통신부 국제화기반조성사업의 도움을 받아
Europlanet 2024 연구인프라 컨소시움에 참여하고자 하는
국내 행성과학자들을 지원하고 있습니다.



Europlanet 2024
Research
Infrastructure

행성과학 분야의 24개국 53개 연구기관이
컨소시움을 구성하여 30여개의 유럽 연구시설을
전세계 과학자들과 공동활용하는 프로젝트입니다.



- ✔ 5곳의 현장연구시설 (TA1, Planetary Field Analogues)
아이슬란드 얼음지형 연구, 아르헨티나 푸나 고원지대 소금호수, 에티오피아 아파르 지역 열수시스템 등
- ✔ 24 개의 분석연구실험실 (TA2, Distributed Planetary Laboratory Facility)
VU 고온고압 실험실, ETH 동위원소 분석실험실, OU Mars chamber 등
- ✔ 가상실험실 (VESPA, SPIDER, GMAP, Machine Learning)
- ✔ 관측시설 네트워크 (Telescope Network)



관련 시설의 사용비용과 출장여비가
모두 이 컨소시움 프로젝트에서 지원됩니다.

2020년 11월에 사용신청서 모집이 시작되어
2021년 상반기에 선정이 완료됩니다.
관련 내용은 <http://wolf.zeus.go.kr/> 에 11월초 게시될 예정입니다.

사업안내 wolf.zeus.go.kr

홈페이지 www.europlanet-society.org/europlanet-2024-ri/

유튜브 https://youtu.be/_BFISi91gyg (한글자막 지원)

문의처  KBSI 환경분석연구부 이기욱  kyi@kbsi.re.kr  043-240-5175

지진 관측망 전문기업 새빛기술주식회사

정부 및 관련기관의 지진 및 공중음파 관측소 구축 및 유지관리
지진 관측을 위한 모니터링 솔루션(수집, 분석프로그램) 및 장비제공

캐나다 Nanometrics사의 국내파트너

혁신적인 지진관측(계측) 및 수집·분석 기술을 보유한 Nanometrics사의 파트너로서, 지진 관측에 대한 개방적이고 꾸밈이 없는 과학적 접근방식을 제공하기 위해 최선을 다하며, Nanometrics사가 생산하는 지진기록계와 센서 및 관련 프로그램을 기관 및 대학교에 제공하며, 대규모 미소지진 Array관측소를 구축하였습니다.

행정안전부 고시를 만족하는 성능 인정

새빛기술(주)의 지진기록계 Centaur 및 가속도센서 Titan은 행정안전부 고시를 만족하는 성능을 인정받아 지진 및 구조물 연구를 위한 정밀관측 장비로 활용되고 있습니다.

우수한 품질향상을 위해 최선을 다하다

우리는 지진데이터의 품질 향상을 위해 관측소 정비 및 모니터링을 통하여, 국가재난의 책임감을 갖고 최선을 다합니다.



사업영역

지진관측시스템, 공중음파 관측시스템, 지구자기 관측시스템,
지진관측소 설계 및 시공, 이동식 수집 음원장치 설치,
지진 및 공중음파 관측소 유지관리

주요고객

기상청, 한국지질자원연구원, 한국원자력안전기술원,
한국표준과학연구원, 한국농어촌공사, 극지연구소,
국내 지자체, 대학교 산학협력단

강원연계형융합 이미징특화센터



투과전자현미경시스템: 투과전자현미경(TEM)

주사전자현미경시스템: 주사전자현미경(SEM)

나노바이오/환경분석 시스템: 엑스선회절분석기(XRD), 동위원소질량분석기(IRMS)

형광현미경 시스템: 위상차형광현미경, 실체현미경

고성능 이미징분석 시스템: 이미징프로세싱, PPI 예측시스템

동일 시료에 대한 다중스케일 분석영역의 One-stop 분석 가능!!



[실체현미경]

[편광현미경]

[형광현미경]

[주사전자현미경(SEM)]

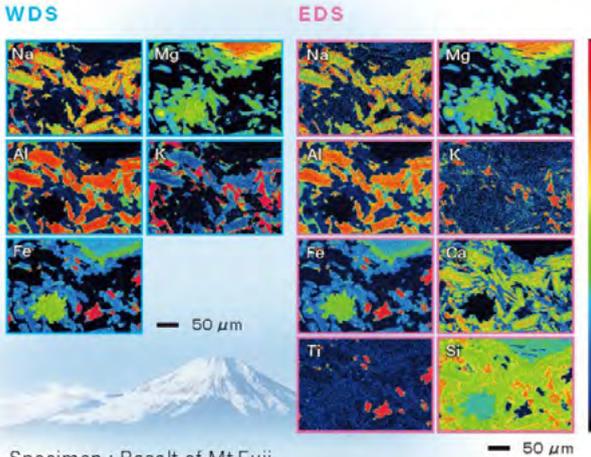
상단 예시 : 동굴생성물 Annual Band에 대한 다중 스케일 분석

JXA-iHP200F / JXA-iSP100

Novice and Expert Collection *and Processing of Microanalysis Data*

integrated Hyper Probe integrated Super Probe
JXA-iHP200F **JXA-iSP100**

● *WD / ED integration*



● *High Expandability*



● *Auto loading
& Stage Navigation*



지하수·토양환경전문기업 지오그린21

Groundwater & Soil Environment Technology

(주)지오그린21은
국제적연구실적과 기술력을 바탕으로
최고의 지하수·토양환경 서비스를
제공하고 있습니다.

지하수·토양 오염조사 / 정화
지하수 관측망
지하수 관련 환경영향조사
지하수 관련 엔지니어링 / 설계 / 시공
연구/ 정책개발 사업



직접

— 국내 최고의 지하수 전문업체인 지오그린21에서 사용중인 지하수조사장비를 지금 사용해 보세요. —



지하수위 측정장비

- Water Level meter
- Mini Water Level meter
- Interface Meter
- TLC Meter
- 센서두께 : 4mm~16mm
- 수위, 온도, 전기전도도, 유류두께 측정(모델별)
- 25m~300m까지 심도별 주문제작 가능



자동측정/기록장비

- LT Levellogger
- LTC Levellogger
- Rainlogger
- AquaVent
- App Interface
- LevelSender
- 내부식성이 강한 티타늄 PVD 코팅
- 수위, 온도, 전기전도도, 강우량 측정(모델별)
- Android, iOS 전용 앱을 이용한 블루투스 데이터 송수신
- 저렴한 가격 및 크기를 소형화한 원격 자동관측 시스템 구축 가능



지하수 시료채취 장비

- Diffusion Sampler
- Bladder Pump
- Double Valve Pump
- Discrete Interval Sampler
- 일회용 Bailer
- 교란없이 VOC류 시료채취 가능한 Sampler(당사특허제품)
- 일회용 Bailer(두께 19mm, 38mm)
- 심도별 공기 접촉없이 새로 채취 또는 채취속도 조절 가능한 각종 Pump
- 단열대에서 구간별 시험, 시료채취 가능한 Packer

나는 철광석입니다.

북한의 무산에서 태어나

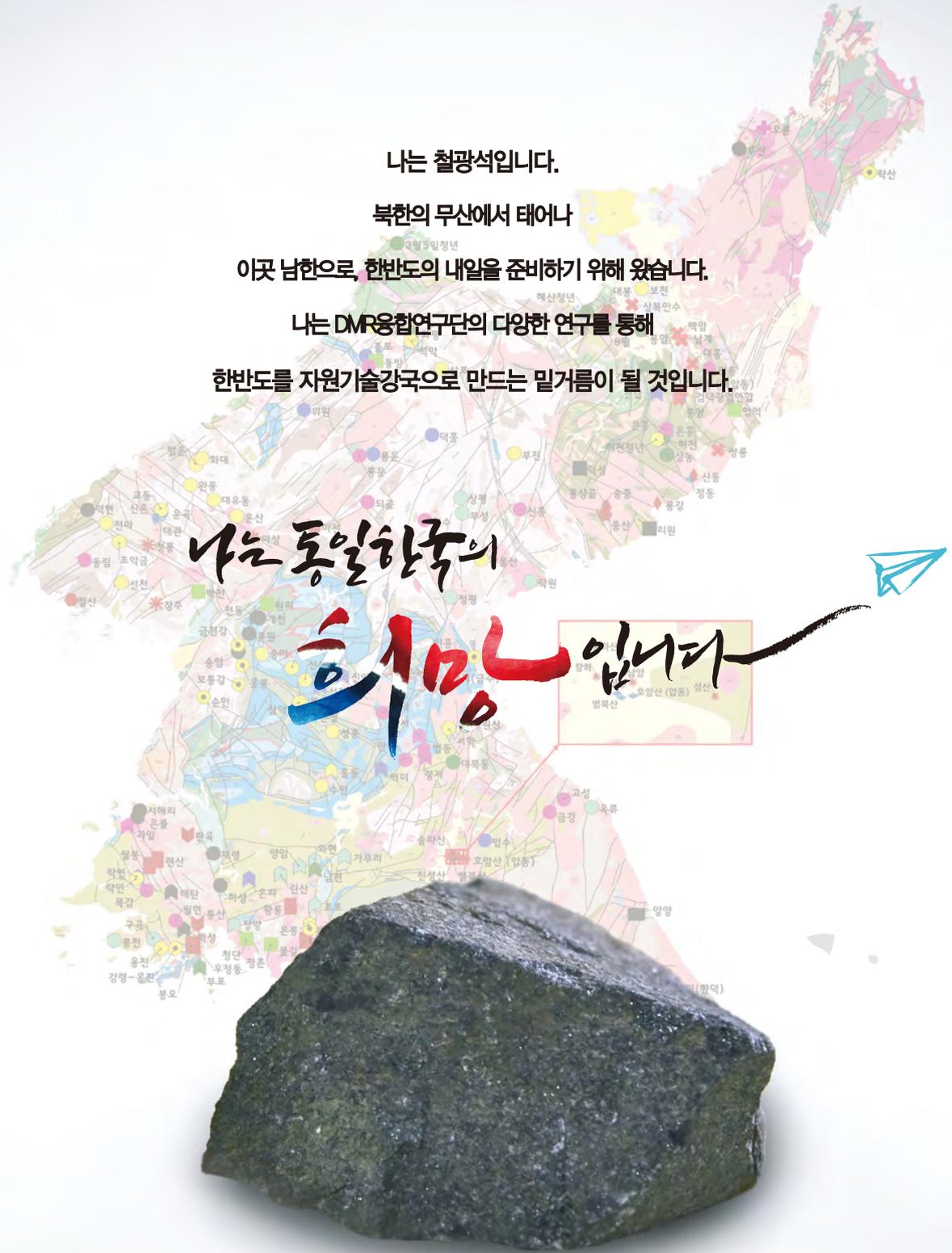
이곳 남한으로, 한반도의 내일을 준비하기 위해 왔습니다.

나는 DMR융합연구단의 다양한 연구를 통해

한반도를 자원기술강국으로 만드는 밑거름이 될 것입니다.

나는 통일한국의

희망입니다



2020 추계지질과학 연합학술대회

대한지질학회 제75차 정기총회

온라인 학술대회

일자 2020. 10. 27. 화 - 29. 목

The 75th Annual Meeting of the Geological Society of Korea and
2020 Fall Joint Conference of the Geological Sciences

주최
대한지질학회

주관
대한지질학회
대한자원환경지질학회
한국고생물학회
한국광물학회
한국암석학회

공식후원사
한국과학기술단체총연합회
한국지질자원연구원
한국기초과학지원연구원
극지연구소
한국수력원자력(주)
한국석유공사
한국환경공단
네이버



Program

10. 27. 화요일

09:00~ 온라인 학술대회 사이트 오픈

특별강연

14:00~16:00 The Pleasure of writing things out **Live** 이성근 / 서울대학교

16:00~17:00 과학자의 글쓰기 **Live** 최병관 / 한국지질자원연구원

17:00~18:00 과학을 쿠키처럼이란? **Live** 이효종 / 과학쿠기

10. 28. 수요일

특별세션 종합토의 **zoom**

10:00~11:00 환경 생지구화학 - 미생물, 광물, 동위원소 등 살아있는 지구에서의 물질순환

11:00~12:00 기후변화와 극지환경변화

13:00~14:00 인공신경망과 지질과학

14:00~15:00 고원생대에서 백악기 까지의 한반도 지구조 진화와 한중일 지구조 대비

15:00~16:00 백두산 화산

16:00~17:00 해양지각 및 맨틀의 지구화학, 지구물리, 지구시스템 연구

10. 29. 목요일

특별세션 종합토의 **zoom**

10:00~11:00 영남지역 대단층계에 대한 육상 및 해양에서의 지진지질학 연구결과 토의

11:00~12:00 원자력 발전 전주기 지질학적 부지 안전성 평가

13:00~14:00 지하수 특성화 인자 DB 구축 및 가시화 현황과 전망

14:00~15:00 지구과학분야 여성과학기술인 연구교류

15:00~17:00 **대한지질학회 제75차 정기총회** **Live**

17:00~18:00 **경품추첨 및 폐회식** **Live**

10. 27. 화 - 29. 목 / 구두발표

고기후·고해양학 및 제4기지질학

좌장: 남옥현

1-1	천연기념물 제260호 백룡동굴의 가을철 대기 중 이산화탄소 농도 관측 결과 김상윤*, 조경남	3
1-2	Cosmogenic isochron burial ages of Lower Colorado River alluviums: Insights into stratigraphy and river evolution Yeong Bae Seong*, Ryan Crow, Greg Balco, Dong-Eun Kim, Byong-Yong Yu	4
1-3	북서태평양 쿠로시오 확장역의 post-LGM (Last Glacial Maximum) pCO₂ 기록 복원 및 기후 변화 요인들과의 상관관계에 대한 고찰 방선화*, 허영숙, 강정욱	5
1-4	동굴생성물의 통계적 연대모델 작성기법 연구 백소영*, 조경남	6

광물학

좌장: 권기덕

2-1	소듐-버네사이트 양이온 교환반응 기작 연구 박수정*, 권기덕	7
2-2	토도로카이트의 세슘 흡착: 세슘은 도대체 어디에 흡착되는가? 김한솔*, 권기덕	8
2-3	Mineralogy and geochemistry of Asian dust Gi Young Jeong	9
2-4	아라고나이트의 Mg 안정동위원소 분별기작 손상보*, 권기덕	10
2-5	토도로카이트 터널 양이온 및 물분자 구조 규명 김주혁*, 권기덕	11
2-6	칼코파나이트 광물군 탈수 반응에 대한 원자수준의 이해 한수연*, 권기덕	12

2-7	Pb, Zn이 포함된 비정질 규산염의 원자구조 변화와 원소 분배 특성 이서영*, 이성근	13
2-8	고해상도 수소 핵자기공명분광법을 이용한 준결정의 수소 환경 연구 권진중*, 김효임, 이상화, 김재용, 이성근	14
2-9	지구 내부 맨틀 마그마 용융체의 중간-길이단위의 구조규명 이성근	15

광상학 및 자원지질학

좌장: 신동복

3-1	Gold mineralization of Phayaung Taung, Patheingyi Township, Mandalay Division, Myanmar Naing Aung Khant*, Chungwan Lim	16
3-2	The geochemical reserach of Precambrian metamorphic rocks in the Yeongnam massif area, South Korea Cheolhong Kim*, Chungwan Lim	17

구조지질학 및 지체구조학

좌장: 천영범

4-1	취성-연성 변형 전이대에서 화강암의 변형과정 김재훈*, 이진한	18
4-2	단층비지의 색을 결정하는 요인들: 인제군 하남리에 발달한 금왕단층의 예 박초원*, 김재훈, 이진한	19
4-3	노르웨이 오하이미 지역 각섬석 감람암에서 나타나는 감람석과 각섬석의 연성변형에 대한 연구 정세진*, 정해명	20
4-4	군산 금성리층 천매암의 변형 미구조와 지진파 비등방성에 대한 함의 한석영*, 정해명	21
4-5	각섬암 변형 실험을 통해 발견한 고압 조건 각섬석의 새로운 격자선호방향 김준하*, 정해명	22

4-6	경주 천군동 지역에 발달하는 암맥의 수동적 관입과 단층재할 특성 이진현*, 김영석	23
4-7	중기 마이오세 영해분지와 양산단층대 영덕-울진 연장 일원의주요 지질구조 특징과 지구조적 의미 김민철*, 이선갑, 강희철, 하상민, 이성준, 한종원, 강혜진, 손 문	24

빙권과학

좌장: 안진호

5-1	Freeze-induced Mn(II) precipitation in solutions containing dissolved carbonates Younghoon Won*, Jisu Lee, Giehyeon Lee	25
5-2	다양한 동결조건 내 용존 Mn(II) 산화 및 망간산화물 형성 연구 이지수*, 원영훈, 이기현	26
5-3	Sea salt species in firn cores drilled at Styx Glacier, Northern Victoria Land, Antarctica, as a proxy for past variability in large-scale atmospheric circulation Seokhyun Ro*, Sang-Bum Hong, Yeongcheol Han, Soon Do Hur, Heejin Hwang, Chaewon Chang, Jangil Moon, Songyi Kim, Ah-Hyung Lee, Sanghee Lee, Youngkyu Ahn, Sungmin Hong	27

암석학

좌장: 길영우

6-1	백령도-평택-아산 지역 신생대 알칼리 현무암의 맨틀 부화물질 특성과 불균질성 김선규*, 최성희	28
6-2	경기육괴 서남부 가로림만 일대에 분포하는 후기 고원생대(~1.7 Ga) 화강편마암 및 아나텍틱 (anatectic) 화강암의 성인 김지인*, 최성희	29
6-3	산소동위원소를 이용한 남극 북빅토리아랜드 플레이아데스 화산암 연구 김낙규*, 이미정, 이종익, 김지혁	30
6-4	고압에서 단순전단변형된 남섬석과 녹립석의 변형미구조 및 격자선호방향에 대한 실험 연구 박 용*, 정세진, 정해명	31
6-5	초고압 활석 편암 내부 광물들의 격자선호방향에 섭입대에서 지진파 P파 비등방성에 미치는 영향 이정진*, 정해명, Reiner Klemd, Matthew Tarling, Dmitry Konopelko	32

6-6	청송 구과상 유문암에 대한 암석학적 연구: 구과의 형성원리 김우열*, 장윤득	33
6-7	경기육괴 북동부 구룡총군에 분포하는 각섬암의 산출상태 박병준*, 김형수	34
6-8	변형정도에 따른 녹니석의 격자선호방향 변화와 지진파 비등방성에의 영향 김도현*, 정해명, 이정진	35
6-9	섭입대의 알바이트가 물 순환과 유체의 염기성도에 미치는 영향 황길찬, 황희정, 방윤아, 최진혁, 박용, 전태열, 채복남, 정해명, 이용재*	36
6-10	제주도 현무암과 맨틀 포획암의 헬륨 동위원소와 감람석 반정 지화학 연구 김동환*, 이현우, 이원희, 김종욱, 오지혜, Finlay M. Stuart	37
6-11	P-T conditions of impure marble and calc-silicate layers in the northwestern margin of the Gyeonggi Massif, Korea Jeongmin Lee*, Hyeongsoo Kim	38
6-12	태백산 분지 전기 백악기 어평화강암체 내 동시기 쇼쇼나이트질 및 고폠타슘 칼크알칼리계열 화강암류의 성인 임성환*, 박정우, 김지혁, 최선규, 이미정	39

일반지질학(자원정책 등)

좌장: 김성용

7-1	지자체 지진방재 대책을 위한 지질·지반정보구축 정책방안 연구 임현자*, 손 문, 이상호, 오상훈, 김진만, 안재훈, 송철우	40
-----	--	----

지구물리학 및 물리탐사

좌장: 김승섭

8-1	Spatial variation and frequency dependence of Lg wave attenuation along the CCSE array, and the impact of site response on Lg Q structure in central California, US Jeena Yun*, YoungHee Kim, Robert Clayton	41
8-2	표면파 토모그래피를 사용한 사우디아라비아 인근지역의 S파 맨틀 속도 및 이방성 연구 김린희*, Michael Witek, 장성준, Martin Mai, Hani Zahran	42

8-3	난카이 해구 슬로우 슬립 지역에서의 b값 변화 연구 이준형*, 홍태경, 김일구	43
8-4	지진 자료의 주파수 특성 분석 및 실시간 지진자료 품질 관리 기술 개발 이혜지*, 신동훈	44
8-5	시추공 관입 시험과 배경잡음을 이용한 한반도 부지 특성 파악 김병우*, 홍태경	45
8-6	순천 연속 지진들의 지진학적 특성 연구 곽다현*, 신동훈	46
8-7	해남 연속 지진의 지진원 요소 및 군집 특성 분석 신동훈	47
8-8	파형 역산을 사용한 동해지역 S파 속도 이방성 구조 연구 이선무*, 장성준, Michael Witek, Suzan Van der Lee	48
8-9	포항지진 동력학 지진단층 파열 모델링 예비 연구 송석구*, Geoffrey Ely	49
8-10	배경잡음 토모그래피를 이용한 수도권 지역 전단파 속도구조 길동우*, 홍태경	50
8-11	경주 미소지진 관측망 지진관측시스템 구축 허다빈*, 강태섭, 김광희, 이준기, 김영희, 이진한	51
8-12	2020년 해남 연쇄지진의 진원과 단층면해의 시공간 분포 이승구*, 김미지, 강태섭	52
8-13	국지 지진관측망을 기반으로 한 수도권 미소지진 및 단층 구조 조사 박성준*, 홍태경, 김우한	53
8-14	수신 함수 역산을 이용한 수도권의 하부 지각 구조 연구 이정인*, 홍태경	54
8-15	지구동역학 모델링을 통한 암석권의 두께 변화와 한반도 주변 판 운동에 의한 응력 계산 그리고 지진학적 의미 이성호*, Arushi Saxena, 송정훈, 이준기, 최은서	55
8-16	2020년 해남 연속지진 진원의 시공간적 분포 특징: 유체 확산에 따른 진원 이동 제안 손민경*, 조창수, 최진혁, 전정수, 박윤경	56
8-17	2017 M_w 5.5 포항 지진의 여진에 대한 지진학적 특징 분석 우정웅*, 김민욱, 이준기, 강태섭	57

지구화학

좌장: 류종식

9-1	Behavior of Mg isotopes during glacial weathering in Ny-Ålesund, Svalbard Jong-Sik Ryu*, Hyeongseok Song, Ji-Hoon Kim, Hyoun Soo Lim, Ok-Sun Kim	58
9-2	High precision analyses of three oxygen isotopes using Cameca IMS 1300 Soogyong Goh*, Byeon-Gak Choi, Jeongmin Kim	59
9-3	얼음상에서의 흑운모 풍화에 관한 연구 이승수*, 허영숙	60
9-4	포항 지열발전소 부지 인근에서의 활성단층 분포 지시자로서의 헬륨 연구 김희준*, 이현우, 이재민, 이현아, 우남철, 이윤수, Takanori Kagoshima, Naoto Takahata, Yuji Sano	61
9-5	활성 단층 식별을 위한 토양 이산화탄소 플럭스 연구 홍정표*, 이현우, 김희준	62
9-6	동해 해저에서 발견된 백두산의 폭발적 분화에 의한 강하 테프라들 김혜리, 윤성효*, 이정현, 장철우	63

지질공학 및 응용지질학

좌장: 최정해

10-1	Groundwork to build up Korea Did You Feel It (DYFI) system in the Korean Peninsula Hwasung Cheon*, Junkee Rhie, Seongryong Kim	64
------	--	----

지질유산

좌장: 임현수

11-1	광석-제련철-슬래그의 암석기재학 및 지화학 특성에 기초한 제철유적 산지추정 조재국*, 김서진, 곽병문, 신동복, 염경훈, 유병용, 임현경	65
11-2	울릉도·독도 국가지질공원의 지질유산의 국제적 가치 이수재*, 박경필, 유완상, 최종문	66

11-3	우리나라 지질공원 방문객센터의 현황과 개선방안 강선아*, 우경식	67
11-4	설악산과 금강산의 세계자연유산 공동등재를 위한 제언 우경식	68

지질정보학(GIS 및 원격탐사)

좌장: 홍상훈

12-1	KIGAM 야외지질조사시스템 소개 연영광*, 김성원, 김유홍	69
------	---	----

층서 퇴적학 및 석유지질학

좌장: 최태진

13-1	The Ordovician succession of the Taebaek Group revisited: old conodont data, new perspectives and implications Se Hyun Cho*, Byung-Su Lee, Dong-Jin Lee, Suk-Joo Choh	70
13-2	수증기-마그마성 화산 내 기공질 응회암의 특징과 형성 과정 고선영*, 손영관	71
13-3	Stratigraphy of the Jurassic Kirkpatrick Basalt, Antarctica: a virtual field trip Jusun Woo*, Donghyeok Kang, Myeongho Seo, Mi Jung Lee, Jong Ik Lee	72

해양지질학

좌장: 박장준

14-1	북극해 척치 대지 남서 사면에 분포하는 가스 하이드레이트 언덕(아래온 언덕): 현재 활동성 및 지구조적 함의 김영균*, 김수관, 이동현, 이영미, 김형준, 강승구, 진영근, 소병달	73
------	--	----

15-1	A comparative study on supervised machine learning models for assessing groundwater contamination vulnerability index of Miryang aquifer, Korea Hussam Elzain*, Sang Yong Chung	74
15-2	Is it possible that the hydraulic test analysis is skewed due to excessive injection or extraction? Sung-Hoon Ji*, Byeong-Hak Park, Kyung-Woo Park	75

10. 27. 화 - 29. 목 / 구두발표

고원생대에서 백악기까지의 한반도 지구조 진화와 한중일 지구조 대비 ㉔

좌장: 오창환

16-1	Paleoproterozoic igneous and metamorphic activity in the Jiao-Liao-Ji Belt, North China Craton and its tectonic implication: a review Xiaohan Wang*, Chang Whan Oh	79
16-2	경기육괴와 영남육괴의 고원생대 화성 및 변성작용에 대비 및 이들의 지체구조적 의미 이병춘*, 오창환	80
16-3	Age and the tectonic setting of the Neoproterozoic igneous activities in the Gyeonggi Massif of Korean Peninsula and its implication for the tectonics of northeast Asia Bo Young Lee*, Chang Whan Oh	81
16-4	The origin and tectonic meaning of the Neoproterozoic sedimentary and igneous rocks in the Gogunsan Islands Wonjeong Kim*, Chang Whan Oh	82
16-5	The tectonic evolution from Neoproterozoic to Triassic in Jangbong Island in the northwestern Gyeonggi Massif on the Korean Peninsula Ji Wan Jeong*, Chang Whan Oh, Deung-Lyong Cho	83
16-6	한반도 중생대 광화작용 서지은*, 최선규, 이영재	84
16-7	The interpretation of mid-Cretaceous tectonic environment of the Korean Peninsula and Northeast Asia based on the age and geochemistry of the mid-Cretaceous volcanic rocks in the Jinan Basin Seung Hwan Lee*, Chang Whan Oh, Jung-Woo Park	85
16-8	한반도의 백악기 화성활동에 대한 재고찰 박정우*, 임성환	86
16-9	Zircon U-Pb ages and geochemical signatures of the Kurosegawa belt, Southwest Japan, as an Early Paleozoic continental fragment Kenta Kawaguchi	87
16-10	The tectonic relationship between the Korean Peninsula and China based on the geologic events from Paleoproterozoic to Triassic Chang Whan Oh	88

 **종합토의 / 10월 28일(수) 14:00~15:00**

17-1	Identification of sediment provenance in Amundsen Sea continental rise using elemental composition and cation exchange capacity of smectite Young Kyu Park*, Moonseon Koo, Claus-Dieter Hillenbrand, Kyu-Cheul Yoo, Jaeil Lee, Jinwook Kim	89
17-2	극지 고해양 복원을 통해 미래 기후 위기를 엿볼 수 있는 지난 간빙기 연구 유규철	90
17-3	Evolution of atmospheric nitrous oxide for the last 100 years: Insights from the stable isotope values of firn air at Styx Glacier, East Antarctica Sambit Ghosh*, Sakae Toyoda, Jinho Ahn, Youngjoon Jang, Naohiro Yoshida	91
17-4	A high-resolution record of atmospheric nitrous oxide concentration from the South Pole ice core during the mid- to late Holocene Syed Azharuddin*, Jinho Ahn, Yeongjun Ryu, Ed Brook	92
17-5	Preliminary results for stratigraphy of Larsen Glacier at blue ice area, East Antarctica, showing one of the glacial terminations Giyoon Lee*, Jinho Ahn, Hyeontae Joo, Florian Ritterbusch, Ikumi Oyabu, Songyi Kim, Kenji Kawamura, Zheng-Tian Lu, Sangyoung Han, Sambit Ghosh, Yeongcheol Han, Sangbum Hong, Changhee Han, Soon Do Hur, Wei Jiang, Guomin Yang	93
17-6	빙하코어를 이용한 과거 2만년 간의 고정밀도 고해상도 대기 온실기체 농도기록 분석 안진호	94



종합토의 / 10월 28일(수) 11:00~12:00

18-1	대마도 마이오세 관입암류의 지구화학 및 Sr-Nd-Pb-Hf-O 동위원소 성분과 성인적 의미 이은지*, 최성희, 김지인, 이정현, 김낙규	95
18-2	포항, 장사리, 영덕 지역의 페름기-초기 트라이아스기 관입암의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대 및 지구화학적 연구 최현욱*, 최성희, 김승섭	96
18-3	Provenance analysis and tectonic controls on the Doumsan fan-delta system in the Pohang Basin (Miocene; South Korea) Hyojong Lee*, Jeong-Hyun Lee, Taejin Choi, Min-Kyu Oh, Sung Hi Choi	97
18-4	울산시 울주군 일대 양산 단층대 노두 분석을 위한 지상라이다 적용 연구 이병우*, 김승섭	98

19-1	Geochemistry and petrogenesis of Quaternary volcanic rocks from Ulleung Island Sung Hi Choi	99
19-2	독도 화산체 정상부의 정밀해저지형 연구 김창환*, 박찬홍, 이명훈, 김원혁, 최순영	100
19-3	독도 화산체 정상부 표층 퇴적물 입도 분포와 퇴적작용 강가은*, 박장준, 배희철, 김창환, 박찬홍	101
19-4	Microbial activities and mineralogical characteristics investigating the paleo-depositional conditions during the late Quaternary: Ulleung Basin, East Sea Kee Hwan Lee*, Chang Hwan Kim, Chan Hong Park, Sang Hoon Lee, Jinwook Kim	102
19-5	동해 맨틀 미세광물의 원소 및 결정구조 분석 김표상*, 김현수, 이용문, 성동훈	103
19-6	독도와 울릉도 화산암의 헬륨 지화학 연구 이원희*, 이현우, 김동환, 김종욱, 오지혜, 김창환, 박찬홍, Finlay M. Stuart	104
19-7	동해 화산체의 형성 기원: 대륙지각 하부 암석권 맨틀에 의한 연약권의 EM1 조성 오지혜*, 김종욱, 김창환, 박찬홍	105
19-8	동해 확장의 메카니즘과 고지리 복원 이윤수*, 박찬홍, 김창환	106

20-1	백두산 후기 신생대 현무암질 암석의 지구화학적 연구: 성인과 근원맨틀에 대한 고찰 최현옥*, 최성희	107
20-2	SAR 영상의 텍스처 분석법을 이용한 백두산 천지의 얼음 면적 변화 탐지 박성재*, 이창욱	108
20-3	Historical records of volcanic rumbling caused by the explosive eruption of Mt. Baekdu: 939 AD and 946-947 AD super-eruptions Sung-Hyo Yun*, Jeonghyun Lee, Cheolwoo Chang	109
20-4	Estimating the Potential Risk of the Mt. Baekdu Volcano using a Synthetic Interferogram Arief Rizqiyanto Achmad*, Seulki Lee, Sungjae Park, Jinah Eom, Chang-Wook Lee	110
20-5	시나리오에 근거한 Laharz_py 수치모의 : 백두산에서 발생 가능한 라하르 범람지역의 예측 장철우*, 윤성호	111
20-6	백두산 화산에서 Titan2D 수치모형 분석에 의한 화쇄류의 영향 범위 예측 윤성호, 장철우*, 김선경	112



종합토의 / 10월 28일(수) 15:00~16:00

21-1	Tectonic geomorphology and Quaternary fault slip rates of the Tsambagarav Massif in Mongolian Altay Sangmin Ha*, Yeong Bae Seong, Moon Son	113
21-2	Blind-thrusted foreberg in the Bogd fault system, Gobi-Altay, south-central Mongolia: focusing on its geomorphic constraints Cho-Hee Lee*, Yeong Bae Seong, Lindsay Schoenbohm, Dong-Eun Kim, Byung Yong Yu	114
21-3	한반도 남동부 제4기 단층노두 퇴적층의 석영과 K 장석 루미네선스 신호특성 연구: 루미네선스 연대측정결과 신뢰도 김석진*, 최정현, 원효정, 임현수	115
21-4	울산단층 중부지역의 고지진학적 특성 연구 박기웅*, 이진현, 권오상, 신현조, 김영석	116
21-5	울산단층 남부지역에서의 제4기 단층활동 특성 연구 권오상*, 이진현, 박기웅, 신현조, 김영석	117
21-6	포항시 흥해읍 일원에서 발견된 제4기 단층의 고지진학적 의미 이성준*, 하상민, 임혜원, 강희철, 김민철, 최정현, 성영배, 손 문	118
21-7	다학제적 조사를 통한 중남부 양산단층의 기하와 고지진 연구 최진혁*, 이호일, 천영범, 신영홍, 배한경, 이창현, 이승렬	119
21-8	경주-언양 일원의 양산단층 제4기말 운동 특성: 인보지점과 월산지점을 중심으로 천영범*, 이태호, 최진혁, 이호일, 최이레, 김남권, 배한경	120
21-9	해저단층 특성 파악을 위한 심부시추 연구 이광수*, 유동근, 홍석희, 김소라, 김길영	121
21-10	Seismic stratigraphy and structural analysis in the western margin of the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea) Yongjoon Park, Nyeonkeon Kang*, Boyeon Yi, Donggeun Yoo	122



종합토의 / 10월 29일(목) 10:00~11:00

22-1	평균값과 중앙값 PSHA 노명현	123
22-2	경주지진의 지진원 특성을 반영한 설계지진동 평가 기술기준(안) 개발 방향 최호선*, 박선정, 심택모, 양준모, 우현동	124
22-3	해체원전 부지개념모델 구축 및 활용 황종선*, 한재문, 박창희	125
22-4	해체 원전부지 EPR 지하수 모니터링 지침 고찰 주병찬*, 홍슬	126
22-5	방폐물 심층처분 시 고려해야 할 지진에 의한 수리지질 특성 변화 현승규*, 심택모, 진소범, 최강룡, 우현동, 민기훈	127
22-6	연구지역 지형특성 변화와 지하수유동의 상관성 정재열*, 김수진, 조현진	128
22-7	처분공 굴착에 따른 수리지질학적 진화 예비 연구 박경우*, 박병학, 이창용, 고낙열, 지성훈	129
22-8	원자력발전소 부지 내 지하수 감시 현황 조성일	130
	종합토의 / 10월 29일(목) 11:00~12:00	

인공신경망과 지질과학 ㉔

좌장: 김규범

23-1	지질자원분야 기계학습 알고리즘 연구사례 이경복*, 김성일, 박선영, 손병국, 김광현	131
23-2	Extraction of valuable information from the structure of the geological big-data Jina Jeong*, Jiho Jeong, Eungyu Park, Byung Sun Lee, Sung-Ho Song, MoonSu Kim, Hyunkoo Kim	132
23-3	주성분 분석과 LSTM 모델을 활용한 지하수위 예측 기법 개발 김규범*, 황찬익, 최명락	133
23-4	Super learner technique to combine several learners in groundwater potential mapping Sanghoon Lee*, Dugin Kaown, Eun-Hee Koh, Hye-Lim Lee, Kyung-Seok Ko, Kang-Kun Lee	134
23-5	National-scale estimation of potential for mineral water using tree-based ensemble learning Hye-Lim Lee*, Dugin Kaown, Eun-Hee Koh, Sanghoon Lee, Kyung-Seok Ko, Daeha Lee, Kang-Kun Lee	135
23-6	오픈소스 딥러닝 프레임워크를 이용한 지하수위 변화 예측 박창희*, 정일문	136
23-7	Towards establishing a dynamic baseline of real-time hydro-environmental big data: 2. Systemic and integrated strategies with the IE&P framework Yun-Yeong Oh*, Seong-Taek Yun, Bobby Pejic, Matthew Myers	137



종합토의 / 10월 28일(수) 13:00~14:00

24-1	Cretaceous syn-rift to post-rift evolution of the Mentelle Basin on the southwest Australian rifted margin (IODP Sites U1513-U1516) Eun Young Lee*, Erik Wolfgring, Maria Luisa G. Tejada, Seung Soo Chun	138
24-2	그린란드 화석을 통한 초기 동물진화와 캄브리아기 대폭발 연구 이미리내*, 박태운	139
24-3	천부지열시스템 작동에 따른 지하수의 수리화학적 특성변화 최한나*, 심병완	140
24-4	광물의 기계화학적 변화가 단층의 거동에 미치는 영향 김현나*, 김진우, 김민식, 소병달, 김영석	141
24-5	Gas hydrates: Issues for long-term productions Joo Yong Lee	142
24-6	Hydraulic fracture propagation in soft and viscoelastic layered formations: Photoelastic observation Soo-Min Ham*, Tae-Hyuk Kwon	143



종합토의 / 10월 29일(목) 14:00~15:00

지하수 특성화 인자 DB 구축 및 가시화 현황과 전망 ㉔

좌장: 문상호

25-1	유역통합 지하수 기초조사 개선방향 박재현*, 이재경	144
25-2	금강권역의 지질과 지하수 산출성 문상호*, 김형찬, 김용철, 고동찬, 하규철, 박창희	145
25-3	지하수 산출성도 작성 및 검증을 위한 다기준의사결정법 적용 이충모*, 김용철, 고동찬	146
25-4	다기준의사결정기법과 GIS를 이용한 지하수 산출성 분석도구 개발 박창희*, 이상철	147
25-5	유역단위 지하수 수질상태 평가 및 지도 작성방안 연구 김락현*, 여영도, 장종근, 김광식	148
25-6	지하수 수질지수(GWQI)를 이용한 금강유역 적용성 평가 고경석*, 고동찬, 이재민	149
25-7	금강권역 암반지하수의 자연기원 및 오염 지시자 분포 특성 최한나*, 권홍일, 고동찬	150
25-8	지하수 수질 특성인자 DB 구축에서 주성분 분석을 이용한 자료 검토 효과 분석 권홍일*, 고동찬, 문상호, 이재경, 김용철	151



종합토의 / 10월 29일(목) 13:00~14:00

지하수내 미세플라스틱의 발현/운명 및 거동 ㉔

좌장: 이진용

26-1	지하수 내 미세플라스틱의 발현, 운명 및 거동 연구 이진용*, 정은주, 권기덕, 김희정, 안진성	152
26-2	농촌지역의 지하수 내 미세플라스틱 분포 연구 정은주*, 이진용, 김희정	153
26-3	지하수환경에서 미세플라스틱 거동 모의 김희정*, 유한선, 이진용, 권기덕, 안진성	154
26-4	카르스트지역 지표수 및 지하수 미세플라스틱 조사 연구 및 방법 유한선*, 김희정, 이진용	155
26-5	지하수내 미세플라스틱 거동: 환경광물학적 접근 명현아*, 권기덕	156
26-6	풍화로 인한 미세플라스틱의 물리화학적 특성 및 중금속 흡착 특성 변화 안진성*, 최형준, 이진용, 권기덕, 김희정	157
26-7	미세플라스틱 시험방법 국제표준화 동향 정재학	158

해양지각 및 맨틀의 지구화학, 지구물리, 지구시스템 연구 ㉔

좌장: 김종욱

27-1	Brothers 해저산의 마그마-열수 시스템 연구 이현주*, 서정훈	159
27-2	지구의 냉각에 따른 섭입대 글루코패인의 안정성 변화 방윤아*, 황희정, 김태현, 신현재, 박 용, 정해명, 박창용, Dmitry Popov, Vitali B. Prakapenka, Lin Wang, Hanns-Peter Liermann, Tetsuo Irifune, Ho-Kwang Mao, 이용재	160
27-3	Gold and Tin Mineralization of Sulfide Chimneys from the Ultramafic-Hosted Cheoem Vent Field, Central Indian Ridge Sun Ki Cho*, Sang Joon Pak, Jonguk Kim, Jung-Woo Park, Seung-Kyu Son	161
27-4	Sesismic anisotropy generated from lithospheric mantle beneath Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica Daeyeong Kim*, Munjae Park, Chao Qi, Sung-Hyun Park	162
27-5	고해상도 수심 자료와 음향 후방산란 자료를 이용한 인도양 중앙해령 내 Ocean Core Complex 구조의 지형적 특성 분석 황규하*, 김승섭, 고영탁, 김종욱, 박상준, 손승규	163
27-6	호주-남극 중앙해령 KR1 구간의 지형적 변화와 맨틀의 불균질성의 상관성 박승현*, Charles Langmuir, Peter Michael, Kenneth Sims, Janne Blichert-Toft, 김승섭, Sean Scott, Jian Lin, 최학겸, 양윤석	164
27-7	Magnetic and bathymetric constraints on tectonic evolution of the North Fiji Basin: Preliminary results Alyse BEBIN*, Seung-Sep Kim	165
27-8	해저구릉 정단층의 재활성화 가능성 송지현*, 김승섭, 고영탁, 박장준	166
27-9	섭입대에서 해양지자기 이상대의 소멸과정에 관한 연구: 일본 섭입대로부터 다른 섭입대까지 최한진*, 소병달	167
27-10	Investigation on the geochemical variations of mid-ocean ridge basalts along the Central Indian Ridge from 14°S to 21°S Vincent Clement*, Jung-Woo Park, Sang-Mook Lee, Jonguk Kim, Sang-Joon Pak	168



종합토의 / 10월 28일(수) 16:00~17:00

28-1	Biogeochemical transport of arsenic in wetland microcosm In-Hyun Nam*, Young-Soo Han, So-Jeong Kim, Jungho Ryu, Chul-Min Chon	169
28-2	Microbial effect in iron oxide/oxyhydroxide transformation process in natural environment Hanbeom Park*, Jonguk Kim, Jinwoo Lee, Seungkyu Son, Jinwook Kim	170
28-3	미생물학적 철 환원 및 철-염 환원에 의한 비소의 거동 연구 고명수 Withdrawal	171
28-4	Internal dynamics of inorganic and methylmercury in marine fish: Insights from mercury stable isotopes Sae Yun Kwon, Saebom Jung*	172
28-5	다중검출 유도결합 플라즈마 질량분석기(MC-ICP-MS)를 이용한 미량 황산염의 동위원소 분석 문중환*, 강정욱, 주영지, 심민섭	173
28-6	공공하수처리장시설 방류수의 질산염 동위원소 변동에 대한 특성: 오염원 추적, 질산화 및 탈질화에 대한 고찰 정혜정, 박범성, 유지수, 김윤석, 이정훈*	174
28-7	The effects of indigenous soil bacteria on arsenic extraction from contaminated soil using <i>Shewanella putrefaciens</i> Jong-Un Lee*, Thi Minh Tran, Hyeop-Jo Han	175
28-8	Batch experimental study of microbially induced Smectite-to-Illite reaction at high temperature/pressure: Analogy in Nankai Trough Tae-Hee Koo*, Hanbeom Park, Yuki Morono, Fumio Inagaki, Jin-Wook Kim	176
28-9	Importance of speciation and mineralogy of toxic metals on microbial community diversity and composition in subsurface environments Man Jae Kwon	177
28-10	토양 중 탄산무수화효소 보유 박테리아를 위한 프라이머 개발 조은혜*, 홍진경, 양동진	178
28-11	척치해 아라온 마운드 메탄 생성 기작 및 속성 작용 김지훈*, 이동현, 진영근, 류종식, 이영미, 허진, 박명호, 김영균, 강무희, 박상희, 강승구, 김수관	179

- 28-12 **생지구화학적 황 순환에서 황철석의 산화와 매장 사이의 균형** 180
심민섭*, 주영지
- 28-13 **Combining isotopic and pyrosequencing approaches to assess denitrification in a hyporheic zones** 181
Heejung Kim*, Han-Sun Ryu, Dugin Kaown
- 28-14 **Microbial Fe(III) reduction in clay minerals as a potential iron source** 180
Jinwook Kim



종합토의 / 10월 28일(수) 10:00~11:00

10. 27. 화 - 29. 목 / 포스터발표

좌장: 류종식, 김성룡

고기후·고해양학 및 제4기지질학

1-1	동해 한국대지 코어 퇴적물(E09-08)에 대한 화학층서와 고해양환경 현상민*, 김진경, 강나연	185
1-2	척치 고원 사면 코어 퇴적물의 광물학적 특성 및 기원지 연구 구효진*, 민수영, 임효진, 류나형, 조현구	186
1-3	강원도 평창군 진부면 일대에 발달한 하안단구 특성 및 연대측정 이재훈*, 이희권	187

광물학

2-1	From Planetesimals to Terran's World Suyeon Heo*, Yongjae Yu	188
2-2	Magneto-static Energy of Magnetite and Hematite Hanul Kim, Yongjae Yu*	189
2-3	Shallow Bias in Magnetic Inclination of Sediments Yoo Kyoung Yee, Yongjae Yu*	190
2-4	Petrological Delineation of Pumice Eruptions in Kirishima-Kinkowan National Park, Japan Eun-Hye Choi, Yongjae Yu*	191
2-5	Self-reversed Remanent Magnetization of Haruna Dacite Pumice Ji-In Jung, Yongjae Yu*	192
2-6	Decompression of Gas Bubbles in an Ascending Magma Hyun-Jung Noh, Yongjae Yu*	193
2-7	Reversals of Earth's Magnetic Field: A Gamma Process? Raegyung Ha*, Yongjae Yu	194
2-8	Crater Depth-to-Diameter Ratio of the Lunar Impact Craters Yu Kyung Shin*, Yongjae Yu	195
2-9	명목상의 무수광물의 함수량 측정 방법 연구 오슬비*, 김현나	196

2-10	대면적 입자 측정 분석법을 이용한 세일 저류층 내 공극 구조 연구 박선영*, 윤충식, 고용규, 최지영, 김민기, 이현석	197
2-11	Structural modification of microbially iron reduced smctite at high pressure Moonseon Kim, Seonhee Yun, Woosung Choi, Yongjae Lee, Jin-Wook Kim	198
2-12	경녹니석이 합수광물로써 지진파 비등방성에 주는 영향 이정진*, Mainak Mookherjee, 김태환, 정해명, Reiner Klemm	199
2-13	합성 제올라이트-W 및 일가 양이온 치환체의 구조비교 연구 김현수*, 김표상, 송치현, 이수형, 이시현, 채성민, 이현승, 성동훈, 이용문	200
2-14	북극 동시베리아해 망간단괴의 광물-화학조성 구효진*, 신은주, 유혜진, 조현구	201
2-15	소듐-산소 고체상 핵자기공명기법을 통한 비정질 소듐 규산염의 구조 연구 이정재*, 이성근	202

광상학 및 자원지질학

3-1	고남산 화성복합체와 관련된 Fe-Ti (-V) 광화작용의 형성과 기원 이지현*, 김의준, 양석준, 신승욱, 조성준, 신동복	203
3-2	모암 특성에 따른 금은광상 광석광물 및 황동위원소 조성 비교 이상용*, 신동복, 조재국, 임헌경, 유현민	204
3-3	홍천 회토류 광화대의 산출양상에 따른 분광학적 특성 Emmanuel Habimana*, 유병운, 유재형	205

구조지질학 및 지체구조학

4-1	암석 변형 모사실험 및 최소자승기법을 적용한 변형과정 내의 입자군집 변형을 분석 김성실*, 하창수	206
4-2	경상북도 포항시 호미곶과 구룡포 일원에서 관찰되는 활성단층의 운동학적·고지진학적 특성 한종원*, 하상민, 이성준, 김민철, 강희철, 성영배, 최정현, 손 문	207
4-3	3D 모델링을 통한 백악기 음성분지의 복원과 구조적 진화 이 정, 김만재*, 이희권	208

4-4	위상기하 분석을 이용한 단열계 특성화의 응용가능성 손효록*, 김영석	209
4-5	캘리포니아 Jenner 지역의 남섬석 편암과 에클로자이트의 변형 미구조와 지진파 비등방성 연구 하윤해*, 정해명	210
4-6	고압에서 변형된 로소나이트 청색편암의 미구조와 지진파 이방성에 대한 영향 최승순*, 정해명	211
4-7	울릉 분지 좌굴 구조의 2차원 점탄소성 수치 모사 도석현*, 소병달, 김영균, 김기범	212

빙권과학

5-1	남극 세종과학기지 인근 활동층의 열적 특성 및 토양수분 특성 평가 김창성*, 이진용, 김희정, 전우현, 김기태	213
5-2	북동시베리아와 북알라스카 지역 얼음썰기의 온실기체 및 Ar-O₂-N₂ 농도 분석을 통한 고기후 해석 고나연*, 양지웅, Go Iwahana, Alexander Fedorov, Andrei G. Shepelev, Thomas Opel, Sebastian Wetterich, 안진호	214

암석학

6-1	Lattice Preferred Orientation (LPO) and seismic anisotropy of minerals in retrograded eclogites from Xitieshan, NW China Jaeseok Lee*, Haemyeong Jung	215
6-2	Evolution of deformation fabrics related to petrogenesis of upper mantle xenoliths beneath the Baekdusan volcano Munjae Park*, Youngwoo Kil, Haemyeong Jung	216
6-3	가평 각섬암 내부 각섬석의 광물선호방향(CPO)과 지진파 비등방성 김준하*, 정해명	217
6-4	심부 결정질 암반의 화학적 풍화와 투수성 상관관계 연구 이주연*, 양민준	218
6-5	Petrogenesis of the Niagara Icefalls Ultramafic-mafic complex, Northern Victoria Land, Antarctica Austin Arias*, Jung-Woo Park, Sang-Bong Yi, Mi Jung Lee	219

일반지질학(자원정책 등)

- 7-1 **한국형 동위원소 빅데이터 플랫폼 구축을 위한 관계형 데이터베이스 구성** 220
 양수민*, 김승섭, 김정민

지구물리학 및 물리탐사

- 8-1 **Detecting pore-fluid pressure changes with shear wave splitting measurements at Groningen gas field, Netherlands** 221
 Jaewoo Kim*, YoungHee Kim
- 8-2 **Detection and location of local earthquakes in the oldest Pacific plate using the Oldest-1 (Pacific Array) data** 222
 Jun Yong Park*, YoungHee Kim, Takehi Isse, Kwang-Hee Kim, Hajime Shiobara, Hitoshi Kawakatsu, Sang-Mook Lee, Hisashi Utada, Nozomu Takeuchi, Hiroko Sugioka
- 8-3 **Fault zone structure imaged by teleseismic receiver function with geophone array in Clark fault, California** 223
 Hobin Lim*, YoungHee Kim, Fan-Chi Lin
- 8-4 **신호대잡음비 분석을 통한 MEMS 가속도계 자료 활용 방안 연구** 224
 박은아*, 이지민, 안재광
- 8-5 **수도권 지역의 미소지진 탐색과 단층면해 분석** 225
 정동찬*, 이준형, 박성준, 김우한, 홍태경
- 8-6 **Matched Filter 알고리즘을 활용한 해남지역 발생지진 분석** 226
 임도윤*, 이지민, 이덕기
- 8-7 **표면파 분산 및 수신함수의 베이시안 통합역산으로 추정된 백두산 하부 암석권 구조 변화** 227
 임연주*, 이상준, 김성룡
- 8-8 **계층적 베이시안 역산법을 이용한 Mw 5.5 포항지진 모멘트 텐서 해와 불확실성 추정** 228
 이지연*, 김성룡, Marija Mustać, 이상준
- 8-9 **Pn, Sn 토모그래피를 이용한 한반도 최상부 맨틀의 3차원 속도구조 연구** 229
 김민경*, 김성룡, 송정훈, 이상준
- 8-10 **전단파 분리 특성을 활용한 한반도 주변 상부 맨틀 비등방성 연구** 230
 조경준*, 이상준, 김성룡
- 8-11 **유한요소법을 이용한 지진 후 점탄성 완화에 관한 3차원 수치 모사: 동해 하부 지각과 상부 맨틀의 강도에 관한 함의** 231
 김민수*, 김나원, 김현섭, 소병달

8-12	지각 내 밀도 이상체에 의한 하방 응력에 관한 3차원 유한요소 수치 모사: 한반도 남동부 응력 변화에 관한 함의 김나원*, 김현섭, 김민수, 소병달	232
8-13	스펙트럼 분석을 통한 2020년 해남지진군 진원 요소 추정 안병석*, 강태섭, 유현재	233
8-14	한반도 지진활동상수의 일관성 분석 공민경*, 유현재, 박제찬, 이상선	234
8-15	지진동 예측을 위한 한반도 남부 지역 적합 GMPE 평가 박하영*, 김성룡, 이상준	235
8-16	수치 해석을 통한 해구의 모양을 조절하는 기작 제시: 해구 퇴적물의 효과 금재윤*, 소병달	236
8-17	열개 형성에 관한 3차원 유한 요소 수치 모형의 타당성 평가: 한반도와 울릉 분지의 지열류량 설명의 관점에서 장민석*, 문병진, 홍윤서, 소병달	237
8-18	3D Ground Motion Simulations of Pseudo-dynamic Source Models for the 2016 Gyeongju Earthquake Jaeseok Lee*, Jung-Hun Song, Junkee Rhie, Seok Goo Song, Seongryong Kim	238
8-19	주성분 분석과 랜덤 포레스트 기반의 기계학습을 활용한 단층 배치 조절 인자 인식 장진수*, 소병달	239
8-20	유한요소법에서 Particle-in-cell 방법을 이용한 맨틀 대류 수치 모사 전략 박상진*, 안수정, 소병달	240

지구화학

9-1	규산염 표준물질 산소동위원소 비의 국제 상호비교 차이 개선을 위한 2점-표준화 방안 김낙규*, 박창근, Minoru Kusakabe	241
9-2	제주도의 생물학적 섭취 스트론튬 동위원소 조성 정민지*, 임성균, 정연중, 정기영, 류종식, 정창식	242
9-3	레이저 삭박 유도결합 플라즈마 질량분석 과정에서의 루비듐과 스트론튬 동위원소 질량 분별 관찰과 보정 임성균*, 정민지, 정연중, 김영민, 정창식	243
9-4	환경추적자를 이용한 중규모 수계 내 하천수 유동 시스템 평가 정윤영*, 고동찬, 신우진, 이광식, 오용화	244

9-5	산성용액의 미량원소 농도를 측정하기 위한 시린지필터의 평가 신우진*, 신형선, 황지훈, 이광식	245
9-6	미세먼지 포집용 필터 내 무기 원소 배경농도 이지영*, 정 석, 고태경, 박수빈, 류종식	246
9-7	The impact of lockdown due to COVID-19 in China on Seoul's PM2.5 ionic composition Giyoon Lee*, Jinho Ahn, Min Sub Sim	247
9-8	봄철 부산지역 미세먼지 영향에 따른 강우의 화학적 특성 박혜민*, 양민준	248

지질공학 및 응용지질학

10-1	정압배출시험을 이용한 시추공 확공의 수리지질학적 영향 분석 이창용*, 박경우, 박병학, 지성훈, 진성욱	249
10-2	이산요소법에서 상사 법칙을 적용한 변형을 속도에 따른 단층 강도 변화 모델링 안수정*, 소병달	250

지질유산

11-1	토기의 소성온도에 따른 석영 OSL 신호변화 연구: 토기의 OSL 연대측정 신뢰도 여은영*, 최정현, 장성윤, 이명성, 진홍주	251
11-2	백악기 발자국 화석의 형태학적 특성 정의를 위한 보존 등급 적용 하수진*, 임현수, 김경수	252

지질정보학(GIS 및 원격탐사)

12-1	중·저준위 방사성 폐기물 표층처분 시설의 다중 복토층 사면 안전성 확률론적 예측시스템 개발 김유한*, 박희정, 정진아, 박은규, 권기정, 권미진, 박창희	253
12-2	자료기반 통계 분석 기법을 이용한 물리검층 자료 공간 해상도 향상 기법 개발 박재성*, 정진아	254
12-3	다양한 자료 기반 모델의 지하 매질 예측 성능 비교 분석 박경태*, 정진아	255

12-4	데이터 표준설계와 통합데이터 포맷을 적용한 급경사지 공간정보 DB의 관계형 DB변환 심규성*, 문치국, 김재영	256
12-5	토픽 모델링을 이용한 국내 지질학의 연구 주제 분류 및 연구 동향 분석 김태용*, 양민준	257
12-6	인공위성 SAR 영상으로 분석된 동남극 Campbell 빙하설의 25년간 변화 한향선*, 김진영, 김태욱, 김현수, 홍지훈, 김상희	258
12-7	Integrative Geological Model of Hyperspectral Imaging and LiDAR System for Gumunso Area Huy Hoa Huynh*, Jaehyung Yu, Chanhyeok Park	259

층서·퇴적학 및 석유지질학

13-1	사천 함안층 상부의 무척추동물 서관구조를 포함하는 백색층의 기원과 퇴적연대 채용운*, 김종선, 정기영, 김경수, 하수진, 임현수	260
13-2	우리나라 백악기 퇴적층에 발달한 미생물기원 퇴적구조(MISS): 산상 및 고환경적 의미 김현주*, 백인성	261
13-3	경북 경산시 하양읍 일대에 분포하는 백악기 대규모층의 새발자국화석 퇴적층: 산상, 보존특성 및 고생대 김현주*, 백인성, 박정규	262
13-4	태백산 분지에서 중기 오르도비스기에서 나타나는 황 동위원소의 기록 권효상*, 방선화, 심민섭	263
13-5	Subtidal meter-scale cyclic successions in the Dumugol Formation: Compactional influence on thickness trends in a mixed carbonate-siliciclastic succession Eunhyun Cho*, Jongsun Hong	264
13-6	남중국 후기 오르도비스기 시아젠층에 기록된 골격질 생물초암의 시공간적 변화과정 연구: 중기 고생대 유형 생물초 발달의 서막 박진오*, 전주완, 홍종선, 조석주, 이동진	265
13-7	A sponge-microbial consortium in the Cool Creek Formation (Lower Ordovician), Arbuckle Group, Oklahoma, USA SeungHoon Lee*, Jeong-Hyun Lee	266
13-8	태백산분지 캄브리아 중기 대기층의 퇴적환경 및 순차층서학적 의미 김병한*, 유인창	267

13-9	제주도 수월봉응회환의 현무암질 화쇄류암에 대한 대자율이방성(AMS): 자기 미세구조의 발달과 화쇄류의 고유향과 화구 위치에 대한 논의흐름방향에 대한 논의 이지수*, 권창우, 이승렬, 손 문, 조형성	268
13-10	Clay의 함량에 따라 TOC와 가스포화도가 세일가스저류층의 취성에 미치는 영향 박은영*, 김영석	269

환경지질학 및 지하수학

15-1	국내 농업용 지하수 사용과 변동 분석 전찬혁*, 이진용, 목종구, 김희정, 송성호, 이규상	270
15-2	해남에서 발생한 집중적인 미소지진이 지하수에 미치는 영향에 대한 예비연구 장지욱*, 이성빈, 이진용	271
15-3	포항시 지열정과 주변 관정의 지하수위 및 수화학적 특성 비교 박상욱*, 이진용, 김희정, 전찬혁, 김창성, 유한선	272
15-4	시계열 자료기반 분석기법을 이용한 제주 대정-한경 지역의 지하수 거동특성 분석 이소연*, 배효진, 정지호, 정진아, 박원배, 김민철	273
15-5	Sensitivity analysis for a groundwater flow simulation with simultaneous changes of hydraulic parameters and domain resolution Jaegeun Jung*, Hyoun-Tae Hwang, Sung-Wook Jeon	274
15-6	무산소 환경에서의 화강암과 녹니석에 의한 세슘의 수탁 특성 조수빈*, 현성필, 권기덕	275
15-7	지하수위 변동 패턴을 이용한 대수층 수리특성 예측 모델 개발 정지호*, 정진아	276
15-8	산불의 온도 조건에 따른 토양 지하수 환경 블랙카본의 특성 변화 전소담, 서 란, 정성욱*, 장경순, 한원식	277
15-9	지하수 인공함양 지역의 클로킹 평가 인자 특성 분석 황찬익*, 최명락, 손장호, 김규범	278
15-10	고속도로 성토공사가 주변 양식농장의 지하수에 미치는 영향 연구 차범근*, 여인옥	279
15-11	지하수위 변동 자료를 이용한 제주지역 불포화대의 수리지질학적 특성화 연구 조수환, 김민수*, 정진아, 박은규	280

15-12	확산 농도분포의 추정을 위한 다색상 이미지 분석법의 적용성 연구 김창민*, 양민준	281
15-13	수리학적 흐름제어를 위한 지하수 양수-주입 운영장치 개발 이종화*, 박창희, 전성천, 이명재	282
15-14	A study on the sorption and stabilization of strontium using natural and synthetic zeolite Soo Kyung Kim*, Seo Ha Kim, Minji Park, Hoon Young Jeong	283
15-15	대수층 및 저투수층의 다층구조에 관한 용질 확산 모델링 장성간*, 양민준	284
15-16	DNAPL 오염부지내 장기 모니터링 데이터를 활용한 오염정화 영향 평가 및 오염 초기 정보 유추 이성순*, 전성천, 이종화, 하승욱, 이상훈, 전원탁, 이강근	285
15-17	Incorporation of cesium in zeolite-structure using thermal treatment Minji Park*, Su Kyoung Kim, Seo Ha Kim, Hoon young Jeong	286
15-18	Spectral Characteristics of Soils Contaminated by Diesel Oil Jihee Seo*, Jang Yu, Jieun Kim	287
15-19	상추의 비소 오염에 따른 분광특성 변이 연구 조성경*, 김서희, 임종희, 유재형	288
15-20	영주댐 유입 유기물의 질소와 탄소의 동위원소 특성 김재민*, 김영훈, 김정진	289
15-21	이온강도에 따른 대수층 내 우라늄 거동 특성 연구 김수빈*, 양민준	290
15-22	충청 중앙지역 주요 탄산수의 질산성 질소 및 미생물 오염의 시기적 변동 특성 분석 김원빈*, 고동찬, 채기탁, 고경석, 진성욱	291
15-23	머신러닝 기술을 활용한 지하수 산출성 평가 이재경*, 박재현	292

대륙주변부의 지질 및 지각 구조: 한반도 동남부를 중심으로 ㉓

18-1	중기 마이오세 포항분지 북동부 지역에 분포하는 역암/사암체의 분포 특성과 그 지구조적 의의 박진오*, 이정현	293
18-2	지하투과레이더를 활용한 울산 양산단층 미고결 퇴적층 피복구간 영상화 이학민*, 김승섭	294
18-3	비접지식 전기비저항 탐사를 이용한 천부 미고결층 활성 단층 영상화 연구 최정열*, 김승섭, 이학민, 이병우	295
18-4	소규모 맨틀 가장자리대류와 부분용융: 제주도의 성인에 관한 고찰 소병달*, 박상진	296

독도 및 주변 해저화산의 성인 및 변동연구 ㉓

19-1	독도 연안의 해저지형자료를 활용한 해저면 변동 분석 및 모니터링 이명훈*, 김창환, 김원혁, 최순영, 박찬홍	297
19-2	독도 및 울릉도 해저 조면암 멜트포유물의 지화학적 특성 연구 문인경*, 이현우, 김종욱, 오지혜, 성동훈, 김창환, 박찬홍, 이인성	298

영남지역 대단층계에 대한 육상 및 해양에서의 지진지질학 연구결과 토의 ㉓

21-1	경주 삼릉 문화재 보호 구역에서의 피복된 양산단층 추적 연구 이호일*, 최이레, 최진혁, 이태호, 천영범	299
21-2	대자율이방성(AMS) 연구를 통한 한반도 남동부 활성단층의 운동학적 특성 해석 조형성*, 이지수, 이성준, 손 문	300
21-3	주향이동지진 지표변형의 복잡성: 고지진 자료 분석 및 해석에 대한 제언 배한경*, 김남권, 최진혁	301

원자력 발전 전주기 지질학적 부지 안전성 평가 ㉔

- 22-1 9.12지진(M_L 5.8)의 지진원 규명을 위한 경주일원 고밀도 임시 지진관측망 운영 302
김민욱*, 민기훈, 우현동, 조호현

해양지각 및 맨틀의 지구화학, 지구물리, 지구시스템 연구 ㉔

- 27-1 디셉션 섬 현무암의 감람석과 사장석 내의 멜트포유물 Pb 동위원소 연구 303
양윤석*, 서정훈, 박승현, 이신애
- 27-2 남극중앙해령 KR1 주변 해저화산에 대한 지자기 연령 추산 304
최학경*, 김승섭, 박승현
- 27-3 피지 삼중합점의 맨틀 유동 구조와 헬륨의 수평 변위 305
오지혜*, 김종욱, Finlay M. Stuart, 박문재, 이인성
- 27-4 중앙 인도양 해령 하부지각에서 산출하는 마그마 기원 황화물의 산상과 생성기작 306
최성준*, 박정우, 박창근

IGC 2024 지질꿈나무 프로그램 - 차세대 지질과학자 학술대회

001	강원도 춘천시 남산면 및 신동면 일대 경기육괴 연천계 의암층군의 변성암석학적 연구 : K-Metasomatism, Migmatite, Metamorphism 민준홍*, 김영인, 유재영	309
002	탄산염 단층의 구성광물이 단층의 미끌림 거동에 미치는 영향: 방해석과 백운석의 탈이산화탄소 반응 차이 연구 이유나*, 김수연, 김민식, 김현나	310
003	장기 칼럼 실험을 통한 수동적 처리 시스템을 이용한 지하수 내 질산염 제거 효율성 평가 고혜나*, 진성욱	311
004	An experimental study on constant water flow for isotopic evolution of meltwater from ice Dayun Min*, Yalalt Nyamgerel, Hyejung Jung, Jeonghoon Lee	312
005	LDA 모델을 이용한 학술지 자원환경지질의 연구 동향 분석 허준용*, 김태용, 양민준	313
006	울산 인브리 활성단층의 대자율이방성(AMS): 단층의 운동감각과 고응력장 해석 이승보*, 추승비, 이지수, 조형성	314
007	한국 지질유산 가치평가 D/B 분석 류희경*, 김지웅, 김동주, 이지수, 조형성	315
008	함양 농월정 지역에서 나타나는 지질구조 분석 및 단열 발달사 해석 배상열*, 전초희, 최호석, 김영석	316
009	거제도 신선대 지역의 단열분석을 통해 도출된 고응력장의 변화 소진현*, 오유비, 김영석	317
010	Li 동위원소 분석법 개발 및 활용 김민우*, 박호진, 추민균, 이지영, 류종식	318
011	봄·여름철 강우에 따른 미세먼지 저감효과와 강우수질 비교 분석 하태정*, 박혜민, 양민준	319



구두발표

10. 27. 화 - 29. 목

- 1 고기후·고해양학 및 제4기지질학
- 2 광물학
- 3 광상학 및 자원지질학
- 4 구조지질학 및 지체구조학
- 5 빙권과학
- 6 암석학
- 7 일반지질학(자원정책 등)
- 8 지구물리학 및 물리탐사
- 9 지구화학
- 10 지질공학 및 응용지질학
- 11 지질유산
- 12 지질정보학(GIS 및 원격탐사)
- 13 층서·퇴적학 및 석유지질학
- 14 해양지질학
- 15 환경지질학 및 지하수학

구두 1-1

천연기념물 제260호 백룡동굴의 가을철 대기 중 이산화탄소 농도 관측 결과

Observation of carbon dioxide concentration in the atmosphere during fall season in Baegnyong Cave, Natural Monument No. 260 of South Korea

김상윤*, 조경남

Sangyun Kim*, Kyoung-Nam Jo

강원대학교 지질학과, ksy95@kangwon.ac.kr

탄산염 크리티컬존(carbonate critical zone)은 대기권, 생물권, 수권, 암석권을 아우르는 이산화탄소의 통합적 반응이 발생하는 가장 대표적 공간영역 중 하나이다. 석회동굴은 이러한 탄산염 크리티컬존 내에 속하는 중요 지형이며, 석회동굴의 이산화탄소 농도는 동굴 내부 대기질을 좌우하는 가장 중요한 요인이다. 또한, 석회동굴의 이산화탄소 농도는 동굴생성물의 성장을 조절하는 중요 변수이기도 하다. 하지만 이러한 중요성에도 불구하고 국내 석회동굴의 이산화탄소 농도 변화에 대한 상세한 이해는 극히 미진한 상태이다. 최근 강원대학교 연구팀은 강원도 평창군 마하리 소재 백룡동굴의 대기 이산화탄소에 대해 약 3년 6개월간 관측 연구를 실시하였다. 관측 결과에 의하면, 매해 가을철 이산화탄소 농도의 급격한 감소(약 333 ppmv)가 확인되나, 월별 관측 자료로 인해 급격히 감소하는 정확한 시점, 패턴, 원인에 대해서는 파악할 수 없었다. 이번 연구에서는 36일간(2019년 10월~11월) 3시간 간격의 측정주기로 수행된 동굴내외부 대기환경측정을 바탕으로 백룡동굴의 가을철 동굴대기 이산화탄소 농도의 조절요인에 대하여 정성·정량적으로 분석하였다. 백룡동굴의 가을철 이산화탄소 농도는 330 ppmv ~ 970 ppmv의 범위 내에서 변동성이 큰 전반기(10월 11일~26일)와 상대적으로 작은 변동성을 보이는 후반기(10월 27일~11월 16일)로 뚜렷하게 구분된다. 이러한 결과는 가을철 동굴 대기 이산화탄소의 감소가 가을철 전체 기간 동안 지속적으로 발생되기보다는 어느 한 시점 동안 급격하게 발생할 수 있음을 시사한다. 전반기 동안 측정된 이산화탄소 농도는 380 ~ 970 ppmv의 범위로 평균 555 ppmv와 92 ppmv의 표준편차를 나타냈다. 반면에 후반기 동안 측정된 이산화탄소 농도는 330 ~ 540 ppmv의 범위 내에서 평균 393 ppmv와 37 ppmv의 표준편차를 보이며, 상대적으로 안정한 특징을 보였다. 전반기와 후반기 동안 이산화탄소 농도 변화의 시계열 자료에 대한 스펙트럼 분석결과는 전반기에 높은 신뢰수준(99% 이상)으로 뚜렷하게 나타나는 1일 주기성이 있으나, 후반기에 1일 주기성이 약화되는 특징을 보여준다. 이와 같은 이산화탄소의 변화패턴은 다양한 조절요인 변수와의 상관성 분석결과를 토대로 외부기온과 유의미한 상관관계($r^2=0.62$)를 보였으며, 외부기온의 일변화 중 기온의 절정 이후 이산화탄소 농도의 절정이 지연되어(평균 6시간) 도달하는 패턴을 보여주었다. 이러한 패턴은 외부온도의 뚜렷한 일주기 변화에 따라 전반기 동안 낮과 밤의 동굴내외부 온도 차이의 역전이 발생하여 동굴대기 이산화탄소의 농도변화 반응에 영향을 주는 것으로 해석된다. 이에 반해 후반기 동안에는 하루 중 대다수의 시간 동안 외부기온이 동굴내부 기온보다 낮으므로 지속적인 외부공기의 유입이 일어나 이산화탄소 농도의 일주기가 약화되는 것을 의미한다. 따라서 동굴대기 이산화탄소 농도는 주로 동굴내외부 온도차이가 유발하는 내외부 대기의 밀도차에 의한 동굴 대기순환에 주로 영향을 받는 것으로 해석된다.

구두 1-2

Cosmogenic isochron burial ages of Lower Colorado River alluviums: Insights into stratigraphy and river evolution

Yeong Bae Seong^{1,*}, Ryan Crow², Greg Balco³, Dong-Eun Kim⁴, Byong-Yong Yu⁵

¹*Department of Geography, Korea University, ybseong@korea.ac.kr*

²*US Geological Survey*

³*Berkeley Geochronology Center*

⁴*Department of Earth and Environmental Sciences, Tulane University*

⁵*AMS laboratory, Korea Institute of Science and Technology*

Evolution of Colorado River has been a center of debate over the last decades among the multiple disciplines of Geo-society, in particular relation to the timing and mode of initiation of Grand Canyon and the uplift of Colorado Plateau. One of the key resources for the debate is a series of alluviums including Bullhead, Santa Fe Railroad, Bat Cave, Topock, and Chemehuevi which were assumed to be initiated from the Colorado Plateau and were deposited along the Lower Colorado River. Despite their importance, however, the depositional timing of each alluvium was poorly constrained because of a lack in reliable numerical dating tools which can be applied to the time frame for the deposits. Most of the previous chronologic scholarships were based on fossils of plants and animals, broadly suggesting their Pliocene to Pleistocene origin. Here we document the cosmogenic ^{10}Be - ^{26}Al isochron burial ages of the four alluviums (Topock, Bat Cave, Santa Fe Railroad, and Palo Verde) resting on the Lower Colorado River near Topock, which constitute the key beds of Pliocene to Pleistocene stratigraphy in the region.

Age of each alluvium yields 2.02 ± 0.24 Ma for Topock, 2.08 ± 0.31 Ma for Bat Cave, 3.03 ± 0.26 Ma for Palo Verde, and 4.25 ± 0.69 Ma for Santa Fe Railroad, respectively. It is noteworthy all ages are well bracketed between the two key stratigraphic units of Pliocene Bouse Formation (~ 5.3 Ma) and Late Quaternary alluviums (< 100 ka), implying that the ages are reliable and consistent well with published local stratigraphy. Furthermore, the chrono-stratigraphy the present study set up well supports the theory of overflow origin (or aggradational piracy) of time transgressive integration of the Tertiary extensional basins developed along the Lower Colorado River.

Acknowledgments: This research was supported by a grant (2017-MOIS31-006) from Research and Development of Active fault of Korea Peninsula funded by Ministry of the Interior and Safety (MOIS).

구두 1-3

북서태평양 쿠로시오 확장역의 post-LGM (Last Glacial Maximum) pCO₂ 기록 복원 및 기후 변화 요인들과의 상관관계에 대한 고찰

Reconstruction of the post-LGM (Last Glacial Maximum) pCO₂ record in the Northwest Pacific Kuroshio Extension area and relationship to climate parameters

방선화^{1,*}, 허영숙¹, 강정옥²Sunhwa Bang^{1,*}, Youngsook Huh¹, Jung Ok Kang²¹서울대학교 지구환경과학부, diemist4@snu.ac.kr²서울대학교 해양연구소

북서태평양의 쿠로시오 확장역은 쿠로시오 난류와 오야시오 한류의 영향을 함께 받는 지역으로 아열대, 아한대, 천이대의 다양한 해양환경을 포함한다. 이 지역의 기후 변화에 따른 해양 환경 변화는 퇴적물 시추 코어의 유공충 종 조성 변화와 온도 지시자(alkenone, Mg/Ca) 분석, 인편모조류(coccolithophore) 급증 기록 등 다양한 연구 방법을 이용하여 보고된 바 있다. 본 연구에서는 유공충의 붕소 동위원소($\delta^{11}\text{B}$)를 이용하여 마지막 최대 빙하기 이후(post-LGM)의 해양 pH 및 용존 pCO₂ 기록을 복원하고, 이를 기존 연구 결과들과 수합하여 해양의 탄소 저장능력과 다른 기후 변화 요인 사이에 어떤 상관관계가 있는지 살피고자 하였다.

연구 결과는 부유성 유공충 5종(*G. ruber*, *G. sacculifer*, *G. bulloides*, *O. universa*, *N. pachyderma*)과 저서성 유공충 1종(*C. wuellerstorfi*)의 $\delta^{11}\text{B}$ 값으로부터 계산한 pH, pCO₂ 기록으로 이루어져 있으며, 해당 시료들은 모두 쿠로시오 확장역에 위치한 북서태평양 샤스키 고원 지역의 NPGP1302-1B (32°16'N, 158°13'E; 2514 m 수심) 코어로부터 채집하였다.

분석 결과, LGM 및 HS-1(Heinrich Stadial-1)과 같이 북반구의 빙상이 증가한 시기에 표층 해수 pH의 급격한 증가와 pCO₂의 급격한 감소 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 당시 이 지역의 해수가 대기 중의 pCO₂를 흡수할 수 있는 용량이 증가하였음을 의미한다. 이 중 LGM의 급격한 pCO₂ 증가는 중앙 아시아의 건조화 사건 및 먼지 유입 시기와 밀접한 관련성을 보이며(Herzschuh, 2006), HS-1 시기의 증가 경향성은 건조화 사건 뿐 아니라 쿠로시오 확장역의 축이 남하한 유공충 기록과도 관련성을 보인다. LGM과 HS-1은 표층 해수에서의 강한 변동을 보이는 시기였던 반면 심층 해수는 Younger Dryas와 홀로세 전기에 용존 pCO₂가 급증하는 경향을 나타냈다. 이 현상이 생산성 증가로 인한 유기물의 침강 및 분해 때문인지, 심층수의 용승 작용 때문인지를 파악하기 위하여 심층수 연구 결과 및 추가 미화석 연구 사례를 수합할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 종합적인 비교를 통해 북서태평양 쿠로시오 확장역의 해양환경 변화와 이에 관련된 요인들의 상호 관계를 고찰하고자 한다.

구두 1-4

동굴생성물의 통계적 연대모델 작성기법 연구

A study on the construction of statistical age-depth models for speleothems

백소영*, 조경남

Soyoung Baek*, Kyoung-Nam Jo

강원대학교 지질학과, bbackso1019@kangwon.ac.kr

동굴생성물은 우리나라 계열 연대측정을 통해 약 5% 이내의 오차범위를 갖는 가장 정밀한 연대 산출이 가능한 고기후 기록물들 중 하나이다. 그러나 동굴생성물을 비롯하여 모든 고기후 기록물은 연대자료가 내포하는 고유의 불연속성으로 인해 연속적인 연대를 획득하는 것이 어렵다. 따라서 다수의 연구에서는 적은 양의 연대자료를 사용하여 시료의 전 구간에 대한 연속적인 연대를 얻을 수 있는 연대모델을 작성한다. 이때 흔히 통계 알고리즘이 적용되고 있으며, 동굴생성물 연구에서는 StalAge, COPRA, MOD-AGE가 널리 사용되고 있다. 그러나 선행 연구에 의해 같은 연대자료 사용에도 불구하고 세 통계 알고리즘이 서로 다른 결과를 재현하거나 개별 시료에 대한 성장 특성을 반영하지 못하는 문제점을 확인하였다. 따라서 각 통계 알고리즘의 구동 특성과 제작 철학을 이해하고 개별 시료의 성장 특성 표현에 적합한 알고리즘을 선택하는 기준이 필요한 것으로 판단하였다. 따라서 이번 연구에서는 합리적인 동굴생성물 연대모델 작성을 위해 개별 시료의 성장 특성을 반영할 수 있는 세 통계 알고리즘의 선택 방법을 제안하고자 한다. 우선, 동굴생성물 성장 특성에 따른 통계적 연대모델 간 차이점 파악을 위해 기존 문헌에 제시된 106개 시료의 연대자료를 활용하여 성장률 변화 유형(Type of growth rate changes, TGC)을 분류하였다. 그 결과, 동굴생성물의 TGC는 성장률 변화가 없는 선형 유형(L type), 급격한 성장률 변화 유형(A type), 점진적 성장률 변화 유형(G type), 휴지기를 포함하는 불연속적 성장률 변화 유형(D type)으로 분류되며, 각각 L type은 25%, A type은 19%, G type은 20%, D type은 36%를 차지하는 결과를 보였다. 이와 같은 TGC 특성을 반영하는 통계 알고리즘을 파악하기 위해 실제 연대측정 값과 통계적 연대모델 간 차이를 확인하는 부합성 평가(conformity test)를 실시하였고, 상대적으로 적은 수의 연대자료를 활용한 결과와 다수의 자료를 사용한 결과 사이의 차이를 파악하는 예측성 평가(predictability test)를 수행하였다. 두 평가 결과는 평균제곱근오차(Root mean square error, RMSE)를 기준으로 비교하였으며, 이 값이 낮을수록 부합성과 예측성이 높은 연대모델을 의미한다. 부합성 평가에 의하면 모든 TGC에 대한 COPRA 연대모델의 RMSE 값이 삼각도표 내 0~0.4 범위 내에 도시되어 StalAge, MOD-AGE에 비해 부합성이 높은 결과를 재현한다. 그러나 예측성 평가 결과와 종합해보면 COPRA는 A type과 D type의 성장 특성을 거의 반영하지 못하였으며, 부합성 극대화 측면과 TGC 반영 정도에 의해 L type과 G type 연대모델을 재현하는데 유리한 결과를 보였다. StalAge의 부합성 결과 삼각도표 내 RMSE 범위가 각각 A type은 0~0.8, D type은 0.1~0.8에 해당하여 COPRA보다 부합성이 낮지만 예측성 평가에 의해 연대자료 개수가 충분(연속적인 성장 구간 내 5점 이상)한 경우 오차범위 내에서 TGC 특성을 잘 재현하는 결과를 보였다. 이때 연대자료가 충분하지 않다면 StalAge 대신 MOD-AGE를 차선택으로 선택할 수 있다. 이번 연구 결과를 통하여 동굴생성물 성장 특성에 적합한 통계 알고리즘을 제안하였다. 이와 같은 기준을 활용하면 각 통계 알고리즘의 장점을 극대화할 수 있고 개별 시료의 특성을 반영하여 통계적 연대모델을 작성할 수 있을 것으로 기대된다.

구두 2-1

소듐-버네사이트 양이온 교환반응 기작 연구

On the cation-exchange mechanism of Na-birnessite

박수정*, 권기덕

Sujeong Park*, Kideok D. Kwon

강원대학교 지질학과, barksj0118@gmail.com

토양, 지하수, 해저 망간단괴에서 풍부하게 산출되는 7Å-버네사이트(birnessite)와 10Å-부서라이트(buserite)는 Mn(IV)와 Mn(III)로 이루어진 MnO₂ 팔면체층과 수화된 층간 양이온을 가지는 구조적 성질로 인해 높은 양이온 교환능력 및 산화환원 능력을 가진다. 망가니즈뿐만 아니라 다양한 금속의 지구화학적 순환에 중요한 역할을 하며, 양이온 교환촉매제, 배터리 양극 물질 또는 터널형 산화망가니즈 광물(e.g., todorokite)의 합성 전구체로 이용되는 등 다양한 응용 분야에서 관심이 높다. 이번 연구에서는 고전역학 기반의 분자동력학 시뮬레이션을 이용하여 Na⁺-버네사이트에서 K⁺ 또는 Cs⁺ 치환과정에서 발생하는 구조적 변화를 원자 수준으로 계산하여 양이온 교환 기작을 기존 실험결과와 비교 분석하였다. 계산 결과, ~7Å, ~10Å d-spacing에서는 층간 내에 각각 안정한 단일 수화층(monolayer hydrate)과 이중 수화층(bilayer hydrate)이 생성되었다. K⁺ 또는 Cs⁺이 층간의 Na⁺를 치환하면, Na⁺이 MnO₂ 팔면체층 쪽으로 밀려나면서 K⁺ 또는 Cs⁺은 층간 가운데 자리를 차지하고, 물 함량이 많을수록 층간 내 물 분자와 양이온이 불규칙하게 배열되었다. 7-10Å d-spacing 사이에서는 d-spacing이 상대적으로 급격하게 증가하며, MnO₂ 팔면체층 구조가 크게 왜곡되었다. 또한, K⁺ 또는 Cs⁺이 Na⁺-버네사이트의 Na⁺자리를 100% 치환 시, 팔면체층 구조가 크게 왜곡되어 안정한 구조를 갖기 위해서는 Na⁺-버네사이트 보다 상대적으로 낮은 층간 양이온/물 함량이 필요하였다. 양이온 함량은 팔면체층의 Mn(III)에 의한 구조 전하량과 관계가 있기 때문에, 이번 시뮬레이션 결과는 양이온 교환과정에서 물 함량의 변화와 더불어 산화환원 반응도 동반된다는 것을 의미한다. 이 연구는 실험만으로 연구하기 어려운 이온교환 반응 시 층간 영역에서 발생하는 양이온, 물 분자, 및 광물 구조 변화의 관계를 규명하여 해저 망간단괴 생성과정이나 퇴적물의 공극수 화학조성 변화 이해에 크게 기여할 것으로 기대된다.

구두 2-2

토도로카이트의 세슘 흡착: 세슘은 도대체 어디에 흡착되는가? Adsorption of cesium to todorokite: Where are cesium on the surface?

김한솔*, 권기덕

Hansol Kim*, Kideok D. Kwon

강원대학교 지질학과, hsolk94@naver.com

근지표환경에서의 방사성 세슘-137의 정화 및 저감을 위한 광물의 역할 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히, 점토광물의 함량이 낮은 토양에서 산화망가니즈 광물이 세슘을 강하게 고정하는 역할이 규명되어, 산화망가니즈 광물에 대한 세슘흡착 기작 연구의 중요성이 대두되었다. 최근 세슘 흡착실험 연구에 의하면, 토도로카이트(todorokite)가 세슘에 대한 고정능력이 버네싸이트(birnesstie) 보다 높고, 흡착 등온곡선(adsorption isotherm)과 extended x-ray absorption fine structure를 이용하여 2개의 흡착 위치(multi-site adsorption)에 outer-sphere surface complex를 형성한다고 제안한 바 있다. 그러나, 저감기술 개발에 중요한 geochemical transport modeling에 있어서 정확한 흡착 위치와 surface complex 화학종은 아직까지 실험으로 규명되어 있지 않다. 이번 연구에서는 분자 동역학(molecular dynamics, MD) 시뮬레이션을 통해 토도로카이트의 세슘흡착 기작을 규명하고자 한다. 연구에는 산화망가니즈 광물에 특화되어 우리 실험실에서 새롭게 개발된 힘 장을 사용하여, 토도로카이트 터널 내부와 수화된 (010) 및 (100) 표면에 세슘이 구체적으로 어느 결정학적 위치에 어떤 구조로 흡착되는지 원자적 수준의 정보를 발표한다. 방사성폐기물 처리장 건설에는 매우 정확한 공학적인 정보뿐만 아니라 지화학적 정보가 요구되기 때문에 이번 기초연구결과가 근지표환경에 대한 보다 정확한 지화학적 데이터를 제공하는데 크게 기여할 수 있을 것이라 기대한다.

구두 2-3

Mineralogy and geochemistry of Asian dust

Gi Young Jeong

Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, jearth@anu.ac.kr

Mineralogical and geochemical data are essential for estimating the effects of long-range transport of Asian dust on the atmosphere, biosphere, cryosphere, and pedosphere. However, consistent long-term data sets of dust samples are rare. This study analyzed dust samples collected during Asian dust events since 2005 on the Korean Peninsula, and compares them to soil samples from the Mongolian Gobi Desert, a major source of Asian dust. The mineralogical and geochemical characteristics of Asian dust were consistent with those of fine source soils in general. In dust, clay minerals were most abundant, followed by quartz, plagioclase, K-feldspar, calcite, and gypsum. The trace element contents were influenced by mixing of dust with polluted air and fractionation of rare earth elements. Time-series analyses of the geochemical data of dust, combined with satellite remote sensing images, showed a significant increase of Ca content in the dust crossing the Chinese Loess Plateau and the sandy deserts of northern China. Calcareous sediments in the sandy deserts and pedogenic calcite-rich loess are probable sources of additional Ca. Dust-laden air migrating toward Korea mixes with polluted air over East Asia. Gypsum, a minor mineral in source soils, was formed by the reaction between calcite and pollutants. This study provides not only the representative properties of Asian dust, but also their variation according to the migration path, fractionation, and atmospheric reactions.

구두 2-4

아라고나이트의 Mg 안정동위원소 분별기작 Mg isotope fractionation of aragonite

손상보*, 권기덕

Sangbo Son*, Kideok D. Kwon

강원대학교 지질학과, s3247@kangwon.ac.kr

성장선(growth line)이 발달한 생물들[예) 이매패류(bivalves) 및 산호류(corals)]의 골격(skeleton)을 구성하는 아라고나이트(biogenic aragonite, CaCO_3)에 포함된 Mg^{2+} 의 농도와 안정동위원소 비율은 과거 이들이 성장했던 수계(water system) 환경을 예측하기 위한 프록시(proxy)로써 종종 사용된다. 아라고나이트에 함유된 Mg^{2+} 가 신뢰도 높은 프록시로 활용되기 위해서는 Mg^{2+} 의 화학종에 따른 광물의 안정성 및 Mg 안정동위원소 분별 양상에 대한 이해가 반드시 필요하다. 이번 연구에서는 계산광물학의 한 분야인 양자역학이론을 기반으로 하는 밀도범함수이론 방법을 사용하여 아라고나이트 내부의 Mg 화학종과 동위원소분별 간의 관계 규명을 목표로 하였다. Mg가 함유된 아라고나이트 구조의 Mg K-edge 흡수 스펙트럼 그리고 Mg 안정동위원소 분별계수를 계산한 결과, 기존 실험 결과들과 동일한 경향을 갖기 위해서는 아라고나이트 격자 내부 Mg^{2+} 의 화학종은 5배위수를 가져야 한다는 것을 처음으로 규명하였다. 이번 계산광물학 연구 결과는 보다 정확한 금속이온 고환경 프록시를 개발하기 위한 핵심 이론 자료로 활용될 수 있다.

구두 2-5

토도로카이트 터널 양이온 및 물분자 구조 규명

On the structures of tunnel cations and water molecules in todorokite

김주혁*, 권기덕

Juhyeok Kim*, Kideok D. Kwon

강원대학교 지질학과, juhuyg@naver.com

토도로카이트(todorokite)는 자연에서 흔하게 산출되는 산화망가니즈광물(manganese oxide mineral)로 $6.9 \times 6.9 \text{ \AA}$ 의 상대적으로 큰 나노공극을 가지고 있다. 이 나노공극은 물 분자와 Mg^{2+} 이온을 비롯한 다양한 양이온을 함유할 수 있으며, 자연적으로 미량금속 및 중금속의 순환을 조절하는 물질로 평가받는다. 일부 연구들에서는 이온 흡착제 및 배터리 등으로서 토도로카이트를 연구하고 있는데, 나노공극 내부 양이온의 위치 같은 기초적인 정보조차 아직 잘 밝혀지지 않았다. 가장 대표적인 터널 양이온의 위치에 대해서도 실험과 양자역학 계산연구가 논쟁 중이다. 이번 연구에서는 원자 수준에서 이론적 정보를 제공하고자 다양한 양이온을 함유하는 토도로카이트 내부 양이온 및 물 분자 구조를 규명하기 위해 고전분자동역학(classical molecular dynamics, MD) 시뮬레이션을 수행했다. 원자간 상호작용을 묘사하기 위해서 최근 우리 실험실에서 개발된 산화망가니즈 특화 힘 장(force field)을 사용하여, 나노공극 내부 물 함량에 따른 다양한 양이온(Mg^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cs^+)의 위치와 물 분자 배열을 분석하였다. 자유 에너지 섭동(free energy perturbation) 이론을 사용하여 나노공극에 물이 삼입될 때 필요되는 intercalation energy를 계산하여 최적의 물 함량을 얻을 수 있었으며, 최적 물 함량에서 각각의 양이온의 위치를 분석하고 실험결과와 비교하였다. 또한 다양한 양이온이 함께 존재할 경우, 양이온의 위치가 단종으로 존재할 경우와는 상이한 결과를 발표하고 터널 내 수화된 양이온의 복잡한 구조에 대하여 토의 한다.

구두 2-6

칼코파나이트 광물군 탈수 반응에 대한 원자수준의 이해 Atomistic insights into the dehydration process of chalcophanite mineral group

한수연^{1,2,*}, 권기덕¹

Suyeon Han^{1,2,*}, Kideok D. Kwon¹

¹강원대학교 지질학과, evada112000@gmail.com

²한국광해관리공단 광해방지연구실

광산폐수 지역의 지하수-지표수 경계에서 흔히 관찰되는 층상형 산화망간광물은 다양한 중금속의 거동을 조절하는 매우 중요한 환경광물이다. 금속 양이온에 대한 높은 흡착력은 MnO_2 팔면체 층의 Mn(III) 치환 혹은 망간 원자 빈자리(vacancy)에 의한 음의 구조전하(structural charge)에 기인하는 것으로 알려져 있다. 그러나 층상형 산화망간광물은 낮은 결정도의 세립질로 산출되기 때문에, 실험만으로는 유해금속 거동 예측에 필수 정보인 결정구조와 층간 내 금속이온 흡착 기작의 관계를 규명하기에 제한이 있다. 이번 연구에서는 층간 물 함량과 양이온 종류가 층상형 산화망간광물의 결정구조와 이온-물 상호작용에 미치는 영향을 규명하기 위하여, 대표적인 육방정계 층상형 산화망간광물인 칼코파나이트 광물군(chalcophanite group)의 탈수 반응에 대한 분자동역학 시뮬레이션(molecular dynamics simulation, MD)을 수행하였다. 칼코파나이트 [$ZnMn_3O_7 \cdot 3H_2O$]와 니켈(Ni^{2+})과 마그네슘(Mg^{2+}) 단종의 에니니켈라이트(ernienickelite)와 지안슈아이트(jianshuiite), 그리고 망간(Mn^{2+}) 혹은 칼슘(Ca^{2+})으로 치환된 각 단종 모델에 대하여 층간수 함량에 따른 격자상수의 변화를 제시한다. 그리고 실험으로 얻기 어려운 탈수반응 동안 발생하는 층간 내 물 분자와 양이온의 구조 변화를 평가할 수 있는 쌍극자 모멘트 분석 결과를 제시한다. 이번 시뮬레이션 연구는 폐광산지역의 유해금속 거동 예측 및 산화망간광물을 활용한 유해금속 제어 기술 개발에 대한 원자 수준의 정확한 지식을 제공한다.

구두 2-7

Pb, Zn이 포함된 비정질 규산염의 원자구조 변화와 원소 분배 특성

Atomic structures of Pb and Zn-bearing silicate melts

이서영*, 이성근

Seoyoung Lee*, Sung Keun Lee

서울대학교 지구환경과학부, 2seo0@snu.ac.kr

자연계 화성 과정에서 미량원소는 결정질과 비정질 내에 민감하게 분배되어 마그마 진화 과정을 밝혀내는 지시자로 사용된다. 아연(Zn)과 납(Pb)은 휘발성을 갖는 미량원소로 다양한 지질 환경에서 가변적인 분배 특성에 따라 지구 내부 마그마와 초기 지구의 분화과정을 이해할 실마리를 제공한다. 규산염 마그마에서 Zn, Pb의 분배 계수와 같은 거시적인 성질은 마그마의 조성, 온도와 압력 등 변수에 따라 좌우되며 특히 용융체 구조 변화에 따른 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그러나 Zn 혹은 Pb가 포함된 규산염 용융체에 대한 자세한 구조 연구는 아직 부족하며 용융체 내에서의 두 원소의 구조적 역할 또한 명확히 밝혀지지 않았다. 다만 Pb의 경우 PbO-SiO₂ 이원계에서 규소와 같이 구조를 형성하는 이온으로 행동하는 것으로 밝혀졌으며(Lee and Kim, 2015) PbO-Na₂O-SiO₂ 삼원계에서는 조성에 따라 역할이 변화하는 것으로 확인된다. 이러한 조성에 따른 비정질 규산염의 원자 환경 변화는 고상 핵자기 공명(solid-state nuclear magnetic resonance, NMR) 분광분석을 통해 활발히 연구되고 있다. 고상 NMR 분광분석은 시료 내의 특정 원소 중심의 원자 환경을 정량적으로 보여주기 때문에 비정질 규산염의 구조 연구에 유리하다. 본 연구에서는 용융체의 모델 시스템으로 삼원계 비정질 ZnO-Na₂O-SiO₂ 및 PbO-Na₂O-SiO₂에서 X_{ZnO} 와 X_{PbO} ($X_{MO} = MO/[MO+Na_2O]$, M=Zn, Pb) 비율을 변화시키며 합성하였으며, ¹⁷O 및 ²⁹Si NMR 분광분석을 수행하였다.

산소 주변 원자 환경을 보여주는 ¹⁷O NMR 분광분석 결과는 Zn, Pb가 포함된 비정질 Na-규산염의 연결도와 무질서도의 변화를 지시하였으며, 각 미량원소의 용융체 내에서의 구조적 역할을 규명하였다. 삼원계 ZnO-Na₂O-SiO₂ 비정질에서는 연결 산소(Si-O-Si)와 비연결 산소(Na-O-Si, Zn-O-Si, [Na, Zn]-O-Si)의 원자 환경이 분리되어 나타났으며 Zn의 함량에 따라 Na-O-Si 원자 환경이 빠르게 감소하면서 혼합(mixed) [Na, Zn]-O-Si 환경이 확인되었다. 이는 Zn이 Na와 비슷하게 구조 교란 이온으로 행동함을 지시한다. 한편 삼원계 PbO-Na₂O-SiO₂ 비정질에서 Pb는 혼합 [Na, Pb]-O-Si 환경과 연결 산소 환경인 Pb-O-Pb가 함께 확인되었다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 본 연구에서는 양이온 대 규소의 비율 차이와 조성을 기준으로 각 미량원소의 구조적 역할 및 양이온 간의 혼합(inter mixing) 특성을 설명하였다. ²⁹Si NMR은 규소와 결합하는 연결 산소의 비율을 보여주는데, 각 규소 원자 환경에 대한 시뮬레이션을 통해 위상 무질서도의 변화가 관찰되었다. Zn 혹은 Pb가 포함된 모델 규산염 용융체에 대한 연결도와 무질서도의 변화는 원소의 분배 계수와 같은 거시적인 물질 변화의 본질적인 기원이 된다. 본 연구 결과는 자연계 화성 과정에서 Zn 등 미량원소의 거동을 설명하는 기초 연구로 활용될 것으로 기대된다.

구두 2-8

고해상도 수소 핵자기공명분광법을 이용한 준결정의 수소 환경 연구

Hydrogen environments in quasicrystals probed by high-resolution ^1H MAS NMR

권진중^{1,*}, 김호임¹, 이상화^{2,3}, 김재용², 이성근^{1,4}

Jin Jung Kweon^{1,*}, Hyo-Im Kim¹, Sang-Hwa Lee^{2,3}, Jaeyong Kim², Sung Keun Lee^{1,4}

¹서울대학교 지구환경과학부, jkweon@snu.ac.kr

²한양대학교 물리학과 및 고압연구센터

³한국원자력연구원 중성자-동위원소응용연구부

⁴서울대학교 응용물리연구소

준결정(Quasicrystal)은 상온과 일정한 압력 조건에서 많은 양의 수소를 저장하는 물질로 알려져 있다. 준결정은 대칭성은 존재하지만 주기적인 장거리 질서가 유지되지 않는 물질이며 TiZrNi 준결정은 사면체 틈새 자리가 많이 있어 수소를 저장하기에 적합한 특징이 있다. 수소 주변의 원자 환경과 금속 원소와의 결합 특성을 이해하는 것은 수소 저장 물질로서 준결정에 대한 이해를 높이기 위해 중요하다. 본 연구에서 빠르게 샘플을 회전하는 기법으로 얻은 준결정 시료에 대한 수소(^1H) 핵자기공명(NMR) 스펙트럼을 보고하고자 한다. 수소 대 금속(H/M) 비율을 0.5에서 1.8로 변화시켜서 얻은 $\text{Ti}_{53}\text{Zr}_{27}\text{Ni}_{20}$ 준결정 시료의 핵자기공명 스펙트럼은 수소가 여러 site에 존재한다는 것을 나타낸다. 스펙트럼의 주된 피크의 위치는 수소 함량 (H/M)의 증가에 따라 -21 ppm에서 -26 ppm 의 범위에서 낮은 주파수로 선형적으로 이동한다. H/M에 따른 피크 위치 및 스펙트럼의 변화는 수소 농도가 증가함에 따라 흡수된 수소 주변의 금속 원소가 Zr에서 Ti과 Ni로 변화하고 수소 함량이 증가함에 따라 수소와 금속 원소의 상호작용이 증가할 수 있음을 나타낸다. -21 ppm 근처에서 변화하는 주된 피크는 Zr/Ti 금속 원소와 상대적으로 약하게 결합하고 있는 수소에 해당한다. 온도 실험에서 스펙트럼의 선폭이 좁아드는 정도는 주된 피크에 해당하는 수소가 운동성이 있는 것을 나타내고 있다. 20 kHz 이상으로 샘플을 빠르게 회전하는 경우에 나타나고 있는 -26 ppm 근처의 추가적인 피크는 Ni/Ti 에 보다 더 가까이 놓여있는 수소에 해당하고 있다. 또한 본 연구 결과는 고해상도 수소 핵자기공명분광법을 사용하여 준결정 및 기타 수소 저장 물질의 수소 함량을 추정할 수 있는 새로운 가능성을 열어준다.

구두 2-9

지구 내부 맨틀 마그마 용융체의 중간-길이단위의 구조규명 Evolution of Intermediate-Range Structural Order in Silicate Melts in Earth's Mantle

이성근

Sung Keun Lee

서울대학교 지구환경과학부, sungklee@snu.ac.kr

지구 내부 맨틀의 고압환경에서 존재하는 비정질 용융체는 고압상태의 결정질 광물이나 1기압에서의 용융체에서는 발견되지 않은 독특한 엽계(network)구조를 가지고 있습니다. 고압에서 비정질 용융체 엽계의 고밀도화는 전통적으로 양이온의 배위환경(coordination number) 혹은, 배위다면체들이 연결된 정도(connectivity)와 같은, 짧은 거리 단위(Short-range structure)의 원자구조 변화로 주로 기술하였습니다[1, 2]. 그러나, 마그마의 물성을 연구한 다양한 실험과 계산한 최근의 연구결과들과 상부맨틀의 지진파의 속도변화 관측을 통한 정보들을 종합하면, 마그마의 열역학적 성질이나 점성도, 그리고 탄성상수(elastic constant) 등의 변화들은 짧은 거리의 원자단위의 정보만으로는 제대로 설명할 수 없으며, 두 번째 배위 환경을 넘어서는 중간거리 단위의 원자분포 정보(intermediate-range structure)가 물성변화에 중요한 역할을 할 것으로 추정되었습니다. 그러나, 대부분의 전통적인 실험방법들이 주로 짧은 거리 단위의 정보획득에 특화되어 있어, 중간거리 단위의 비정질 마그마의 원자구조를 실험적 측정하고 관찰하는 것은 방법론의 부재로 지구과학 분야만이 아니라, 현대과학의 밝혀야 할 난제 중 하나로 남아 있습니다.

발표자의 연구실에서는 다양한 특정 원자 중심의 원자구조를 규명하는 방법[핵자기공명 분광분석(NMR)과 비탄성 x-선 산란(IXS)]들을 이용하여, 마그마 용융체의 중간거리 단위에서의 숨겨진 구조적 질서를 관찰하였습니다. 본 발표에서는 각각 최대 9만기압(NMR)과 160만 기압(IXS)의 극한 고압 환경 하의 용융체의 엽계가 중간-길이 단위에서 변화하는 양상을 최초로 규명한 연구결과들을 소개합니다[3, 4]. 실험결과들은 모두 마그마 용융체의 고밀도화가 양이온 간 혹은 음이온 간의 중간거리 단위에서의 근접성 변화와 관련이 있음을 지시합니다. 특히, 압력이 증가함에 따라 용융체 엽계가 짧은 거리단위의 원자 배열의 변화 외에도 중간 단위에서 특정 배위수의 양이온 혹은 음이온의 공간적 분포가 상대적으로 더 균일하게 혼합되며, 무작위적인 배열이 촉진됩니다. 이러한 혼합양상의 변화로부터 고압환경에서 용융체의 구조적 엔트로피가 증가하는 것을 보고하였습니다[4]. 또한, 압력에 따른 중간길이 단위의 구조적 변화가 구조 엔트로피증가와 더불어 용융체의 몰당 부피를 더 감소시키는 방향으로 진행하는 것을 확인하였습니다. 따라서 압력에 따른 중간단위의 고밀도화로부터 맨틀 용융체의 상태 방정식의 비정상적인 변화를 설명할 수 있습니다.

(1) Lee, S.K., Mosenfelder, J., Park, S.Y., Lee, A. and Asimow, P., 2020, PNAS, in press.

(2) Lee, S.K., Mun, K.Y., Kim, Y.H., Lhee, J.H., Okuchi, T. and Lin, J.F., 2020, J. Phys. Chem. Letts., 11 2917.

(3) Lee, S.K., Kim, Y.H., Kim, H.I., Chow, P., Xiao, Y. and Shen, G., 2019, Phys. Rev. Letts., 123 235701.

(4) Lee, S.K., Lee, A.C. and Kweon, J.J., 2020, under review.

구두 3-1

Gold mineralization of Phayaung Taung, Patheingyi Township, Mandalay Division, Myanmar

Naing Aung Khant*, Chungwan Lim

Department of Earth Science Education, Kongju National University, naingauangkhangtgeology@gmail.com

Myanmar is endowed with a diverse array of metallic and nonmetallic mineral deposits, a number of which have recently been developed as world-class mines. Tagaung Taung deposit north of Mandalay is a resource approximately 40 km from Mandalay City. The Phayaung Taung gold deposit from the Slate Belt is hosted in phyllite, schist, and quartzite. Mineralization is associated with the stockwork quartz vein system. Wall-rock silicic alteration by cryptocrystalline quartz or amorphous silica is dominant. Phyllic alteration is characterized by sericite, quartz, chlorite, and pyrite with disseminated hematite. Gold occurs in tourmaline-quartz and sulfide-bearing quartz veins. It is associated with pyrite and chalcopyrite as well as Au-Ag-Bi-Te ore assemblages of petzite, hessite, and tellurobismuth. The Phayaung Taung gold deposit shows typical mesothermal characteristics. Scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray analyses revealed the average gold content of electrum grains, i.e., 75.1 wt% Au, with grain sizes ranging from 3 to 40 μm . Moreover, secondary native gold grains were formed with hematite and iron oxides in secondary remobilized/deformed veins at strongly brecciated/oxidized zones. The association between gold and altered sulfides suggests that gold was refractory in sulfides. It can be considered that supergene oxidation extended to deep mineralization veins. Such gold grains had the highest Au content, and are often in almost pure condition. This study discussed the geology, geochemistry, and mineralogy of the Phayaung Taung gold mine in Myanmar. New minerals were identified in the samples obtained from the study area, which were subjected to multiple analyses to determine their properties and understand the relationships between them.

구두 3-2

The geochemical reserach of Precambrian metamorphic rocks in the Yeongnam massif area, South Korea

Cheolhong Kim*, Chungwan Lim

Department of Earth Science Education, Kongju National University, chehong@naver.com

Carbon isotope thermometry between calcite and graphite has been applied to Precambrian granulite facies marbles in the Northeast Yeongnam massif, Gyeongbuk Province Korea. 11 pairs of calcite-graphite samples indicate the peak metamorphic temperature of $752 \pm 53^\circ\text{C}$ which well matches with the temperature estimated with a petrological study by other researchers. Graphite from this study mainly shows highly lustrous coarse grains and fine crystalline graphite crystals on coarse grains. Thus it well presents the peak metamorphic temperature. Fine graphite crystals on coarse graphite grains are possibly originated from the later stage overgrowth but their high lustrousness may represent prograde metamorphism after formation, which is related to later igneous activity which is related to the Jurassic granite intrusion and near the granite the highest temperature, 835°C , was obtained. With almost no shift in $\delta^{13}\text{C}$ and only locally shifted $\delta^{18}\text{O}$ in the calcite samples of the study area, CO_2 -depleted fluid may have affected the marble at the last stage of metamorphism by the Jurassic granite intrusion. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of the calcite in the study area show relatively higher values than other Precambrian calcite. It would be interesting to compare the C-O isotope values with those from the Cathaysia Craton of the South China Block which is believed to be correlated to Yeongnam massif.

구두 4-1

취성-연성 변형 전이대에서 화강암의 변형과정 Seismogenesis in granite of brittle-ductile transition regime

김재훈*, 이진한

Jae Hoon Kim*, Jin-Han Ree

고려대학교 지구환경과학과, apokjh@naver.com

취성-연성 변형 전이대는 지각의 변형이 취성 변형 영역에서 연성 변형 영역으로 전이되는 지역이다. 취성-연성 변형 전이대에는 대륙지각에서 발생하는 대부분의 진원지가 분포하고 있으며 지진발생시에는 취성 변형을, 간지진기(interseismic period)에는 연성변형을 하는 것으로 알려져 있다. 취성-연성 전이대에서의 역학적 거동이나 미구조 진화과정에 대해서는 실험을 통하여 많은 부분이 밝혀졌으나, 자연상태의 전단대에 대한 연구는 부족하다. 예천전단대는 북동-, 북북동- 주향을 가지고 있는 우수향 전단대로 영주지역에서 중생대 화강암체를 끊고 있으며 주 전단대의 변형 온도는 약 350°C로 알려져 있다. 전단대의 동남쪽 경계부의 한 노두에서 변형이 증가할수록 원압쇄암은 압쇄암으로 점이적으로 변하지만 압쇄암에서 초압쇄암으로의 변화는 매우 급격하다. 원압쇄암과 압쇄암에서 석영은 전위 포행에 의해 그리고 장석은 단열에 의해 변형되었다. 녹색을 띠는 초압쇄암은 석영-, 장석-, 백운모- 그리고 녹염석으로 구성된 렌즈형의 집합체와 석영, 운모, 녹염석 기질로 구성되어 있다. 압쇄암에 발달한 S엽리는 초압쇄암에 가까워질수록 경계부와 평행하게 휘어지다가 압쇄암과 초압쇄암 사이에서 끊어진 형태를 보인다. 원압쇄암에서 나타나는 얇은(수 mm - 수 cm) 녹색띠는 압쇄암질 엽리를 저각으로 사교하거나 아평행하게 나타났으며, 일부에서는 원압쇄암의 전단띠를 따라 발달한다. 녹색띠는 각진 원압쇄암의 파편과 석영, 장석, 운모 그리고 녹염석 기질로 구성되어 있다. 초압쇄암과 녹색띠의 기질에서 관찰되는 녹염석(수 μm)은 자형을 띠고 있었으며 문상연정과 함께 뼈대구조도 관찰되었다. 이는 녹염석이 용융물부터 빠르게 식으며 형성되었음을 시사한다. 따라서 우리는 녹색띠가 지진성 슬립시 발생한 수도타킬라이트로부터 생성되었다고 해석하였다. 수도타킬라이트가 형성된 후에 비지진성 기간동안 연성변형이 집중되어 녹색띠는 초압쇄암으로 진화되는 것으로 해석된다.

구두 4-2

단층비지의 색을 결정하는 요인들: 인제군 하남리에 발달한 금왕단층의 예

Factors controlling the color of fault gouges: an example from the Geumwang Fault, South Korea

박초원*, 김재훈, 이진한

Chowon Park*, Jae-Hoon Kim, Jin-Han Ree

고려대학교 지구환경과학과, pcw0219@korea.ac.kr

일반적으로 단층비지의 색깔은 구성 성분과 입자 크기에 의해 결정된다고 알려져 있다. 강원도 인제군 하남리에 발달한 금왕단층에서 관찰되는 여러 개의 단층비지는 유사한 성분의 모암에서 기원하였음에도 불구하고 다양한 색을 띠고 있었다. 금왕단층은 우리나라 음성분지에서 풍암분지를 지나 설악산까지 발달한 좌수향 주향이동단층으로, 인제군 하남리에 발달한 금왕단층은 시대 미상의 화강편마암과 주라기 화강암의 경계에 접하고 있다고 알려져 있다. 이곳의 단층대는 두께가 약 90 m로, 30 m 두께의 단층핵을 60 m 두께의 단층손상대가 둘러싸고 있으며, 단층핵은 약 0.6 m 두께의 파쇄암 두 조와 28 m 두께의 단층 각력암으로 구성되어 있다. 파쇄암과 단층 각력암의 내부에는 수 mm에서 수 m에 달하는 다양한 두께의 단층비지가 20개 이상 관찰되며, 검은색, 암회색, 회색, 녹색을 띠고 있다. 검은색 단층비지는 석영, 장석, 방해석, 백운석, 능철석, 흑연 암편과 일라이트, 석영, 능철석, 흑연으로 구성된 기질로 이루어져 있다. 암회색 단층비지는 검은색 단층비지와 동일한 광물로 구성되어 있으나 흑연 함량이 적다. 회색 단층비지는 석영, 장석, 백운모, 방해석, 백운석 암편과 일라이트와 석영으로 구성된 기질로 이루어져 있으며, 녹회색 단층비지는 회색 단층비지와 유사한 광물 조성을 보이거나 녹니석이 관찰된다. 주사전자현미경을 이용하여 단층비지를 관찰한 결과 모든 단층비지는 거의 동일한 크기의 입자로 구성되어 있었기 때문에 연구지역에서 관찰되는 단층비지의 색은 이를 구성하고 있는 성분에 의해 결정되는 것으로 추정된다. 특히 어두운 색의 단층비지는 흑연 함량이 많아질수록 검어지기 때문에 검은색과 암회색 단층비지는 흑연에 의해 어두운 색을 띠는 것으로 생각되고, 모암이 흑연을 포함하지 않는 화강편마암과 화강암이므로 흑연은 외부로부터 유입되었을 것으로 추정된다. 기존연구에 따르면 흑연은 400도 이상의 열수로부터 침전될 수 있기 때문에 지진성 미끌림 동안 발생하는 마찰열이 400도 이상의 높은 온도를 유발했을 가능성이 있다. 앞으로 추가적인 미구조 관찰 및 분석을 실시하여 단층비지의 다양한 색과 금왕단층의 과거 거동과의 관계에 대해 자세히 연구할 예정이다.

구두 4-3

노르웨이 오하임 지역 각섬석 감람암에서 나타나는 감람석과 각섬석의 연성변형에 대한 연구

Study on the plastic deformation of olivine and amphibole in amphibole peridotites from the Åheim, Norway

정세진*, 정해명

Sejin Jung*, Haemyeong Jung

서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리화학연구실, shazabi7@snu.ac.kr

광물들의 격자선호방향(Lattice Preferred Orientation: LPO)은 암석의 지진파 비등방성이나 물성 등을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 이번 연구에서는 노르웨이 오하임 지역에서 채취한 각섬석 감람암의 감람석 및 각섬석 변형 미구조를 연구하여, 조산운동의 진행에 따른 미세구조의 변화 양상을 이해하고 감람석과 각섬석의 변형 메커니즘을 확인하고자 한다. 노르웨이 오하임(Åheim) 지역은 Western gneiss region (WGR)의 일부로 Scandian 조산운동에 의하여 420-400 Ma에 초고압 변성작용을 받았다. 이후 400-380 Ma에 조산운동에 뒤따른 용기 도중에 각섬암상의 변성작용을 받았고, 이때 감람암도 유체의 유입으로 인하여 각섬석 감람암으로 후퇴변성되었다. 오하임 각섬석 감람암은 90% 이상이 감람석으로 이루어져있고 미량광물로 사방휘석, 각섬석, 녹니석, 스피넬, 흑운모 등을 포함하고 있으며, 일부 시료에서 부분적으로 각섬석이 50% 포함된 층이 관찰된다. 감람석과 각섬석의 미세구조를 분석하기 위하여 EBSD (Electron backscattered diffraction)를 사용한 매핑을 진행하였고, 감람석 내의 전위 미세구조의 슬립계를 확인하기 위하여 TEM을 활용한 분석도 진행하였다. 감람석의 미세구조에 대한 분석 결과 감람석의 아경계면과 전위 미세구조가 용기과정 중에서 만들어진 것을 확인하였다. 감람석에서 잘 관찰되는 아경계면에 대한 EBSD 매핑 분석 결과, 아경계면을 구성하는 전위는 (001)[100] 슬립계를 갖고 있는 것을 확인하였다. 이러한 (001)[100] 슬립계는 용기 과정 중에 유체유입에 연관되어 만들어진 것으로 볼 수 있다. TEM을 활용하여 감람석을 관찰한 결과 (010)[100] 슬립계의 전위가 가장 많이 나타나는 것이 확인되었고, 이는 용기 과정 중에 저응력 변형으로 만들어진 것으로 해석될 수 있다. 각섬석에 대한 EBSD 매핑 분석 결과 각섬석에서 (100)[001] 슬립계가 변형 결과로 활성화 되었고, 각섬석의 LPO를 만드는데도 크게 기여한 증거를 관찰할 수 있었다.

구두 4-4

군산 금성리층 천매암의 변형 미구조와 지진파 비등방성에 대한 함의

Deformation fabrics of phyllite from Geumseongri Formation, Gunsan: Implications for seismic anisotropy

한석영*, 정해명

Seokyoung Han*, Haemyeong Jung

서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리학연구소, hs04111@snu.ac.kr

운모류는 각섬석과 함께 대륙지각을 이루는 주요 광물 중에서 지진파 비등방성이 강한 광물군에 속한다. 특히 20-40% 이상이 운모류로 구성된 암석일 경우 지진파 비등방성의 강도나 대칭성이 운모류의 배열에 크게 영향을 받는다는 사실이 알려져 있다. 그러므로 대륙 지각에서 나타나는 지진파 비등방성의 원인을 밝혀내기 위해서는 운모류가 다량 포함된 암석에 대한 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 전북 군산 지역의 금성리층을 이루는 백운모-석영 천매암을 대상으로 FE-SEM/EBSD (Electron Backscattered Diffraction) 기기를 사용하여 주구성광물의 격자선호방향(lattice preferred orientation, LPO)을 측정하였다. 이 연구에서 분석된 5개의 천매암 시료는 주로 백운모, 석영, 조장석, 녹니석과 소량의 흑운모, 방해석, 티탄철석으로 이루어져 있다. 운모류 광물의 성분비에 따른 지진파 비등방성의 특성과 강도 변화를 파악하기 위해 다양한 운모 조성비를 가진 시료를 맵핑(mapping) 기법을 사용하여 분석하였다. 또한 M-index를 계산하여 광물의 LPO의 강도와 지진파 비등방성의 관계를 조사하고자 하였다. 분석 결과, 백운모의 경우 대부분 [001]축이 엽리에 수직으로 강하게 배열되었고, [100]축과 [010]축이 엽리에 평행하게 배열되었다. 녹니석 역시 백운모와 비슷한 배열을 보여주었다. 석영의 경우 (0001)면의 극(pole)의 분포는 basal, rhomb, prism 슬립계(slip system)를 주로 보이며, 2619 시료의 경우 교차 테(crossed girdle) 형태를 보여주었다. 조장석의 경우 대부분의 시료에서 (001)면의 극이 엽리에 수직으로 배열되거나, (010)면의 극이 엽리에 수직으로 배열되는 것이 관찰되었다. 측정된 LPO 데이터를 바탕으로, 각 광물과 성분비로 조합한 각 시료 전암 성분(whole rock)에 대한 지진파 비등방성을 계산하였다. 석영의 경우 P파 비등방성(AV_p)이 2.8-7.1%, 최대 S파 비등방성(AV_s)이 3.5-9.8%로 계산되었으며, 조장석의 경우 AV_p가 1.2-15.6%, 최대 AV_s가 1.3-24.8%로 계산되었다. 반면, 백운모의 경우 AV_p가 43.4-51.1%, 최대 AV_s가 41.9-59.1%로 계산되고 녹니석의 경우 AV_p가 21.4-29.4%, 최대 AV_s가 34.9-56.8%로 계산되어 다른 광물과 비교했을 때 아주 큰 수치를 보여주었다. 광물 성분비를 반영하여 전암의 지진파 비등방성을 계산한 결과, AV_p가 9.0-21.7%, 최대 AV_s가 9.6-24.2%로 크게 계산되었다. 연구 결과를 통해 운모류의 성분비와 배열 상태가 지진파 비등방성의 강도와 대칭성에 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 석영과 조장석의 경우 운모류에 비해 격자선호방향이 강하게 집중되지 않으며, 지진파 비등방성의 강도가 약하게 나타났다. 그 결과, 전암에 대한 계산에서 석영과 장석의 성분비가 높을수록 비등방성의 강도가 약해지며, 운모류의 성분비가 높을수록 비등방성의 강도와 대칭성이 강해짐을 알 수 있었다.

구두 4-5

각섬암 변형 실험을 통해 발견한 고압 조건 각섬석의 새로운 격자선호방향

Crystal preferred orientation of amphibole at high pressure found in deformation experiment of amphibolite

김준하*, 정해명

Junha Kim*, Haemyeong Jung

서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리화학연구실, ratoria1001@snu.ac.kr

각섬암 내부 각섬석의 격자선호방향은 지각에서 관찰되는 지진파 비등방성에 상당히 큰 영향을 끼치는 원인 중 하나이다. 기존의 연구를 통해 각섬석의 격자선호방향은 4가지 타입으로 분류되었으며, 그 중 type I-III로 명명된 세가지 타입은 기존의 실험 연구를 통해 보고된 바 있다. 하지만 남은 한가지 타입인 type IV 각섬석 격자선호방향([100] 축이 전단방향에 수직하게 거들 모양을 그리는)은 실험을 통해 발견된 바 없으며, 이의 생성 조건과 생성 원인도 알려진 바 없다. 따라서 이번 연구에서는 압력 0.5 GPa, 온도 500-700°C 조건에서 각섬암 전단변형실험을 수행해 type IV 각섬석 격자선호방향의 생성 조건과 원인을 연구하고자 하였으며, 관찰된 각섬석의 격자선호방향을 사용해 이로부터 생성되는 지진파 비등방성을 계산하였다. Type IV 각섬석 격자선호방향은 높은 전단변형(high shear strain, $\gamma > 3.0$)에서 변형을 받은 각섬암에서 관찰되었으며, 이는 다양한 결정 입도를 가진 각섬석의 혼합에 의해 생성되었다(1). Type IV 격자선호방향의 각섬석은 다른 타입의 격자선호방향의 각섬석에 비해 현저하게 낮은 지진파 비등방성을 보여주었다. 따라서, 고변형된 각섬석의 type IV 격자선호방향에 의해 나타나는 낮은 지진파 비등방성은 중부지각에서 관찰되는 약한 지진파 비등방성을 설명할 수 있다.

(1) Kim, J. and Jung, H., 2019, New crystal preferred orientation of amphibole experimentally found in simple shear. *Geophysical Research Letters*, 46, <https://doi.org/10.1029/2019GL085189>.

구두 4-6

경주 천군동 지역에 발달하는 암맥의 수동적 관입과 단층재활 특성

Characteristics of fracture-controlled dykes and fault reactivation in Chungun-dong, Gyeongju city

이진현^{1,*}, 김영석^{1,2}Jinhyun Lee^{1,*}, Young-Seog Kim^{1,2}¹부경대학교 지구환경과학과 지질구조재해연구실, godgocogo@gmail.com²활성단층 및 지진재해저감연구소

암맥은 일반적으로 최대수평주응력에 수직한 방향으로 확장되면서 관입한다. 암맥의 관입은 화산활동 시 마그마 유동의 주요한 통로(conduit) 역할을 하며, 지체구조 해석과 지표 지형의 형성에 중요한 역할을 한다. 암맥과 단층의 연구에서 암맥의 관입활동에 의해 야기된 단층운동과 단층을 따라 주입된 암맥의 사례가 보고된 바 있다. 암맥은 기존에 발달한 불연속면을 따라 관입하는 수동형 관입(passive injection)과 마그마 압력에 의한 강제형 관입(forceful injection)으로 구분 될 수 있다. 수동형 관입의 특징을 가지는 암맥의 기하는 기반암에 발달하는 단열 및 단층 등과 같은 구조적 특징들에 의해 규제되며 기존에 발달한 단열을 확장하면서 관입하기 때문에 기존에 단열이 많이 존재하였다면 암맥의 모양이 복잡하고 불규칙한 모양을 가질 수 있다. 연구지역인 경상북도 경주시 천군동 지역은 화강암(55.8±0.3 Ma; Concordia age)을 기반암으로 하여 이를 관입하고 있는 고철질 암맥과 제4기 지층을 절단한 단층들이 발달하고 있다. 두 개의 굴착단면에서 암맥관입과 단층발달 사이의 상관관계를 검토하였다. 첫 번째 굴착 단면에서는 주로 고각의 암맥들이 관찰되며 저각의 단열(118°/35°)을 따라서는 소규모의 주입이 관찰된다. 또한 저각의 단열들을 따라서는 역단층 감각을 지시하는 전단단열과 이차단열들이 발달한다. 역단층 운동을 지시하는 단열들은 암맥경계를 중심으로 단열의 밀도 및 기하의 변화가 관찰되는데 이는 이들 암맥이 기반암 내에서 역학적 불연속면(mechanical discontinuity)으로 작용한 결과로 해석된다. 그러므로 암맥의 관입 이후에 전단단열이 발달한 것으로 해석된다. 두 번째 굴착 단면에서는 021°/74° 자세를 가지는 단층이 발달하며 단층 하반에 발달하는 고각을 갖는 세맥들의 고밀도 분포와 이 방향을 따라 주입된 암맥을 통해 암맥 관입 이전에 이미 단층이 발달하고 있었음을 추정할 수 있다. 또한 수동형 관입의 특징인 변위되지 않은 계단상의 기하, 단층에 주입된 암맥, 암맥의 불연속성, 소규모 불규칙 주입들은 연구지역에서 단층 및 단열 발달 이후에 수동형 암맥관입이 있었음을 지시한다. 이러한 구조들이 발달한 이후 미고결 퇴적층이 퇴적되고 이후 이들 모두를 절단하는 역단층 운동이 확인된다. 즉, 연구지역에서의 구조변형사는 암맥관입 이전의 단열 및 단층운동 → 암맥 관입 → 제4기의 단층 재활성으로 해석된다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 '한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발 사업' (2017-MOIS31-006)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

구두 4-7

중기 마이오세 영해분지와 양산단층대 영덕-울진 연장 일원의주요 지질구조 특징과 지구조적 의미

Geological and structural features in the Middle Miocene Yeonghae Basin and Yeongdeok-Uljin extension of the Yangsan Fault zone, South Korea, and their tectonic implication

김민철*, 이선갑, 강희철, 하상민, 이성준, 한종원, 강혜진, 손 문
Min-Cheol Kim*, Son Kap Lee, Hee-Cheol Kang, Sangmin Ha, Seongjun Lee,
Jong-Won Han, Hyejin Kang, Moon Son

부산대학교 지질환경과학과 구조지질학연구실, igumany@pusan.ac.kr

영해분지는 경북 영덕군 영해면의 동쪽 해안가를 따라 분포하는 중기 마이오세의 육성 및 해성 기원 퇴적암류(연일층군; 김봉균, 1970)로 충진된 퇴적분지로, 북북동 방향으로 길쭉한 인장틀의 기하를 가지며 약 14 km의 연장과 약 6 km의 폭을 보인다. 분지의 북서쪽은 남북 내지 북북동 주향의 정단층으로 경계되나 남쪽으로 갈수록 단층과 부정합이 혼재되다가 분지 남서쪽에 이르러서는 부정합으로 분지가 경계되는 점진적인 경계양상을 보인다. 분지의 서측 경계로부터 분지 내부까지 경계단층과 평행한 공역상 소규모 단층들이 배열되며 동쪽으로 갈수록 점차 깊어지는 일련의 지구/지루대를 이루는 양상이 확인된다. 분지 동편은 양산단층대의 북부 연장에 의해 경계된 것으로 추정되며, 분지 남동쪽 연변부는 북북동과 북북서 방향의 단층에 의해 췌기상을 이루는 소규모 분지충전물 분포지가 분포한다. 분지충전물은 전반적으로 동남동 내지 남동 방향으로 경동되어 있으며, 최상부의 지층은 흔히 10°이하의 얇은 경사를 보인다. 분지 서편에 분포하는 기반암의 자세도 전반적으로 동쪽으로 경사지는데 (평균 약 15°내외), 분지 인접부로 갈수록 경사가 점차 깊어지며 분지 인접부에서는 약 25~40°의 경사각을 보인다. 분지충전물은 입도와 퇴적구조에 근거하여 서로 정합으로 접하는 총 3매의 지층으로 구분되었다. 분지 기저의 층적 내지 봉적 선상지 퇴적물은 대부분 역지성 역암과 역질사암으로 구성되며, 역암 내에는 장경 1 m 이상의 암괴를 포함한 다량의 기반암역들을 포함한다. 기질은 흔히 인접한 백악기 퇴적암의 암색과 유사하게 붉은색을 띤다. 망상하천과 범람원 퇴적물은 기질이 밝은 역암과 역질사암으로 주로 구성되며, 하부층에 비해 입도가 낮고 분급과 원마도가 양호하다. 북부에는 역의 배열이 발달한 역지성 역암이 우세한 반면, 남쪽으로 갈수록 분급이 양호해지며 사층리와 점이층리가 발달한 사암의 비율이 증가한다. 분지 남부에는 층리가 발달한 적색 세립질 사암과 탄층을 포함하는 이암 내지 실트암이 지층 상부에서 관찰된다. 내만성 연안퇴적물은 분지 북부에만 분포하며, 다량의 패각류 화석을 포함한 역암 내지 역질사암이 관찰된다. 이러한 분지 내외의 구조적 특징과 분지충전물 퇴적상 변화를 종합하면, 영해분지가 북북동으로부터 남남서 방향으로 점진적으로 열개되는 일종의 전파열개형 확장을 겪었을 것으로 추론되며, 그에 의해 분지 남부에 비해 북부에 상대적으로 더 깊은 환경이 형성됨에 따라 동일 층준의 분지충전물 간에도 퇴적상의 점진적인 차이를 보이는 것으로 해석된다. 한편, 분지의 동측 인접부를 따라 뚜렷하게 연장되는 북북동 방향의 지형 선구조를 추적한 결과, 그 남측(영해면 성내리 지점)과 북측(후포면 후포리 지점) 모두에서 각각 최소 약 100 m와 50 m의 폭을 갖는 단층핵 노두가 발견되었다. 공통적으로 선캄브리아대 변성암과 백악기 퇴적암을 절단하며, 주단층면은 북북동 방향으로 배열된다. 암상 변위, 단층면 상의 선구조, 단층핵 내의 엽리와 대상구조의 형태, 단층대 내부 회전요소의 기하에 근거하면 이 단층대는 백악기 이후 최소 한번의 우수향 주향이동운동을 겪은 것으로 판단된다. 이러한 점들은 기존에 보고된 양산단층대의 주요 특징과 유사하며, 이 두 단층핵 노두가 양산단층대의 북부 연장 분절에 해당될 가능성이 높다. 이상을 종합하면, 영해면 성내리 지점까지 연장되던 양산단층대의 북부 연장 또는 그 분절들의 일부가 영해분지 동편을 통과하며 울진군 후포면 후포리 지점까지 연장될 가능성이 높은 것으로 보인다. 또한 이 단층대의 북부 연장분절은 영해분지 서편의 경계단층들과 더불어 한반도 남동부의 중기 마이오세 지각변형 과정동안 정단층으로 운동하였으며, 이와 같이 형성된 일련의 정향 및 반향단층계가 영해분지의 확장을 주도한 것으로 해석된다.

구두 5-1

Freeze-induced Mn(II) precipitation in solutions containing dissolved carbonates

Younghoon Won*, Jisu Lee, Giehyeon Lee

Department of Earth system sciences, Yonsei University, pocksusu@gmail.com

Mn(II) carbonate minerals play a crucial role in manganese geochemistry by controlling Mn(II) mobility and in the carbon cycle by trapping CO₂ through mineralization. Although numerous studies have been conducted on Mn(II) precipitation under a wide range of aqueous conditions, their behaviors in the cryosphere remain poorly understood. It has been proposed that solutes could be concentrated in liquid-like layers during the freezing of water. This process would likely raise the degree of saturation of minerals in the layers, which may induce mineral precipitation. This study examined how freezing affects solid precipitation with solutions containing dissolved Mn(II) and carbonates under freezing conditions.

Batch experiments were performed by freezing solutions containing varying concentrations dissolved Mn(II) (1-50 μM) in the presence of dissolved carbonates at -20°C. The carbonate concentrations were adjusted to 1-5 mM with NaHCO₃ or the atmospheric CO₂ by purging air into the solution containing a predetermined amount of 2.2-3.3 mM NaOH. The solution pH was controlled at 8.2-8.5 by the concentration of NaHCO₃ or the atmospheric CO₂. Our preliminary results showed that the removal of dissolved Mn was enhanced upon freezing under all experimental conditions. The degree of enhancement increased with increasing the initial saturation state of the solution with respect to rhodochrosite (MnCO₃). XRD and Mn K-edge XANES results of the solid products indicated that rhodochrosite was the most prominent phase formed through the cryogenic Mn(II) precipitation.

구두 5-2

다양한 동결조건 내 용존 Mn(II) 산화 및 망간산화물 형성 연구 Mn(II) oxidation and the formation of Mn (oxyhydr)oxides under various freezing conditions

이지수*, 원영훈, 이기현

Jisu Lee*, Younghoon Won, Giehyeon Lee

연세대학교 지구시스템과학과, jisulee0420@gmail.com

망간(수)산화물(Mn (oxyhydr)oxides, 이하 망간산화물)은 자연환경에서 광범위한 생지화학적 반응에 참여하여 여러 유기 및 무기 물질들의 물리화학적 거동에 영향을 미치는 중요한 역할을 한다. 따라서 망간산화물의 형성경로에 대한 연구가 다양한 자연수 조건에서 활발히 수행되어 왔으나, 용존 Mn(II)의 균질산화(homogeneous oxidation)반응의 경우, 일반적인 자연수 pH 조건에서 고체표면 또는 미생물에 의해 촉진된 반응에 비해 현저히 느린 반응속도를 보임에 따라 이로 인한 망간의 지화학적 거동변화 및 망간산화물 형성이 미미할 것으로 여겨져 왔다. 하지만 최근 얼음화학분야의 연구에 따르면 수용액의 동결 시 얼음결정 사이에 용질이 농축되는 '동결농축효과(freeze-concentration effect)'에 의해 화학반응의 속도가 현저히 증가할 수 있는 것으로 보고되었다. 본 연구에서는 온도 및 초기 Mn(II) 농도가 다양한 동결조건에서 동결농축효과가 Mn(II) 균질산화반응 및 망간산화물 형성에 미치는 영향을 조사함으로써 빙권환경 내 일반적인 지표환경과 구분되는 독특한 Mn(II) 산화과정 및 망간산화물 형성경로가 존재할 가능성을 확인하고자 하였다.

동결산화실험은 대기 중의 산소와 평형을 이루고 있는 pH 8.5의 50 mM CHES 수용액을 이용하였으며, 동결온도(-5, -15, -20 및 -30°C)와 초기 용존 Mn(II) 농도(5, 10, 50 및 100 μ M)를 조절한 다양한 동결조건에서 시간에 따른 총 용존 Mn의 농도변화를 관찰하였다. 또한, 초기 Mn(II) 농도가 1 mM인 동결조건(-5 또는 -20°C)과 상온에서 얻어진 고체생성물에 대하여 XRD, TEM, XAFS 및 망간산화수 분석을 수행하였다. 실험결과, 주어진 모든 동결실험조건에서 Mn(II)의 균질산화반응이 상온보다 빠르게 나타났으며, 동결온도가 높을수록 반응속도가 증가하는 경향을 보였다. 반응을 통해 형성된 망간산화물의 경우, 상온에서는 hausmannite (Mn_3O_4)가 우세한 것으로 나타났으나, 동결조건에서는 feitknechtite (β -MnOOH)를 비롯한 여러 망간산화물들이 혼합물로 존재하였다. 이러한 연구결과는 저온에서도 활발한 Mn(II) 산화반응으로 인해 망간의 존재형태 및 분포가 크게 변화할 가능성을 제시하며, 얼음의 지화학적 역할에 관한 새로운 시사점과 중요한 기초자료를 제공함으로써 빙권환경의 다양한 지구화학적 원소순환 연구에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

구두 5-3

Sea salt species in firn cores drilled at Styx Glacier, Northern Victoria Land, Antarctica, as a proxy for past variability in large-scale atmospheric circulation

Seokhyun Ro^{1,2,*}, Sang-Bum Hong², Yeongcheol Han², Soon Do Hur², Heejin Hwang², Chaewon Chang², Jangil Moon², Songyi Kim^{2,3}, Ah-Hyung Lee^{1,2}, Sanghee Lee¹, Youngkyu Ahn^{1,2}, Sungmin Hong^{1,2}

¹Department of Ocean Sciences, Inha University, xenonist@naver.com

²Division of Paleo Environment Sciences, Korea Polar Research Institute

³Department of Science Education, Ewha Womans University

Atmospheric circulation patterns such as Amundsen Sea Low (ASL) play a pivotal role in climate system of the Antarctic and thereby global climate system. To understand and reconstruct past variations of such atmospheric patterns, changes in chemical compositions from sea salt and biogenic aerosols in Antarctic snow and ice cores have been generally utilized. In this study, we investigated the potential of variations in sea salt species and biogenic sulfur in firn/ice cores from Styx Glacier, northern Victoria Land, East Antarctica, as proxy records for reconstructing atmospheric circulation in the Southern Hemisphere. The sea spray composition presents strong positive correlation with the winter ASL center pressure. When the ASL is deepened, southern and southwestern winds would increase, obstructing arrival of air masses to Styx Glacier from the Ross Sea, which is the plausible origin of the sea salt aerosol. In contrast, the biogenic sulfur is not related to the meteorological condition, but rather linked to spatial changes in the Ross Sea and Terra Nova Bay polynyas. Accordingly, our study suggests that sea spray record of the Styx cores can be used as highly resolved proxy record to reconstruct the past variation in the ASL for a longer period of times.

구두 6-1

백령도-평택-아산 지역 신생대 알칼리 현무암의 맨틀 부화물질 특성과 불균질성

Characteristics and heterogeneity of the enriched mantle materials for the Cenozoic alkali basalts from Baengnyeong, Pyeongtaek and Asan in the Korean Peninsula

김선규^{1,*}, 최성희^{1,2}Seongyu Kim^{1,*}, Sung Hi Choi^{1,2}¹충남대학교 우주지질학과, sgjackal95@daum.net²충남대학교 지질환경과학과

신생대 후기에 분출한 판내부 현무암들은 동아시아 지역에 광범위하게 분포하고 있으며 한반도 내에서는 백령도, 평택, 아산 지역을 비롯해 백두산, 전곡, 고성, 울릉도, 독도, 포항, 제주도 등지에서 산출되고 있다. 주원소, 미량원소, Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소를 활용한 선행연구들은 이 현무암들이 해양도현무암(Oceanic Island Basalt)과 같은 특징을 보이며, 함께 산출되는 맨틀 포획암과 현무암이 갖는 동위원소 조성의 차이는 이들이 연약권 맨틀에서 기원한 것을 의미한다고 보고된 바 있다. 한반도를 포함하여 동아시아 지역의 판내부 현무암들은 공간적인 관점에서 북부에서 남부로 갈수록 맨틀 도메인이 DMM-EM1 (Depleted MORB Mantle - Enriched Mantle Type 1)에서 DMM-EM2 (Depleted MORB Mantle - Enriched Mantle Type 2)로 변화하는 특징을 나타낸다. 백령도, 평택, 아산의 현무암들은 한반도에서 비교적 북부에 위치하여 DMM-EM1의 혼합 조성을 가진다는 공통점이 있으나 더 상세한 비교를 위하여 이들의 지구화학 성분과 동위원소 조성을 분석하였다. 연구지역 현무암들은 모두 판내부 알칼리 현무암류에 해당되며 평택 현무암은 바사나이트(Basanite), 아산 현무암은 조면현무암으로 분류되고, 백령도 현무암에서는 두 암상이 모두 관찰된다. 본 연구에서 Sr-Nd-Pb 동위원소 조성을 분석한 결과, 연구지역 현무암들은 DMM-EM1의 맨틀 도메인이 혼합된 경향을 가지고 있다. 그러나 백령도의 바사나이트는 조면현무암에 비해 MORB 성분과 훨씬 유사한 동위원소 성분을 가지고 있다. 아울러 백령도 바사나이트 - 백령도 조면현무암 - 아산 조면현무암으로 갈수록 EM1 성분으로 부화되며, 평택 바사나이트는 조면현무암들 사이의 동위원소 조성을 갖는다. 원시 맨틀로 표준화한 미량원소 분포도에서 조면현무암이 갖는 K, Sr, Pb에서의 양(+)의 이상과 부화된 동위원소 조성은 백두산/전곡 현무암의 성질과 유사하며, 이는 K-hollandite를 함유한 섭입된 원양성 퇴적물이 근원물질에 포함된 영향인 것으로 판단된다. 한편 바사나이트는 조면현무암과 달리 퇴적물로서 탄산염성분이 우세한 특징이 관찰될 뿐 아니라 카보나타이트(Carbonatite)의 특징적인 미량원소 패턴인 K, Zr, Hf, Ti에서 부(-)의 이상을 나타내는데 이는 바사나이트의 맨틀 근원물질이 카보나타이트에 의한 탄산염 변성교대작용을 받았음을 지시한다. 모든 현무암 시료에서 감람석 반정이 갖는 높은 Ni, 낮은 Ca 함량은 맨틀 근원물질 내에서 휘석암 또는 에클로자이트와 같은 섭입된 지각물질의 영향을 지시하나 다만 그들의 규산염 성분이 바사나이트에서 결핍된 것으로 관찰된다. 희토류 원소의 분배계수를 활용하여 각 현무암의 맨틀 근원물질을 배치 용융(batch melting) 모델링 한 결과 백령도 바사나이트는 탄산염 교대작용을 받은 석류석 페리도타이트와 에클로자이트의 혼합성분에서 기인하였으며, 평택 바사나이트와 조면현무암들은 에클로자이트의 영향을 더욱 많이 받은 것으로 확인된다. 위 관찰사실을 종합하였을 때 연구지역 현무암들은 서로 다른 맨틀 근원물질로부터 기원하였으며, 섭입된 탄산염, 원양퇴적물, 에클로자이트가 부화물질로서 영향을 준 것으로 판단된다.

구두 6-2

경기육괴 서남부 가로림만 일대에 분포하는 후기 고원생대 (~1.7 Ga) 화강편마암 및 아나텍틱(anatectic) 화강암의 성인 Petrogenesis of late Paleoproterozoic (~1.7 Ga) granitic gneisses and anatectic granites at Garorim Bay, southwestern Gyeonggi massif

김지인^{1,*}, 최성희^{1,2}
Ji-In Kim^{1,*}, Sung Hi Choi^{1,2}

¹충남대학교 우주지질학과, chois@cnu.ac.kr

²충남대학교 지질환경과학과

경기육괴 서남부 지역에서 관찰되는 지질학적 특징들 중 한 가지는 쇄설성 저어콘 연대분포도에서 약 17억년의 연대 피크가 나타난다는 것이다. 이 연대는 경기육괴 기반암에서 흔히 관찰되지 않으며, 현재까지 해당 연대의 화성암체에 대한 암석학 및 지구화학적 연구는 보고된 바가 없다. 우리는 이번 연구에서 경기육괴 서남부 가로림만 일대의 화강편마암과 아나텍틱(anatectic) 화강암에 대해 저어콘의 U-Pb 연대 및 Hf 동위원소 분석, 전암의 주/부성분 및 Sr-Nd-Pb 동위원소 분석을 수행하였다. 저어콘 U-Pb 연대측정 결과 2개의 화강편마암(1685 ± 14 Ma, 1693 ± 8 Ma)과 3개의 화강암(1683 ± 18 Ma, 1690 ± 6 Ma, 1706 ± 17 Ma)에서, 오차범위 내 일치하는 약 17억년의 가중평균 및 상부교차점 연대를 얻었다. 화강편마암을 제외한 화강암 시료들에서는 초-중기 트라이아스기의 연대들도 확인된다. 이러한 분석결과는 약 17억년 이전에 형성된 화성암체의 일부가 초-중기 트라이아스기에 아나텍시스(anatexis) 작용을 겪어 현재의 화강암이 되었을 가능성을 시사한다. 모든 시료들은 TAS 분류도에서 비알칼리 화강암으로 분류되며, 쇼쇼나이트(shoshonite) 또는 고-칼륨(high-K) 계열에 속하고, 고알루미나질(peraluminous)의 특징을 보인다. 초기 맨틀 값으로 표준화한 미량 원소 함량 분포도에서 연구시료들은 LILE (Large Ion Lithophile Element)의 부화와 Nb, Ta, P, Ti 원소의 부의 이상(negative anomaly)을 보이며 모두 비슷한 패턴을 가진다. 화강편마암과 화강암이 유사한 원소분포 패턴을 보이는 것은 이들의 성인적 연관성을 지시한다. 그러나 화강암 시료들은 화강편마암에 비해 Th, La, Ce, Zr 등 일부 원소가 결핍되어 있는데, 이는 아나텍시스 과정 동안 모나자이트와 저어콘 같은 부수광물들이 근원물질에서 용융되지 않고 잔류되어 있었음을 나타내는 결과로 해석된다. 모든 시료들은 A-type 화강암에 해당하는 높은 (K₂O+Na₂O)/CaO, K₂O/MgO, Ga/Al 비와 HFSE 함량을 가진다. 그러나 전형적인 비조산성(anorogenic) A1-type 화강암류와 비교해, 연구시료들은 상대적으로 높은 Yb/Ta, Y/Nb, Rb/Nb 비를 보이며 후조산/후충돌성(post-orogenic/post-collisional) A2-type 화강암류로 분류된다. 이는 Rb-(Y+Nb) 지구조 판별도에서 모든 시료가 충돌후기(post-collision) 기원 화강암 영역에 도시되는 것과 일치하는 결과로, 콜롬비아/누나 초대륙의 생성 및 분열이 있었다고 알려진 시기(약 20억-18억년 전) 이후 연구지역이 후충돌 환경에 놓여있었음을 지시한다. 약 17.5-16.5억년의 연대를 가지는 후충돌 기원의 A2-type 화강암류는 북중국지괴에서 광범위하게 보고되고 있으며 남중국지괴에서도 일부 관찰된다. 화강편마암에서 나타나는 Nb-Ta의 결핍[(Nb/La)_N = 0.08-0.14, (Ta/La)_N = 0.14-0.17]은 북중국[(Nb/La)_N = 0.02-1.2, (Ta/La)_N = 0.03-0.9]에 대비되며 주로 Nb-Ta이 부화되어있는 남중국[(Nb/La)_N = 0.7-21.9, (Ta/La)_N = 0.8-28.8]의 경우와 차이가 있다. 아울러 화강편마암 및 화강암 저어콘의 낮은 ε_{Hf}(t) 값(-9.6 ~ -13.1)은 북중국의 ε_{Hf}(t) 값(-5.0 ~ -9.2)과 유사하며, 상대적으로 높은 남중국의 ε_{Hf}(t) 값(+4.7 ~ -4.8)과는 상이하다. 요약하면, 약 17억년 이전 연구지역에서는 후충돌 환경의 화성활동이 발생했으며, 이 때 형성된 화강암체들은 동시기 형성된 북중국의 화강암류와 유사한 지구화학적 특징을 가진다. 이후 초-중기 트라이아스기에 발생한 아나텍시스 과정을 겪은 일부 화강암체는 현재의 아나텍시스 화강암이 된 것으로 해석된다.

구두 6-3

산소동위원소를 이용한 남극 북빅토리아랜드 플레이아데스 화산암 연구

Insights into the magmatic evolution of the volcanic rocks of The Pleiades in Northern Victoria Land, Antarctica from oxygen isotope analysis

김낙규^{1,*}, 이미정², 이종익², 김지혁³

Nak Kyu Kim^{1,*}, Mi Jung Lee², Jong Ik Lee², Jihyuk Kim³

¹극지연구소 K-루트 사업팀, kimnk@kopri.re.kr

²극지연구소 극지지구시스템연구부

³서울대학교 지구환경과학부

플레이아데스 화산암체는 남극 북빅토리아랜드에서 산출되는 신생대 알칼리 화산암으로써 포타슘 분화 계열과 소듐 분화 계열로 나누어지는 특징을 보여준다. 이러한 마그마 진화과정은 암석권 맨틀에서 기원한 초기 마그마와 주변 맨틀암과의 상호반응 정도 차이로 설명된다. 본 연구에서는 두 마그마 분별 경향과 플레이아데스 화산암의 성인에 관한 더 깊은 이해를 위해 화산암에서 분리한 반정(감람석, 단사회석, 사장석)의 산소동위원소를 분석하였다. 일반적으로 화산암의 모마그마는 맨틀의 부분용융으로 형성되며 상승하는 동안 분별정출작용을 겪으면서 산소동위원소 성분 변화를 동반하게 된다. 고온에서 우선적으로 정출하는 감람석의 산소동위원소($\delta^{18}\text{O}_{\text{OL}}$)는 모마그마의 성분을 유추하는 지시자로 활용할 수 있다. 분석된 시료 중 고철질 소듐 계열의 $\delta^{18}\text{O}_{\text{OL}}$ 은 4.81-4.96%이며, 이는 고철질 포타슘 계열의 산소동위원소 값($\delta^{18}\text{O}_{\text{OL}} = 5.22\%$)보다 뚜렷하게 낮은 값을 나타낸다. 고철질 소듐 계열의 $\delta^{18}\text{O}_{\text{OL}}$ 은 중앙해령 현무암($5.16 \pm 0.10\%$)과 해양도 현무암(EM1: $5.21 \pm 0.09\%$, EM2: $5.61 \pm 0.21\%$, HIMU: $5.03 \pm 0.11\%$)의 $\delta^{18}\text{O}_{\text{OL}}$ 에 비해서도 낮은 범위를 가지며, 이러한 결과는 변질교대작용을 받은 암석권맨틀의 부분용융이 일어날 때 산소동위원소 값이 낮은 각섬석이 함께 용융하여 일어난 것으로 해석된다. 고철질 포타슘 계열은 비슷한 암석권 맨틀의 부분용융 후 주변 맨틀암과의 많은 반응으로 인해 일반적인 고철질 현무암과 비슷한 산소동위원소 성분을 가지게 된 것으로 생각할 수 있다. 그리고 포타슘 계열의 중성질 암석은 고철질 암석과 비교하면 매우 넓은 범위의 $\delta^{18}\text{O}_{\text{OL}}$ 를 가지며(4.21-5.30%), 다소 부화된 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비(0.703717-0.704027)를 나타낸다. 그중 상당히 낮은 산소동위원소 값($\delta^{18}\text{O}_{\text{OL}} = 4.21 \text{ \& } 4.46\%$)은 분별정출과정에 의한 결과로 해석할 수 없으며, 이는 지각 하부에 배태된 낮은 $\delta^{18}\text{O}$ 물질이 마그마 분화과정에서 관여하였을 가능성을 지시한다. 동화작용 및 분별정출작용(assimilation and fractional crystallization) 모델링을 통해 낮은 $\delta^{18}\text{O}$ 를 가진 에클로자이트와 높은 $\delta^{18}\text{O}$ 를 가진 백립암이 중성질 암석의 동위원소 성분의 다양성을 초래한 것으로 보여진다. 특히 낮은 산소동위원소 비를 갖는 물질은 남극 로스 조산운동 시기에 고태평양판의 섭입을 통해 지각 하부로 유입되었을 것으로 생각된다.

구두 6-4

고압에서 단순전단변형된 남섬석과 녹렴석의 변형미구조 및 격자선호방향에 대한 실험 연구

Experimental study on deformation microstructures and lattice preferred orientations of glaucophane and epidote deformed in simple shear at high pressure

박 용*, 정세진, 정해명

Yong Park*, Sejin Jung, Haemyeong Jung

서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리학연구소, dark2444@snu.ac.kr

접입하는 판의 상부를 구성하는 광물들의 변형미구조(deformation microstructure)와 격자선호방향(lattice preferred orientation, LPO)을 이해하기 위하여, 이탈리아 볼트리(voltri) 지역에서 산출된 녹렴석 청색편암을 대상으로 단순전단변형실험을 진행하였다. 실험은 서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리학연구소에 설치된 고압고온 암석변형 실험기기를 사용하여, 녹렴석 청색편암의 온도-압력 안정영역 내에서($P=0.9-1.5$ GPa, $T=400-500^{\circ}\text{C}$), 전단변형(γ)과 전단변형률($\dot{\gamma}$)이 각각 $\gamma=0.4-4.5$, $\dot{\gamma}=1.5 \times 10^{-5}-1.8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 인 조건으로 수행되었다.

실험 후 전자후방산란회절(EBSD) 기법을 이용하여 암석의 대표 구성광물인 남섬석(glaucophane)과 녹렴석(epidote)의 LPO를 측정된 결과, 전단변형 값이 작은 경우($\gamma \leq 1$) 변형된 남섬석의 LPO는 (010) 결정면의 극(pole)이 전단면에 거의 수직하게 배열되고, [001] 결정축이 전단방향에 아평행한 방향으로 배열되는 양상을 보여주었다(type-1). 반면 전단변형 값이 큰 경우($\gamma > 2$), 남섬석의 [100] 결정축이 전단면에 거의 수직하게 배열되고, [001] 결정축이 전단방향에 아평행한 방향으로 배열되는 양상을 보여주었다(type-2). 고분해능투과전자현미경(HR-TEM)으로 시료를 관찰한 결과, 전단변형 값이 작은 경우($\gamma \leq 1$) 남섬석에서 관찰되는 많은 전위(dislocation)구조들은 남섬석의 type-1 LPO 형성에 있어 결정 내 전위크리프(dislocation creep)가 주요 메커니즘으로 작용하였음을 시사한다. 반면 전단변형 값이 큰 경우($\gamma > 2$) 남섬석에서 관찰되는 많은 전위구조들과 격자 뒤틀림 구조, 그리고 FE-SEM으로 관찰되는 남섬석의 파쇄유동(cataclastic flow)구조들은 남섬석의 type-2 LPO 형성에 있어 결정 내 전위크리프와 동시에 파쇄유동이 함께 주요 메커니즘으로 작용하였음을 시사한다.

한편 변형된 녹렴석은 전단변형 값이 작은 경우($\gamma < 2$) LPO가 약하게 형성되었고, $\gamma > 2$ 일 때부터 LPO가 잘 발달하는 양상을 보여주었다. 전단변형 값이 $2 < \gamma < 4$ 일 때에는 녹렴석의 [100] 결정축이 전단면에 거의 수직인 방향으로 배열되고, (010) 결정면의 극(pole)이 전단방향에 아평행한 방향으로 배열되는 양상을 보여주었다(type-1). 전단변형 값이 $\gamma = 4.5$ 일 때에는 (010) 결정면이 전단면에 거의 평행하게 배열되고, [001] 결정축이 전단방향에 아평행한 방향으로 배열되는 양상을 보여주었다(type-2). 전단변형 값이 $2 < \gamma < 4$ 인 녹렴석에서 HR-TEM으로 관찰되는 많은 전위구조, 아결정 경계(subgrain boundary), 변형 쌍정(deformation twin)들은 녹렴석의 type-1 LPO 형성에 있어 결정 내 전위크리프가 주요 메커니즘으로 작용하였음을 시사한다. 반면 전단변형 값이 $\gamma > 4$ 일 때 HR-TEM으로 관찰되는 수십 나노미터 크기의 결정들에 둘러싸여 있으면서 변형쌍정이 보존된 상대적으로 큰 녹렴석 결정과 FE-SEM으로 관찰되는 파쇄유동구조들은 녹렴석의 type-2 LPO 형성에 있어 파쇄유동에 의한 강체 회전(rigid body rotation)이 주요 메커니즘으로 작용하였음을 시사한다. 이러한 결과들은 전단변형 값의 크기와 구성 광물들의 유변학적 대비(rheological contrast)가 남섬석과 녹렴석의 LPO 형성에 주요한 역할을 할 수 있음을 보여준다.

구두 6-5

초고압 활석 편암 내부 광물들의 격자선호방향이 섭입대에서 지진파 P파 비등방성에 미치는 영향

Lattice preferred orientation of composite minerals in ultrahigh-pressure talc schist and implications for P-wave seismic anisotropy

이정진^{1,*}, 정해명¹, Reiner Klemd², Matthew Tarling³, Dmitry Konopelko⁴

Jungjin Lee^{1,*}, Haemyeong Jung¹, Reiner Klemd², Matthew Tarling³, Dmitry Konopelko⁴

¹서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리학 연구실, ljj2718@snu.ac.kr

²Geo-Center of Northern Bavaria, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nürnberg

³Geology Department, University of Otago

⁴Department of Regional Geology, St. Petersburg State University

지진파 비등방성은 섭입대에서 매우 강하게 관찰되고 있으며, 감람석과 함수광물들의 격자선호방향 (lattice preferred orientation; LPO)이 이에 큰 영향을 준다고 알려져 있다. 활석은 섭입대에 존재하는 대표적인 함수광물이며, 탄성적으로 비등방성이 매우 강하다. 이번 연구는 다결정질 활석의 격자선호방향과 이것이 지진파 비등방성에 어떠한 영향을 주는지 알아보았다. 키르기스스탄-카자흐스탄의 초고압 막발 복합체에서 산출되는 석류석-경록니석-활석 편암 샘플과, 영국 스코틀랜드 언스트 섬의 발라 블록에서 산출되는 활석 편암을 분석에 사용하였다. 활석 편암 샘플들은 엽리와 선구조가 뚜렷하게 관찰되었고 SEM/EBSD를 이용하여 다결정질 활석의 격자선호방향을 측정하였다. 그 결과 활석의 [001]축이 엽리에 거의 수직하게 강한 배열을 나타내었고, 활석의 [100]축과 (010)면은 엽리에 거의 평행한 거들형태의 배열을 나타내었다. 활석의 격자선호방향을 이용하여 구한 지진파 비등방성 결과는, 다결정질 활석이 매우 높은 P파 방위 비등방성(azimuthal anisotropy)을 나타냄을 보여주었다($AV_p = 69\%$). 또한 활석의 [001]축이 지표면에 대해 고각으로 기울어졌을 때(섭입각이 60° 이상), 활석의 P파 방사 비등방성(radial anisotropy)은 음의 값으로(negative radial anisotropy) 나타남을 알 수 있었다. 이는 실제로 류큐 섭입대와 알프스 섭입대 등 고각의 섭입대에서 음의 P파 방사 비등방성이 나타나는 현상과 일치했다. 한편 활석의 격자선호방향으로 인한 S파 편파방향은 해구와 평행한 것으로 나타났다. 결론적으로 다결정질 활석이 변형을 받아 나타내는 강한 격자선호방향과 이로 인한 지진파 비등방성은, 섭입대에서 나타나는 강한 P파 비등방성과 해구-평행한 S파 비등방성에 영향을 줄 수 있음이 밝혀졌다(Lee *et al.*, 2020, EPSL).

Lee, J. *et al.*, 2020, Lattice preferred orientation of talc and implications for seismic anisotropy in subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 537, 116178.

구두 6-6

청송 구과상 유문암에 대한 암석학적 연구: 구과의 형성원리**Petrological study on the Cheongsong spherulitic rhyolites :
The formation of the spherulites**

김우열*, 장윤득

Woo Yeal Kim*, Yun-Deuk Jang

경북대학교 지질학과, ta00227@knu.ac.kr

구과는 구형의 광물집합체이다. 구과상 암석은 눈에 띄는 구과상 조직을 가지고 있으며, 여러 암석학자들이 구과에 대해 연구했다. 현재까지 보고된 구과의 형성메커니즘은 총 4가지다; 1) 마그마 불응분리, 2) 대비되는 조성의 마그마 혼합, 3) 탈유리화, 4) 큰 과냉각. 청송 구과상 유문암은 세계지질유산에 등재된바 있다. 하지만 청송 구과에 대한 형성메커니즘에 대한 기존연구의 결과와 근거는 미흡하다. 이번 연구는 청송 구과상 유문암의 암석학적 증거를 통해, 구과의 형성메커니즘에 대해 알아보고 이에 대해 논의한다. 청송 갈평지 일대에는 백악기 퇴적암류와 화산암류가 분포하며, 제 3기 유문암질 관입암류가 이들을 관입한다. 유문암질 관입암류는 중태산 병반, 갈평지 암주, 청송 구과상 유문암맥으로 구성된다. 청송 구과상 유문암맥은 갈평지 암주로 향하는 배향을 가진다. 이번 연구에서 26매의 청송 구과상 유문암맥이 발견되었다. 암맥들은 색상을 기준으로 청색, 노란색 유형으로 분류될 수 있다. 청송 구과상 유문암맥은 유문조직, 구과, 석영, 장석 결정을 가진다. 청송 구과는 암맥 연변부에서 관찰되지 않으며, 암맥 중심으로 갈수록 그 크기가 커진다. 청송 구과는 유문조직을 변형시킨다. EPMA 분석결과, 청송 구과는 알칼리장석과 석영의 연정으로 구성되며, 알칼리장석의 부분결정으로 인한 진화경향을 보여준다. 청송구과는 기질과 유사한 화학성분을 가져, 마그마 불응분리와 마그마 혼합과는 관련이 없는 것으로 보인다. 구과형태변화와 구과에 의해 변형된 유문조직은 탈유리보다는 과냉각과 관련있다. 청색 구과는 245-295°C, 노란색 구과는 200°C의 과냉각에 의해 형성된 것으로 추정된다.

구두 6-7

경기육괴 북동부 구룡층군에 분포하는 각섬암의 산출상태

Occurrence of amphibolite from Guryoung group, northeastern Gyeonggi Massif

박병준*, 김형수

Byeongjun Park*, Hyeongsso Kim

고려대학교 지구환경과학과, joon7268@korea.ac.kr

경기육괴 북동부 강원도 홍천군 내면 일대에 분포하는 구룡층군은 경기육괴의 기저를 이루는 편마암류와는 관계미상으로 나타난 각섬암, 결정질 석회암, 규암 등을 포함하는 변성퇴적암류이다. 최근 구룡층군 흑운모 편암에 대한 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 측정 결과, 구룡층군이 트라이아스기의 변성작용을 받은 고생대 중기 지층으로 확인되었다. 본 연구의 목적은 구룡층군에 발달한 각섬암의 변성암석학적 연구를 통해 경기육괴 북동부의 지역의 변성작용사를 파악함에 있다. 노두에서 나타나는 각섬암은 크게 석류석 반상변정을 포함하고 있는 것과 그렇지 않은 것으로 나눌 수 있는데, 이 둘의 공간적 분포는 뚜렷한 차이를 나타내지 않는다. 각섬암은 대개 흑운모 호상 편마암, 석회규산염암, 대리암, 규암과 조화적이고 뚜렷한 경계를 보이며 층(layer) 형태로 나타나고 일부 각섬암은 이들 암석 내에서 부딘 구조를 보인다. 또한, 각섬암과 그 주위 암석은 규장질 암석에 의해 관입당한 구조가 자주 관찰된다. 흑운모 호상 편마암과 더불어 각섬암은 습곡구조가 발달하였고 그 습곡축이 대략 040°/25°에 위치한다. 편광현미경 관찰 결과, 각섬암은 각섬석+사장석±석류석+석영+자류철석의 광물조합으로 나타낼 수 있으며 이는 변성상에서 중에서도 각섬암상에 해당한다. 이 외에 부수적인 광물로는 흑운모, 녹렴석, 녹니석, 방해석, 티타나이트가 관찰된다. 석류석 반상변정은 각섬석, 사장석, 석영으로 이루어진 외부 엽리로 둘러싸여 있으며 반상변정 주위에 외부엽리의 굴절과 석영의 압력 음영대(pressure shadow)가 잘 나타나 있어 조구조활동 이전 또는 당시에 만들어진 반상변정으로 생각된다. 또한, 석류석 반상변정은 내부에 녹렴석, 각섬석, 사장석, 석영을 내부 포획물로 가지고 있고 이러한 내부 포획물들은 길쭉하게 신장되어 있어 일정한 내부엽리를 형성하고 있다. 반상변정 주위에는 석류석이 후퇴변성작용을 겪게 됨에 따라 각섬석과 사장석으로 교대되는 심플렉타이트 조직이 잘 관찰되고 있으며 외부 엽리를 구성하는 각섬석은 흑운모와 녹니석으로 교대된 특징을 보여준다. 이러한 결과들은 연구지역이 과거 중압의 광역변성작용 이후에 빠른 응기가 나타났음을 시사한다.

구두 6-8

변형정도에 따른 녹니석의 격자선호방향 변화와 지진파 비등방성에의 영향

Strain-induced lattice preferred orientations of chlorite and implications for seismic anisotropy

김도현*, 정해명, 이정진

Dohyun Kim*, Haemyeong Jung, Jungjin Lee

서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리학연구실, jet0330@gmail.com

해구에 평행하거나 수직한 방향의 빠른 S파 지진파 비등방성은 섭입대의 전호, 배호 분지에서 각각 관찰되고 있다. 그러나 이러한 지진파 비등방성의 생성 원리는 아직까지 명확하게 밝혀져 있지 않다. 탄성적 비등방성을 지닌 녹니석의 격자선호방향(LPO)이 섭입대 지진파 비등방성의 원인으로 제안되었으나, 서로 다른 지진파 비등방성을 발생시키는 두 종류의 녹니석 격자선호방향이 자연샘플에서 보고되어왔다. 녹니석의 격자선호방향이 서로 다른 두 종류로 발달하는 메커니즘은 아직까지 밝혀지지 않아 개량형 고온고압 실험기기를 사용하여 540-720°C의 온도, 0.5-2.5 GPa의 압력, $2.7-9.7 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 의 변형률 조건에서 녹니석 감람암의 단순 전단 변형실험을 수행하였다. 변형의 크기에 따라 녹니석 격자선호방향이 서로 다른 두 가지 모습으로 발달됨이 확인되었다. 전단변형이 작을 때($\gamma \leq 3.1 \pm 0.3$) 녹니석의 [001]축은 전단면에 아수직한 한 방향으로 집중되는 모습을 보여주었다(type-1). 반면 전단변형이 클 때($\gamma \geq 5.1 \pm 1.5$) 녹니석의 [001]축은 전단방향에 아수직한 방향들로 분산되는 모습을 보여주었다(type-2). 녹니석의 type-1 격자선호방향은 해구에 평행한 지진파 비등방성을 만들어냈고, type-2 격자선호방향은 해구에 수직한 지진파 비등방성을 만들어냈다. 녹니석의 격자선호방향으로 발생하는 S파 속도의 비등방성(AVs)은 최대 48.7%로서, 이것으로 섭입대의 지진파 비등방성이 녹니석의 격자선호방향에 크게 영향받을 수 있음을 밝혀냈다.

Kim, D., Jung, H. and Lee, J. (2020), *Minerals*, 10(6), 503, doi:10.3390/min10060503.

구두 6-9

섭입대의 알바이트가 물 순환과 유체의 염기성도에 미치는 영향

A role for subducted albite in the water cycle and alkalinity of subduction fluids

황길찬¹, 황희정¹, 방윤아¹, 최진혁¹, 박 용², 전태열³, 채복남³, 정해명², 이용재^{1,*}
 Gilchan Hwang¹, Huijeong Hwang¹, Yoonah Bang¹, Jinhyuk Choi¹, Yong Park², Tae-Yeol Jeon³,
 Boknam Chae³, Haemyeong Jung², Yongjae Lee^{1,*}

¹연세대학교 지구시스템과학과, yongjaelee@yonsei.ac.kr

²서울대학교 지구환경과학부

³포항가속기연구소 빔라인부

알바이트는 대륙 및 해양 지각의 주요 구성 광물 중 하나로, 알바이트의 다양한 지표 환경 및 지구 내부 조건에 따른 변화는 지화학적 및 지구물리화학적 현상의 근원을 이해하는데 관련이 있다. 이 연구에서는 알바이트가 물이 상대적으로 많은 차가운 섭입대 조건에 노출되었을 때 90 km 깊이 조건(2.9 GPa 및 290°C)에서 지금까지 알려지지 않은 반응인 물을 포함한 점토광물인 스�멕타이트를 포함한 모가나이트 및 커런덤의 혼합물로 분해를 겪고, 그 후 스�멕타이트는 약 135 km 깊이 조건(4.3 GPa 및 435°C)에서 제이다이트로 전환됨이 관찰되었다. 물을 포함한 스�멕타이트가 형성될 때 전체 시스템에서 유체의 부피는 약 14%, 감소하고, 이후 스�멕타이트가 제이다이트로 전환될 때 전체 시스템에서 유체의 부피는 약 8% 증가하는 변화를 겪으며 섭입대는 암석의 물리적 특성에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 특히, 알바이트에서 스�멕타이트로 전환될 때 약 5 : 4의 몰 비로 수산화기의 방출이 동반되며, 이는 섭입대 유체의 염기성도를 설명하는 새로운 기작으로 제시된다. 이러한 깊이에 따른 순차적 수화 및 탈수 분해 과정은 물을 포함한 차가운 섭입대에서만 일어나는 고유한 현상으로 확인되며, 따라서 시간에 따른 지구 내부로의 물 순환 메커니즘 및 이와 관련된 지구화학적 및 지구물리학적 활동의 이해에 대한 새로운 통찰력을 제공한다.

구두 6-10

제주도 현무암과 맨틀 포획암의 헬륨 동위원소와 감람석 반정 지화학 연구

Helium isotopes and olivine geochemistry of basalts and mantle xenoliths in Jeju Island

김동환^{1,*}, 이현우¹, 이원희¹, 김종욱², 오지혜², Finlay M. Stuart³

Donghwan Kim^{1,*}, Hyunwoo Lee¹, Wonhee Lee¹, Jonguk Kim², Jihye Oh², Finlay M. Stuart³

¹서울대학교 지구환경과학부, ehdghks1126@snu.ac.kr

²한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터

³Scottish Universities Environmental Research Centre

제주도는 유라시아판의 경계부에 위치하고 섭입대로부터 650 km 떨어져 있는 신생대에 형성된 동아시아의 여러 판 내부 화산체 중 하나이다. 지금까지 제주도의 현무암과 맨틀 포획암에 대한 많은 연구들이 있었지만, 제주도를 형성하는 마그마 성인과 관련된 맨틀의 기여에 대한 명확하게 규명되지 않았다. 제주도 마그마를 생성한 맨틀 성분의 기여도를 살펴보기 위하여 대포동, 귀덕리, 신창리에서 획득한 알칼리 현무암과 쉘레아이트질 현무암, 신산리의 스피넬 러졸라이트를 사용하여 헬륨동위원소비($^3\text{He}/^4\text{He}$)와 현무암 내 감람석 반정의 주원소, 부원소와 미량원소를 분석하였다. 현무암 내 감람석 반정과 단사휘석 반정의 헬륨동위원소비는 $3.5\sim 7.3R_A$ ($1R_A$: 대기 중 헬륨 동위원소비)의 범위를 보이며 이는 연약권 맨틀($7\sim 9R_A$)과 하부 맨틀($>10R_A$)보다 낮은 값을 가지고 있다. 제주도 맨틀 포획암의 헬륨동위원소비는 $2.9\sim 6.5R_A$ 의 범위를 나타내며 제주도 현무암과 유사한 범위를 보인다. 제주도 현무암과 맨틀 포획암의 헬륨동위원소비는 한반도의 맨틀 포획암의 값($3.5\sim 7.9R_A$)과 유사하고 전 세계적으로 보고된 맨틀 포획암들의 평균 범위($5\sim 7R_A$)와 비교하였을 때 일부 낮은 헬륨동위원소비를 제외하고 크게 유사성을 보인다. 제주도 현무암 내 감람석 반정의 Mg#은 69.6~79.7의 범위를 보이며 주요원소들의 함량은 Ni: 304~2020 ppm, Mn: 1360~2600 ppm, Ca: 1050~1616 ppm, Cr: 3~236 ppm으로 나타난다. 이러한 주요원소 함량의 다양한 범위는 감람석의 Mg#의 변화에 따라 나타나며 이는 기존 연구들에서 보고된 휘석암 용융물(pyroxenite melt)에서 분별정출된 감람석에서의 값들과 유사한 경향을 보인다. 또한, 현무암의 기원암 구분에 주로 사용되는 감람석 반정의 100Mn/Fe값은 제주도의 경우 0.89~1.27의 범위를 가지며 이는 휘석암(<1.4)이 감람암(>1.4)보다 마그마 생성에 기여도가 크다는 것을 의미한다. 따라서, 본 연구의 결과들은 제주도 마그마 생성에 있어서 암석권 내의 휘석암이 중요하게 관여했음을 제시한다.

구두 6-11

P-T conditions of impure marble and calc-silicate layers in the northwestern margin of the Gyeonggi Massif, Korea

Jeongmin Lee*, Hyeongsu Kim

Earth and environmental sciences, Korea University, leejm@korea.ac.kr

This study focuses on determination of P-T conditions for two alternating layers in the northwestern part of the Gyeonggi Massif, Korea. The impure marble and calc-silicate layers are characterized by mineral assemblages. Representative mineral assemblages of impure marble layer are calcite+diopside+scapolite+plagioclase+K-feldspar+sphene+quartz and Cal+Di+Pl+Kfs+Qtz. The mineral assemblages of Di+Scap+Pl+Kfs+Spn+Qtz, Di+Pl+Kfs+Qtz, and Pl+Kfs+Qtz occur in calc-silicate layer, representatively. The clinzoisite-rich epidote, muscovite and albite-rich plagioclase occur as inclusions of scapolite in the impure marble layer. From the P-T pseudosection ($X_{CO_2}=0.1$), the stable P-T condition of the impure marble layer has 4-9.8 kbar and 540-710°C which is lower than stability area of the calc-silicate layer of 5.5-13 kbar and 550-750°C. The inclusions of scapolite in impure marble layer occur in higher pressure condition of 11.5-18.3 kbar and 620-730°C in the P-T pseudosection ($X_{CO_2}=0.1$). The results of P-T pseudosection indicate that these meta-carbonate layers go through isothermal decompression path. In the T-X pseudosection at 4 kbar pressure, the stable X_{CO_2} range of impure marble layer is from 0.5 to 1.0, however, from 0 to 0.1 for calc-silicate layer. The results of microscopic observation, mineral chemistry and phase modeling suggest that both two layers may go through upper amphibolite facies to lower granulite facies retrograde metamorphism after the higher pressure metamorphic event. The fluid composition change during isothermal decompression path could be the possible process of development of layering.

구두 6-12

태백산 분지 전기 백악기 어평화강암체 내 동시기 쇼쇼나이트질 및 고포타슘 칼크알칼리계열 화강암류의 성인

Petrogenesis of Coeval Shoshonitic and High-K Calc-Alkaline Igneous Suites in the Early Cretaceous Eopyeong Granitoids, Taebaeksan Basin

임성환^{1,*}, 박정우^{1,2}, 김지혁¹, 최선규³, 이미정⁴

Sunghwan Im^{1,*}, Jung-Woo Park^{1,2}, Jihyuk Kim¹, Seon-Gyu Choi³, Mi Jung Lee⁴

¹서울대학교 지구환경과학부, alszbdkf2@snu.ac.kr

²서울대학교 해양연구소

³고려대학교 지구환경과학과

⁴극지연구소 극지지구시스템연구부

전기 백악기의 한반도에서는 압축력에서 인장력으로의 구조 응력 변화와 함께 백악기-제3기 동안 이어진 화성활동이 시작되었다. 태백산 분지에 위치한 전기 백악기 어평화강암체는 쇼쇼나이트질 및 고포타슘 칼크알칼리 계열의 서로 다른 두 화강암류로 구성되어 있다. 본 연구에서는 저어콘 U-Pb 연대측정, 전암 주원소, 미량원소 및 Sr-Nd-Pb 동위원소 분석을 통해 어평화강암체를 형성한 마그마의 진화 과정과 근원암 특성을 조사하였다.

쇼쇼나이트질 계열과 고포타슘 칼크알칼리 계열 화강암류의 저어콘 U-Pb 연대는 각각 110.63 ± 0.52 Ma와 110.65 ± 0.66 Ma로, 두 계열이 동일한 마그마적 사건(magmatic event)에 의해 형성되었음을 지시한다. 쇼쇼나이트질 계열은 마그마 진화 과정에 따라 양휘석+흑운모에서 단사휘석+각섬석+흑운모로 유색 광물 조합이 변화하는 반면, 고포타슘 칼크알칼리 계열은 각섬석+흑운모로 비교적 일정하고 물이 더 풍부한 광물 조합이 관찰된다. 쇼쇼나이트질 계열의 높은 La/Yb 비와 Rb, Ba 및 Eu의 음의 이상 또한 고포타슘 칼크알칼리 계열과 구분되는 특징이다. 광물 지온지압계 및 습도계, 전암 주원소 및 희토류 원소를 이용한 모델링 결과는 두 계열이 각각 서로 다른 물 함량을 가지는 두 모마그마의 분별정출을 통해 진화했음을 보여준다. 각 계열의 낮은 분화도를 보이는 암석들은 MgO, Cr, Ni 등 호정성 원소 함량이 높고 동일 SiO₂ 범위 내에서 지각 용융으로 형성된 펠트보다 높은 Mg#를 가지고 있다. 이는 두 계열의 마그마가 맨틀에서 기원하였음을 지시한다. 두 계열은 또한 비호정성 미량원소의 함량이 높고 부화된 동위원소 조성을 가지고 있으며[(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i = 0.7093-0.7098; εNd(t) = -7.1~-8.8; (²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb)_i = 18.133-18.327; (²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb)_i = 15.621-15.665; (²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb)_i = 38.691-38.862], Nb-Ta의 음의 이상이 나타난다. 호정성 원소와 비호정성 원소가 함께 부화되어 있는 이러한 특성은 동위원소가 부화된 상부지각 퇴적물 기원 물질의 교대작용을 받은, 금운모를 함유하는 암석권 맨틀의 부분용융을 통해 가장 잘 설명된다. 서로 다른 두 마그마 계열이 만들어진 이유는 근원 맨틀이 가지는 다양한 물 함량에 있는 것으로 보인다. 전기 백악기에 일어난 고태평양판의 섭입각 및 섭입 방향의 변화가 지각 신장과 연약권 용승을 유도하였고, 그 결과 암석권 맨틀의 용융점이 낮은 부분이 선별적으로 용융됨에 따라 어평화강암체의 마그마가 만들어졌을 것으로 생각된다. 한반도의 전기 백악기 알칼리계열 고질질 암석들은 소규모로 한반도 전역에 산발적으로 분포하며 백악기 분지와 연관되어 있다. 이들 또한 어평화강암체와 같이 지각 물질과 비슷한 지화학 조성을 보이는 점을 고려하면, 이러한 확장성 환경에서의 부화된 암석권 맨틀 용융 과정이 한반도 남부에 광범위하게 나타났을 것으로 보인다.

구두 7-1

지자체 지진방재 대책을 위한 지질·지반정보구축 정책방안 연구**A study on the Policy Plan of Construction of Geological and Geotechnical Information for Earthquake Hazard Mitigation in the Local Government**임현지^{1,*}, 손 문¹, 이상호², 오상훈², 김진만², 안재훈³, 송철우⁴Hyunjee Lim^{1,*}, Moon Son¹, Sang-Ho Yi², Sang-Hoon Oh², Jinman Kim², Jaehun Ahn³, Cheol Woo Song⁴¹부산대학교 지질환경과학과, lim_hyunjee@pusan.ac.kr²부산대학교 건축공학과³부산대학교 토목공학과⁴부산시청 재난대응과

범국가적 차원에서 지진방재 대책을 위한 연구로서 지진현상과 발생원인 분석, 지진위험성 평가, 국가 내 진성능 향상, 사회 지진회복력 향상을 위한 연구는 지속적으로 추진되고 있다. 국가지진방재통합시스템을 통해 지진 피해를 예측하기 위한 시도는 계속되고 있으나, 가장 기초가 되는 지질·지반정보 구축과 관리에 관한 연구는 초기 단계에 머물러 있다. 이번 연구는 부산광역시를 예로, 방재 대응의 가장 기초적인 단위인 지자체에서의 지질·지반정보 구축을 위한 정책방안을 제시하고자 한다. 중앙기관에서 국토지반정보 통합DB센터를 운영하고 있지만 연구지역 내에서 생성된 지반정보의 분포 현황 파악과 표본수집 결과, 국토지반정보 통합DB센터에 입력되지 않은 많은 자료들이 발주처별(시군구청, 공사·공단, 유관기관 등) 종이 문서로 다량 보관되고 있다. 기생성된 자료들의 디지털화는 지자체의 도시계획, 인력과 예산실정 등에 맞게 계획을 제시하였다. 이후 생성될 지반정보 DB구축은 지자체자체시스템을 개발하기보다는 중앙기관의 시스템을 이용하는 것이 효율적이다. 기생성된 자료를 근거로 하였을 때, 지반조사보고서양식이 통일되지 않아 국토지반정보 통합DB센터 입력 시 수주처의 이중작업이 가해졌기 때문에 생성된 자료보다 입력된 자료의 양이 적다고 판단하였다. 따라서 지반조사보고서의 표준입력양식을 개발을 통하여 시간적 효율성을 확인하였다. 또한 많은 자료의 디지털화를 위해서는 수주처의 굴착행위종료신고 시 정보등록확인서와 같은 구비서류 제출을 위한 조례 및 지침 제정이 요구된다. 일정이상의 정보들의 축적으로 지구통계처리를 통하여 품질검수가 가능하나, 단기적으로는 지반정보의 검증과 지질정보 서비스시스템의 지질도는 축적에 따른 보안사항이 필요하다 판단하였다. 이를 위하여 지질·지반 전문가들의 활용이 요구되므로 지역건축안전센터와 같은 제도적 방안을 제시하였다. 이러한 정책들의 실행으로 양질의 지질·지반 정보가 구축된다면, 각 지자체별 지진방재 대응 수립과 국립재난연구원의 지진재해대응시스템개선 및 재해위험지도 작성의 기초자료로서의 활용 가능 할 것이다.

구두 8-1

Spatial variation and frequency dependence of Lg wave attenuation along the CCSE array, and the impact of site response on Lg Q structure in central California, US

Jeena Yun^{1,*}, YoungHee Kim¹, Robert Clayton²

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, jeena.yun7@gmail.com*

²*Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology*

Lg wave, the most distinguishable wave in crustal high-frequency seismogram, is known to be useful in imaging crustal attenuation structure owing to its sensitivity to change in temperature and/or fluid content. In this study, we aim to estimate spatial variation of Lg wave attenuation and its frequency dependence, and to probe crustal heterogeneity along the Central California Seismic Experiment (CCSE) array in western US. Based on the two-station method, we estimate Lg wave quality factor (Lg Q) centered at four frequencies: 0.75 Hz, 1 Hz, 2 Hz and 3 Hz. In all frequencies, Lg Q values tend to increase from 50-100 at west to 100-250 at east. In addition, we observe three major positive-amplitude peaks: near the San Andreas Fault (SAF; P1), at ~130 km (P2) and at ~270 km east from the SAF (P3).

High Q values at/near P3 can be closely associated with Sierran basement, based on its spatial correlation with high topography. Amplitude variations from P1 to P2 can be related to thick sediments at the Central Valley (CV), since the peak locations match well with the horizontal extension of the basin. The location of P2 correlates well with lowest heat flow along the profile, which implies possible relation between low heat flow and high Lg Q value. In addition, proximity of P1 to the SAF imply that the peak might be the related to the fault zone. Further inspection is required to elucidate the cause of the high Q value at P1.

In order to investigate how site effects can affect the Lg Q structure, we separately constrain relative site responses at each station based on the reverse two-station method. Site amplification (> 1.0) is observed for stations within the sedimentary basin and site de-amplification (< 1.0) is dominant at the edge of the basin. The pattern from site-response-corrected Lg Q structure is somewhat different from the one without the correction. The inconsistency may represent discrete characteristics of shallow and deep crust along the profile.

Acknowledgement: This work was supported by Development of unified 3-D seismic velocity model program (KMI2019-00110) through Korea Meteorological Administration.

구두 8-2

표면파 토모그래피를 사용한 사우디아라비아 인근지역의 S파 맨틀 속도 및 이방성 연구

S-wave mantle velocity and anisotropy around Saudi Arabia using Surface Wave Tomography

김린희^{1,*}, Michael Witek¹, 장성준¹, Martin Mai², Hani Zahran³
Rinhui Kim^{1,*}, Michael Witek¹, Sung-Joon Chang¹, Martin Mai², Hani Zahran³

¹강원대학교 지구물리학과, chahli514@kangwon.ac.kr

²Science and Technology, King Abdullah University

³Saudi Geological Survey

기본모드 및 다중모드 분산곡선을 사용하여 사우디아라비아와 동아프리카 아래의 지각과 상부 맨틀의 S 파 속도 구조와 이방성을 연구하였다. 518개의 관측소에 기록된 규모 5.5 이상, 진앙 거리 40°이내인 204 개 지진자료를 사용하여 레일리파와 러브파의 군속도 분산곡선을 측정하였다. 측정된 분산곡선 자료와 더불어 이전 연구자들에 의한 5번째 다중모드까지의 군속도 및 위상속도 분산곡선을 사용하였다. 지각모델인 CRUST1.0과 1차원 속도 모델인 AK135를 결합하여 3차원 기준모델을 구성하였으며, 3차원 등방성 S파 속도와 방사상 이방성 이상에 대한 역산을 수행하였다. 예비결과는 아라비아 플랫폼 아래 80-100 km에서 고속도 이상을 보여주는 반면에 아라비아 순상지와 홍해 아래 30-150 km 깊이에서 저속도 이상이 관찰된다. 방사상 이방성의 결과는 전반적으로 연구 지역 아래에서 양의 이방성을 보인다. 음의 이방성은 홍해 아래 10-20 km 깊이에서 나타난다.

구두 8-3

난카이 해구 슬로우 슬립 지역에서의 b값 변화 연구

Temporal b-value changes in the slow slip region of Nankai trough

이준형*, 홍태경, 김일구

Junhyung Lee*, Tae-Kyung Hong, Ilgoo Kim

연세대학교 지구시스템과학과, aqualung@yonsei.ac.kr

지진활동은 매질의 특성뿐만 아니라 응력 환경과도 밀접한 관련이 있으므로 응력 환경 변화를 이해하는 것은 지진 재해 경감에 있어 매우 중요하다. 지진 발생 빈도가 높은 판 경계부에서 누적되거나 방출되는 응력 상태의 변화는 규모에 따른 지진 발생 빈도를 나타내는 b값(Gutenberg-Richter magnitude-frequency rate, b value)으로부터 평가할 수 있다. 일본 열도 남부에 위치한 난카이 해구(Nankai trough)는 규모 8.0 이상 대지진이 100~200년 주기로 발생하는 지역으로 지진 재해 위험성이 높은 곳으로 알려져 있다. 본 연구에서는 1981년 이후 난카이 해구의 경계면을 따라 슬로우 슬립(slow slip) 현상이 관측되는 구역에서의 시간에 따른 b값의 변화를 조사한다. 관측 기간 동안 연구 지역에서의 b값은 시간에 따라 변화하며 주로 0.6~1.0 사이로 관측된다. b값은 작은 지진과 큰 지진 사이의 상대적인 발생빈도에 따라 변화한다. b값은 슬로우 슬립이 발생하는 기간 동안 급격하게 증가하고 슬로우 슬립 발생 이후 감소하는 것이 관측된다. 슬로우 슬립이 발생하지 않은 기간 동안에는 b값이 거의 변하지 않는 것이 관측된다. 이러한 b값의 변화는 슬로우 슬립의 발생을 지시하고 슬랩 경계면에서의 응력 변화와 관련이 있다는 것을 지시한다. 특히 난카이 해구 북부 토카이 지역(Tokai region)의 2014년 이후 b값의 지속적인 큰 감소는 지속적인 응력의 누적과 관련이 있으며 지진 발생의 가능성을 시사한다.

구두 8-4

지진 자료의 주파수 특성 분석 및 실시간 지진자료 품질 관리 기술 개발

Analysis of frequency characteristics of seismic data and development of realtime seismic data quality management technology

이혜지*, 신동훈

Hyeji Lee*, Donghoon Sheen

전남대학교 지질환경과학과, hjl4888@gmail.com

최근 5년 동안 기상청에서 운영하는 관측소 현황을 살펴보면 2019년에 운영한 단주기 관측소의 경우 총 27개로 2015년에 비해 4개가 감소하였고, 가속도 관측소는 2019년에는 총 265개로 2015년 보다 120개가 증가하였다. 광대역 관측소는 총 95개로 2015년에 비해 43개가 증가하였다. 이렇게 다수의 지진관측소에 기록된 많은 양의 실시간 지진자료의 품질을 관리하는 것은 어려운 일이다. 이를 위해 앞선 연구에서는 지진조기경보시스템에서 실시간 지진자료의 품질관리를 하고자 2016년부터 2017년까지 광대역 속도계의 파워 스펙트럼 밀도(PSD)를 기반으로 PSD를 정상, 이상, 지진 신호 세 종류로 분류하고 이를 토대로 합성곱 신경망(CNN)을 이용한 자동 분류 기술을 개발한 바가 있다. 본 연구에서는 이를 보완하여 지진계의 종류별로 PSD의 특성을 분석하여 모든 종류의 지진계에 적용할 수 있는 품질 검토 기술을 개발하고자 한다. PSD는 시간 영역의 지진자료를 주파수 영역에서 진폭 스펙트럼 값을 표현한 것으로, 관측소의 배경잡음 특성이나 작동상태를 보여준다. 분석에 사용한 PSD를 살펴보면 1 Hz 이상의 고주파수 대역에서 도서지역과 내륙지역의 관측소, 도심지역과 농촌지역의 관측소 등에 따라 배경 잡음의 편차가 다양한 것을 알 수 있었다. 또한 광대역 관측소의 경우 10초 이상의 주기 대역에서도 배경 잡음 수준을 관측할 수 있는 반면 단주기 관측소와 가속도 관측소의 경우 센서의 특성상 주기 10초 이상에서 신호를 보기 어려우므로 이를 고려하여 공통된 주기에서 PSD를 분류한 자료를 바탕으로 딥러닝 기법 중 하나인 CNN을 이용한 학습모델을 개발하고자 한다. 학습된 모델의 경우 모든 종류의 지진계로부터 얻어진 실시간 지진자료 품질 관리에 활용할 수 있을 것이다.

구두 8-5

시추공 관입 시험과 배경잡음을 이용한 한반도 부지 특성 파악

Site characterization of the Korean Peninsula combining in-situ borehole blow counts and seismic ambient noise

김병우*, 홍태경

Byeongwoo Kim*, Tae-Kyung Hong

연세대학교 지구시스템학과, kbw8280@yonsei.ac.kr

지진동 예측과 건물의 내진 설계를 위해서는 부지 특성의 파악이 중요하다. NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction)와 ASCE (American Society of Civil Engineers)는 부지 특성을 대표하는 값으로 깊이 30 m까지의 전단파 속도 평균(VS30)을 사용한다. 하지만 한반도의 VS30 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 전단파 속도-표준관입시험 N (SPT N)값 상관관계 결정과 한반도의 VS30 지도 구축을 목표로 한다. 관측소의 배경잡음으로부터 수평-수직 스펙트럼의 비율 (H/V 스펙트럼 비)을 계산한다. 지진 관측소 하부의 전단파 속도 구조를 결정하기 위해 H/V 스펙트럼 비를 1차원 등가 선형 방법에 기초한 이론적 현장 증폭과 비교한다. 인접한 시추공의 SPT N값을 사용하여 초기 전단파 속도구조를 결정한다. 격자 탐색 방법을 통해 이론적 현장 증폭과 H/V 스펙트럼 비의 차이가 최소가 되는 최적의 전단파 속도 구조를 결정한다. 도출된 전단파 속도구조와 인접한 시추공의 SPT N값을 비교하여 상관관계를 결정한다. 이 과정을 한반도에서 이용 가능한 모든 광대역 관측소에 적용한다. 20개의 지진 관측소에서 배경잡음을 수집하고 175,619개의 시추공에서 SPT N값을 수집한다. VS30의 수평적 변화는 시추공 데이터에서 변환된 전단파 속도구조를 사용하여 계산된다. 해안 지역의 VS30는 상대적으로 낮은 반면, 내륙 지역의 VS30는 상대적으로 높게 나타난다. VS30 모델은 국내 선행 연구의 현장 측정 결과와 일치하며, 지형 경사를 기반으로 계산된 USGS의 VS30 모델과 높은 상관관계를 보인다. 개발된 VS30 지도는 체계적인 내진 설계와 토양 분류에 유용할 것으로 판단된다.

구두 8-6

순천 연속 지진들의 지진학적 특성 연구

Seismological characteristics of the Suncheon earthquake sequence

곽다현*, 신동훈

Dahyun Kwak*, Donghoon Sheen

전남대학교 지질환경과학과, rjatsk1234@naver.com

지진은 일반적으로 기존에 존재하는 단층면을 따라서 오랜 기간에 걸쳐 축적된 응력이 임계 한도에 도달하면서 발생하는 것으로, 규모가 작은 미소 지진이 꾸준히 발생한다는 것은 지하에 지진을 일으키는 단층이 존재함을 의미한다. 따라서 현재 미소 지진 발생 현황과 특성을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 이 연구에서는 2009년부터 2020년까지의 미소 지진 목록을 이용하여 호남권에서 지진 밀집 발생 지역을 파악해보았다. 그 결과 순천 지역이 총 64회로 해남 지진 다음으로 발생 횟수가 많아 순천을 연구 대상 지역으로 선정하였고, 이 지진들의 지진학적 특성을 알아보려고 한다. 각 지진의 P파와 S파의 도달 시간을 이용하여 진원을 재결정하고, 재결정된 진원들을 이용하여 순천에서의 밀집 지역을 탐색하였다. 총 64회의 지진 중 5회는 파형 부분의 식별에 어려움이 있어 자료가 충분하지 않아 분석에서 제외를 하였다. 5개의 지진을 제외한 총 59회의 지진들 중 순천 시청을 기준으로 서북서쪽 9~11 km 지역에서 34회의 지진이 밀집되어 발생한 것을 확인하였다. 이를 제외한 나머지 15회의 지진들 중 남서쪽 4~5 km 지역과 서남서쪽 6~10 km 지역에서 발생한 11회의 지진과 남남서쪽 지역 약 12~19 km 지역에서 발생한 9회의 지진들도 진앙 발생 위치 상으로는 군집되어 발생한다고 판단할 수 있으나, 서북서쪽 9~11 km 지역에 발생한 지진들에 비해서는 발생 횟수가 적어 분석에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 서북서쪽 9~11 km 지역에서 발생한 지진들은 군집 지진이라고 가정하여 이 지진들의 지진학적 특성을 연구하였다. P파 초동 극성을 이용하여 단층면해를 도출한 결과 서북서쪽 9~11 km 지역에서 발생한 군집 지진은 주향이동 단층의 특성을 나타내었다. 각 지진마다 진원으로부터 가까운 거리에 있는 관측소의 지진기록을 상호상관하여 계층적 군집 분석을 수행하였으며 double-difference의 개념을 이용한 HypoDD (Waldhauser and Ellsworth, 2000) 을 이용하여 상대적인 지진원 위치를 재결정하여 각 지진들의 공간적인 분포를 살펴보았다. 또한 2016년부터 2020년 7월까지의 연속 파형을 이용하여 기상청 미소 지진 목록 외에 또 다른 지진 활동이 있는지 살펴보고자 한다.

구두 8-7

해남 연속 지진의 지진원 요소 및 군집 특성 분석

Seismic source parameters and clustering analysis of 2020 Haenam, Korea, earthquake sequence

신동훈

Dong-Hoon Sheen

전남대학교 지구환경과학부, dhsheen@jnu.ac.kr

2020년 4월 26일부터 5월 8일까지 약 2주 동안 전라남도 해남지역에서 모멘트 규모 3.2 지진을 포함한 총 74회의 지진이 발생하였으며, 그로부터 다시 2주후에 모멘트 규모 1.5의 지진이 한번 더 발생하였다. 규모 2.0 이상의 기상청 지진목록에 따르면 1978년부터 이 지역에 발생한 지진은 없었으며, 기상청 미소지진 목록에도 2009년부터 해남 연속 지진의 진앙으로부터 약 10 km 이내의 반경에서 미소 지진은 없었던 것으로 확인되었다. 따라서 최근 이례적으로 발생한 해남 연속 지진의 지진학적 특성을 살펴보고자 이 연구를 수행하였다. P파 초동을 이용한 규모 3.2 지진은 좌수향 주향이동 단층에 의해 발생한 것으로 확인되었으며, S파 변위 스펙트럼으로부터 이 지진의 단층 반경은 216 ± 4.58 m, 응력강하량은 31.4 ± 2.35 bar 로 결정되었다. Double-difference 방법을 이용한 75개 지진의 지진원 재결정을 통해 해남 연속 지진이 100° 방향의 주향과 65° 의 경사를 가지는 약 400 m 정도의 폭을 가지는 단층면상에서 발생한 것을 확인하였으며, 이는 P파 초동을 이용한 단층면해와 잘 일치한다. 또한 지진파형의 계층적 군집 분석으로 해남 연속 지진의 시공간적 지진 발생 특성을 파악할 수 있었다.

구두 8-8

파형 역산을 사용한 동해지역 S파 속도·이방성 구조 연구

A Study on the Structure of S-wave Velocity and Radial Anisotropy in the East Sea Using Waveform Inversion

이선무^{1,*}, 장성준¹, Michael Witek¹, Suzan Van der Lee²
Sun-Moo Lee^{1,*}, Sung-Joon Chang¹, Michael Witek¹, Suzan Van der Lee²

¹강원대학교 지구물리학과, dltjsan9635@kangwon.ac.kr
²Department of Earth and Planetary Sciences, Northwestern University

유라시아판 동부에 위치한 동해지역은 태평양판 그리고 필리핀판의 섭입에 의한 영향과 서쪽에서부터 인도판으로부터 야기된 응력의 영향까지 받으며 상당히 복잡한 지구조 운동을 겪고 있다. 해당 지역 내의 화산 형성 등의 지구조 현상을 해석하기 위해서는 정확한 내부 전단파 속도 모델과 이방성 모델이 필요하다. 스위스 연방공대팀의 연구(Simute *et al.*, 2016)에서는 완전 파형 역산(full-waveform inversion) 방법을 사용해 동해지역의 전단파 속도 모델을 얻었고, 100-200 km 하부에 약 -15%의 강한 저속도 이상을 확인했으며, 이는 섭입된 태평양판에서 나온 유체에서 기인했다고 해석한 바 있다. 우리는 van der Lee and Nolet (1997) 연구에서 사용된 파선 이론 기반의 부분 파형 역산(partitioned-waveform inversion) 방법을 사용하였으며, 기상청, 지질자원연구원, 일본 방재 연구소(F-net) 그리고 미국 지진학 연구기관 협회(IRIS)의 규모 5.4 이상의 139개 지진 자료를 이용해 동해지역의 전단파 속도·이방성 모델을 얻었다. 그 결과 약 150 km 구간까지 체커보드 테스트(Checkerboard test)로부터 높은 신뢰성을 갖는 전단파 속도 모델을 얻었으며, 20-60 km 구간에서 약 -4%의 저속도 이상과 100-150 km 구간에서 약 -3%의 저속도 이상을 확인했다. 이방성 모델의 결과 동해 한 가운데의 대화퇴 하부에서 상승류에 해당하는 이방성을 관측하였다. 우리는 향후 배경 잡음 자료를 통한 단주기 자료를 포함하여 연합 역산을 수행할 예정이다. 이를 통해 천부 지각구조에 대한 높은 해상도가 포함된 상당히 정확한 동해지역 전단파 속도·이방성 모델을 얻을 것이라 기대한다.

구두 8-9

포항지진 동력학 지진단층 파열 모델링 예비 연구

Preliminary Study on Dynamic Rupture Modeling of the Pohang Earthquake

송석구^{1,*}, Geoffrey Ely²
Seok Goo Song^{1,*}, Geoffrey Ely²

¹한국지질자원연구원 지진연구센터, sgsong@kigam.re.kr
²Elygeo Consulting

2016년과 2017년에 연이어 발생한 경주, 포항 지진은 한반도 동남부 지역의 체계적인 지진재해 평가와 경감을 위한 연구 활동의 필요성을 인식하는 중요한 계기가 되었다. 본 연구에서는 동력학 지진 모델링 알고리즘과 고성능 슈퍼컴퓨터를 활용하여 규모 5.4 포항지진을 일으킨 단층의 동력학적 지진단층 파열 특성을 분석하는 연구를 수행하였다. 인공위성 InSAR 자료 역산을 통해서 얻어진 지진동시성 단층 변위 모델을 이용하여 입력 응력강화 모델을 구축하였으며 단층 파열 과정에서 단층의 응력 변화를 제어하기 위하여 일반적으로 사용되는 slip weakening friction law를 사용하였다. 특히 본 연구에서는 병렬 계산이 가능한 동력학 지진 모델링 코드(SORD: Support Operator Rupture Dynamics)와 슈퍼컴퓨터를 활용하여 격자 간격 50 m로 단층 파열 모델링과 지진파 전파 모델링을 동시에 수행하였다. 동력학 지진모델링을 통해서 얻어진 지진 모델은 지진단층 파열 과정에서 단층면에 작용하는 응력의 시공간적 분포 특성을 재구성 할 수 있으며 단층 파열 에너지(Fracture Energy)의 분포 특성을 파악할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서 2017년 포항지진에 대한 단층면 상의 응력의 시공간적 분포와 단층 파열 에너지 분포를 제시하는 초기 모델을 구축할 수 있었다. 포항지진은 단층 구조나 단층 변위 분포에서 복잡성이 다양한 연구를 통해서 제기되고 있으므로 이러한 복잡성이 동력학 지진단층 파열 과정에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

구두 8-10

배경잡음 토모그래피를 이용한 수도권 지역 전단파 속도구조 Shear Wave Velocity Structure from Ambient Noise Tomography in the Seoul Metropolitan Area

길동우*, 홍태경

Dongwoo Kil*, Tae-Kyung Hong

연세대학교 지구시스템과학과, dw0524@yonsei.ac.kr

한반도에서 표면파 토모그래피를 이용한 지하속도구조 연구가 과거부터 진행됐다. 이를 통해 큰 규모의 지하구조가 밝혀졌지만, 여전히 자세한 지각의 형태는 불분명하다. 경기도 북부를 비롯한 수도권 지역은 미소지진이 빈번하게 관찰되는 복잡한 단층과 지질 구조로 이루어져 있다. 지진파 속도구조는 하부의 지질 구조 이해와 지진재해 분석에 중요하다. 한반도는 중대형 지진의 발생이 상대적으로 적기 때문에 전통적 방법의 토모그래피 연구 진행에 어려움이 있다. 이 연구는 수도권의 지하속도구조를 밝히기 위해 배경잡음 토모그래피를 적용한다. 기상청과 지질자원연구원에서 운영 중인 상시 관측소 17개소와 함께 이동식 관측소 61개소를 설치하여 총 78개소의 고밀도 지진 관측망을 수도권 지역에 구축하였다. 이 광대역 속도 관측망에서 5개월 동안의 수직 성분의 지진 배경잡음을 수집한다. 3003개의 관측소 쌍 사이에서 지진 배경잡음의 상호상관 함수를 계산하고 레일리파의 그린함수를 결정한다. 다중필터기법(multiple filter technique)을 이용하여 0.1 Hz에서 5 Hz의 기본모드 레일리파의 군속도 분산 곡선을 측정한다. Fast marching method와 iterative subspace inversion 방법으로 각 주파수 대역의 2차원 군속도 지도 역산을 수행한다. 최종적으로 주파수별 군속도 지도에서 역산하여 10 km 깊이의 3차원 전단파 속도모형을 구성한다. 속도모형은 지질학적 특징과 다른 연구 결과와 비교 분석을 통해 활용될 수 있다. 이 모형에서 지질 구조를 반영하는 속도구조 변화가 나타난다. 속도구조의 분포는 일반적으로 지표에 드러나는 단층 구조와 미소지진 분포와 상관관계를 보인다. 이 연구 결과와 다른 지질학적 특징이 결합한 해석으로 지하 단층 구조를 밝혀낼 수 있다.

구두 8-11

경주 미소지진 관측망 지진관측시스템 구축 Construction of earthquake monitoring system for the seismic network in Gyeongju

허다빈^{1,*}, 강태섭¹, 김광희², 이준기³, 김영희³, 이진한⁴
Dabeen Heo^{1,*}, Tae-Seob Kang¹, Kwang-Hee Kim², Junkee Rhee³, YoungHee Kim³, Jin-Han Ree⁴

¹부경대학교 지구환경시스템과학부, hdb4812@gmail.com

²부산대학교 지질환경과학과

³서울대학교 지구환경과학부

⁴고려대학교 지구환경과학과

912 경주지진 지진원 정밀조사를 위해 2017년 10월부터 200여개소의 광대역 속도 지진계로 구성된 고밀도 미소지진 관측망이 구축되었다. 지진관측망은 연구하고자 하는 대상에 따라 그 규모와 조밀도가 정해지며, 관측소의 밀도가 높을 수록 고해상도의 자료를 취득할 수 있다. 하지만, 방대한 자료를 효율적으로 운용하기 위해서는 체계적인 지진관측시스템 구축이 필수적이다. 지진관측시스템은 실시간(혹은 준실시간) 자료 취득, 자동 지진 검출, 위치 결정, 규모 결정을 위한 자료 취득 및 자동 분석 프로세서를 필수적으로 포함하고 있어야 하며, 수동 분석을 위한 GUI 시스템을 필요로 한다. 우리는 경주 고밀도 미소지진 관측망에 기록되는 자료의 실시간 자료 취득 및 분석을 위한 지진관측시스템을 구축하였다. 구축된 지진관측시스템은 SeisComP 지진 분석 소프트웨어를 기반으로 구성되고, 자료 취득, 자동 지진 검출 및 분석, 수동 분석을 위한 모듈이 주를 이룬다. 자동 지진 검출은 단기 대 장기 평균 비(short-term average versus long-term average; STA/LTA) 방법과 AIC (Akaike information criterion) 방법을 기반으로 지진 신호를 검출 한 뒤, 밀도기반 군집화 방법인 DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise)을 통해 자동신호연관 (association)을 수행한다. 지진관측시스템을 통해 2017년 10월부터 2020년 8월까지 경주 일대에서 발생한 지진을 검출을 하였고, 검출된 지진들의 진앙 분포는 912 경주지진 진앙, 2017 포항지진 진앙, 울산단층 동측부, 관측망 내부 및 주변 지역의 채석장에 집중되었다. 특히, 912 경주지진 진앙과 울산단층 동측부에서 지진 발생 빈도가 가장 높았으며, 두 지역에서 발생한 지진들의 진원 깊이는 각각 15 km와 10 km 부근에 집중적으로 분포하는 것으로 확인되었다.

구두 8-12

2020년 해남 연쇄지진의 진원과 단층면해의 시공간 분포

Spatiotemporal distribution of hypocenters and focal mechanisms of the 2020 Haenam earthquake sequence

이승구*, 김미지, 강태섭
 Seunggu Rhee*, Miji Kim, Tae-Seob Kang
 부경대학교 지구환경시스템과학부, sgrhee5@gmail.com

한반도 남서부의 전남 해남 지역에서 2020년 5월 3일 규모(ML) 3.1 지진이 발생하였다. 기상청은 이 지진을 전후로 규모 2.0 이상의 지진 4회를 포함하여, 2020년 4월 26일부터 6월 11일까지 모두 76회의 지진 발생을 통보하였다. 이례적으로 짧은 기간에 제한된 지역에서 연쇄적으로 발생한 지진 활동에 대하여 그 원인과 위험도에 대하여 많은 관심이 집중되었다. 규모 3.1 지진의 진앙을 중심으로 반경 50 km 이내에 위치한 기상청 광대역 지진관측소 10개소의 연속파형 자료를 이용하여 기상청이 발표한 지진 목록 이외에 같은 기간 80회의 미소지진을 수동으로 식별하였다. 진원과 속도에 대한 최적해를 산출하는 velellipse 알고리즘을 이용하여 모두 156개 지진의 진원 요소를 결정하였다. 이 중 지진파형이 중첩되지 않도록 진원시 사이에 충분한 간격이 있고 진원이 상대적으로 인접한 153개의 지진을 재선별하였다. 동일한 관측소에서 기록한 각 지진의 파형에 대하여 상호상관 분석을 실시하여 지진원별 관측소에 도착한 P파와 S파의 상대적 시간 차이를 측정하였다. 이 결과를 이용하여 상대 진원 결정 프로그램 hypoDD를 이용하여 진원을 재결정하였다. 이 분석에 사용한 자료의 수는 0.5 이상의 상관계수를 가지는 P파와 S파의 시간차이가 각각 16,305와 37,013 쌍이다. 진원 재결정을 위하여 분석에 사용된 지진파 위상이 기록된 관측소에서 최초 진원에 대한 이론 주시를 계산하여야 한다. 해남 연쇄지진의 진앙은 옥천습곡대에 위치하고 있기 때문에, 이론 주시를 계산하기 위하여 이 지체구조구에 대하여 개발된 속도 모델(Kim *et al.*, 2011)을 사용하였다. 재결정 진원은 깊이 19.2~23 km 범위에 걸쳐서 분포하며, 깊이 약 20 km 부근에 밀집하고 있다. 재결정 진원 요소에 대하여 단층면해 분석 프로그램 focmec을 이용하여 모두 41개의 단층면해를 결정하였다. 규모 3.1 지진의 단층면해는 주단층면이 서북서-동남동의 주향과 남남서의 경사를 갖는주향이동단층 운동을 지시한다. 규모 3.1 지진의 단층면에 진원 재결정 지진원들을 투영하였을 때, 이 지진 발생 전후로 진원 분포와 발생 시간에 따른 진원의 이동 방향이 뚜렷한 차이를 보인다. 이러한 연쇄지진의 시공간 분포와 변화 양상은 해남 연쇄지진의 발생과 연관된 단층의 파열 과정을 이해하는데 중요한 단서를 제공한다.

구두 8-13

국지 지진관측망을 기반으로 한 수도권 미소지진 및 단층 구조 조사

Investigation of microearthquakes and fault structures around the Seoul metropolitan area based on a local seismic network

박성준^{1,*}, 홍태경¹, 김우한²Seongjun Park^{1,*}, Tae-Kyung Hong¹, Woohan Kim²¹연세대학교 지구시스템과학과, seongjunpark@yonsei.ac.kr²경상대학교 지질학과

한반도는 판 내부 지역에 위치하여 상대적으로 낮은 지진 활동도를 보이며, 대한민국 수도권 지역의 계기 지진 밀도는 특히 낮다. 그러나 역사 지진 기록은 수도권 주변 활성 단층의 존재와 그에 의한 지진 재해의 가능성을 지시한다. 수도권의 높은 인구 밀도를 고려할 때 잠재적인 지진 피해를 경감하기 위한 활성 단층 조사는 매우 중요하다. 그러나 이는 수도권 주변의 낮은 지진 활동도와 높은 지진동 잡음 때문에 지금까지 잘 이루어지지 못하였다. 본 연구에서는 조밀한 국지 지진관측망을 바탕으로 수도권 지역의 미소지진들을 조사한다. 구성된 관측소는 60개로, 샘플링 레이트(sampling rate) 200 Hz의 3성분 광대역 지진계가 갖추어져 있다. 관측소간 거리는 서울 내에서 6 km 이내, 경기권 내에서 20 km 이내이다. 지진 탐지를 위해 정합 필터(matched filter) 분석을 수행한다. 대역 필터링(bandpass filtering)된 연속 지진파형과 견본 지진파형 사이의 교차상관 함수(cross-correlation function)를 계산하고, 여러 관측소의 3성분 교차상관 함수를 누적한다. 누적된 교차상관 함수의 값이 기준치를 초과할 때 지진이 탐지되었음을 선언한다. 이중 차분 위치 결정 방법(hypoDD)과 정합 필터 기반의 격자 탐색 방법(match and locate method)을 통해 탐지된 지진들의 위치를 결정하고, 지진들의 분포로부터 단층 구조를 파악한다. 이러한 조사는 수도권 지역의 잠재적인 지진 위험성을 평가하는 데 있어서 유용할 것으로 기대된다.

구두 8-14

수신 함수 역산을 이용한 수도권 하부 지각 구조 연구

Crustal Structure beneath the Seoul Metropolitan Area Inferred from Receiver Function Analysis Based on a Dense-Seismic Array

이정인*, 홍태경

Jeongin Lee*, Tae-Kyung Hong

연세대학교 지구시스템과학과, jeongin6422@yonsei.ac.kr

2011년 3월 11일에 발생한 규모 9.1의 동일본 대지진은 한반도 응력 환경에 영향을 미쳤다. 한반도에서 발생하는 지진의 규모와 빈도도 동일본 대지진 이후 증가하였다. 수도권은 2,500만 명의 인구와 기반 시설이 밀집된 지역으로, 수도권에서 규모가 큰 지진이 발생할 경우 심각한 인적 및 재산 피해가 초래될 수 있다. 수도권 하부 지각 구조는 수도권의 잠재적인 지진 위험에 대한 유용한 정보를 제공할 수 있다. 본 연구는 수신함수와 표면파 분산 곡선을 결합한 연합 역산 방법을 사용하여 수도권 하부의 지각 구조를 조사한다. 2018년 9월부터 수도권에 운영된 11개소의 임시 지진 관측망과 2019년 6월부터 운영된 19개소의 임시 지진 관측망, 기상청, 지질자원연구원의 관측소로부터 지진 데이터를 수집한다. 수신함수 분석을 위해 규모 6.0 이상, 진앙 거리가 30°-90°인 지진을 선별한다. 수신함수의 계산에 반복적 시간 영역 디콘볼루션 방법을 사용한다. 레일리파의 군속도를 분석하기 위해 2019년 6월부터 12월까지 발생한 지진 중에서 진앙거리가 30°미만, 규모가 5 이상인 지진을 선별하고 다중 필터 기술을 적용한다. 10-60 초 주기의 레일리파 분산 곡선을 연합 역산에 사용한다. 전단파 속도 구조는 반복적 최소 제곱 연합 역산으로 계산된다. 연합 역산 결과 연구 지역의 모호면 깊이는 28-32 km로 분석되었으며, 6-12 km 깊이에 저속도층이 존재한다. 수도권 북서부 및 남부 지역의 S파 속도는 다른 지역에 비해 상대적으로 느리며, 서울 남부의 S파 속도는 상대적으로 높다. 수도권 북서부와 서울의 모호면 깊이는 상대적으로 얇다. 본 연구를 통해 계산된 서울 수도권의 하부 지각 구조는 수도권의 지진 위험성 판단에 대한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

구두 8-15

지구동역학 모델링을 통한 암석권의 두께 변화와 한반도 주변 판 운동에 의한 응력 계산 그리고 지진학적 의미

Geodynamic modeling for stress in the southern Korean Peninsula driven by lateral variation of lithospheric thickness and plate kinematics and its implication for seismicity

이성호^{1,*}, Arushi Saxena², 송정훈¹, 이준기¹, 최은서²
 Sungho Lee^{1,*}, Arushi Saxena², Jung-Hun Song¹, Junkee Rhie¹, Eunseo Choi²

¹서울대학교 지구환경과학부, sungho91@snu.ac.kr

²Center for Earthquake Research and Information, University of Memphis

한반도는 유라시아와 아무르판의 불연속적인 경계를 나누기 어려운 경계에 속하고 통상적으로 대륙 경계로 구분된다. 이러한 불특정한 판 경계에 속하는 한반도의 현 응력 내에서 발생한 지진들의 기원은 아직 명확하지 못하다. 본 연구는 teleseismic relative arrival time을 이용하여 토모그래피 추정된 상부 맨틀의 불균질성(Song *et al.*, 2020)과 absolute plate motion (APM) 모델(Becker *et al.*, 2015)을 바탕으로 한반도 내의 응력을 계산하고 지진 관측자료와 비교하였다. 먼저, 이를 위해 S파 속도 이상(anomaly) 자료를 이용하여 상대 온도(Lee *et al.*, 2020)를 추정하였다. 추정된 상대 온도는 대륙 기준 온도 지온(Turcotte and Schubert, 2020)에 더해서 절대 온도를 계산하였다. 다음으로 APM을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우로 나누어 온도 자료와 함께 수치 모델을 구성하였다. 구성한 수치 모델은 맨틀 대류 및 암석권 변형을 수치 모의할 수 있는 ASPECT (Heister *et al.*, 2017)을 이용하여 수치 모델링을 수행하였다. 수치 모델로 계산한 응력 모델은 맨틀 불균질성과 판 운동을 고려한 모델이 관측된 지진 자료들과 잘 결부된다. 주요한 특징은 넓은 영역에서 주향이동 단층이 일어날 수 있는 조건을 보이고 서해 일부에서 정단층 영역이 보이고 암석권이 두꺼운 곳에서 역단층 영역이 나타난다. 특히, 응력 모델은 서해의 정단층은 한반도 서쪽 경계의 판 운동의 인장 조건이 하나의 필요조건임 보여준다. 한편, 경기육괴 일부의 지역적 맨틀 상승류가 있으며 해당 영역에서 낮은 차 응력이 보인다. 해당 영역은 지진이 거의 발생하지 않은 지역(aseismic zone)으로 알려져 있으며 낮은 차 응력과 잘 일치한다. 이는 지역적 맨틀 상승류와 판 운동에 의한 압축 환경이 서로 상충한 결과로 판단된다.

구두 8-16

2020년 해남 연속지진 진원의 시공간적 분포 특징: 유체 확산에 따른 진원 이동 제안

Migration of the 2020 Haenam earthquake sequence implying fluid-driven earthquake swarm

손민경^{1,*}, 조창수¹, 최진혁², 전정수¹, 박윤경¹

Minkyung Son^{1,*}, Chang Soo Cho¹, Jin-Hyuck Choi², Jeong-Soo Jeon¹, Yun Kyung Park¹

¹한국지질자원연구원 국토지질연구본부 지진연구센터, kersti@kigam.re.kr

²한국지질자원연구원 국토지질연구본부 활성지구조연구단

한국지질자원연구원은 모멘트규모 3.2의 지진과 그 이하 규모의 지진 71 건이 2020년 4월 26일부터 5월 8일까지 해남 지역(34.6-34.7°N, 126.35-126.4°E)에서 발생하였음을 확인하였다. 이 지역 및 그 부근에 대한 중대규모 지진활동 관련 기록은 계기지진, 역사지진, 그리고 지질학적 자료에서는 현재까지 확인되지 않았다. 본 연구는 파형상호상관을 통하여, 이 지역에서 미소지진이 2020년 4월 26일 보다 하루 이전인 4월 25일부터 발생하였음을 확인하였다. 4월 25일부터 5월 8일 사이에 발생한 미식별 지진은 155 건이었다. 기존 한국지질자원연구원 지진목록에서 확인되던 71 건의 지진을 포함하여, 총 226 건 지진의 진원이 주시이중차와 상호상관계수에 기반하여 재결정 되었다. 진원 재결정 과정에서 기존의 한국지질자연연구원과 기상청의 지진계의 기록 자료가 이용되었다. 재결정 결과는 미터 수준의 상대위치 오차 범위를 보였다. 재결정된 진원은 서북서-동북동 방향으로 분포하였고, 약 70°의 경사를 이루며 지하 약 20 km 부근에서 약 0.3 km x 0.3 km 범위의 뚜렷한 면을 형성하였다. 또한, 재결정된 진원의 공간적 분포는, 226 건 지진 중 가장 큰 규모의 지진 (M_w 3.2)의 모멘트텐서 역산 결과로부터 추정되는 단층면 기하(주향 98°, 경사 65°)와도 일치하는 모습을 보였다. 모멘트텐서 역산 결과로부터 추정되는 단층 운동은 면선각(rake) 7°를 갖는 좌수향 주향이동이었다. 재결정된 진원은 시간에 따라 동쪽으로 진행하였고, 이러한 이동 양상은 해남연속지진 256 건 중 가장 큰 규모의 지진(M_w 3.2)이 2020년 5월 3일에 발생하기 전까지 지속되었다. 이 가장 큰 규모의 지진은 진원 분포의 동쪽 선단 부근, 즉 이동하던 진원이 향하던 곳에서 발생하였다. 본 연구는 해남지진에서 관찰된 진원 이동 현상을 다음과 같은 근거로 유체 확산에 따른 현상으로 해석하였다. 첫째, 진원의 시간에 따른 움직임은 확산계수(diffusivity, D) 0.012 m²/s로 근사 될 수 있었다. 둘째, 지진이 발생한 해남 지역을 포함한 한반도 남서부에서는 서북서-동북동 방향의 단층적으로 발달된 열수광화대가 관찰되므로, 유체가 이동할 수 있는 그물망의 단층 구조(fault-fracture mesh structure)가 진원 영역에도 존재할 것이라 추정할 수 있었다. 해남연속지진에서 가장 큰 규모의 지진이 발생하기 전까지 관측된 진원 이동 현상을 유체 확산 혹은 자연적 유체 주입에 의한 지진활동으로 해석한다면, 가장 큰 규모의 지진이 발생한 이후 확인된 진원 분포 서쪽 선단의 확장고 진원 분포 동서 방향 전반에서 발생한 지진활동은 단층 밸브 거동으로 해석될 수 있었다. 또한, 해남연속지진 중 가장 마지막에 발생한 동쪽 선단의 지진활동은 투과장벽을 반영하는 현상으로 해석될 수 있었다. 그러나 진원 영역에서 유체의 존재를 지지하는 직접적 증거는 현재까지 부재하므로, 응력강하량 특성 제시, 혹은 유효응력 분석 등 추가 연구가 요구된다. 본 연구가 제시하는 2020년 해남연속지진의 정밀 진원 위치는 추후 연구가 요구하는 필수적인 정보가 될 것이라 예상된다. 나아가, 관측된 진원 분포의 이동성과 그 해석이 판내부 응력환경에서 발생한 비화산성 균발지진을 이해하는데 유의미할 수 있기를 기대한다.

구두 8-17

2017 M_w 5.5 포항 지진의 여진에 대한 지진학적 특징 분석 Aftershock analysis of the 2017 M_w 5.5 Pohang earthquake, South Korea

우정웅^{1,*}, 김민욱^{2,3}, 이준기¹, 강태섭³
Jeong-Ung Woo^{1,*}, Minook Kim^{2,3}, Junkee Rhie¹, Tae-Seob Kang³

¹서울대학교 지구환경과학부, woong1440@snu.ac.kr

²한국원자력안전기술원 구조부지평가실

³부경대학교 지구환경과학과

전진, 본진, 그리고 여진으로 이어지는 지진 활동은 단층 시스템에서의 응력 상태와, 점탄성 거동, 유체 흐름에 영향을 받아 결정되며, 지진원에 대한 정량적 분석을 통해 단층 시스템의 특성을 유추할 수 있다. 지난 2017년 11월 포항에서 발생한 M_w 5.5 지진은 포항 분지에 위치한 단층이 임계 응력에 근접한 상태에서 유체 유입 활동과 관련하여 촉발되었고, 수 차례의 전진과 수천 개의 여진을 동반하였다. 본 연구에서는 데이터 마이닝과 전통적인 지진 감지 기법을 활용해 100여일 간 약 4,000여개의 포항 지진의 여진을 감지하고 지진 목록을 작성하였다. 이중 편차 방법을 사용하여 재결정한 여진의 분포로부터 포항 여진 활동과 관련된 북동-남서 방향의 주향을 가진 단층 분절을 4개 확인하였고, 비이중쌍힘이 관찰되는 본진과 지역 규모 4 이상의 2개의 여진은 단층 분절의 경계면에 위치하였음을 관측하였다. 북동과 남서 방향으로 각각 $0.5 \text{ km decade}^{-1}$ 와 1 km decade^{-1} 의 속도로 확장하는 여진 활동은 지진 후 변형 또는 쿨롱 응력 전파로부터 기인할 수 있다. 여진의 규모 분포로부터 추정된 구텐베르크-리히터 법칙의 b 값은 전반적으로 1보다 낮았으며, 본진 발생 시점으로부터 b 값은 약 3일 동안 일시적으로 증가하였다. 오모리 법칙의 p 값은 북동-남서 방향으로 차이가 있었으며, 이는 두 방향으로의 서로 다른 여진의 확장 속도를 통해 설명할 수 있다.

구두 9-1

Behavior of Mg isotopes during glacial weathering in Ny-Ålesund, Svalbard

Jong-Sik Ryu^{1,*}, Hyeongseok Song², Ji-Hoon Kim³, Hyoun Soo Lim⁴, Ok-Sun Kim⁵

¹Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, jongsikryu@pknu.ac.kr

²Research Center for Geochronology and Isotope Analysis, Korea Basic Science Institute

³Petroleum and Marine Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

⁴Department of Geological Sciences, Pusan National University

⁵Division of Polar Life Sciences, Korea Polar Research Institute

Glacial erosion produces fine-grained sediments susceptible to chemical weathering leading to incongruent weathering of mineral phases with high dissolution rates, such as calcite and biotite. To investigate how magnesium (Mg) isotopes behave during incongruent weathering in glacial regions, we report elemental and isotope geochemistry of glacial river waters draining four different regions, suspended sediments and bedrocks. All glacial river waters are much enriched in Ca and HCO₃, regardless of bedrocks, of which glacial river waters draining moraines are relatively enriched in SO₄. Each glacial river water yielded different $\delta^{26}\text{Mg}$ values, ranging from -1.48‰ to -0.70‰, depending on bedrocks, and their suspended sediments are much enriched in heavy Mg isotopes ranging from +0.58‰ to +0.93‰. Although secondary mineral formation fractionates Mg isotopes, resulting in lower $\delta^{26}\text{Mg}$ values in river waters, PHREEQC results showed there are no secondary phases in river waters. Furthermore, negative correlations between $\delta^{26}\text{Mg}$ and weathering proxies, such as Mg/Li, Mg/K, and Mg/Rb, indicate that $\delta^{26}\text{Mg}$ values in the glacial river waters are attributed to incongruent weathering of the solid phases (silicates vs. carbonates). Overall, although previous studies showed Mg isotopic compositions of the glacial river waters are mainly controlled by preferential dissolution of carbonate minerals, this study suggests that kinetic isotope fractionation during the incipient stages of weathering controls Mg isotopes in the glacial river waters.

구두 9-2

High precision analyses of three oxygen isotopes using Cameca IMS 1300

Soogyong Goh^{1,2,*}, Byeon-Gak Choi¹, Jeongmin Kim²

¹Department of Earth Science Education, Seoul National University, likeio02@snu.ac.kr

²Center of Research Equipment, Korea Basic Science Institute

In-situ measurements of oxygen isotope distribution of a geological sample are important for understanding a wide range of geologic processes (Valley and Kita, 2009). For such investigations, Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) is well-known to allow one of the highest precision analyses. However, the performance of SIMS experiment is sensitive to experimental conditions that might produce analytical variables, for example, secondary ion yields and instrumental mass fractionation (IMF) (e.g., Ireland, 1995; Dauphas and Schauble, 2016). Here we report the first oxygen three-isotope data from different four analytical settings by using newly installed large geometry SIMS, Cameca IMS 1300-HR³, at Korea Basic Science Institute.

Measurements of three oxygen isotopes, ¹⁶O, ¹⁷O and ¹⁸O, in San Carlos olivine were carried out under multi-collector mode using three Faraday cups that count negative ions ($10^{11} \Omega$ amplifiers for ¹⁶O⁻, ¹⁸O⁻ and $10^{12} \Omega$ for ¹⁷O⁻). For separating ¹⁶OH⁻ interference from ¹⁷O⁻ ion, mass resolving power ($M/\Delta M$) of ~5,500 was employed by combining 50 μm width of entrance slit, 220 μm exit slit and 50 eV energy band. Zero energy electron flooding was adjusted for optimal compensation to charging on the sample surface. Each analysis consists of 20 cycles and oxygen ions are counted for 4 sec for a cycle. A single analysis takes ~8 min including pre-sputtering time (180 sec) followed by automatic centering for secondary optics. Cs⁺ primary ions having 20 keV impact energy was focused on the polished thin section with carbon coating. In this study, four primary beam settings were applied: (1) 3 nA with 10 μm size of raster (3nA-R), (2) 3 nA spot (3nA-S), (3) 1 nA with 10 μm size of raster (1nA-R) and (4) 1 nA spot (1nA-S). The primary beam intensities were chosen considering Faraday cup amplifier resistors and secondary ion intensities of the least abundant oxygen isotope, ¹⁷O, that were $\sim 8.9 \times 10^5$, $\sim 8.7 \times 10^5$, $\sim 3.3 \times 10^5$ and $\sim 3.0 \times 10^5$ counts/ sec by (1), (2), (3) and (4), respectively. Six measurements were made for each set.

Four sets differ in IMFs as well as in precisions. Internal and external precisions (2SD) in $\delta^{18}\text{O}$ are (1, 3nA-R) 0.18%, 0.13%, (2, 3nA-S) 0.20%, 0.26%, (3, 1nA-R) 0.40%, 0.45% and (4, 1nA-S) 0.46%, 0.12%. Those in $\delta^{17}\text{O}$ are (1) 0.39%, 0.25%, (2) 0.43%, 0.19%, (3) 0.87%, 0.61% and (4) 0.96%, 0.51%. At the analytical setting we used, up to 1.25% IMF was observed among average $\delta^{18}\text{O}$ values depending on primary settings. This is due to different primary beam intensities and probably more to electron gun configurations. Thus maintaining the same primary and electron gun configuration for both samples and standards is highly recommended. Approximate crater areas are 25×25 μm , 15×15 μm , 20×20 μm and 10×10 μm by (1), (2), (3) and (4), respectively. This study provides a useful guide to choose primary beam setting by considering analytical uncertainties. Further details in analytical conditions will be discussed in the meeting.

구두 9-3

얼음상에서의 흑운모 풍화에 관한 연구

Weathering of biotite in ice

이승수*, 허영숙

Seungsoo Lee*, Youngsook Huh

서울대학교 지구환경과학부, oper98752@snu.ac.kr

화학적 풍화는 광물과 강수, 해수의 조성에 영향을 주며 지질학적 시간에서 기후 변화 요인으로 작용한다.

이 연구에서는 동결 환경이 흑운모의 화학적 풍화에 미치는 영향에 초점을 맞추어[1, 2, 3], -20°C와 상온의 대비되는 batch 환경을 조성하여 풍화 실험을 진행하고 시간에 따른 화학적 변화를 확인했다. 실험 batch 들을 각각 0, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, ~435, ~3125 시간 후에 정지시켜 필터링 한 후, 반응 용액의 pH와 용존 양이온 농도 및 용존 리튬 동위원소 비를 측정했다. 실험에 사용한 Li, Ca, Ti 부화된 타입의 페그마타이트 흑운모 시료[4]와 실험 종료 후 얼음과 상온 시료 각각의 잔존 고체 시료에 대해 XRD 분석을 진행했다.

용존 Si, Na, K의 상대적 비는 얼음상에서는 흑운모가 vermiculite로 풍화 되는 양상을, 상온에서는 흑운모가 고령석으로 풍화 되는 양상을 지시하였다. 용존 리튬 동위원소비 $\delta^7\text{Li}_{aq}$ 는 흑운모보다 적어도 4%이상 높았으며[4], 이는 이차 광물의 형성으로 인해 리튬 동위원소의 분별 작용이 일어났음을 지시한다[5]. 반응 전과 후의 흑운모 시료의 XRD 분석 결과, 얼음과 상온에서 반응한 두 흑운모 시료에서 서로 다른 형태의 철 산화물이 관찰되었다.

[1] Torres *et al.* (1994), PNAS, 114, 8716-8721.

[2] Kim *et al.* (2010), ES&T, 44, 4142-4148.

[3] Kim *et al.* (2015), ES&T, 49, 10937-10944.

[4] Jacobson *et al.* (2003), GCA, 67, 29-46. Deveaud *et al.* (2015), Chem. Geo., 411, 97-111.

[5] Wimpenny *et al.* (2010), EPSL, 290, 427-437

구두 9-4

포항 지열발전소 부지 인근에서의 활성단층 분포 지시자로서의 헬륨 연구

Helium study as an active fault distribution indicator near the Pohang EGS site

김희준^{1,*}, 이현우¹, 이재민^{2,3}, 이현아², 우남철², 이윤수⁴, Takanori Kagoshima⁵, Naoto Takahata⁵, Yuji Sano⁵
Heejun Kim^{1,*}, Hyunwoo Lee¹, Jaemin Lee^{2,3}, Hyun A Lee², Nam Chil Woo², Youn-Soo Lee⁴, Takanori Kagoshima⁵,
Naoto Takahata⁵, Yuji Sano⁵

¹서울대학교 지구환경과학부, sooneejuro@snu.ac.kr

²연세대학교 지구시스템학과

³한국지질자원연구원

⁴포항공과대학교 환경공학부

⁵도쿄대학 대기해양연구소

2017년 11월 15일 발생한 Mw 5.5의 포항지진은 한국 사회에 큰 영향을 끼쳤다. EGS와 지진 사이의 관계에 대한 의견이 활발히 교류되는 것에 비해, 해당 지역에서의 활성단층 분포에 대한 정보는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는, 포항 홍해, 연일, 신광 지역 지하수 관정에서 용존기체를 추출, 헬륨을 포함한 기체의 성분비와 각 기체의 안정동위원소비를 분석하였다. 모든 지하수 용존기체 시료에서 질소, 이산화탄소, 메탄이 대부분(91.1~99.4 vol.%)을 구성하였으며, 5~2,744 ppm의 헬륨이 검출되었다. 모든 시료의 질소, 이산화탄소, 메탄이 천부 깊이의 분지 퇴적물 내 유기물에서 기원한 것에 비해, 일부 시료의 헬륨 동위원소비는 지각의 화강섬록암 및 맨틀 등의 심부기원 헬륨이 단층을 통해 대수층에 유입되었음을 지시하였다. 심부기원 헬륨의 분포를 통해 연구지역에 활성단층의 존재 여부와 그 분포를 분석한 결과, 홍해지역을 동서방향으로 가르는 홍해 단층과 2017년 포항지진이 일어난 남송단층, 그리고 포항시 남구 연일읍 자명리 인근 무명단층(이하 자명단층) 등에서 맨틀 기원의 헬륨이 방출되고 있는 것을 확인했다. 헬륨 동위원소 비와 헬륨-네온 비, 그리고 헬륨 농도 등을 통해 홍해단층, 남송단층, 그리고 자명단층으로부터 방출되는 맨틀 기원 3-헬륨의 플럭스를 계산한 결과, 세계 여러 주요 주향이동단층에 준하는 수준으로 나타났으며, 이는 포항지역 단층의 큰 공극률 또는 높은 헬륨 유속을 지시하는 결과이다.

구두 9-5

활성 단층 식별을 위한 토양 이산화탄소 플럭스 연구

A study of soil CO₂ flux for identifying active fault distribution

홍정표*, 이현우, 김희준

Jungpyo Hong*, Hyunwoo Lee, Heejun Kim

서울대학교 지구환경과학부, jphong96@snu.ac.kr

경주, 울산, 포항 등 인구와 산업시설이 밀집되어있는 한반도 동남부에는 양산단층과 그 가지단층들이 존재한다고 알려져 있다. 2016년 9월 12일에 발생한 경주 지진 및 최근까지 발생하고 있는 지진들이 양산단층 및 가지단층들과 연관되어 있다고 여겨진다. 따라서, 앞으로 지진이 발생할 확률이 높은 활성 단층대의 분포를 파악하는 연구가 수행되어 지진재해를 저감할 수 있는 노력이 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는 경상북도 경주, 영덕, 포항 지역에서 자연 용출수 및 단층대와 관련이 있을 가능성이 있는 지역에서 토양에서 유출되는 이산화탄소의 플럭스를 측정하였고, 탄소동위원소 분석을 통해 이산화탄소의 기원을 밝히고자 하였다. 토양 이산화탄소의 플럭스는 accumulation chamber method를 이용하여 측정하였으며 자연 용출수($98 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1} \sim 77,699 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$)와 토양($1.3 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1} \sim 1,240 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$) 모두에서 높은 플럭스값이 관찰되었다. 연구지역에서의 이산화탄소 플럭스값의 통계학적 분포를 살펴보면 high flux ($98 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1} \sim 77,699 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$)와 low flux ($1.3 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1} \sim 70 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$) 두 그룹으로 구분되며 high flux 값은 자연 용출수와 일부 토양에서 나타난다. High flux값이 나타나는 곳이 활성 단층대와 좀 더 관련이 있다고 판단하며, 이 시료들의 탄소동위원소비($\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$)는 자연 용출수에서 $-9.85 \sim -7.44\%$, 토양기체 시료에서는 $-21.05 \sim -14.77\%$ 의 범위를 나타낸다, 이러한 결과는 배출되는 이산화탄소가 심부 기원 및 천부의 생물학적 기원을 모두 가지며 단층에서 토양으로 배출되는 동안 이 두 기원의 혼합이 일어났음을 지시한다.

구두 9-6

동해 해저에서 발견된 백두산의 폭발적 분화에 의한 강하 테프라들

Tephra Falls Found on the East Sea Floor Occurred by Eruptions of Mt. Baekdu

김혜리¹, 윤성호^{1,2,3,*}, 이정현³, 장철우³

Hyeri Kim¹, Sung-Hyo Yun^{1,2,3,*}, Jeonghyun Lee³, Cheolwoo Chang³

¹부산대학교 교육대학원 지구과학교육전공, yunsh@pusan.ac.kr

²부산대학교 지구과학교육과

³부산대학교 화산특화연구센터

일본, 러시아, 대한민국 등에 의하여 시행된 동해 해저퇴적물의 해저시추코어에 대한 연구 결과들에서 다수의 백두산 기원으로 해석할 수 있는 테프라(화산재/화산유리)가 인식되었다. 이들은 백두산의 폭발적 분화(explosive eruption)로 생성된 분연주와 화산재구름이 제트기류 및 편서풍으로 타고 동해 쪽으로 확산되면서 대기 중에서 낙하된 강하화산재(fallout ash) 기원으로 해석된다. 현재까지 알려진 백두산 기원으로 추정되는 테프라는 B-Og (Baekdusan-Oga tephra; 448 ka; Shirai *et al.*, 1997), B-Ky 2 (Baekdusan-Kita Yamato 2 tephra; 196 ka; Chun *et al.*, 2006), B-Ky 1 (Baekdusan-Kita Yamato 1 tephra; 130 ka; Chun *et al.*, 2006), B-Ym (Baekdusan-Yamato tephra; 85.8 ka; Lim *et al.*, 2013; Ikehara, 2015), B-Sado (Baekdusan-Sado tephra; 67.6 ka; Lim *et al.*, 2013; Ikehara, 2015), B-J (Baekdusan-Japan Basin tephra; 50.6 ka; Chun *et al.*, 2006; Lim *et al.*, 2013; Ikehara, 2015), B-Un1 (Baekdusan-Unknown tephra; 38.3 ka; Sakhno, 2008; Gorbarenko *et al.*, 2015), B-V (Baekdusan-Vladivostok tephra; 24.5 ka; Machida and Arai, 2003; Lim *et al.*, 2013; Ikehara, 2015), B-Tm (Baekdusan-Tomakomai tephra; 946 AD) 등이 알려져 있다. 백두산으로부터 200 km에서 1,000 km 거리의 동해 해저에 낙하된 화산재들은, 백두산이 플리니형의 폭발적 분화로 만들어낸 분연주와 화산재 구름이 제트기류와 편서풍으로 타고 이동하면서 동해바다 위로 낙하하여 퇴적된 것으로, 제4기의 백두산의 화산폭발지수(Volcani Explosivity Index; VEI) 4 이상의 폭발적 대분화를 시사하는 것으로 해석된다.

Acknowledgement: This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-02710.

구두 10-1

Groundwork to build up Korea Did You Feel It (DYFI) system in the Korean Peninsula

Hwasung Cheon^{1,*}, Junkee Rhie², Seongryong Kim³

¹*The Research Institute of Basic Sciences, Seoul National University, hscheon@gmail.com*

²*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University*

³*Department of Geological and Environmental Sciences, Chungnam National University*

The Seismic intensity is an important factor in terms of the seismic hazard because it categorizes felt ground shaking and damage. Generally, the intensity is obtained through field investigation or by instrumental intensity converted from seismograph observations, empirically. Unlike the conventional approach, USGS Did You Feel It (DYFI) system has collected intensity information based on real-time online surveys since the early 1990's. After the 2016 Gyeongju and 2017 Pohang earthquakes (EQs), it has been proposed that we need to compile intensity information for strong ground motion rapidly even in Korean Peninsula. This means that DYFI can play an important role in a next-generation intensity collection system. In this work, we verified the applicability of the DYFI system to earthquakes occurred in the Korean Peninsula together with additional modifications. We derived a relationship between community responses in the USGS DYFI (i.e., Community Weighted Sum; CWS) and Korean-peninsula-optimized Community Decimal Intensity ($KCDI \sim 0.47 + 0.27 \times CWS$), by comparing the CWS with intensity values reported by the Korea Meteorological Administration for Gyeongju and Pohang earthquakes. The intensity-distance relationship from this study shows a higher linearity than the raw data of the USGS DYFI. Furthermore, the maximum intensity ($KCDI = 7.2$) is more comparable to that from the field measurement (VIII) than the USGS's original value (6.6) in the Pohang EQs. Intensity distribution maps from the KCDI values present more reliable radiation patterns and site effects than results using the conventional felt intensity reporting. From this, we confirm that the intensity distributions based on the community responses can be even more useful near the epicenter than instrumental observations in the case of regions with enough community responses though the lack of seismic stations.

구두 11-1

광석-제련철-슬래그의 암석기재학 및 지화학 특성에 기초한 제철유적 산지추정

Provenance interpretation of iron artifact based on petrography and geochemical properties of iron ore, smelting iron and slag

조재국^{1,*}, 김서진², 광병문², 신동복¹, 염경훈¹, 유병용¹, 임현경¹

Jaeguk Jo^{1,*}, Seojin Kim², Byeongmoon Kwak², Dongbok Shin¹, Kyeonghoon Yeom¹,
Byeongyong Yu¹, Heonkyung Im¹

¹공주대학교 지질환경과학과, whworm417@smail.kongju.ac.kr

²국립중앙문화재연구소

국내 철유적지 산지추정 연구에 적용할 수 있는 인자발굴을 위해 원료철광석-제련철-슬래그 간 암석기재학 및 지화학 분석을 수행하였다. 체계적인 분석을 위해 신예미 광산 원료철광석으로부터 제련한 선철과 괴련철 및 용융과정에서 파생된 슬래그를 각각 사용하여 철유적 시료와 비교분석 하였다. 치밀한 조직을 갖는 선철은 고순도 철(metal Fe)과 탄소균열이 특징적인 반면, 상대적으로 저강도의 불균질한 괴련철은 산화철(wüstite)과 탄소기포 흔적이 잔재했다. 조직상 선철 슬래그는 선철과 괴련철의 특징을 모두 갖는 반면 괴련철 슬래그에서는 감람석으로 대표되는 규산염광물과 산화철로 구성되었다. 유적시료 슬래그는 감람석과 산화철 이외에도 미용융의 맥석 잔여물이 관찰되었다. 감람석 지질온도계 측정 결과 실험물 괴련철 슬래그 내 감람석 정출온도는 1235~1280℃로 추정되었고, 유적시료 슬래그는 이보다 낮은 1210℃로 확인되었다. 희토류 원소인 La/Ce 비 및 Sm/Tm 비에 근거한 철광석-제련철-슬래그의 비교분석 결과 선형배열을 나타내 마그마 분화에 따른 원료 철광석과 유물시료 간 기원을 밝히는 지시자로서의 가능성을 보였다. 한편, 납-스트론튬 동위원소 비는 철광석-제련철-슬래그 간 상이한 분화패턴 및 분포양상을 보여 산지추정 적용인자로서의 활용가능성이 제한적인 것으로 나타난다.

구두 11-2

울릉도·독도 국가지질공원의 지질유산의 국제적 가치**International significance of geological heritages of
Ulleungdo-Dokdo National Geopark**이수재^{1,*}, 박경필², 유완상², 최종문²Soojae Lee^{1,*}, Gyungpil Park², Wansang Ryu², Jongmun Choi²¹한국환경·정책평가연구원 자연환경연구실, sjlee@kei.re.kr²국가지질공원사무국

울릉도·독도는 국내적인 관심으로 인하여 지질 특성에 대한 조사 및 연구가 꾸준히 이루어져 왔다. 2011년 국가지질공원으로 인증된 이후, 세계지질공원으로서 가능성 여부가 자주 논의되었다. 유네스코 세계지질공원은 국제적 가치가 있는 지질유산을 반드시 보유하도록 규정되어 있으므로, 본 발표에서는 울릉도·독도의 지질유산의 국제적 가치에 대하여 논의하고, 아울러 향후 세계지질공원을 추진시 고려할 사항을 간략히 살펴본다.

구두 11-3

우리나라 지질공원 방문객센터의 현황과 개선방안

The Present Status and Improvement of The Geopark Vistor Center in Korea

강선아*, 우경식

Suna Kang*, Kyung Sik Woo

강원대학교 지질학과, rkdtsdk25@naver.com

지질공원의 목표는 지질유산의 보전과 교육적인 관광(지질관광)과 이를 통한 지역경제 활성화이다. 효과적인 지질관광을 실현하기 위해서는 안내설명판, 해설안내, 방문객센터를 통해 관광객과의 직접적인 소통을 적극 활용해야 한다. 이 중에서 특히 방문객센터는 지질명소 내 현장에서 얻을 수 없는 지질학적 지식을 추가적으로 관광객에게 제공하는 것은 물론이고 지질공원의 관련된 일반적인 정보도 제공하는 시설이다.

이 연구에서는 현재 국내 국가지질공원에서 운영하고 있는 방문객센터를 조사하고 앞으로의 나아갈 방향에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 방문객센터를 기본기능인 전시 기능, 교육 기능, 관광정보 제공 기능, 지역특산물과 기념품 판매 기능, 그리고 기타 기능과 같이 총 5가지 항목으로 나누었다. 이를 이용하여 각 지질공원을 평가할 수 있는 평가표를 만들어 국내 12개의 국가지질공원 내 방문객센터의 운영 현황을 평가·분석하였다. 방문객센터가 국내 국가지질공원의 인증을 위해 필요한 요구사항이며, 세계지질공원으로 인증을 받기 위해서는 여러 기능을 갖추는 것이 매우 중요하다. 하지만 연구 결과 국내 지질공원 내에서 설립되어 운영되고 있는 방문객센터는 지질공원 방문객센터의 기본적인 기능을 시행하고 있는 곳이 거의 없었다. 아울러 지질공원에 관련된 담당자들을 이에 대한 기본적인 개념을 갖추고 있지 못하고 있는 것이 현실이다. 따라서 이 연구는 앞으로 국내 여러 국가지질공원 탐방객센터의 개선방안을 제안하여 효율적인 방문객센터의 운영 방향을 제안하고자 한다.

구두 11-4

설악산과 금강산의 세계자연유산 공동등재를 위한 제안

A proposal for joint World Heritage nomination of Mt. Seoraksan and Mt. Kumgang between South and North Korea

우경식
Kyung Sik Woo

강원대학교 지질학과, happyman369@naver.com

2017년 문화재청에서 출판한 자료에 의하면 설악산의 산악지형은 지질유산적 가치가 매우 높은 침식 및 퇴적지형을 보여준다. 이들은 차별침식 지형, 다양한 화강암지형, 주빙하기후를 지시하는 암괴류, 동아시아문순기수를 지시하는 암설류퇴적층이다. 이렇게 다양한 침식 및 퇴적지형은 IUCN에서 개정중인 세계유산의 지질학적인 기준(viii)의 침식시스템에 해당한다. 최근에 북한에서는 금강산의 지질유산적 가치를 부각시켜 국제학술지에 금강산이 세계자연유산으로 지정될 가치가 있다고 제안하였다. 금강산은 화강암지형 외에도 빙하 지형적인 특징이 나타난다고 보고되었다. 이는 설악산과 금강산이 서로의 장점을 활용할 경우 유네스코 세계자연유산으로 등재될 가능성이 높아질 것으로 판단할 수 있다. 대한민국 정부에서는 이러한 점을 인지하여 두 지역의 세계자연유산 추진을 공동으로 추진해야 할 것이다.

구두 12-1

KIGAM 야외지질조사시스템 소개

Introduction of KIGAM field geologic survey system

연영광^{1,*}, 김성원², 김유홍²Yeon-Kwang Yeon^{1,*}, Sung-Won Kim², You Hong Kihm²¹한국지질자원연구원 지오플랫폼연구본부, ykyeon@kigam.re.kr²한국지질자원연구원 국토지질연구본부

지질도는 야외조사과정에서 수집된 자료의 분석 해석 과정을 거쳐 도면화되고 최종적으로 인터넷을 통해 검색가능한 공간정보로 활용된다. 과거 지질조사의 최종 결과물은 도면 및 보고서 형태의 출판물이었다. 그러나 지질조사과정에서 수집된 자료들은 컴퓨터상으로 옮겨질 때 다양한 자료와의 교차해석 등으로 재활용될 수 있기 때문에 조사단계 부터 컴퓨터상의 자료형태로 수집되어 관리되어야 할 필요성이 있다.

현재까지 국내의 야외지질조사를 위해 개발된 도구들을 검토하면, 영국 지질조사소인 BGS는 기관 자체적 개발한 SIGMA mobile이 있다. 이 시스템은 Windows 기반의 상용 GIS 소프트웨어를 이용한 플러그인 형태의 SW이며 이를 활용하기 위해서는 많은 사전학습이 필요하며 하드웨어상 휴대성과 떨어진다. 이외에 스마트폰기에서 활용할 수 있는 SW들이 개발되어져 있으나 대부분 구조측정을 위한 단순 도구 형태이다. 기 개발된 시스템을 이용하기 위한 추가적으로 수반되는 시간, 비용 및 활용성 측면에서 손쉽게 사용하는데 용이하지 않다.

이러한 필요성에 의해 한국지질자원연구원에서는 KIGAM 야외지질조사시스템(가칭)을 개발하였다. 이 시스템은 안드로이드 모바일 환경에서 운용되며, 야외 지질조사에 필요한 다양한 GIS기능을 이용하여 야외지질조사 자료를 수집할 수 있으며, 수집한 자료는 PC 환경에서 가져와 동일하게 보여줄 수 있도록 개발되었다. 지질노두조사를 위한 로컬리티, 사진촬영 및 스케치, 지질구조계측, 시료데이터 수집, 메모입력을 위한 메뉴가 있으며, 노두 스케치를 위해 터치 기반 환경에서 자유롭게 점선면 기하요소들을 편집할 수 있는 다양한 기능들이 포함되었다.

개발된 KIGAM 야외지질조사시스템은 야외지질학에서 학습하는 다양한 지질심벌 및 구조측정표현방법들이 포함되어 있기 때문에 야외지질조사를 업무로하는 조사자뿐만 아니라, 학생들도 야외 지질학을 익힐 수 있다. 개발된 다양한 고유의 기능 및 알고리즘들은 연구원 자체기술로 개발되었으며, 이를 배포하여 지속적으로 발전할 계획이다.

감사의 글: 본 연구는 한국지질자원연구원 주요사업인 ‘국토 지질조사 및 지질도·지질주제도 발간(20-3111-1)’과제의 일환으로 수행되었습니다.

The Ordovician succession of the Taebaek Group revisited: old conodont data, new perspectives and implications

Se Hyun Cho^{1,*}, Byung-Su Lee², Dong-Jin Lee³, Suk-Joo Choh¹

¹Department of Earth and Environmental sciences, Korea University, whtpgus307@korea.ac.kr

²Department of Earth Science Education, Chonbuk National University

³College of Earth Sciences, Jilin University

Recently revised North China (Sino-Korean) Block conodont biostratigraphy utilizing widely distributed taxa as index species and integration of other fossils reconfirmed two platform-wide hiatuses within the Ordovician deposits. We recompiled all available Ordovician conodont data from previous studies of the Taebaek Group of the Taebaeksan Basin and applied the revised North China Ordovician conodont biostratigraphic scheme. The recompiled Ordovician Taebaek Group conodont data conform well with the middle Tremadocian, lower Floian, and middle Darriwilian biozones of North China. The overall conodont distribution patterns, the occurrence of endemic species found only in North China, and the presence of an Upper Ordovician to Carboniferous hiatus reaffirms the close relationship of the Taebaeksan Basin to the North China. In addition, the absence of middle Floian to lower Darriwilian conodonts in the Taebaek Group raises the possibility of the presence of a hiatus in the Lower Ordovician deposits, similar to platform-wide hiatus of North China. We suggest that a previously unrecognized disconformity occurs at the uppermost contact of the massive dolostone interval (the basal member) of the Makgol Formation. This inference is based on the sudden abundance of middle Darriwilian conodonts in the overlying strata; field evidence of a sharp, truncated surface that includes dolomitic clasts from the underlying bed; and the presence of local brecciation and oversized vuggy pores in the uppermost part of the massive dolostone interval. Ongoing conodont investigation from the Makgol Formation at Seokgaejae section implies the presence of Tremadocian-Floian boundary within the massive dolostone interval and abundant occurrence of middle Darriwilian conodonts within the cyclic limestone interval immediately overlying the massive dolostone interval.

구두 13-2

수증기-마그마성 화산 내 기공질 응회암의 특징과 형성 과정

The characteristics and formation mechanism of vesiculated tuffs
in phreatomagmatic volcanoes

고선영*, 손영관

Sun Young Go*, Young Kwan Sohn

경상대학교 지질과학과, igo@gnu.ac.kr

기공질 응회암(vesiculated tuffs)이란 0.1 mm에서 수 cm 크기의 원형 내지 타원형의 기공(vesicle)을 포함하는 응회암을 일컫는다. 이 연구는 약 3700년 전 현무암질 마그마의 수증기-마그마성 화산분화를 통해 형성된 제주도 송악산 응회암을 대상으로 기공질 응회암의 형성과정에 대해 살펴보고자 한다. 연구에 사용된 시료는 접근이 가능한 응회암의 말단부(분화구로부터 850-900 m)에서 기공질 응회암과 비기공질 응회암을 채취하였다.

전자현미경을 이용해 촬영한 후방산란전자이미지 하에서 응회암 내 공극의 형태, 공극을 둘러싼 입자들의 분포 등을 바탕으로 공극의 유형을 버블(bubbles)과 보이드(voids)로 분류한 뒤 기공질 응회암과 비기공질 응회암을 구별하여 조직 비교를 실시하였다. 기공질 응회암은 원형 내지 타원형의 버블(bubbles)이 잘 관찰되었고 기질부를 세립질 입자들이 치밀하게 채우고 있어 각각의 기공은 폐쇄된 형태를 보여주었다. 기공 주변의 골격입자들은 내벽면에 평행하게 배열된 모습을 보여주기도 하며, 기공의 내벽은 완만한 곡선 형태로 관찰되었다. 또한, 기공질 응회암은 화쇄난류 퇴적층에서만 확인되었다. 이는 쇄설물 내 가스나 증기가 빠져나가지 않고 보존되기 위해서 화쇄난류로 빠르게 운반 및 퇴적되었으며 쇄설물은 응집체를 형성하지 못할 정도로 수분 함량이 높은 슬러리 상태였음을 지시한다. 반면에 비기공질 응회암은 불규칙한 형태의 보이드(voids)가 우세하게 관찰되었고, 응집체를 이룬 화산재 입자들이 입자지지되어 있으면서 기질 없이 비어 있는(openwork) 조직을 보여주었다. 이로 인해 기공들은 대개 서로 연결되어 나타나며, 기공의 골격입자들은 무질서하게 배열되어 있어 내벽은 매우 고르지 않고 거친 특징을 보여준다. 이는 퇴적 당시에 입자들 사이의 공간들이 폐쇄되지 않아 응회암 내에 포함된 가스 또는 증기가 빠져나가기 쉬웠음을 나타낸다. 비기공질 응회암은 화쇄난류 및 낙하 퇴적층 모두에서 관찰되었다.

송악산응회암에서는 화산재응집체, 접착연흔, 탄낭구조, 반죽처럼 발려져 있는 형태의 화산쇄설물 등의 특징들이 흔히 관찰되었는데, 이는 화산쇄설물이 비교적 차갑고($<100^{\circ}\text{C}$) 습윤한 상태로 퇴적되었음을 지시한다. 즉, 기공질 응회암 내 가스는 액체 상태의 물이 기화하기보다는 대기 중의 공기가 화쇄난류 내부로 유입되어 입자 사이에 포함된 후 상온의 공기가 열팽창을 통해 버블을 형성한 것으로 보인다. 응회암 내부의 공기가 열팽창을 통해 슬러리 상태의 화산쇄설물의 항복강도(약 $10^3\text{Pa}=0.01\text{기압}$)를 초과할 만큼의 압력 증가가 있으려면 3°C 의 온도 상승이 필요한 것으로 계산된다.

이상의 분석을 바탕으로 기공질 응회암의 형성 조건을 다음과 같이 요약할 수 있다. (1) 화산쇄설성밀도류로 운반되는 화산쇄설물은 분급이 불량하고 (2) 화쇄난류의 고체 입자와 기체는 열적으로 비평형 상태로서 화산재 입자의 온도가 주위 기체의 온도보다 높아야 한다. 이에 따라서 운반과정 중 주변의 차가운 공기가 쇄설물 내부로 많이 흡입되면서 테프라 입자보다 상대적으로 기체의 온도가 더욱 낮아진 상태로 퇴적되었고, 입자 사이의 기체는 상대적으로 높은 열을 가진 테프라 입자들에 의해 열팽창을 겪으면서 주위를 둘러싸고 있던 입자들을 밀어내 원형 내지 타원형의 기공을 형성한 것으로 판단된다. 이번 연구를 통해 기공질 응회암은 화산쇄설성밀도류가 열적으로 비평형 상태였음을 알려주는 지시자 역할을 할 수 있으며, 화산쇄설성밀도류의 물리적 특성에 대한 더 나은 이해를 제공할 수 있을 것이다.

Stratigraphy of the Jurassic Kirkpatrick Basalt, Antarctica: a virtual field trip

Jusun Woo^{1,*}, Donghyeok Kang¹, Myeongho Seo², Mi Jung Lee³, Jong Ik Lee³

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, jusunwoo@snu.ac.kr*

²*Soma Design*

³*Division of Polar Earth-Sciences, Korea Polar Research Institute*

The Jurassic Kirkpatrick Basalt (KB) in the Transantarctic Mountains, Antarctica is a thick (ca. > 1000 m) succession of continental flood basalt (CFB) and forms a part of the Ferrar Large Igneous Province. KB is superbly exposed along 80-km-long outcrop belt of the Mesa Range, northern Victoria Land, Antarctica and provides a good test bed for applying facies concept for CFB. In order to facilitate physical correlation and understanding 3D relationship of flow units, Korea Antarctic Geological Expedition (KAGEX) acquired unprecedented data set of KB stratigraphy in Mesa Range by airborne photogrammetry with resolution of several meters. Previous researches and preliminary results of KAGEX data show that KB consists of “classic” tabular lava, ponded lava, compound-braided lava, lava-delta, and intervening lacustrine “facies”. These “facies” are waiting for more elaboration in terms of their petrography, intra-flow characteristics, and spatial association among facies. Detailed mapping of basalt flow facies is expected to show flow direction of lavas and development of geographic features, including large water masses, on the lava field. The integrated result will be a systematic facies model to describe, interpret, and predict depositional characteristics of CFB.

구두 14-1

북극해 척치 대지 남서 사면에 분포하는 가스 하이드레이트 언덕 (아라온 언덕): 현재 활동성 및 지구조적 함의

Gas hydrate mounds (Araon Mounds) in the southwestern slope of the Chukchi Plateau, Arctic Ocean: current activity and tectonic implications

김영균^{1,*}, 김수관², 이동현³, 이영미⁴, 김형준², 강승구², 진영근², 소병달⁵

Young-Gyun Kim^{1,*}, Sookwan Kim², Dong-Hun Lee³, Yung Mi Lee⁴, Hyoung Jun Kim², Seung-Goo Kang²,
Young Keun Jin², Byung-Dal So⁵

¹강원대학교 지구자원연구소, younggyun.kim@gmail.com

²극지연구소 극지지구시스템연구부

³국립수산과학원 어장환경과

⁴극지연구소 극지생명과학연구부

⁵강원대학교 지구물리학전공

퇴적층내의 메탄이 해수로 방출되며 형성되는 가스 하이드레이트 마운드는 일차적으로 해저면의 지형변화를 야기하기 때문에 음향 지구물리장비의 관측을 통해 확인될 수 있다. 2016년 아라온의 북극해 탐사도 중 척치 대지(plateau) 남쪽 사면에서 다중빔음향측심기와 천부지층탐사기 관측결과로 확인된 몇 개의 언덕(mound)들은 2018년 재방문시 지구물리, 지질, 생물, 생화학 등의 종합해양관측을 통해 자세히 탐사되었다. 다중빔음향측심기의 관측결과 언덕들은 8개가 확인되었으며, 수심 780~580 m에서 대체적으로 직선상에 위치한다. 모습은 평면상에서 대체적으로 원형이며, 그 규모는 직경 수백 m, 높이 수십 m를 보인다. 언덕 상부에서 획득한 퇴적물 코어에서 메탄 기원 자생탄산염암과 가스 하이드레이트가 확인되었다. 천부지층탐사기 관측결과는 언덕 하부로는 가스가 충전되었음을 지시한다. 언덕에서 메탄 방출현상이 직접적으로 관측되지 않았으나, 언덕과 그 주변에서 관측된 지온경사도는 언덕에서 현재 혹은 최근 유체방출이 있었음을 뚜렷이 지시한다. 탐사결과를 종합하여, 이 구조는 가스 하이드레이트 언덕임이 확인되었고 아라온 언덕(Araon Mound)로 명명한다. 아라온 언덕은 긴 시간 활동성을 유지해왔고 현재에도 활동성을 보인다. 한편, 아라온 언덕의 하부 구조에 대한 자료가 부족하기 때문에 그 형성기작을 단언하기는 어렵다. 단, 언덕들이 발견된 위치와 분포 형태, 그리고 연구지역의 지질구조는 분지 주변에서 발달한 심부 단층을 따라 상승하던 메탄유체로 인해 아라온 마운드가 형성되었다는 가설에 가장 부합한다. 이는 퇴적물 코어의 지화학 분석결과 심부기원과 생기원의 메탄 혼합되었다는 관측결과와도 부합한다. 이후 추가적인 탐사 및 분석을 통해 아라온 마운드의 형성 기작과 메탄방출 활동성을 규명하는 것이 척치 대지 주변의 메탄방출 현상을 이해하기 위해 중요하다.

구두 15-1

A comparative study on supervised machine learning models for assessing groundwater contamination vulnerability index of Miryang aquifer, Korea

Hussam Elzain*, Sang Yong Chung

Institute of Environmental Geosciences, Department of Earth & Environmental Sciences, Pukyong National University, halzain944@gmail.com

The assessment of groundwater contamination vulnerability has become a valuable tool for groundwater pollution management and prevention. DRASTIC index proposed by Aller *et al.* (1989) is the most common groundwater vulnerability assessment approach to pollution. Irrespective of its advantages, the DRASTIC model has some drawbacks, mainly the subjectivity of determining rates and weights of the vulnerability factors. This inherited subjectivity leads to introduced errors to the final model assessment. The main objective of this research is to implement supervised machine learning models such as artificial neural networks (ANN) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for assessing the groundwater vulnerability index in the Miryang aquifer, Korea. The eight factors of Depth to water, net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topographic slope, Impact to vadose zone, Hydraulic Conductivity, and Land-use were normalized and used as inputs for modeling procedure. Due to the uncertainty to calculate the real value of the vulnerability index at each well, the index was conditioned using nitrate concentration values according to 95 wells to produce a conditioned vulnerability index (CVI). ANN and ANFIS models were trained using CVI as output for the training and testing stage. The evaluation of each supervised models was performed using benchmarked statistical criteria such as MAE and RMSE. The models were also verified by employing ROC/AUC curve values. The statistical results of testing data indicated that ANFIS model (RMSE=16.79; MAE=1.001, and AUC=0.704) rendered the better result compared with the ANN model (RMSE=19.34; MAE=8.70, and AUC=0.66). It is due to the advantage of ANFIS combined with fuzzy logic. The spatial distribution maps produced by supervised machine learning showed more accuracy for determining the locations of the polluted areas with nitrate concentration compared with the original DRASTIC index. In conclusion, the assessment of the groundwater contamination vulnerability indices using machine learning models was relatively more reliable compared to the original DRASTIC method.

구두 15-2

Is it possible that the hydraulic test analysis is skewed due to excessive injection or extraction?

Sung-Hoon Ji*, Byeong-Hak Park, Kyung-Woo Park

Radioactive Waste Disposal Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, shji@kaeri.re.kr

Excessive injection or extraction during a hydraulic test in fractured crystalline rock may introduce non-Darcian flow and influence the results of the test. In this study, we conducted pulse, slug and constant head withdrawal tests at an underground research facility, KAERI Underground Research Tunnel (KURT). The influences of non-Darcian flow on the hydraulic tests were analyzed by estimating the changes of Reynolds numbers (Re) and fitting the hydraulic test results to the Forchheimer equation. Based on the results, we discussed the possible distortion of the estimated hydraulic conductivities from pulse, slug and constant head withdrawal tests, and evaluated the applicability of those tests in terms of the safety assessment for a subsurface high-level radioactive waste disposal repository.

구두발표

10. 27. 화 - 29. 목

- 16 고원생대에서 백악기까지의 한반도 지구조 진화와
한중일 지구조 대비 ㉮
- 17 기후변화와 극지환경변화 ㉮
- 18 대륙주변부의 지질 및 지각 구조: 한반도 동남부를 중심으로 ㉮
- 19 독도 및 주변 해저화산의 성인 및 변동연구 ㉮
- 20 백두산 화산 ㉮
- 21 영남지역 대단층계에 대한 육상 및 해양에서의
지진지질학 연구결과 토의 ㉮
- 22 원자력 발전 전주기 지질학적 부지 안전성 평가 ㉮
- 23 인공신경망과 지질과학 ㉮
- 24 지구과학분야 여성과학기술인 연구교류 ㉮
- 25 지하수 특성화 인자 DB 구축 및 가시화 현황과 전망 ㉮
- 26 지하수내 미세플라스틱의 발현/운명 및 거동 ㉮
- 27 해양지각 및 맨틀의 지구화학, 지구물리, 지구시스템 연구 ㉮
- 28 환경 생지구화학 - 미생물, 광물, 동위원소 등 살아있는
지구에서의 물질순환 ㉮

구두 16-1

Paleoproterozoic igneous and metamorphic activity in the Jiao-Liao-Ji Belt, North China Craton and its tectonic implication: a review

Xiaohan Wang*, Chang Whan Oh

Department of earth and environmental science, Jeonbuk National University, owen2177@163.com

The Jiao-Liao-Ji Belt has been studied for more than three decades. It is certain that the Jiao-Liao-Ji Belt bounded the Longgang Block in the north and the Nangrim Massif in the south to form the eastern part of North China Craton. However, the tectonic evolution of this process is still under debated. In this paper, we are trying to combine all available Paleoproterozoic igneous and metamorphic information from Jiaobei (Jiao), Liaodong (Liao) and Jinan (Ji) areas to summarize the tectonic evolution. Basically, the igneous activity can be divided into three episodes: 1) 2.18–2.13 Ga, felsic intrusions, 2) 2.13–2.06 Ga, mafic intrusions, and 3) 1.87–1.84 Ga, porphyritic granite and syenite intrusions. Although three episodes of igneous intrusions were found, the Jiao-Liao-Ji Belt did not record metamorphic ages older than 1.95 Ga but only 1.95–1.87 Ga and 1.89–1.83 Ga metamorphism. The 1.95–1.87 Ga metamorphism is considered as the result of continental-continental collision and the 1.89–1.83 Ga metamorphism is believed as related with 1.89–1.83 igneous intrusion and post-collisional activity. In addition, the most important argument focused on P-T paths during 1.95–1.83 Ga. Around 2000, counterclockwise P-T paths were discovered along the southern part of Jiao-Liao-Ji Belt, whereas these counterclockwise P-T paths were challenged by recent studies depending on pseudosection results, which seems more reliable. Therefore, according to the these studies, we suggest Jiao-Liao-Ji Belt experienced clockwise P-T paths and continental-continental collision during 1.95–1.87 Ga. In the end, by combining all above information and geochemistry data, we would like to propose a southward subduction model following with the post-collisional tectonic evolution at 1.89–1.83 Ga.

구두 16-2

경기육괴와 영남육괴의 고원생대 화성 및 변성작용에 대비 및 이들의 지체구조적 의미

Correlation of the Paleoproterozoic magmatic and metamorphic events in the Gyeonggi and Yeongnam massifs and its tectonic implication

이병춘^{1,*}, 오창환²Byung Choon Lee^{1,*}, Chang Whan Oh²¹한국지질자원연구원, lbc@kigam.re.kr²전북대학교

한반도의 기저부는 주로 고원생대에 형성된 암석들로 구성되어 있으며 이들의 형성 시기 및 원인을 이해하는 것은 한반도뿐만 아니라 동북아시아의 지구조 진화사를 이해하는데 중요한 정보를 제공하는 것으로 여겨지고 있다. 최근 경기육괴와 영남육괴에 분포하는 기반암으로부터 상당수의 정밀한 지화학 및 지질연대자료들이 보고됨으로써 경기육괴와 영남육괴의 진화사를 이해하는데 새로운 정보를 제공하고 있다. 이번 발표에서는 최근에 보고된 자료 및 기존자료들을 종합해 경기육괴와 영남육괴의 고원생대 화성 및 변성작용에 대해 비교해보고 이들이 지체구조적으로 어떠한 의미를 갖는지 토의해보고자 한다. 경기육괴의 고원생대 화성작용의 경우 약 1.88-1.86 Ga경에 형성된 화강암류(화강암-화강섬록암-섬장암) 및 이들과 함께 소규모 암주상으로 나타나는 염기성화성암류(각섬암)가 분포하는 것이 특징이다. 지화학 분석결과에 따르면 이 암석들은 대부분 인장형 환경에서 형성된 것으로 나타나고 있다. 반면 영남육괴의 경우 경기육괴에서는 보고되지 않은 약 2.00-1.97 Ga경에 형성된 화성암류(화강암-섬록암)가 분포하고 있으며, 이 암석들은 약 1.90-1.86 Ga경에 형성된 화성암류 화강암-각섬암)에 관입을 받았다. 지화학 분석결과 이 암석들은 대부분 섭입과 관련된 환경에서 형성된 것으로 나타나고 있다. 한편, 경기육괴의 고원생대 변성작용의 경우 Barrovian형의 중압형 변성작용으로 대표되는 반면 영남육괴의 고원생대 변성작용은 경기육괴보다는 상대적으로 압력이 낮은 Buchan형의 변성작용이 광역적으로 일어난 것이 특징이다. 이러한 내용들을 정리해 보면 경기육괴의 경우 고원생대 동안(약 1.88-1.86 Ga) 대륙 충돌 및 충돌 후 환경과 관련된 화성 및 변성작용을 경험한 반면, 영남육괴의 경우 고원생대 동안(약 2.00-1.86 Ga) 섭입과 관련된 화성 및 변성작용을 경험한 것으로 보인다. 이는 경기육괴와 영남육괴가 고원생대 동안 서로 다른 지구조 진화과정을 경험했음을 의미하며, 두 육괴가 적어도 고원생대 동안은 별개의 지체구조적 단위로 존재했을 가능성이 높음을 의미한다.

구두 16-3

Age and the tectonic setting of the Neoproterozoic igneous activities in the Gyeonggi Massif of Korean Peninsula and its implication for the tectonics of northeast Asia

Bo Young Lee*, Chang Whan Oh

Department of Earth and Environmental Sciences and The Earth and Environmental Science System Research Center,
Jeonbuk National University, dlqhdud4486@naver.com

The Neoproterozoic rocks related to the formation and break-up of the Rodinia supercontinent were reported in the North and South China Cratons and Korean Peninsula. We studied the Neoproterozoic igneous rocks in the Gonamsan and Chuncheon areas in the northern Gyeonggi Massif and those in the Dangjin area in the southwestern part of the Gyeonggi Massif in Korean Peninsula. The Gonamsan and Chuncheon metabasites in the northern Gyeonggi Massif intruded in a within-plate tectonic setting at ca. 851-873 Ma and 888 Ma, respectively. The Nb/Yb ratios (7-23) of these metabasites represent enriched mid-ocean ridge basalt (E-MORB) to ocean island basalt (OIB) characteristics. Most zircons found within the Gonamsan metabasites have positive $\epsilon\text{Hf}(t)$ values and Paleoproterozoic to Mesoproterozoic isotopic model ages (T_{DM2}). These metabasites have initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios that range between 0.7033 and 0.7058 and $\epsilon\text{Nd}(t)$ values of -0.68 to 5.02. These geochemical characteristics of these metabasites indicate that these rocks formed in a rift-related environment. The Neoproterozoic metabasites in the Dangjin area can be subdivided into arc and rift types. The arc-type metabasites formed at 833-793 Ma. These metabasites have Nb/Yb ratios of 4-7, Nb/U ratios of 3.58-27.5 and show an increase in Th/Nb ratios with increasing La/Sm ratios. Most zircons from these metabasites have negative $\epsilon\text{Hf}(t)$ values and Paleoproterozoic-Archean TDM2 ages, except one that has positive $\epsilon\text{Hf}(t)$ values and a Mesoproterozoic T_{DM2} age. Most these metabasites have initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of 0.7048-0.7105 and negative $\epsilon\text{Nd}(t)$ values from -11.67 to -5.25. These geochemical characteristics indicate that the arc-type Dangjin metabasites experienced crustal contamination during differentiation in an arc tectonic environment. The rift-related Dangjin metabasites intruded at ca. 793 Ma in a similar manner to the Gonamsan and Chuncheon metabasites. The Nb/Yb ratios (8-11) of these metabasites are higher than those of the arc-type metabasites. These metabasites have lower initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of 0.704 and higher $\epsilon\text{Nd}(t)$ values of 1.96 than the Dangjin arc-type metabasites. Together with the results of previous work, this study indicates that the tectonic setting of the Dangjin-Hongseong area was an arc during the period 820-900 Ma and then changed into a rift during the period 703-793 Ma. In the previous studies, the followings were reported. The Sangwon system in the southern margin of the Nangrim Massif deposited after 984 Ma and was intruded by Sariwon mafic sills at 899 Ma. The Sangwon system was correlated to the Qingbaikou system in the North China Craton. Alkaline igneous rock intruded at 742 Ma within the rift-related tectonic setting in the Gamaksan area. In the Gapyeong, rift related magmatism also occurred at 846 Ma. Considering that rifting related igneous activity started from ca. 700 Ma in the South China Craton, the Gonamsan, Chuncheon, Gamaksan and Gapyeong areas in the northern Gyeonggi Massif can be correlated to the Qingbaikou system in the North China Craton together with the Sangwon system during the period 830-930 Ma. On the other hand, the Neoproterozoic igneous rocks in the southwestern Gyeonggi Massif can be correlated to the Neoproterozoic arc- and rift-related igneous rocks in the northern margin of South China Craton, which intruded during 850-871 and 637-820 Ma, respectively. More study will be needed to confirm this correlating between Korea and China.

구두 16-4

The origin and tectonic meaning of the Neoproterozoic sedimentary and igneous rocks in the Gogunsan Islands

Won Jeong Kim*, Chang Whan Oh

Earth and Environmental Sciences, Jeonbuk National University, kwj2205@hanmail.net

In the Korean Peninsula the Neoproterozoic rocks recognized in several locations including the Okcheon Belt and northern and southern Gyeonggi Massif. Those rocks provide important insight for interpreting the Neoproterozoic tectonic processes between the Korean Peninsula and China. Neoproterozoic sedimentary and intrusive rocks occur in the northern part of Gogunsan Islands, which consist of Maldo, Myeongdo and Bangchukdo islands and locate in the southwestern margin of the Gyeonggi Massif. The Gogunsan islands consist of two Neoproterozoic formations (Maldo and Bangchukdo Formations) with felsic and mafic intrusive rocks. The Maldo Formation, deposited during 1156-894 Ma, was intruded by felsic and mafic igneous rocks during 930-893 Ma in an arc tectonic environment. And the Maldo Formation underwent intermediate-P/T metamorphism (3.2-5.5 kbar and 454-480°C), indicating collision event. Whereas, in the Bangchukdo Formation, deposited after 818-790 Ma, sedimentary structures including ripple mark and cross-bedding are well developed without strong deformation. In addition, the modal analysis on the sandstones in the Bangchukdo Formation indicates that it deposited in a rifting tectonic environment. The Neoproterozoic metabasites in the Gogunsan islands are divided into two groups; the first group with >15% MgO contents represents a cumulate whereas the second group with <15% MgO contents formed from melt. According to the recent studies, the Neoproterozoic igneous rocks were formed in the subduction zone along the southeastern margin of the Yangtze block before the collision between the Yangtze and Cathaysia blocks within the South China Craton. And after the collision, Nanhua rift formed between Yangtze and Cathaysia blocks during 825-750 Ma. The data in this and previous studies suggest that the 930-893 Ma metabasites formed in arc environment and 818-790 Ma rift-related sedimentary rocks in the Gogunsan Islands can be correlated to the Neoproterozoic igneous rocks formed in subduction zone along the southeastern margin of the Yangtze block and the Neoproterozoic sedimentary rocks deposited in the Nanhua rift after collision within the South China Craton, respectively.

구두 16-5

The tectonic evolution from Neoproterozoic to Triassic in Jangbong Island in the northwestern Gyeonggi Massif on the Korean Peninsula

Ji Wan Jeong^{1,*}, Chang Whan Oh¹, Deung-Lyong Cho²

¹Department of Earth and Environmental Sciences and The Earth and Environmental Science System Research Center, Jeonbuk National University, jiwan314@naver.com

²Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

The Korean Peninsula is located at the eastern end of the Eurasian Plate, and the geological correlation between the Korean Peninsula and China is important for the interpretation of the geological evolution of Northeast Asia. Jangbong Island is located in the northwestern coastal area of the Gyeonggi Massif (GM) in the central part of the Korean Peninsula. The aims of this study are to determine the age of intrusion and metamorphism of mafic igneous rocks in Jangbong Island and the tectonic evolution of the northern GM including Jangbong Island. The basement of Jangbong Island consists of Paleoproterozoic gneiss and covered by Neoproterozoic metasedimentary rocks such as pelitic schist, calc-schist, and quartz schist. These rocks were intruded by mafic dikes that were metamorphosed to amphibolite. All rocks in the study area were intruded by Triassic gabbro and granite. The U/Pb zircon analysis using LA-ICPMS, gives the intrusion ages of 911 ± 72 Ma and 934 ± 44 Ma for metabasites. The whole rock geochemistries indicate that Jangbong Island metabasites are all alkaline basalts and mostly tholeiitic and formed in a within-plate tectonic setting. Two metamorphic ages of 254 Ma and 231 Ma were obtained from metabasites with an intrusion age of 911 ± 72 Ma. On the other hand, one metamorphic age was obtained for other metabasites which give metamorphic age of 255 Ma and 229 Ma, respectively. Zircons with metamorphic ages of 254-255 Ma have lower trace element pattern and Th/U values than zircons with metamorphic age of 231-229 Ma. In the study area, two different metamorphic stages are confirmed: the first was intermediate-P/T peak metamorphism (700-600°C/8.7-6.8 kbar), and the second was low-P/T retrograde metamorphism (600-500°C/5.7-3.1 kbar) showing a clockwise P-T path. The Triassic gabbro yields an intrusion age of 229 Ma and formed in a post-collisional tectonic setting with Triassic granite. The 911-934 Ma rift-related mafic intrusion is well-matched with the Neoproterozoic rift-related mafic intrusions in the northern GM and along the southeastern margin of the North China Craton (NCC). The 254-252 Ma intermediate-P/T peak metamorphism is well-matched with the collisional event in the northern GM, and the 232-230 Ma low-P/T metamorphism and 229 Ma post-collisional igneous activity are well correlated with post-collisional events in the northern GM. Together with previous data, these data support the correlation between the northern GM and the NCC.

구두 16-6

한반도 중생대 광화작용 Mesozoic Mineralization in Korea

서지은*, 최선규, 이영재
Jieun Seo*, Seongyu Choi, Young Jae Lee
고려대학교 지구환경과학과, still4@korea.ac.kr

중생대 화성활동은 각 지질시대에 따라 다른 조구조적 진화 양상을 보인다. 트라이아스기에는 후-충돌대형(post-collisional type) 화성활동(Seo *et al.*, 2010), 쥐라기에는 조산대형(orogenic type) 화성활동, 그리고 후기 백악기에는 후-조산대형(post-orogenic type) 화성활동으로 상이하게 유도되었다(Kim, 1971a). 이러한 화강암체는 지화학적/광물학적 특성뿐만 아니라 정치심도의 상당한 차이를 나타내고 있으며(Cho and Kwon, 1994), 지질시대에 따라 각각 서로 상이한 지열수계로 발전하였다(Choi *et al.*, 2005b; Choi and Pak, 2007). 또한, 각각의 지열수계는 마그마의 정치심도에 따라 상이한 온도-압력의 지질조건의 유체를 발생시켰으며, 이러한 광화유체의 진화과정에서 유체조성에 따라 특정 금속의 침전을 유도하여 상이한 금속종이 수반되는 광상유형으로 배태되었다. 중생대부터 신생대초기까지 주요 광상유형은 마그마성 열수기원의 열극충진형 맥상 광상과 스키타형/열수교대형 광상이 대부분을 점유하고 있으나, 화성 기원의 페그마타이트 광상과 카보네타이트 광상도 최근 보고되었다(Kim *et al.*, 2016; Seo *et al.*, 2016). 중생대 금속광화작용은 대부분 쥐라기 중기부터 신생대 초기에 걸쳐 집중된 경향성을 보이며(Kim, 1971; Shimazaki *et al.*, 1986; So and Shelton, 1987; Park *et al.*, 1988a, 1988b; Oh, 1999; Choi *et al.*, 2005a), 최근 경기육괴를 중심으로 트라이아스기 후-충돌대형 화성활동과 연계된 금속광화작용이 처음 보고되고 있다(Seo *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2016). 지금까지 발표된 총 156개 금속광상의 트라이아스기, 쥐라기 전기 백악기, 후기 백악기 및 제삼기 생성연대에 대한 산출빈도를 종합적으로 비교한 결과, 금속광화작용은 주로 후기 백악기에 집중되는 경향성을 보인다. 이러한 사실은 상대적으로 심부에서 정치된 트라이아스기 및 쥐라기 화강암체와 비하여 천부 환경에서 정치된 백악기 화강암체의 인접부가 금속광상의 높은 부존 상태를 나타내고 있다. 화강암체의 정치심도(Cho and Kwon, 1994; Hong, 2001; Hong and Cho, 2003; Uchida *et al.*, 2012)에 따라 방출되는 광화유체의 유동성과 반응성을 고려하면, 마그마성 열수기원의 금속광화작용에서 후기 백악기 이후 정치된 화강암체가 전반적으로 천부 지질 환경 조건을 시사하고 있다. 또한, 중생대 금속광상 부존의 가능성은 대보조산 운동 이후 빠른 응기작용으로 후기 백악기(약 100 Ma) 이전에 형성된 광상은 대부분 침식작용에 의하여 대부분 제거되었고, 조산대형 광상 중 심부지질 환경에서 생성된 광상 유형만이 일부 잔존하고 있다(Choi *et al.*, 2005a). 한편 후기 백악기(약 100 Ma) 이후에 형성된 금속광상은 소규모 암주상 화강암체를 중심으로 밀집된 분포양상을 보이고 있다. 특히 이러한 후기 백악기 화강암체 중 황강리 광화대가 대표적인 사례로서 천부형 화강암인 무암사 화강암(88.1 Ma; Lee *et al.*, 2010)과 수산 화강암(89.0 Ma)의 연변부를 따라 후기 백악기(약 95~85 Ma) 금속/비금속 광상의 밀집된 분포 양상이 보고된 바 있다(Reedman *et al.*, 1973).

구두 16-7

The interpretation of mid-Cretaceous tectonic environment of the Korean Peninsula and Northeast Asia based on the age and geochemistry of the mid-Cretaceous volcanic rocks in the Jinan Basin

Seung Hwan Lee^{1,2,*}, Chang Whan Oh¹, Jung-Woo Park³

¹Department of Earth and Environmental Sciences and The Earth and Environmental Science System Research Center, Jeonbuk National University, leseha2002@naver.com

²Geological Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

³School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

Most of the mid to late Cretaceous igneous rocks in the southeastern margin of South China Cratons and North China Cratons are interpreted to be formed due to upwelling of asthenospheric mantle caused by the back arc extension. However, it is uncertain that which tectonic environment formed Cretaceous igneous rocks in the Korean Peninsula. The Jinan Basin is one of the Cretaceous pull part basins in the southern Korean Peninsula and the volcanic rocks in it give important data which can solve the uncertainty. In the Jinan Basin, sedimentation had started at least from 97.7 Ma and continued until 89.5 Ma. The sedimentary sequences were intermittently extruded by rhyolitic and andesitic magma at 90-89 Ma, and finally intruded by basaltic trachyandesite at 84 Ma. The volcanic rocks in the Jinan Basin show geochemical features of strong enrichment in large ion lithophile elements and light rare earth elements relative to high field strength elements. The mafic and intermediate volcanic rocks are distinguished from the typical continental arc magmas by enrichment in incompatible elements such as Y and Zr with high Zr/Y, suggesting that they originated from an enriched source. The basaltic trachyandesites and andesite have Sr isotope ratios ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) of 0.708769-0.709484 and Nd isotope ratios ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) of 0.511782-0.511886, which indicate that they formed from mantle which was contaminated with ~25% of crustal component in their petrogenesis. The Pb isotope data ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.572-18.158$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.535-15.640$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.366-38.921$) suggest that the crustal component should have experienced a prolonged evolution. The Mg# (46-57) and Cr contents (40-180 ppm) in the mafic to intermediate rocks higher than typical crustal melts at a given range of SiO_2 , demonstrate that they evolved from a mantle-derived primary magma. We attribute the crust-like geochemical and isotopic signature of the Jinan mafic and intermediate igneous rocks to partial melting of enriched lithospheric mantle metasomatized by subduction components and subsequent crustal assimilation during magma ascent and pooling at the mid-crustal depth of ~9-10 km. These data represent that the mid-Cretaceous volcanic rocks in the Jinan Basin formed in the back arc extensional tectonic setting. The mid-Cretaceous basaltic volcanic rocks in the Yeongdong and Gyeongsang Basins locating in the other part of the southern Korean Peninsula, show similar geochemical character indicating that they also formed in the back arc extension environment. These results indicate that, along the eastern margin of the Northeast Asia including Korean Peninsula and eastern North and South China Cratons, mid-Cretaceous igneous activity occurred in the back arc extension environment due to the slab-rollback and steepening of the paleo-Pacific plate subducting underneath the Northeast Asia including Korean Peninsula. The slab-rollback caused lithospheric thinning and upwelling of asthenospheric mantle during the mid-Cretaceous, which caused partial melting of the fusible parts of the lithospheric mantle that had been metasomatized by hydrous subduction materials.

구두 16-8

한반도의 백악기 화성활동에 대한 재고찰

Review on Cretaceous magmatism in the Korean Peninsula

박정우*, 임성환

Jung-Woo Park*, Sunghwan Im

서울대학교 지구환경과학부, jung-woo.park@snu.ac.kr

한반도의 화성활동은 쥐라기 후기 약 160 Ma부터 휴지기에 들어간 후 백악기 전기 약 120 Ma에 다시 시작된다. 백악기 전기의 화성활동은 북한 지역에서 시작하여 시간이 지남에 따라서 화성활동 지역이 점차 남쪽으로 이동하여 약 65 Ma까지 이어진다. 쥐라기에서 백악기 전기까지 약 40 Ma의 휴지기는 고태평양판의 저각(low angle or flat) 섭입에서 기인하는 것으로 여겨지고 이후 약 120 Ma에 다시 화성활동이 재개되는 기작은 확실하게 밝혀지지 않았으나 고태평양판의 섭입각이 저각에서 고각으로 변하고 사교하는 섭입 방향에 따른 암석권의 확장 및 분지의 형성과 밀접한 관계를 보인다. 기존 연구 결과들은 백악기 전기 화성활동의 형성기작과 지구조환경에 대하여 상충되는 의견들을 제시하고 있다. 일부 연구에서는 규장질 화성암의 지구화학적인 성분에 근거하여 백악기 전기 화성활동이 화산호 환경에서 맨틀 웨지(wedge) 연약권 맨틀 및 하부지각의 용융에 따른 전형적인 화산호 마그마라고 주장한다. 하지만, 경상분지에서 산출하는 고철질 화산암에 대한 연구 결과는 백악기 전기 화성활동이 암석권 확장에 따른 암석권 맨틀기원의 알칼리-쇼쇼나이트 마그마임을 지시한다. 본 발표에서는 최근 새롭게 연구된 태백산 분지의 어평 쇼쇼나이트-칼크알칼라인 심성암체의 연구결과를 포함하여 현재까지 보고된 백악기 전기 화성암의 암석학 및 지구화학 데이터를 종합하여 한반도의 백악기 전기 화성활동의 형성기작과 지구조환경에 대하여 재고찰 할 것이다.

구두 16-9

Zircon U-Pb ages and geochemical signatures of the Kurosegawa belt, Southwest Japan, as an Early Paleozoic continental fragment

Kenta Kawaguchi

Earth and Environmental Sciences, Jeonbuk National University, kentakawaguchi2@gmail.com

Most of the Japanese Islands are consisting of the Mesozoic to Cenozoic accretionary complex, high Pressure/Temperature (P/T) type metamorphic complex and arc igneous rocks formed as a result of the continuous ocean subduction. This marks large contrast between the geology of Asian continent which mainly consisting of the ancient continental blocks. This makes it difficult to reconstruct the original position of the proto-Japanese Islands as a part of the eastern margin of the erstwhile Asian continent. However, scattered small blocks, like the fragment of the continental crust are sporadically found in the Japanese Islands such as the Hida belt (Permo-Triassic plutono-metamorphic complex and Early Jurassic granite), Kurosegawa belt (mainly Early Paleozoic granitoid and metamorphic rocks), and South Kitakami belt (mainly Early Paleozoic igneous rocks and Ordovician-Cretaceous strata). These belts possibly hold a key to reconstruct the paleo-position of the proto-Japanese Islands. Among them, this report focus on the Early Paleozoic granitoid in Kurosegawa belt using the geochemical and geochronological data. Tonalite samples collected from the westernmost Shikoku Island, Southwest Japan yielding the LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of 471-468 Ma. Most of the measured zircon grains display the oscillatory zoning as evidenced from the CL images. Th/U ratio of the concordant data from these samples show the value between 0.15-0.39. Hence, these ages are considered as indicate the magmatic timing. They show the volcanic arc setting as evidenced from the geochemical discrimination diagrams using Nb vs Y, and Rb vs (Y+Nb), and the depletion of Nb, Ti, and P. Recently, geochronological and geochemical data of the granitoid in Kurosegawa belt are accumulated. Most of them are consisting of the arc type granitoid and show the scattered zircon U-Pb age between 476-432 Ma (Hada *et al.*, 2000; Osanai *et al.*, 2014; Aoki *et al.*, 2015; Kawaguchi *et al.*, 2020). Most of the Early Paleozoic granitoid in Kurosegawa belt are found as a lenticular bodies within the Permian to earliest Cretaceous (mainly Jurassic) accretionary complex named "Chichibu belt". However, based on the Kawaguchi *et al.* (2020), Early Paleozoic Kurosegawa rocks are occurred not only within the Chichibu belt. This imply that originally the Kurosegawa rocks were widely distributed at the southern part of the Southwest Japan. As a result of the later modification, most of the Kurosegawa rocks were eroded off. Along the East Asia, Early Paleozoic arc igneous rocks are widely distributed for instance the Cathaysia block as well as the Indochina block. The origin of the Kurosegawa rocks are crucial to reconstruct the paleo-geography of the proto-Japanese Islands.

References:

- Hada *et al.*, 2000, The MEMOIRS of the Geological Society of Japan, 56, 183-198.
 Osanai *et al.*, 2014, Japanese Magazine of Mineralogical and Petrological Sciences, 43, 71-99.
 Aoki *et al.*, 2015, Journal of Asian Earth Sciences, 97, 125-135.
 Kawaguchi *et al.*, 2020, Geoscience Frontiers, 11, 1441-1459.

구두 16-10

The tectonic relationship between the Korean Peninsula and China based on the geologic events from Paleoproterozoic to Triassic

Chang Whan Oh

*Department of Earth and Environmental Sciences and The Earth and Environmental Science System Research Center,
Jeonbuk National University, ocwhan@jbnu.ac.kr*

The basement of the Korean Peninsula consists of the Kwanmo, Nangrim, Gyeonggi and Yeongnam Massifs from north to south. The Gyeonggi Massif is divided into the northern and southern Gyeonggi Massifs by the Permo-Triassic Hongseong-Odesan collision belt which was confirmed by 250 Ma eclogite in the Hongseong area and 230 Ma post-collision igneous rocks within the northern Gyeonggi Massif and is regarded as an extension of the Dabie-Sulu collision belt between the North and South China Cratons (NCC and SCC). The Neoproterozoic igneous rocks in the Sangwon System located in the southern margin of the Nangrim Massif and those in the northern Gyeonggi Massif formed in the rift tectonic setting during 890-760 Ma and can be correlated to those (940-810 Ma) in the southeastern margin of the NCC. On the other hand, in the southwestern Gyeonggi Massif, there are two types of Neoproterozoic rocks; one is the subduction related igneous rocks formed between 890-790 Ma and the other is the rift related igneous activities occurred during 790-700 Ma with post collisional igneous activity between 840-810 Ma. These Neoproterozoic rocks can be correlated to the two types Neoproterozoic rocks in the northern margin of the Yangtze Block within the SCC. Neoproterozoic rocks were also found in the Ogcheon (Okcheon) Metamorphic belt which was correlated to those in the Nanhua rift between the Yangtze and Cathaysia Blocks within the SCC based on the similar TDM modal age, Nd isotopic data and geochemical characters of Neoproterozoic rocks in both areas. The Paleoproterozoic rocks in the Nangrim Massif and northern Gyeonggi Massif occurred due to the collision between the Nangrim Massif and the northeastern NCC along the Jiao-Liao-Ji belt. Due to collision, the Nangrim Massif and northern Gyeonggi Massif became a part of the NCC. These data suggests that the Nangrim and northern Gyeonggi Massifs can be correlated to the NCC and the southern Gyeonggi and Yeongnam Massifs, to the Yangtze and Cathaysia Blocks within the SCC, respectively.

구두 17-1

Identification of sediment provenance in Amundsen Sea continental rise using elemental composition and cation exchange capacity of smectite

Young Kyu Park^{1,*}, Moonseon Koo¹, Claus-Dieter Hillenbrand², Kyu-Cheul Yoo³, Jaeil Lee³, Jinwook Kim¹

¹Department of Earth System Sciences, Yonsei University, pyk125@yonsei.ac.kr

²British Antarctic Survey

³Korea Polar Research Institute

Recent models suggest that most of the West Antarctic Ice Sheet (WAIS) is grounded below sea level and historically, is unstable and susceptible to retreat, causing dramatic sea level rise. However, modeling are limited most notably in lack of detailed reconstructions of glacial history. Here, sediment cores (BC480, BC488, PC494, BC495) from the Amundsen Sea and core (BC502) from South Pacific basin was analyzed to trace sediment provenance in Amundsen Sea continental rise during glacial-interglacial period. These records may provide insight into the sediment provenance, sedimentation processes, variations in ocean circulation, ice sheet growth during glacial-interglacial period. Elemental composition of smectite was investigated at a nano-scale using transmission electron microscopy (TEM) to distinguish the various types of smectites in order to verify the sediment provenances with certainty. The Kolmogorov-Smirnov test (K-S test) was performed to analyze statistical difference in terms of their elemental composition of smectite between sediment core and sediment sources. Furthermore, the difference of the elemental composition according to the various types of smectite may cause the variation of charge valance of smectites, and may affect the cation exchange capacity (CEC). Interglacial smectites have higher CEC value than glacial smectites, indicating that interglacial smectites were supplied from the multiple sediment provenance. Therefore, these results demonstrated that elemental composition of smectite and CEC of smectite with the clay mineral assemblage as an essential tool for differentiate the origin of the sediment.

구두 17-2

극지 고해양 복원을 통해 미래 기후 위기를 엿볼 수 있는 지난 간빙기 연구

The last interglacial - an analogue for the future warming crisis?

유규철

Kyu-Cheul Yoo

극지연구소 극지고환경연구부, kcyoo@kopri.re.kr

현재 지구 기온이 산업화 이전 대비 약 1도 정도 상승하였고 매 10년마다 0.17도 지속적으로 상승하고 있다. 이러한 온난화로 인해 지구 평균 기온이 산업화 시기 이전보다 섭씨 4-5도 빠르게 상승하면서 빙하가 사라지고 해수면은 10-60 m 높아져 인류 생존에 심각한 영향을 줄 것이다. 전 지구적인 해수면 변동에 큰 영향을 주는 빙하가 남극(현재 지구 담수의 60%)에 많이 분포하고 있어 지구 온난화에 따른 반응에 과학적인 관심이 높아지고 있다. 1992년부터 2017년까지 남극의 빙하 유실 분석 결과 최근 속도가 이전보다 3배 더 빨라졌으며 특히 서남극 빙하 유실이 전체의 70%를 차지하고 대부분 붕괴 직전이라고 보고되었다. 특히, 온난화 위기가 지속될 경우 미래 빙상-기후 모델 결과에서 남극의 빙하 유실에 따른 해수면 상승은 2100년이면 1 m 이상, 2500년이면 15 m 이상으로 예측하였다. 이로 인해 미래에 해수면 상승, 기후대/생태계 변화, 사막의 확장, 물 부족, 태풍의 강도 및 빈도 변화 및 집중호우의 강도 변화 등의 문제가 발생하여 심각한 인류 생존의 위기를 낳을 수 있다. 하지만 이러한 미래 예측에 대한 과학적 입증이 매우 힘들어 미래 온난기와 대조될 수 있는 과거 온난기에 대한 선행적인 연구가 현재 활발하게 논의되고 있다. 미래 지구 온난화와 지구과학적인 측면에서 대조될 수 있는 중요한 지난 온난기는 홀로세 중기(현재보다 약 0.5-1.5도 높음), 지난 간빙기, 플라이오세 중기 등으로 당시 남극의 빙상 안정도와 해양 순환이 어떠한지 밝히는 것은 미래 지구 온난화의 모습을 보다 정확하게 예측할 수 있는 단서를 제공한다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 5차 보고서가 제시한 미래 기후 예측과 기후 모델과의 비교 연구에서 지구 온난화가 현재대로 진행된다면 2030년엔 지구 기후가 3백만 년 전의 플라이오세 중기(현재보다 평균 기온이 2-4도 높음)와 유사해지고, 2150년의 지구 기후는 따뜻하고 빙하가 거의 사라졌던 5천만년 전의 에오세(현재보다 평균 기온이 10-13도 높음)와 비슷해질 것이라고 보고하였다. 지난 온난기의 환경을 이해할 수 있는 중요한 자료는 시추 빙하와 퇴적물로서 남극 대륙의 과거 대기 환경을 알 수 있는 빙하 시추의 기록과 더불어 시추 퇴적물의 고기후 지시자는 과거 빙상의 전진과 후퇴 및 해양 순환을 이해할 수 있는 열쇠이다. 과거 온난기 동안 남극해가 어떤 환경이었으며 남극 빙하는 과거 온난화에 어떤 모습을 가지고 있었는지 복원하는 일은 현재의 글로벌 기후 이슈에 대응할 수 있는 중요한 연구이며, 남극 대륙의 빙상과 남극해의 국제공동 퇴적물 시추 프로그램은 지난 온난기 환경의 중요한 정보를 제공할 수 있다.

구두 17-3

Evolution of atmospheric nitrous oxide for the last 100 years: Insights from the stable isotope values of firn air at Styx Glacier, East Antarctica

Sambit Ghosh^{1,*}, Sakae Toyoda², Jinho Ahn¹, Youngjoon Jang¹, Naohiro Yoshida^{2,3}

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, sambitju@gmail.com*

²*Department of Chemical Science and Engineering, School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology*

³*Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology*

The increasing trend in atmospheric greenhouse gas (GHG) mixing ratio has been believed to be the primary driver for the ongoing global warming. Among the GHGs, the mixing ratio of nitrous oxide (N₂O) has increased by 20% since 1750. In comparison to other GHGs species, N₂O has a long residence time with a capacity to destruct the ozone layer and its Global Warming Potential is about 300 times greater than that of CO₂ over 100 years. However, the temporal changes in magnitude and geographic distribution of different N₂O sources are uncertain, hence, understanding the dynamics of atmospheric N₂O has been a challenge to the researcher during the last few decades. Here, we present new stable isotope data of N₂O from the firn air at Styx Glacier, East Antarctica to comprehend the atmospheric evolution for the last 100 years. Our results suggest that the N₂O mixing ratio shows an increasing trend, whereas the $\delta^{15}\text{N}^{\text{bulk}}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values decrease during the last 100 years, which is in agreement with the existing firn air records. The progressive increase in the N₂O mixing ratio and the decrease in the isotope ratios suggest higher contribution from the anthropogenic sources assuming the nitrogen flux from the natural sources is constant. Our box model analysis using the stable isotope and mixing ratio data of N₂O of Styx firn air suggests that the anthropogenic sources from the land has increased by 50% during the last 100 years. The box model calculation with Styx and other firn air and ice core data suggests that in comparison to pre-industrial era, the total N₂O emission has increased by ca. 57% over the last 100 years, where ca. 64% and 36% contributions are from natural and anthropogenic sources, respectively to the total N₂O emission at present. Although there is a large scatter in existing data, the site preference of ¹⁵N in N₂O molecules ($\delta^{15}\text{N}^{\text{SP}}$) shows an increasing trend between the pre- and post-industrial era, which indicates that enhanced fertilization increased soil N₂O emissions by activating nitrification processes. Interestingly, the $\delta^{15}\text{N}^{\text{SP}}$ of the Styx firn air shows a decreasing trend over the last 100 years, which is in contrast to the other existing records. However, the large uncertainty in $\delta^{15}\text{N}^{\text{SP}}$ values of the Styx and existing records do not allow direct comparison.

구두 17-4

A high-resolution record of atmospheric nitrous oxide concentration from the South Pole ice core during the mid- to late Holocene

Syed Azharuddin^{1,*}, Jinho Ahn¹, Yeongjun Ryu³, Ed Brook²

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, azhar0606@snu.ac.kr*

²*College of Earth, Ocean & Atmospheric Sciences, Oregon State University*

³*Department of Geosciences, Princeton University*

Recent high-resolution studies reveal that the climate of the Holocene experienced more rapid climate variations than previously thought. Nitrous Oxide (N₂O) is one of the major atmospheric greenhouse gas which is responsible for rapid climate change and capable of strong ozone destruction. Here we present a high-resolution N₂O record obtained from South Pole Ice (SPICE) core covering the mid and late Holocene. We used the specialised N₂O wet extraction facility installed at Seoul National University that shows a good precision under ~2 ppb. The high-resolution N₂O record from SPICE site suggest ~22 ppb variation in N₂O mixing ratio during 5400 - 1000 yrs BP. Further, the Total N₂O flux corresponding to the same period ranges between 10.2 - 11.5 ±0.9 TgNyr⁻¹. We compared our results with N₂O record of EPICA-Dome-C site (closest modern-day analogue to South Pole glacial conditions) which shows good agreement on a multi-centennial to millennial scale. Comparison with other proxy records suggest that the multi-centennial to millennial scale variations in N₂O, to a greater extent, are associated with changes in terrestrial and marine nitrogen sources which might be driven by changes in insolation.

구두 17-5

Preliminary results for stratigraphy of Larsen Glacier at blue ice area, East Antarctica, showing one of the glacial terminations

Giyoon Lee^{1,*}, Jinho Ahn¹, Hyeontae Joo², Florian Ritterbusch³, Ikumi Oyabu⁴, Songyi Kim², Kenji Kawamura^{4,5,6}, Zheng-Tian Lu³, Sangyoung Han¹, Sambit Ghosh¹, Yeongcheol Han², Sangbum Hong², Changhee Han², Soon Do Hur², Wei Jiang³, Guomin Yang³

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, giyoon80@snu.ac.kr*

²*Korea Polar Research Institute*

³*University of Science and Technology of China*

⁴*National Institute of Polar Research*

⁵*Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies*

⁶*Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology*

Reconstructing a greenhouse gas concentration across 0.8 ~ 1.0 Ma is very important to decipher the causes of the mid-Pleistocene Transition (MPT). To date, however, ice core records from deep ice core drilling projects cover only up to about 0.8 Ma (EPICA Dome C) for continuous chronology; not sufficient to study the causes of the MPT. Recent studies in blue ice areas (BIAs) show that finding ice older than 1 Ma is possible because very old glacier ice can outcrop in the BIA. However, ice flow near the bedrock makes the ice stratigraphy complicated, and accordingly, makes it difficult to reconstruct a continuous chronology of the blue ice area. So far, the oldest ice was discovered at Allan Hills blue ice area (~ 2.7 Ma). However, the chronology is continuous only up to 250 ka and the stratigraphy is not clear for the older part. Here we report preliminary results for ice from Larsen BIA, East Antarctica. The Ground Penetrating Radar (GPR) survey results show well-stratified ice layers near the surface of the area with angular dips of 1-5° and indicate that the ice thickness ranges between 200 - 400 m. The $\delta^{18}\text{O}$ of O_2 , greenhouse gas (CO_2 , CH_4) concentrations and stable isotopes of ice ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ice}}$, $\delta\text{D}_{\text{ice}}$) indicate that the Larsen BIA cover one of the glacial terminations. To pinpoint a specific glacial termination, we extracted air from ~ 5 kg of the Larsen ice and are planning to analyze ^{81}Kr for age dating, which may constrain the age with experimental uncertainty of ~10%.

구두 17-6

빙하코어를 이용한 과거 2만년 간의 고정밀도 고해상도 대기 온실기체 농도기록 분석

High-precision and high-resolution analysis of ice core records for atmospheric
greenhouse gas concentration during the last 20 thousand years

안진호

Jinho Ahn

서울대학교 지구환경과학부, jinhoahn@gmail.com

빙하코어는 과거 온실기체 농도를 가장 정확히 기록하고 있는 고기후 프락시로 인식되고 있다. 그러나, 최근의 이산화탄소에 대한 고정밀도, 고해상도 연구에서는 빙하코어마다 약 1~5%의 농도값 차이를 보여준다. 특별히, 1000년 미만 시간규모에서의 작은 변동성을 이해하기 위해서는 1~5%의 농도차이에 대한 정확한 이해가 필요하다. 이러한, 빙하코어 간의 불일치를 이해하기 위하여, 빙하에 포집된 온실기체 농도를 변질시킬 수 있는 자연적인 과정에 대한 이해와 실험방법에 대한 엄격한 평가가 필요하다. 본 발표에서는 빙하코어를 이용한 이산화탄소, 메탄, 산화이질소 농도 연구자료의 신빙성에 대해 평가하고, 이러한 문제점에도 불구하고, 고기후학적으로 의미있는 자료를 도출하여 사용하는 방법에 대해서 토의한다.

구두 18-1

대마도 마이오세 관입암류의 지구화학 및 Sr-Nd-Pb-Hf-O 동위원소 성분과 성인적 의미

Geochemistry and Sr-Nd-Pb-Hf-O isotopes of the Miocene intrusive rocks from Tsushima Island: Constraints on petrogenesis and tectonic setting

이은지^{1,*}, 최성희^{1,2}, 김지인¹, 이정현^{1,2}, 김낙규³Eun-Ji Yi^{1,*}, Sung Hi Choi^{1,2}, Ji-In Kim¹, Jeong-Hyun Lee^{1,2}, Nak Kyu Kim³¹충남대학교 우주지질학과, geology94@o.cnu.ac.kr²충남대학교 지질환경과학과³극지연구소 K-루트 사업팀

대마도는 한반도와 일본 사이의 대한 해협에 위치한 섬으로 이곳에 분포하는 마이오세 화성암의 지구화학적 특징은 동해가 형성될 당시 지구조 환경에 대한 중요한 정보를 제공할 수 있다. 이 연구에서는 대마도 마이오세 관입암류에 대한 저어콘 U-Pb 연대측정, 전암의 주원소, 미량원소와 Pb-Sr-Nd-Hf-O 동위원소 성분을 분석하였다. 연구 지역의 관입암류는 염기성 미립 포유암(MME)을 포함하는 화강암류와 조립현무암(dolerite)으로 구성된다. 고분해능 이차이온질량분석기(SHRIMP)를 활용하여 화강암 시료 내 저어콘의 U-Pb 연대를 측정된 결과 신생대 마이오세 중기(16.23 ± 0.16 Ma)에 해당하는 생성 연대를 얻었다. 전암의 주원소 및 미량원소 변화도에서 화강암류와 염기성 미립 포유암의 변화경향은 서로 연결되는 반면, 조립현무암은 이들과 관련 없는 별개의 경향성을 보인다. 모든 암석은 칼크-알칼리 계열에 해당한다. 화강암류와 염기성 미립 포유암은 대부분 I-type 화강암류에서 일부 S-type 화강암류 영역으로, 고알루미나질(peraluminous)에서 중알루미나질(metaluminous)의 전이적인 성분 특성을 보인다. 콘드라이트 값으로 표준화한 희토류원소 분포도에서 세 암석 모두 중희토류에 비해 경희토류의 부화가 관찰되고, 화강암류에서는 Eu 부(-)의 이상이 나타난다. 초기 맨틀 값으로 표준화한 미량원소 함량 분포도에서 세 암석 모두 섭입대 화성활동의 특징인 K, Rb, Pb와 같은 LILE (large ion lithophile element)의 부화와, Nb, Ta, Ti와 같은 HFSE (high field strength element)의 결핍을 보인다. 조립현무암은 Ti-Zr-Y과 Ti-Zr-Sr 조구조환경 판별도에서는 대부분 칼크-알칼리 현무암 영역에 도시되나 V-Ti 판별도에서는 화산호 기원 현무암 영역과 중앙해령/판내부 현무암 영역의 전이대에 도시된다. 화강암류 역시 Y-Nb 조구조환경 판별도에서는 화산호 기원 화강암류의 범주에 도시되지만, (Y+Nb)-Rb 판별도에서는 일부 시료가 충돌후기(post-collision) 기원에 도시된다. 위 관찰 사실을 종합하면, 대마도 마이오세 관입암류는 확장대와 섭입대의 전이적 환경에서 생성된 것으로 사료되며, 이는 16 Ma경 이 지역의 지구조 환경을 대변한다. 현재까지 보고된 주변 지역의 제3기와 제4기 화산암에 대한 자료들과 비교하였을 때, 조립현무암의 Sr-Nd-Pb 동위원소 성분은 한반도의 제3기 분지인 양남분지의 어일 현무암과 비슷한 값을 가지며, 희토류원소 분포도와 미량원소 함량 분포도에서도 매우 유사한 패턴을 보인다. 따라서, 대마도 마이오세 조립현무암은 변성고대작용을 받은 맨틀 웨지의 부분 용융으로 생성된 어일 현무암과 유사한 작용을 통해 형성되었을 가능성이 높다. 화강암류는 Al₂O₃/(FeO+MgO+TiO₂) 대 Al₂O₃+FeO+MgO+TiO₂에서 각섬암에서 유래한 마그마 영역과 그레이와케에서 유래한 마그마 영역에 걸쳐서 도시된다. Pb-Sr-Nd-O 동위원소 성분으로 판단하건데, 대마도 화강암류는 상부지각의 퇴적암이나 섭입된 퇴적물과의 상호작용 산물이라기 보다는 하부대륙지각의 부분용융 산물인 것으로 추정된다.

구두 18-2

포항, 장사리, 영덕 지역의 페름기 초기 트라이아스기 관입암의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대 및 지구화학적 연구

SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemistry of the Permian-early Triassic plutons from Pohang, Jangsari, and Yeongduck area, SE Korea

최현옥^{1,2,*}, 최성희², 김승섭²Hyun-Ok Choi^{1,2,*}, Sung Hi Choi², Seung-Sep Kim²¹한국해양과학기술원, hychoi59@kiost.ac.kr²충남대학교

본 연구에서는 포항분지내 심부 기반암과 경상분지 북동부 지역의 장사리/영덕 심성암류를 대상으로 저어콘의 SHRIMP U-Pb 연대측정 및 Hf 동위원소비, 전암의 주성분/부성분 및 Sr-Nd-Pb 동위원소 성분분석을 통해 암석의 생성 연대와 성인에 대해 알아보았다. 포항분지내 기반암 시료는 포항지열발전소의 심부 시추공(PX-1, PX-2)에서 획득하였으며, 심도 4219 m 부근의 코어 샘플과 심도 3658-4174 m 구간의 파편 시료들을 대상으로 분석을 수행하였다. 영덕과 장사리 지역의 시료는 노두 시료이다. SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 측정 결과에 따라서 연구시료들을 페름기의 포항 화강암(ca. 283-264 Ma), 후기 페름기의 장사리 화강암류(ca. 261-256 Ma), 후기 페름기-초기 트라이아스기의 영덕 화강암류(ca. 253-249 Ma)로 분류하였다. TAS 도표에서 포항 시료들은 모두 화강암으로 분류되지만 장사리-영덕 시료들은 몬조섬록암-석영몬조나이트-화강섬록암-화강암과 몬조섬록암-몬조나이트-화강섬록암으로 구분된다. 지구화학적으로 연구시료들은 중알루미나(metaluminous) 및 고알루미나질(peraluminous)의 I-type 화강암으로 분류된다. 초기 맨틀 값으로 표준화한 미량원소 분포도에서 시료들은 LILE (large ion lithophile element)는 부화되고 HFSE (high field strength element)는 결핍된 특징을 보이는데 이는 전형적인 섭입대 기원 암석의 특징에 해당한다. 그러나 영덕 시료들은 Sr/Y비(87~225)가 높고, Y 함량(3~10 ppm)이 낮은 아다카이트(adakite)의 특징을 보인다는 점에서 포항-장사리 시료들과 차이를 보인다. Sr-Nd 동위원소 상관도에서 시료들은 낮은 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) i비(0.7038~0.7049)와 양의 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 값을 보이며(+2.4~+4.8), 영남육괴 기반암의 영역을 벗어난다. Pb-Pb 동위원소 상관도에서 시료들은 인도양 중앙해령현무암의 영역 안에 도시되며 영남육괴 기반암보다 낮은 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 비를 보인다. 또한, 암석 시료내 모든 저어콘들 역시 양의 $\epsilon\text{Hf}(t)$ 값을 보이는데(+8.5~+18.3), 이는 연구시료들의 기원마그마가 지각물질보다는 결핍맨틀로부터 유래되었음을 지시한다. 지구화학적 특징을 종합적으로 해석하면 연구시료들은 섭입대 맨틀 웨지 기원의 물을 많이 함유한 초생 마그마가 상당량의 분별정출작용을 받아 형성된 것으로 해석된다. 포항-장사리 시료들과 다르게 영덕 시료들은 모마그마가 분화와 정동안 상당량의 각섬석(+석류석)을 분별정출한 결과 아다카이트한 특징을 보이는 것으로 생각된다. 연구시료들의 맨틀기원의 Sr-Nd 동위원소 성분비는 북중국지괴의 북쪽 경계지역에 분포하는 동시기 화성암류보다는 중앙아시아 조산대(Central Asian Orogenic Belt)에 분포하는 화성암류와 유사하다. 따라서 포항과 영덕 지역의 페름기-초기 트라이아스기의 화강암류는 고아시아 해양판(Paleo-Asian oceanic plate)의 섭입과 연관이 형성되었을 것으로 해석된다.

구두 18-3

Provenance analysis and tectonic controls on the Doumsan fan-delta system in the Pohang Basin (Miocene; South Korea)

Hyojong Lee^{1,*}, Jeong-Hyun Lee^{2,3}, Taejin Choi¹, Min-Kyu Oh³, Sung Hi Choi^{2,3}

¹Department of Energy and Resources Engineering, Chosun University, barefox@gmail.com

²Department of Geological Sciences, Chungnam National University

³Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University

In the western margin of Pohang Basin (middle Miocene), the Doumsan fan-delta system developed under an extensional tectonic regime. The Doumsan fan-delta system comprises six packages of fining-upward sequences (SQ1 to SQ6), each bounded a regional erosional surface. It has been previously interpreted that the early sequences (SQ1-2) were controlled by active tectonism in association with the opening of the East Sea, whereas the late sequences (SQ3-6) resulted from eustatic sea-level changes under tectonically stable conditions. In this study, we performed zircon bulk-rock geochemistry and U-Pb age dating analyses for the Doumsan fan-delta deposits (SQ1 to SQ5) in order to evaluate the impact of tectonism during the early stage of basin evolution based on provenance changes. The Pohang Basin fills show a wide range of major element composition, due to the grain-size effect. However, trace and rare earth element compositions indicate sediment derivation from both of felsic and intermediate igneous rocks even in the earliest stage of basin development, with increase of the relative contribution from intermediate igneous rocks in the upper sequences compared to the lower sequences. In terms of detrital zircon age spectra, the Pohang Basin fills show strong peaks of Cenozoic (62-64 Ma) and Cretaceous ages (108-112 Ma) and minor peaks of Triassic to Jurassic ages and Paleoproterozoic ages. In the samples from SQ2 and SQ4, variations in zircon age spectra are observed. The SQ2 sample show additional age peaks of 56 and 68 Ma, and the SQ4 sample is characterized by an increase in the proportion of Triassic-Jurassic and Paleoproterozoic aged zircons. Most of the sediments would have derived from upper Cretaceous-lower Paleogene igneous rocks intruded in the nearby areas, and the andesitic volcanics of the upper Cretaceous-lower Paleogene Yucheon Group. The sedimentary rocks in the Gyeongsang Basin (the Silla Formation) also have been a minor source, supplying Cretaceous, Triassic-Jurassic and Paleoproterozoic aged zircons, especially during the deposition of SQ4. Variation in sediment provenance can be interpreted as a result of active tectonism and the following quiescence during the formation of the Doumsan fan-delta. Tectonic activities such as faulting and source area uplift might have occurred prior to the deposition of SQ2 and SQ4, resulting in the changes in zircon age spectra due to tectonic rearrangement of the drainage systems in the source areas. During tectonically inactive periods (SQ3 and SQ5), the catchment areas might have been expanded headward-direction to the areas of volcanic and volcanoclastic terrane (the Yucheon Group), resulting in the increased input of intermediate detritus through time

구두 18-4

울산시 울주군 일대 양산 단층대 노두 분석을 위한 지상라이다 적용 연구

Application of terrestrial LiDAR to characterize Yangsan fault segments in Ulju-gun, Ulsan, Korea

이병우^{1,*}, 김승섭^{1,2}Byung Woo Lee^{1,*}, Seung-Sep Kim^{1,2}¹충남대학교 우주지질학과, leebw22@o.cnu.ac.kr²충남대학교 지질환경과학과

지구과학 분야 최신 기술 동향 중 하나인 라이다(LiDAR) 탐사기기는 레이저 펄스를 주사하며 대상체에 반사된 도달시간을 측정하여 반사 지점의 공간좌표를 계산함으로써 대상체에 대한 고밀도의 삼차원 점군 형태로 재구성할 수 있다. 활용 범위로는 건설, 토목, 조경 등 다양한 분야에 활용이 가능하며 지질학 분야에서도 DEM (Digital Elevation Model), 단층 변위, 사면 모니터링 등에 유용하게 쓰이고 있다. 이 연구에서는 트렌치 단층 사면의 지질학적 정보 추출 및 저장 그리고 디지털 재현성 확보를 위한 지상라이다 적용 방안을 살펴보고자 한다. 이를 위하여 울산시 울주군 일대에 위치한 양산단층의 단층대 노두에서 라이다 탐사를 하였다. 지상라이다 장비는 Riegl 사의 VZ-400i를 사용하였으며 대상체의 RGB (Red, Green, Blue)값도 얻기 위해 Nikon D810을 탑재하였다. VZ-400i의 제원으로는 시간당 약 60회의 스캔이 가능하며 5mm이하의 정확도와 정밀도, 최대 유효 측정 범위는 800 m이내 이다. 취득한 점군 데이터는 Riscan pro에서 스캔 자료 정합 후 CloudCompare를 사용하여 분석을 실시하였다. 첫 번째 탐사는 울산 울주군 두서면 인보리에 위치한 대형 단층 트렌치에서 실시하였다. 약 6 m 깊이로 굴착이 된 이 트렌치 조사 지점에서는 동쪽으로 경사방향을 가진 단층의 수직 단면이 관찰되었다. 해당 트렌치 조사 지역에 대하여 1200 kHz PRP (Pulse Repetition Rate), 50 mdeg해상도로 총 40분 동안 17개의 LiDAR 측정 위치에서 자료를 취득하였다. 이렇게 생성된 점군 자료에서 RGB값을 이용해 수평면과 점군 사이의 거리를 계산하여 단층의 수직 변위를 계산할 수 있었고 단층면에 위치하는 최소 3개 점의 공간좌표를 이용하여 단층면을 정의할 수 있었다. 점군의 Reflectance, Amplitude, Intensity 등과 같은 스칼라 값은 탐사 당시 트렌치 면에 존재했던 표면의 수분 함량에 의한 값의 오차가 크게 나타나 제외하였다. 두 번째 탐사는 울산 울주군 삼남면 교동리 작괘천에서 실시하였다. 해당 지역은 하천 바닥에 층리가 잘 보이는 퇴적암이 존재하며 단층 운동에 의해 생성된 절리 구조를 쉽게 볼 수 있다. 해당 지역에서는 1200 kHz PRP (Pulse Repetition Rate), 20 mdeg해상도로 총 3시간 동안 81개의 LiDAR 측정 위치에서 자료를 취득하였다. 해당 지역의 전체적인 지형 정보를 확인하기 위해 ground point를 추출하여 DEM (Digital Elevation Model)을 정의하였고 각 점의 법선을 계산하여 각 점에 해당하는 경사 방향의 값을 특정 색의 범위로 표현하여 절리 구조와 방향성을 정량적으로 분석할 수 있었다. 경사 방향의 값을 이용해 CloudCompare의 facets 플러그인에서 다각형 면을 만들어 비슷한 경사 방향을 가진 다각형 면 그룹으로 분절 하였고 통계적 분석을 위하여 스테레오넷에 투영 하여 분석하였다. 그 결과 북북동-남남서 방향의 주향과 서쪽 방향의 고각 경사를 관찰할 수 있었다. 향후 연구에서는 단층대 점군 자료를 PointNet 기계학습 기법을 적용한 지질구조 자동 분절화 결과를 도출하고자 한다. 이러한 지상라이다의 활용은 직접 관찰하기 어려운 장소나 넓은 규모의 지질 구조를 관찰, 해석하기에 용이함으로 생각한다.

구두 19-1

Geochemistry and petrogenesis of Quaternary volcanic rocks from Ulleung Island

Sung Hi Choi

Department of Geological Sciences, Chungnam National University, chois@cnu.ac.kr

Ulleung Island is a Quaternary intraplate alkaline volcano located in the central-western part of the East Sea back-arc basin. Previous studies have divided the geological history of the volcano into five stages: Stage-1 trachybasalt, Stage-2 and -3 trachytes, Stage-4 phonolite, and Stage-5 leucite-bearing trachyandesite. This study presents geochemical compositions, including Sr-Nd-Pb-Li isotopes, for the volcanic rocks. The trachytes and phonolite were formed by fractional crystallization of trachyandesitic magma at different depths. The trachybasalts have highly fractionated REE patterns with $(La/Yb)_N$ values of 23.6-30.7 and lack Eu anomalies. In a primitive-mantle-normalized multi-element distribution diagram, the trachybasalts show OIB-like LILE enrichment patterns without HFSE depletion. However, they show negative K anomalies, suggesting hydrous residual potassic phases in the source. The lithology of the mantle source for the Ulleung basalts are estimated to have been a pyroxenite fraction. The basalts have EM1-type OIB-like Sr-Nd-Pb isotopic compositions ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0.70472-0.70507$; $\epsilon_{Nd} = -4.5$ to -1.8 ; $^{206}Pb/^{204}Pb = 17.95-18.09$). The Stage-5 trachyandesites lack pronounced negative K anomalies and are characterized by slightly more depleted Sr-Nd-Pb isotopic compositions ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0.70445-0.70453$; $\epsilon_{Nd} = -1.3$ to -1.2 ; $^{206}Pb/^{204}Pb = 18.06$) compared with the Stage-1 trachybasalts, implying their origin from a relatively dry source. δ^7Li values of the basalts range from -8.8% to $+1.9\%$, but the trachyandesites are relatively heavy, having δ^7Li values ranging from $+3.5\%$ to $+6.3\%$, suggesting differential loss of low-temperature 7Li from a recycled oceanic slab in the source. The differentiated Stage-2 to -4 trachytes/phonolite have Sr-Nd-Pb-Li isotopic systematics resembling those of the trachyandesites, but the effects of assimilation of thinned lower continental crust during magma evolution are observed in some samples. The Ulleung magmatism was likely generated by wet upwelling from the stagnant slab in the mantle transition zone in combination with small-scale/edge-driven convection in the asthenosphere.

구두 19-2

독도 화산체 정상부의 정밀해저지형 연구

Detailed Bathymetry of the Summit of Dokdo in the East Sea

김창환*, 박찬홍, 이명훈, 김원혁, 최순영

Chang Hwan Kim*, Chan Hong Park, Myoung Hoon Lee, Won Hyuck Kim, Soon Young Choi

한국해양과학기술원 독도전문연구센터, kimch@kiost.ac.kr

독도는 동해 울릉분지의 북동쪽에 위치한 화산체이며 독도 주변의 울릉분지 내에는 독도와 유사한 형태의 화산체들인 울릉도, 안용복해산, 심흥택해산 그리고 이사부해산이 동-서 방향의 화산열 형태로 형성되어 있다. 2006년부터 수행하고 있는 국가정부정책 연구용역 사업인 '독도의 지속가능한 이용연구'에서는 독도 화산체 정상부 주변해역을 5개 구역(2016년 : 동도와 서도 주변 수심 약 80 m 이내 구역, 2017년 : 독도 화산체 정상부 북동부, 2018년 : 독도 화산체 정상부 북서부, 2019년 : 독도 화산체 정상부 남서부, 2020년 : 독도 화산체 정상부 남동부)으로 분할하여 2016년부터 연차별로 각 구역에 대한 정밀한 해저지형을 확보해오고 있으며 2020년인 올해에 독도 화산체 정상부 전 지역의 정밀해저지형이 완성된다. 독도는 수면위에는 작은 2개의 섬과 작은 암초들로 이루어져 있지만 수면 아래로는 거대한 화산체를 이루고 있으며 그 중 화산체 정상부는 연안부터 수심 약 200 m까지 평평한 기묘 형태의 정상부를 가지고 있다. 독도 해저 기묘의 평평한 정상부 지름은 약 10 km 이다. 동도와 서도 연안의 수심 약 30 m 범위 내에는 가파른 경사면과 불규칙한 지형이 형성되어 있으며, 수심 약 80 m 범위 까지는 수중 암반 지대가 주로 발달해 있다. 수심 약 80 m 범위 이후로는 독도 화산체 정상부가 사면부로 연장되기 시작하는 수심 약 200 m 범위 내에서 완만한 평탄면이 나타나고 있다. 독도 화산체 평평한 정상부와 사면을 이어주는 경계부에는 불규칙한 암반 해저면이 주로 나타나는데 이와 다르게 주변 지형보다 낮고 평평한 지대가 발달하는 곳들이 분포하기도 한다. 이 지역을 통하여 퇴적물이 사면 아래로 흘러 내려가는 것으로 판단된다. 화산체 정상부 북부 지역과 남부지역을 비교하면 북부에 비해 남부 지역의 등수심 간격이 좁게 발달한 특징을 보이고 있다. 독도 화산체 정상부에는 분화구 형태의 해저지형이 몇 개 나타나는데 독도 화산체 생성 후 후기에 분출한 것으로 판단된다. 수심이 깊어질수록 분화구 형태의 크기나 높이가 작아지는 모습을 보이는데 형성시기부터 작게 생성되거나 수심 깊은 지역의 분화구가 먼저 생겨 침식의 기간이 오래되어 작아진 모습을 보이는 것으로 생각된다. 독도 화산체 정상부의 해역에는 수심이 깊어지며 계단과 같이 층을 이루는 해저단구 지형이 발달해 있다. 해저단구의 평탄면은 약 1° ~ 2° 이하의 경사면을 이루고 있으며, 해저단구의 안쪽 경계면들은 약 7° ~ 8° 범위에서 형성되어 있다. 이 해저단구는 제 4기에 반복적으로 나타난 해침해퇴의 영향을 받아서 생긴 것으로 판단된다. 독도 화산체 정상부 남부 해역에는 사구(Dune) 형태의 해저면이 특징적으로 나타나는데 북쪽지역에서는 이런 지형이 나타나지 않는다. 독도 화산체 정상부는 독도가 생성된 후 많은 시간이 흐르면서 파도, 해류, 후기 분출 등의 여러 영향을 받았을 것으로 판단된다.

구두 19-3

독도 화산체 정상부 표층 퇴적물 입도 분포와 퇴적작용

Surface sediment size distributions and depositional processes on the flat top of Dokdo

강가은^{1,*}, 박장준¹, 배희철¹, 김창환², 박찬홍²Ga Eun Gang^{1,*}, Jang-Jun Bahk¹, Bae Hui Cheol¹, Chang Hwan Kim², Chan Hong Park²¹충남대학교 해양환경과학과, gaeun330@o.cnu.ac.kr²한국해양과학기술원 독도전문연구센터

이 연구는 2016년부터 2020년까지 5년에 걸쳐 독도 정상부 해역에서 조사한 표층 퇴적물 입도 특성 분포를 종합하고 정밀 해저 지형과 연계하여 입도 특성 분포에 나타나는 퇴적 과정을 일차 해석하고자 하였다. 독도 정상부 해역은 주로 모래 혹은 역질 모래 퇴적물이 분포하는 가운데 자갈 퇴적물이 특징적으로 독도섬 주변과 해저 정상부 가장자리와 일부 지역에 패치형태로 나타나고 있다. 해저 지형에서 자갈 퇴적물이 분포하는 곳은 파식 및 퇴적작용 이 상대적으로 미약하여 지형의 기복이 심한 곳으로 일부 기생 오름과 같은 형태를 보이는 곳이나 정상부 가장자리의 큰 규모의 함몰 구조가 나타나는 곳에 해당한다. 한편 주로 탄산염 파편으로 이루어진 모래 퇴적물은 독도섬 주변 상대적으로 수심이 낮은 정상부 해역내에 환형으로 나타나고 있어 그 형성이 환초에 기원하였음을 지시하고 있다.

구두 19-4

Microbial activities and mineralogical characteristics investigating the paleo-depositional conditions during the late Quaternary: Ulleung Basin, East Sea

Kee Hwan Lee^{1,*}, Chang Hwan Kim², Chan Hong Park², Sang Hoon Lee³, Jinwook Kim¹

¹Earth System Science, Yonsei University, khlee1009@yonsei.ac.kr

²East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science and Technology

³Marine Active Fault Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology

Many studies, such as geophysical and geochemical analysis, were used to interpret the paleo-depositional conditions in the East Sea. However, there is a little understanding of correlation between microbial activities and paleo-depositional conditions. Therefore, in this study, the relationship between microbes and paleo-depositional conditions was applied. Additionally, mineralogical analysis, such as elemental composition of tephra and clay, will be accompanied with microbial analysis, and these interdisciplinary studies may broaden our understanding of paleo-depositional environments in the East Sea with various aspects. The clay minerals play important role in microbial communities as a habitat due to their high cation exchange capacity and large surface area. The large surface area provides physical support and nutrients to microbes through mineral-fluid interaction. The microbial activities, which demonstrated by bubble charts and phylogenetic trees, showed similar tendency with sedimentary facies. The classification of elemental composition from tephra also indicated that some volcanic event was occurred in the East Sea. EPMA analysis on the tephra will determine the origin of volcanic events. In addition, the composition of clay minerals, especially smectites in the surface marine sediments, revealed the possible provenances of sediments during the Quaternary. We will discuss about the multi-disciplined approaches to understand the paleo-sedimentary process.

구두 19-5

동해 맨틀 미세광물의 원소 및 결정구조 분석**Phase analysis and characterization of trace minerals from Dokdo and Uleung islands, South Korea**김표상^{1,*}, 김현수¹, 이용문², 성동훈¹Pyosang Kim^{1,*}, Hyeonsu Kim¹, Yongmoon Lee², Donghoon Seoung¹¹전남대학교 지질환경과학과, 197944@jnu.ac.kr²부산대학교 지질환경과학과

독도는 지정학적 위치뿐만 아니라, 동해 형성의 기원을 밝히는 학술적 연구 및 다양한 정치, 문화, 환경등의 주요 중심에 서 있다. 현재까지의 독도 및 주변 수중해산에 대한 연구는 주로 암석학적 분류 및 탐사 위주로 진행되었으며, 광물학적으로는 광물분류를 밝히는 단계에 지나고 있다. 본 연구는 울릉도, 독도 및 독도 인근 주변해산의 형성기원을 밝히기 위한 광물분석 연구로, 울릉도, 독도 및 주변 해저화산체에서 채취된 시료를 방사광 가속기 선원을 이용한 미세광물에 대한 정밀분석을 진행하였다. 울릉도, 독도 및 주변 해저화산체에서 채취된 암석 시료를 10 μm 이하의 powder로 만든 후 포항가속기연구소 9B-HRPD 빔라인에서 XRD(X-ray diffraction)분석을 실시하였다. XRD분석결과 Quartz, 장석류가 지배적이었으며, 특이점은 울릉도 시료와는 다르게, 독도 시료 대부분에서 고온 석영인 cristobalite가 확인되었으며, Cristobalite의 저온 형성은 아직까지 잘 알려져 있지 않으나, 주요 형성위치는 마그마의 최종 정치단계에서 휘발성 물분자와 접촉위치에서 발견되는 것으로 알려져 있다. 이를 통해 독도 주변부가 마그마가 휘발성 물분자와 접촉한 것으로 추정된다. 보다 정확한 분석이 현재 진행 중에 있으며, 고분해능 미세 XRD자료와 더불어 XRF, SEM 등 추가 실험을 통해 더 정확한 광물학적 분석이 완료될 것으로 사료 된다.

구두 19-6

독도와 울릉도 화산암의 헬륨 지화학 연구

Helium isotope geochemistry of basaltic rocks from the Dokdo and Ulleungdo volcanic islands, South Korea

이원희^{1,*}, 이현우¹, 김동환¹, 김종옥², 오지혜², 김창환³, 박찬홍³, Finlay M. Stuart⁴
 Wonhee Lee^{1,*}, Hyunwoo Lee¹, Donghwan Kim¹, Jonguk Kim², Jihye Oh², Chang Hwan Kim³,
 Chan Hong Park³, Finlay M. Stuart⁴

¹서울대학교 지구환경과학부, schol212@snu.ac.kr

²한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터

³한국해양과학기술원 동해연구소

⁴Scottish Universities Environmental Research Centre

본 연구에서는 독도와 울릉도의 현무암질 화산암에서 한 번도 보고된 적이 없었던 헬륨 동위원소 분석 결과를 통해 마그마의 기원을 논의해보고자 한다. 이를 위해 독도와 울릉도의 현무암질 화산암의 전암과 반정 광물의 주원소, 미량원소 분석과 함께 감람석과 단사회석 반정들의 헬륨 동위원소비($^3\text{He}/^4\text{He}$; air ratio, $1 \text{ Ra} = 1.4 \times 10^{-6}$)를 분석하였다. 전암 성분은 SiO_2 가 44.88-51.27 wt.%, Mg#가 29.2-58.3의 범위로 나타났으며, 헬륨 동위원소비는 독도에서 5.7-5.9 Ra, 울릉도에서 4.5-6.0 Ra의 범위로 분석되었다. 이는 대륙 하부 암석권맨틀(sub-continental lithospheric mantle)과 유사한 값으로($6.1 \pm 0.9 \text{ Ra}$), 결핍된 연약권맨틀(8 Ra)이나 플룸(>9 Ra)에 의해 형성된 화산암에서 관측되는 값보다 낮다. 또한, 독도와 울릉도는 배호분지에 위치한 화산체임에도 불구하고, 태평양 서쪽 지역에서 주로 관찰되는 다른 배호분지 현무암(Back-arc basin basalt)보다 낮은 헬륨 동위원소비를 보이며, 이는 일반적인 배호분지 현무암과 기원이 다르다는 것을 암시한다. 대신, 독도와 울릉도의 현무암질 암석은 전 세계에서 나타나는 대륙 현무암(continental basalt)과 매우 유사한 지구화학적 특징을 보인다. 미량원소를 이용한 용융 모델링 결과, 독도와 울릉도를 비롯한 북동중국과 한반도 신생대 현무암 대부분이 대륙 하부 암석권맨틀과 연약권맨틀 용융물의 혼합 선(mixing line)에 위치하는 모습을 보인다. 따라서 본 연구의 결과들은 독도와 울릉도의 마그마가 대륙 하부 암석권맨틀과 연약권맨틀이 상호작용하여 생성되었음을 시사한다.

구두 19-7

동해 화산체의 형성 기원: 대륙지각 하부 암석권 맨틀에 의한 연약권의 EM1 조성

Origin of East Sea Seamounts: Recycling of SCLM for asthenospheric EM1 reservoir

오지혜^{1,2,*}, 김종욱¹, 김창환³, 박찬홍³

Jihye Oh^{1,2,*}, Jonguk Kim¹, Chang Hwan Kim³, Chan Hong Park³

¹한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터, glauxo@kiost.ac.kr

²서울대학교 지구환경과학부

³한국해양과학기술원 독도전문연구센터

독도를 포함한 동해 화산체의 성인으로 슬랩기원, 열점기원 등의 가설이 제시되었으나 여전히 논란의 여지가 남아있다. 이에 한국해양과학기술원에서는 2018년부터 해상 현장조사를 통해 울릉분지의 북동 경계에 위치하는 화산체들 중, 울릉도-안용복해산-독도-심흥택해산에서 해저 기반암 시료를 확보하여 동해 화산체의 성인을 규명하기 위한 연구를 수행해오고 있다. 여기에서는 기반암의 취합된 주원소, 미량원소, Sr-Nd-Pb 동위원소 분석 결과와 성인에 관한 지구조 해석을 제시한다. 해저화산체 기반암들의 조성은 조면현무암에서 조면암까지 알칼리 계열의 분화과정을 따라 넓은 범위의 원소함량 변화를 보이므로, 화산활동 당시 상승하는 마그마가 지각에서 여러 차례 정체하면서 충분한 분화과정을 겪은 것으로 판단된다. 미량원소의 조성은 마그마 분화에 의한 시료간의 차이가 뚜렷하며, 섭입에 의한 특성은 관찰되지 않는 반면, 해양섬 현무암에 가까운 부화 패턴을 보인다. EM1과 유사한 밀집된 범위의 동위원소 조성은 열점기원으로 추정된 기존의 연구결과와 일치한다. 그러나 낮은 Zr/Nb, 높은 Zr/Y, Th/Yb 등은 해양섬 현무암 보다는 대륙지각 하부의 암석권 맨틀(sub-continental lithospheric mantle, SCLM)과 유사하다. 따라서, 후열도 확장의 초기 분리(rifting) 단계에서 유라시아 대륙판에서 박리된(delaminated) SCLM 성분이 천부 심도에서 재활용되어 동해 하부의 연약권이 EM1 조성을 갖게 된 것으로 추정되며, 이 단일 성분의 연약권 맨틀이 상승하면서 대륙지각의 경계부에 동해 화산체가 형성된 것으로 판단된다. 가장 동쪽에 위치한 심흥택해산에서 젊은 연대의 울릉도 쪽으로 갈수록 (Tb/Yb)N 이 증가하는 양상은 암권의 두께에 비례한 용융심도의 증가를 지시하므로, 해저산 형성 당시 심흥택해산의 위치에서 암권의 두께가 가장 얇았으며, 이는 섭입대에서 멀어지는 방향을 갖는 후열도 분지의 맨틀 유동 성분에 의해 순차적으로 동해화산체가 형성되었을 가능성을 시사한다.

구두 19-8

동해 확장의 메카니즘과 고지리 복원 Paleomagnetic reconstruction on the East Sea opening

이윤수^{1,*}, 박찬홍², 김창환²
Youn Soo Lee^{1,*}, Chan Hong Park², Chang Hwan Kim²

¹POSTECH, younsoo@postech.ac.kr

²한국해양과학기술원

우리나라 및 일본열도로부터 구한 고지자기자료와 동해의 해양자기선구조 해석 결과를 Finite Rotation 모델링에 의해, 23 Ma에서 10 Ma까지 1 my 간격으로 동해 고지리 복원도를 작성하였다.

2천3백만년전, 기존의 암권규모의 단층대(탄루단층대, 시코테알린단층-길주명천지구대-추가령단층대, 타타르-야마토-울릉오키단층대를 따라 상승한 연약권의 부분 용융된 마그마가 올라와, 동북아시아에 LIP (Large Igneous Province)를 형성하면서, 일본열도의 Forearc 지역이 떨어져 나간 것으로 보았다(Lee *et al.*, 2011). 일본열도는 초기 2-4백만년간 열개과정을 거치다가 19-20 Ma 경 이속고 대륙에서 분리되어 떨어져 나가기 시작했다. 15-16 Ma 경에 일본열도는 일련의 회전운동을 경험하게되는데, Lee *et al.* (1999)는 서남일본(SWJ)이 적도 부근에서 북상하여 올라온 필리핀해판과 충돌했기 때문이라고 해석했다. 동해 2단계 확장설(Lee *et al.*, 1999)은 Mahony *et al.* (2010), Wallace *et al.* (2009) 등에 의해 타당성이 지지된 바 있으며, Hall (2002)은 약 15 Ma에 필리핀판이 북상하여 서남일본과 충돌하는 시뮬레이션을 제시한 바 있다. Yamazaki *et al.* (2010)도 필리핀판에서 회수한 코어암석으로부터 복각을 측정된 결과, 필리핀판이 15 Ma에 지금의 위치로 북상했음을 입증하였다. 따라서 우리는 SWJ의 회전운동이 약 15-16 Ma 필리핀판과의 충돌로 기인한다는 학설을 바탕으로 운동역학적 모델을 시도하였으며, 23-10 Ma까지 1 my 간격으로 Finite Rotation을 이용하여, 1-my 간격으로 고지리도를 계산, 복원하였다.

본 모델에 따르면, 동해확장 초기에 기존의 열극구조선을 따라 열개작용(rifting)이 지속되었음을 나타낸다. 이속고 20-19 Ma에는 북쪽의 일본분지에서 열개작용이 확장운동으로 전이됨으로써, 일본열도는 대륙에서 떨어져 나가기 시작했다. 서남일본이 필리핀판과 충돌하기 전에는 대마도는 한반도와 남쪽 멀리 떨어져 있었고, 남서쪽에서 바닷물이 동해에 깊숙이 침투하게 된다. 당시 동해 북동쪽이 바다로 열려있었는지는 현 단계에서 분명하지 않지만, 아마도 15-16 Ma에 필리핀판과의 충돌이후일 가능성이 있다.

한반도를 포함한 대륙의 신생대 분지, 서남일본(SWJ), 동북일본(NEJ), 북해도로부터 구한 자료에 국한되는 반면, 한국대지, 울릉대지, 야마토뱅크, 오키해령, 사도, Fossa Magna 등의 조각에 대해서는 직접적인 자료가 없기 때문에, 23 Ma이전 초기 복원모델에 대해서는 향후 지속적 보완이 필요하다.

구두 20-1

백두산 후기 신생대 현무암질 암석의 지구화학적 연구: 성인과 근원맨틀에 대한 고찰

Geochemical characteristics of late Cenozoic basaltic rocks from Baekdusan: Implications for the petrogenesis and mantle source

최현옥^{1,2,*}, 최성희²Hyun-Ok Choi^{1,2,*}, Sung Hi Choi²¹한국해양과학기술원, hychoi59@kiost.ac.kr²충남대학교

본 연구에서는 백두산 현무암질 암석의 Sr, Nd, Pb, Hf 그리고 Mg 동위원소를 포함한 지구화학적 성분분석을 통해 암석의 성인과 근원맨틀의 특성에 대해 알아보았다. TAS 분류도에서 백두산 시료들은 알칼리 계열의 배서나이트(basanite)-알칼리현무암-조면현무암-현무암질 조면안산암과 쉐레아이트 계열의 현무암-현무암질 안산암으로 구분된다. 콘드라이트 값으로 표준화한 희토류원소 패턴에서 백두산 화산암류는 경희토류원소가 중희토류원소보다 부화된 양상을 보인다[(La/Yb)_N=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 해양현무암의 범위(47 ± 7)에 포함되는 반면 Ce/Pb비(14.5 ± 4.0)는 해양현무암의 범위(25 ± 5)보다 낮은 값까지 확장되어 있다. 그러나 SiO₂ 함량과 Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소비의 상관도에서 유의미한 상관관계가 나타나지 않으므로 마그마의 분화과정동안 지각혼염의 가능성은 배제할 수 있다. 따라서 낮은 Ce/Pb비는 근원 맨틀의 특징이 반영된 것으로 생각된다. 희토류 원소를 이용한 부분용융 모델링 결과 백두산 시료들의 Gd/Yb비는 석류석 페리도타이트(peridotite)가 부분용융된 액(melt)의 범위 안에 포함된다. 그러나 감람석 반정의 Ca, Ni 원소들의 함량과 주원소를 이용한 모델링 결과는 석류석 페리도타이트 이외에 다른 근원맨틀 물질이 백두산 화산암류 형성에 관여했음을 지시한다. 백두산 현무암질 암석의 Sr-Nd-Pb 동위원소 성분비는 이들의 근원맨틀에 결핍맨틀(DMM, depleted MORB mantle)과 부화맨틀 타입1 (EM1, enriched mantle type 1) 단성분이 혼합되어 있었음을 의미한다. 백두산 시료들의 Mg 동위원소비($\delta^{26}\text{Mg} = -0.39 \pm 0.17\%$)는 대개 전형적인 맨틀 값의 범위($\delta^{26}\text{Mg} = -0.25 \pm 0.07\%$)보다 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 중앙해양도현무암 값과 유사하며 낮은 $\delta^{26}\text{Mg}$ 값을 가지고 있을 것으로 생각된다. 재활성화된 섭입 퇴적물과 해양판은 맨틀전이대에 존재하고 있을 것으로 추론된다.

구두 20-2

SAR 영상의 텍스처 분석법을 이용한 백두산 천지의 얼음 면적 변화 탐지

Detection of ice dimension changes in Cheonji, Baekdu mountain using texture analysis of SAR Imagery and Image classification

박성재^{1,*}, 이창욱²Sungjae Park^{1,*}, Chang-Wook Lee²¹강원대학교 스마트지역혁신학과, tres13@kangwon.ac.kr²강원대학교 과학교육학부

백두산 정상에 위치한 천지는 20억톤 이상의 물이 저장되어 있다. 천지는 높은 고도와 주변환경으로 인해 겨울철에 해당하는 10월부터 4월 사이에 눈과 얼음으로 뒤덮이게 된다. 본 연구에서는 Sentinel-1 SAR 위성영상을 사용하여 2015년 10월부터 2020년 4월까지의 얼음면적의 변화를 분석하였다. 얼음 면적의 산출 기법으로는 GLCM 텍스처 분석(Gray Level Co-occurrence Matrix texture analysis)을 적용하였다. Sentinel-1의 VV와 VH 편광 영상에서 각각 10개의 텍스처 레이어를 생성하고, 영상 분류 과정을 통해 산출하였다. 영상 분류는 머신러닝 중 하나인 SVM (Support Vector Machine) 알고리즘이 사용되었고, VV와 VH 편파영상의 영상분류 결과를 최종적으로 통합한 결과를 산출하였다. 산출된 결과는 백두산에서 가장 가까운 삼지연 관측소의 기온 데이터와 상관관계 분석을 실시하였고 상관관계 계수는 0.61로 나타났다. 이 상대적으로 낮은 상관관계는 천지와 관측소의 먼 거리에 의한것으로 판단된다. 그럼에도 본 연구의 결과는 2015년부터 2020년까지의 얼음 면적의 변화 폭을 보았을 때, 큰 화산활동이 없는 것으로 나타났다.

구두 20-3

Historical records of volcanic rumbling caused by the explosive eruption of Mt. Baekdu: 939 AD and 946-947 AD super-eruptions

Sung-Hyo Yun^{1,2,*}, Jeonghyun Lee², Cheolwoo Chang²

¹Department of Earth Science Education, Pusan National University, yunsh@pusan.ac.kr

²Volcano Specialized Research Center, Pusan National University

Loud explosions, bubbles bursting, rumbling, hissing, and roaring like a jet engine describe some of the sounds heard from volcanoes around the world. Stories of sounds from historical eruptions tell of loud booms and explosions from volcanoes heard thousands of kilometers away. The rumbling phenomenon caused by the explosive eruption of Mt. Baekdu is recorded in the historical records, so we would like to examine it.

1. The 939 AD eruption record: rumbling by the eruption

The original text of Nihongiryaku says, “天慶二年正月二日 甲辰春日大社鳴如擊.” It translates as follows: “The sound of a large drum was heard on 2 January 939 AD, the second year of the Tengyo era, which was a spring day of Gap-jin-nyeon.”

This is the rumbling by the explosive volcanic eruption from a long distance away and it is highly likely that this phenomenon was caused by Mt. Baekdu eruption. Based on the descriptions in Nihongiryaku which is a Japanese history book, Akaishi *et al.* (2000) made assumptions that there had been resonance by the explosion from a long distance in January 939 AD and considered that it had been caused by the B-Tm (Baegdusan-Tomakomai tephra; Machida *et al.*, 1981; Machida and Arai, 1981, 1983) eruption. Accordingly, it can be also expected that the AD 939 rumbling event which was recorded in Nihongiryaku could have been caused by the eruptions of Mt. Baekdu in 937 AD and 938 AD.

2. The 946 and 947 AD eruption records: rumbling by the explosive eruptions and fallout ash

The original written record in the second scroll of Goryeosa Segwa which was written during the first year(946 AD)of King Jeongjong in the Goryeo Dynasty mentions “是歲天鼓鳴敝” which can be translated as following: “As the sound of beating was heard from the sky (a heavenly drum was heard beating) this year, the criminals were pardoned.” Also the original text of chronicle of Kofukuji Temple (“興福寺年代記”) says, “天慶九年十月七日夜白灰散如雪” which can be translated as following: “On the night of 7 October (3 November by the solar calendar), 946, white ash fell like snow.” It may be the eruption of volcanic ash that rained down on 3 November, 946 in Nara, Japan.

Also, the original text of Teishinkoki (“貞信公記”, a Japanese history and the journal of Fujiwara Tadahira, an early regent) says, “天曆元年正月十四日空中有聲如雷鳴.” It translates as follows: “In the region of Kyoto, “there was a sound from the sky on 7 February 947, the first year of the Tenryaku, also Tenreki, era, and the sound was like thunder.”

The original text of Nihongiryaku says, “正月十四日庚子此日空中有聲如雷” which means “There was a sound from the sky on 7 February 947, and it sounded like thunder.”

Goryeosa is a history of the Goryeo dynasty, whose text was altered several times in the early period of the Joseon Dynasty by Jeong In-ji, Kim Jong-seo and some other civil servants and which was compiled in 1451. The original text of Goryeosa Ji (“高麗史志”), Volume 7, includes the record saying, “定宗元年天鼓鳴”, and the original text of Goryeosa Jeolyo (“高麗史節要”, Essentials of Goryeo History) also includes the following record which says, “定宗元年天鼓鳴.” Both records have evidences that there was an explosive volcanic eruption and it caused the rumbling sound from the sky in the capital (Kaesong city) of Goryeo dynasty. It is speculated that, at the time of these Plinian and ignimbrite eruptions, the sound of the volcanic explosion was conveyed as resonance far to Kaesong which was about 465 km away from Mt. Baekdu and even to Japan which was more than 1,000 km away from Mt. Baekdu. Hayakawa and Koyama (1998) compared the thunder recorded in Teishinkoki or Nihongiryaku with the Changbai pyroclastic flow (C-pfl) eruption (Machida *et al.*, 1990) and speculated that the B-Tm tephra had also fallen at this time in Hokkaido or Tohoku region.

Acknowledgement: This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-02710.

구두 20-4

Estimating the Potential Risk of the Mt. Baekdu Volcano using a Synthetic Interferogram

Arief Rizqiyanto Achmad^{1,*}, Seulki Lee¹, Sungjae Park¹, Jinah Eom², Chang-Wook Lee¹

¹*Division of Science Education, Kangwon National University, ariefrizqiyanto@kangwon.ac.kr*

²*Research Institute for Earth Resources, Kangwon National University*

The Baekdu Volcano is located on the border between Jilin Province, China, and Ryanggang Province, North Korea. Its 946 AD eruption had a Volcanic Explosivity Index (VEI) of 7, making it among the most massive eruptions in the past 2000 years, a “Millennium eruption”. Mount Baekdu may erupt in the near future. To examine the future impact of Mount Baekdu, we generated a synthetic interferogram using a Mogi model equation to produce a simulated surface deformation phase and added simulated orbital error, topographic error, and atmospheric effects phases. the synthetic interferogram showed that the simulated surface deformation at Mount Baekdu would be 0.04 cm, 0.1 cm, 0.7 cm, 10 cm, 1 m, 12 m, and 100 m according to the VEI category. This study can be used to estimate the interferometric synthetic aperture radar (SAR) surface deformation of Mount Baekdu and produce a surface deformation detected using SAR images on inflation of the magma chamber in Mount Baekdu as a basis for risk assessment, evacuation, and mitigation efforts.

구두 20-5

시나리오에 근거한 Laharz_py 수치모의: 백두산에서 발생 가능한 라하르 범람지역의 예측

Scenario-Based Numerical Simulations Using Laharz_py: Predicting Lahar Inundation zones for Mt. Baekdu Volcano

장철우^{1,*}, 윤성호^{1,2}Cheolwoo Chang^{1,*}, Sung-Hyo Yun^{1,2}¹부산대학교 화산특화연구센터, iori@pusan.ac.kr²부산대학교 지구과학교육과

자바어로 화산이류를 뜻하는 라하르는 지난 2천 년 동안 인명과 재산에 큰 피해를 입힌 주요 화산 재해 중 하나이다. 라하르는 화산활동에 의해 직접적으로 발생하기도 하고, 분화 이후 퇴적된 분출물들이 강우나 홍수에 의해 산사면을 타고 내려가며 발생하기도 한다. 북한과 중국의 국경에 위치한 백두산은 잠재적 분화 가능성이 있는 활화산이며, 백두산 천지 호수에는 약 20억 톤의 물이 저장되어 있으므로, 백두산에서 분화가 발생할 경우 백두산 유역의 하천에 라하르가 발생할 가능성이 크다. 백두산에서 발생 가능한 라하르의 영향 범위를 예측하기 위하여 Laharz_py 프로그램을 이용한 수치모의를 실시하였다. 라하르는 산사면의 경사가 급격히 완만해지는 지점부터 유속을 잃고 퇴적되기 시작하므로, 이를 근위위험지역경계(proximal hazard zone boundary; PHZB)로 설정하였다. 백두산의 경우 칼데라를 이루고 있으므로, 수치표고모델(DEM)에 추가적인 750 m의 고도를 설정하여 가상의 산정부를 설정하고 수치모의에 필요한 H/L비를 0.10으로 설정하였다. 수치모의를 위하여 발생 가능한 라하르의 부피를 다양하게 설정하여 분화규모에 따른 시나리오를 제작하였다. 수치모의 결과, 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 하천이 근위위험지역경계에 위치하여 라하르가 발생할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 백두산의 화산재해를 대비한 재해위험도를 작성하기 위한 기초 자료로 사용할 수 있을 것이다.

Acknowledgement: This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-02710.

구두 20-6

백두산 화산에서 Titan2D 수치모형 분석에 의한 화쇄류의 영향 범위 예측

Prediction for Impact Areas of Pyroclastic Density Currents Using Titan2D Numerical Simulation Analysis on Mt. Baekdu Volcano

윤성호^{1,2}, 장철우^{2,*}, 김선경³

Sung-Hyo Yun^{1,2}, Cheolwoo Chang^{2,*}, Sunkyeong Kim³

¹부산대학교 지구과학교육과, iori@pusan.ac.kr

²부산대학교 화산특화연구센터

³부산대학교 대학원 지구과학과

백두산은 서기 946년 Millenium 분화라고 일컬어지는 폭발적인 플리니식 분화를 일으켰으며, 이후 30여 차례 이상의 크고 작은 분화가 발생하였다. 밀레니엄 분화에 의한 화쇄류 퇴적층은 백두산 천지에서 60 km 이상 떨어진 지점에서도 발견된다. 백두산에서는 2002년부터 2006년까지 화산성 지진의 증가 및 온천수 수온의 상승과 같은 화산전조현상이 발생하였으며, 앞으로도 언제든지 분화 가능성이 있는 활화산이다. 백두산의 폭발적인 플리니식 분화에 의해 형성된 분연주의 붕괴에 의하여 화쇄류가 발생하게 되면 백두산 인근 지역에 치명적인 피해를 입힐 수 있다. 이에 백두산에서 발생 가능한 화쇄류의 영향 범위를 Titan2D 수치모의 프로그램을 이용하여 분석하였다. 화산폭발지수별 영향 범위를 산출하기 위하여, 화구의 위치 및 분연주와 화쇄류 흐름의 물리적 특성, 수치모의의 조건들을 정의하였다. 수치모의 결과 분화 규모가 커질수록 화쇄류의 영향 범위가 증가하여 광범위한 지역에 피해를 입히는 것으로 나타났다. 칼데라 바깥쪽 북동쪽 산사면에 위치한 화구를 가정한 수치모의 결과 화산폭발지수가 2에서 7까지 증가함에 따라 각각 3.3 km, 4.6 km, 13.2 km, 24.0 km, 50.2 km, 83.4 km 이상 화쇄류가 도달하는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 미래에 백두산에서 화산 분화 발생으로 인한 화산재해로 발생하는 피해의 저감에 기여할 수 있는 재해위험도 작성의 기초 자료로 이용 가능하다.

Acknowledgement: This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-02710.

구두 21-1

Tectonic geomorphology and Quaternary fault slip rates of the Tsambagarav Massif in Mongolian Altay

Sangmin Ha^{1,*}, Yeong Bae Seong², Moon Son¹

¹Department of Geological Sciences, Pusan National University, hsm9181@pusan.ac.kr

²Department of Geography Education, Korea University

The Korea and Mongolia are located in the intraplate, but show contrasting neotectonic crustal deformation characteristics. Unlike the Korea, which has humid climate and low fault activity, the Mongolia is more likely to preserve the topographic evidence of paleoseismology due to arid climate and high fault activity. The purpose of this study is to identify the paleoseismic characteristics of faults and the associated topographical features in the intraplate through detailed fieldwork and laboratory analysis, where high magnitude of fault activity often occurs.

The western part of Mongolia is known as the late Cenozoic strike-slip development belt. The study area, Tsambagarav Massif (4208 masl), is located between two local towns of Ölgii and Hovd in northwestern Mongolia and rises up to >4000 m. The Tsambagarav Massif with the geometry of the triangle was reported as a triangular tilt block at gentle bend that appears between the two strike-slip faults (Cunningham *et al.*, 2003). The massif is bounded by faults which consist of the main strike-slip fault with dextral reverse slip and the lower thrust in the west, and thrusts in the north and south. Of these, Lower Thrust and Tsambagarav Dextral Reverse Fault, the western boundary faults, were studied to constrain their deformation pattern and rate over the Quaternary.

In satellite imagery and aerial photography, we can easily identify landforms and surface deformation related to reverse movement in the Lower Thrust and related to strike-slip movement in Tsambagarav Dextral Reverse Fault are clearly recognized. The Lower Thrust runs along the foliation of schist, which is basement rock overlain by Quaternary alluvial fan at the mountain front. The Lower Thrust vertically deformed the alluvial fan surfaces, exposing tens of kilometer-long fault scarp. To calculate the vertical slip rate of the Lower Thrust, the vertical displacement was measured using the total station, and samples for ¹⁰Be surface exposure dating were taken from the two, deformed alluvial fans. The measured vertical displacement ranges 7-8 m and the derived ¹⁰Be surface exposure ages of the alluvial fans are 34.2±19.1 and 32.5±15.2 ka, yielding the vertical slip rate of 0.15-0.5 mm/yr. The Tsambagarav Dextral Reverse Fault located in the northeast of the Lower Thrust, maintains the clear evidence of the recent strike-slip dominant movements such as beheaded channel, offset landforms, and surface rupture. Particularly in the southern part of the fault, the ridge axis of a terminal moraine was cut ~50 m by the fault. The en echelon tension gashes indicating dextral displacement and sag ponds are also observed on fault bending. For measuring the horizontal slip rate of the fault, samples for ¹⁰Be surface exposure dating were taken from the moraine. In addition, a trench was revealed in tension crack filled with water to establish the timing of the earthquake that generated tension crack. Animal bones for ¹⁴C dating were sampled in both hillslope clast deposit and the overlying mud deposit, which were likely to be buried before and after the earthquake, respectively. The ¹⁰Be surface exposure dating of the terminal moraine yields 27.9±5.4 ka. ¹⁴C age of animal bone in the hillslope clast deposit is 1708 Cal yr BP and ¹⁴C age of animal bone in the overlying mud deposit is 1924 Cal yr BP, bracketing the timing of the last earthquake. Based on the age dating result and displacement of the moraine, the late Quaternary horizontal slip rate of Tsambagarav Dextral Reverse Fault is 1.5-2.2 mm/yr, and the timing of the last earthquake that caused surface rupture is estimated to be between 1708-1924 Cal yr BP.

구두 21-2

Blind-thrusted foreberg in the Bogd fault system, Gobi-Altay, south-central Mongolia: focusing on its geomorphic constraints

Cho-Hee Lee^{1,*}, Yeong Bae Seong¹, Lindsay Schoenbohm², Dong-Eun Kim³, Byung Yong Yu⁴

¹Department of Geography, Korea University, ch930960@korea.ac.kr

²Department of Chemical and Physical Sciences, University of Toronto Mississauga

³Department of Earth and Environmental Science, Tulane University

⁴Laboratory of Accelerator Mass Spectrometry, Korea Institute of Science and Technology

'Foreberg' is a low, elongated ridge or hill with low relief parallel to the main mountain range, rising above the surrounding alluvial fans and floodplains, and is typically formed by thrusting (Florensov and Solonenko, 1963; Bayasgalan *et al.*, 1999; Owen *et al.*, 1999). When hanging wall moves toward the foreland, the vertical displacement of the original surface increases, and the foreberg eventually grows accommodating compressional stress. The forebergs in the Gobi-Altay range, south-central Mongolia have developed in the foreland of the restraining bends uplifted along the Bogd fault, which is an E-W trending sinistral strike-slip fault. In the easternmost part of the Bogd fault, there are six forebergs in the foreland of the Artz Bogd, which is one of the restraining bends in the Gobi-Altay range. As the foreberg is a form of the mountain in its early stage, we surveyed one of them to identify the fault geometry associated with its formations. This foreberg is ~6 km long and ~1 km wide, and rises ~30 m above the surrounding surface. Its ridge lies into E-W direction and has gentle southern slope and steeper northern slope, having the asymmetric topography across the foreberg. The height of this foreberg is relatively tall at its center and dies out toward its both sides. In order to constrain its geomorphic state and identify the fault geometry beneath the foreberg and how it vertically and laterally grows, we calculated catchment-wide denudation rate (CWDR) using ¹⁰Be and carried out the morphometric analyses (channel head elevation, chi-value, slope, and relief) for the channels developed on the foreberg based on the high-resolution DEM generated using photos taken with unmanned aerial vehicle (UAV). For the across-foreberg (north-south direction) contrast and/or the asymmetry of the results, the ¹⁰Be CWDR was higher in the northern slope and lower in its southern slope, and the channel metrics show that the main divide of the foreberg has been migrating toward the south. We interpret that these asymmetry of the ¹⁰Be CWDR and the channel metrics are the result of the geomorphic response to the tectonic perturbation, that is the uplift of the foreberg via fault-propagation folding. In addition, according to along-foreberg (east-west direction) variation of the ¹⁰Be CWDR and channel metrics, the foreberg can be divided into four segments, where the ¹⁰Be CWDR and the metrics decreases abruptly. In each segment, the along-foreberg pattern of the channel metrics, which indicate the geomorphic response to the tectonic movement, resemble a bow-shape, implying the slip deficiencies resulted from the linkage of the multiple segments (Cartwright *et al.*, 1995).

Acknowledgement: This research was supported by a grant (2017-MOIS31-006) from Research and Development of Active fault of Korea Peninsula funded by Ministry of the Interior and Safety (MOIS).

구두 21-3

한반도 남동부 제4기 단층노두 퇴적층의 석영과 K 장석 루미네선스 신호특성 연구: 루미네선스 연대측정결과 신뢰도 Luminescence characteristics of quartz and K-feldspars from Quaternary fault sites in the south eastern part of Korea: Implications for the reliability of luminescence dating of Quaternary faults

김석진^{1,2,*}, 최정현¹, 원효정^{1,3}, 임현수²
Seok-Jin Kim^{1,2,*}, Jeong-Heon Choi¹, Hyo-Jeong Weon^{1,3}, Hyoun Soo Lim²

¹한국기초과학지원연구원 환경분석연구부, ksj0401@kbsi.re.kr

²부산대학교 지질환경과학과

³강원대학교 지질학과

단층의 운동사를 이해하기 위해서는 단층에 의해 절단된 퇴적층의 정확한 연대측정이 매우 중요하며, 최근 루미네선스 연대측정법이 제4기 퇴적층의 퇴적연대 측정에 가장 활발히 적용되고 있다. 본 연구에서는, 제4기 단층노두에 대한 루미네선스 연대결과의 신뢰도를 검증하기 위하여, 한반도 남동부에 분포하는 세 개의 제4기 단층노두(벽계, 천군, 삼남 굴착 단면)에서 채취한 석영과 K 장석입자들의 여러 루미네선스 신호특성을 살펴보았다.

연구지역에서 채취된 석영입자들의 OSL 신호는 모두 비교적 낮은 선량포화 수준($2D_0 < \sim 250$ Gy)을 보였으며, 10만년 이상의 퇴적연대를 측정하기에는 부적합한 특성을 보였다. 따라서 약 10만년 이전에 형성된 퇴적층에 대해서는 석영 OSL 보다 연대측정 가능상한이 높은 K 장석 IRSL 연대측정을 실시하였다. 각 굴착단면에서 채취한 시료들 중, 약 5만년 이하의 퇴적층에서는 K 장석 IR₅₀ 연대(fading corrected)가 석영 OSL 연대와 오차범위 내에서 일치하였으나, K 장석 pIRIR₂₂₅ 연대(fading corrected)는 모두 석영 OSL 연대보다 오래된 연대를 보였다. 특히 단층대와 인접한 퇴적층에서 채취한 시료의 경우(벽계), 석영 OSL 연대(17 ± 1 ka)에 비해 매우 오래된 장석 IR50 연대(~ 82 ka) 및 pIRIR₂₂₅ 연대(~ 115 ka)가 측정되었다. 이러한 결과는 K 장석의 IRSL 신호들이 석영 OSL 신호에 비해 햇빛에 의한 초기화 속도가 느린 현상이 반영된 것으로 보이며, 실내인공광원(solar simulator)을 이용한 실험에서도 동일한 현상이 관찰된다. 따라서 단층 인접부처럼 퇴적입자들이 햇빛에 노출될 수 있는 시간이 매우 제한적인 퇴적층에서는 K 장석 IRSL 연대결과가 실제 퇴적연대를 과대평가할 가능성이 있다. 하지만, 단층운동에 의해 변형이 뚜렷하게 관찰되지 않는 퇴적층의 K 장석 IRSL 연대들은 석영 OSL 연대와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

석영 OSL 연대와 K 장석 pIRIR₂₂₅ 연대의 비교를 통해, K 장석 pIRIR₂₂₅ 신호가 실제 퇴적연대를 과대평가한다 하더라도 그 정도가 최대 10 ka를 넘지 않을 것으로 판단된다. 따라서, 루미네선스 연대측정의 오차범위($\sim 10\%$ RSD)를 감안하면, 100 ka만년 이상의 퇴적층에 대한 K 장석 pIRIR₂₂₅ 연대는 신뢰할 만한 것으로 여겨진다. 다만, K 장석을 이용한 MET(Multi-Elevated Temperature)-pIRIR 연대측정법은 여러 온도에서 측정된 IRSL 신호를 이용한 연대측정이 가능하다는 장점이 있으나, 루미네선스 신호의 세기가 충분한 일부 시료(예. 삼남)에 대해서만 측정이 가능했으며, 시료에 따라 연대측정에 적합하지 않은 IRSL 특성을 보이는 경우도 있기 때문에 제4기 단층 연대측정에서의 적용가능성은 좀 더 면밀한 연구가 필요하다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 “한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발”사업의 연구비지원(2017-MOIS31-006)에 의해 수행되었습니다.

구두 21-4

울산단층 중부지역의 고지진학적 특성 연구

Paleoseismic study on the central part of the Ulsan fault, SE Korea

박기웅^{1,*}, 이진현¹, 권오상¹, 신현조², 김영석^{1,2}Kiwoong Park^{1,*}, Jinhyun Lee¹, Ohsang Gwon¹, Hyeonjo Shin², Young-Seog Kim^{1,2}¹부경대학교 지구환경과학과 지질구조해연구실, pko8108@naver.com²활성단층 및 지진재해저감연구소

우리나라와 같이 판의 경계에서 벗어난 지역에서는 판의 경계지역에 비해 일반적으로 중·대규모 지진의 발생빈도가 낮고, 재발주기도 길어서 고지진학적 정보의 수집이 어렵다. 그럼에도 불구하고 종종 피해지진이 발생하고 있기 때문에 지진을 발생시킬 수 있는 활성단층의 분포특성을 파악하고 고지진학적 특성을 바탕으로 거동양상을 이해하여 판 내부 환경에 적합한 단층진화모형을 개발할 필요가 있다. 한반도 동남부에 위치한 울산단층대는 울산광역시에서 경주시까지 북북서-남남동 방향으로 약 50 km 길이로 발달한다. 연구지역인 경주시 외동읍 말방리 일대는 울산단층의 중부지역에 해당되며 울산단층에서 최초로 보고된 제4기단층인 말방단층을 비롯하여 사곡지, 절골, 감산사, 신계, 진티, 진현 등 많은 제4기단층들이 보고된 지역으로 활성도가 상대적으로 높고 단층발달 양상이 매우 복잡한 지역이다. 본 연구에서는 지형분석, 지표지질조사, 굴착조사와 연대측정 등 다양한 분야의 연구방법을 적용하여 고지진학적 정보를 도출하여 단층진화모형을 확립하는 것을 목표로 하였다. 과거 항공사진, 고해상도 LiDAR (0.5 m 해상도) 영상을 이용한 지형분석 결과 남-북 방향의 1등급 선형구조가 다수 발달하며 선형구조를 따라 선형곡, 단층애, 단층와지 등 다양한 단층관련 지형이 확인되었고, 선형구조에 수직인 방향으로 지형 단면도를 추출한 결과 5개의 지점에서 3~4 m의 경사급변점이 관찰되었다. 선형구조를 따라 수행된 지표지질조사를 통해 2개 지점을 선정하여 굴착조사를 실시하여 추가적인 제4기단층(활성리 1,2지점)을 발견하였다. 두 지점 모두 기반암인 화강암이 제4기층을 충상한 역단층으로 발달하며 상하반에서 대비되는 기준층이 없어 정확한 변위는 확인할 수 없었지만 최소 7 m 이상으로 추정된다. 제4기층에서의 퇴적상 변화와 지층의 경사변화를 토대로 제4기 동안 최소 3회 이상의 단층운동이 있었던 것으로 판단된다. 절단된 제4기층의 상부에서 103 ± 2 ka (활성리 1지점), 61 ± 3 ka (활성리 2지점)의 OSL 연대측정 결과를 얻었다. 인접한 지역에서 보고된 제4기단층들과의 연관성을 토대로 울산단층 중부지역에서의 고지진학적 정보를 도출하였다. 확인된 운동감각은 일부 주향이동성분이 포함된 역단층 운동이며, 누적변위는 조사지점에 따라 상이하지만 7-12 m 이상으로 추정된다. 최후기 운동시기는 신계2지점에서 보고된 55 ± 3 ka 이후로 해석되며, 현재 OSL 연대측정이 추가로 실시 중에 있다. 추후 본 지역의 단층특성을 더욱 명확하게 이해하여 단층진화모형을 제시하기 위한 정밀한 추가조사를 수행할 예정이다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 '한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발 사업' (2017-MOIS31-006)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

구두 21-5

울산단층 남부지역에서의 제4기 단층활동 특성 연구

A study on Quaternary faulting in the southern part of the Ulsan fault

권오상^{1,*}, 이진현¹, 박기웅¹, 신현조², 김영석^{1,2}
 Ohsang Gwon^{1,*}, Jinhyun Lee¹, Kiwoong Park¹, Hyeon-Cho Shin², Young-Seog Kim^{1,2}

¹부경대학교 지구환경과학과 지질구조재해연구소, osgwon3927@pukyong.ac.kr
²활성단층 및 지진재해저감연구소

일반적으로 규모 5.5 이상의 중·대규모 지진은 지표파열을 수반할 수 있어 더 큰 인명 및 재산 피해를 야기한다. 판 경계에서 벗어난 지역에 위치한 우리나라는 판 경계에 위치한 나라들에 비해 중·대규모 지진의 발생 가능성이 상대적으로 낮고, 재발주기도 상대적으로 길기 때문에 지진의 발생 시기, 주기, 위치, 규모 등을 파악하기 어렵다. 그럼에도 불구하고, 판 경계에서 벗어난 지역에서도 중·대규모 지진이 종종 발생하고, 우리나라 역사기록에도 중·대규모 지진의 발생기록이 있으므로, 우리나라에서도 중·대규모 지진이 발생할 가능성은 충분히 있다. 따라서 최근에 활동을 하여 지진을 발생시킬 가능성이 있는 '활성단층(active fault)'을 추적하고 이와 관련된 지표지질 및 지형 분석을 통해 고지진학적 자료를 수집하는 것이 중요하다. 한반도 남동부에는 양산-울산단층계가 발달하고 있으며, 울산단층대는 경주에서 울산까지 북북서-남남동 방향을 따라 발달하고 있다. 본 연구에서는 울산시 북구 매곡동부터 울산시 북구 창평동까지 분포하고 있는 남부 울산단층대를 대상으로, 기존문헌 분석, 과거 항공사진 분석, 최신 항공 LiDAR 영상 분석, 지표지질 조사, 지구물리탐사, 굴착 조사, 연대측정 등 종합적인 접근방법을 통해 울산단층 남부의 단층특성을 이해하고자 하였다. 연구지역에 보고된 단층으로는 '차일단층'이 있으며, 이 단층은 고지진학적 해석 및 연대측정 결과를 바탕으로 제4기 단층으로 보고되었다. 과거 항공사진과 최근의 LiDAR 영상을 이용한 선형구조 및 상세지형분석 결과 수 조의 북북서-남남동 내지 남-북 주향의 선형구조가 확인되었으며, 남-북 방향의 연속적인 선상지 발달과 경사 급변점이 확인되었다. 도출된 선형구조를 추적한 결과 퇴적암과 제4기 지층이 단층접촉하고 있는 노두들을 발견하였고, 최근 단층활동의 증거를 수집하기 위하여 2개 지점에서 굴착 조사를 실시하였다. 제 1지점(호계동)에서의 굴착조사 결과, 동쪽으로 경사하는 4매의 단층들은 역이동성 감각이 우세하며, 제4기 동안 최소 2회 이상의 단층운동이 확인된다. 절단된 최상부 제4기 지층에서의 연대측정 결과 161 ± 6 ka의 연대가 산출되어, 이 연대 이후에 단층운동이 있었던 것으로 해석된다. 제 2지점(매곡동)에서의 굴착 조사 결과, 동쪽으로 경사하는 4매의 단층들은 역이동성 감각이, 1매의 단층은 주향이동성 감각이 우세하며, 제4기 동안 최소 1회 이상의 단층 운동이 확인된다. 연대제한을 위해 절단된 미고결 퇴적층에서 OSL 연대측정을 실시할 예정이다. 이러한 연구는 울산단층대의 발달양상에 대한 정보를 제공해 줄 뿐만 아니라 미래에 발생할 수 있는 지진에 의한 지진재해를 감소시키기 위한 내진설계에 유용하게 활용될 것으로 사료된다.

감사의 글: 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No.20171510101960).

구두 21-6

포항시 흥해읍 일원에서 발견된 제4기 단층의 고지진학적 의미

Paleoseismic implication of the Quaternary fault found in Heunghae-eup, Pohang-si

이성준^{1,*}, 하상민¹, 임혜원¹, 강희철¹, 김민철¹, 최정현², 성영배³, 손 문¹
 Seongjun Lee^{1,*}, Sangmin Ha¹, Hyewon Lim¹, Hee-Cheol Kang¹, Min-Cheol Kim¹, Jeong-Heon Choi²,
 Yeong Bae Seong³, Moon Son¹

¹부산대학교 지질환경과학과, Seongjun08@pusan.ac.kr

²한국기초과학지원연구원 지구환경연구부

³고려대학교 지리교육과

본 연구에서는 2017년 포항지진이 발생한 포항시 흥해읍 인근에서 제4기 단층의 존재 유무를 확인하기 위해 포항지진의 지진원 단층의 지표면 연장으로 추정되는 라인을 따라 상세지형분석, 지표지질조사, 물리탐사, 시추조사, 굴착조사를 수행하였다. 포항지진에 대한 3차원 여진분포와 단층면해 분석을 통해 밝혀진 지진원 단층의 기하는 북동방향의 주향을 가지며 북서방향으로 경사져 있으며, 기존 연구에서 보고된 마이오세 포항분지 내 곡강단층과 공역상의 기하를 가지는 곡강단층의 반향단층이 재활한 것으로 확인되었다. 또한 지진원 단층의 지표연장부로 추정되는 곡강리에서는 북동방향의 범람원 지대를 따라 InSAR 영상에서 확인된 지표변형이 종결되는 것이 확인되었고, 이는 지진원 단층이 우수향성분을 포함한 역단층운동으로 재활되면서 단층의 상반에 변형을 집중시킨 것으로 해석되었다. 따라서 지진원 단층의 연장부로 추정되는 곡강리 일원을 중심으로 LiDAR 영상을 이용해 상세지형분석을 실시하였다. 상세지형분석 결과, 흥해읍 곡강리 일원은 북동방향의 장축을 가지는 범람원 지대와 그 주변으로 해안사구층과 해안단구층이 분포하고 있으며, 소규모 곡부를 따라 충적층과 녹설층이 분포하고 있다. 이 지역을 지나는 곡강단층과 유사한 방향성을 가지는 북동방향의 2등급 선형구조가 인지되나, 지표면 변위를 가지는 1등급 선형구조는 확인되지 않는다. 선형구조의 북동쪽은 수십 m 이상으로 추정되는 두꺼운 범람원 퇴적층과 해안사구 퇴적층이 넓게 분포하고 있어 단층활동에 의한 변위가 지표에 노출되지 않았거나, 단층활동 이후에 매적 또는 침식되었을 가능성이 존재한다. 다만, 선형구조의 남서쪽에서 1 m 내외의 수직 낙차가 인지되는데, 이는 단층변위 또는 여러 가지 지표프로세스에 의한 단애일 것으로 판단된다. 상세지형분석에서 명확한 제4기 단층의 증거가 확인되지 않아, 물리탐사와 함께 시추조사를 추가적으로 실시하였다. 그 결과, 선형구조를 따라 실시한 모든 물리탐사에서 뚜렷한 저비저항 이상대가 확인되었으며, 시추조사에서는 기반암에 깊이가 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 깊어지는 양상을 보이는데, 물리탐사로 확인된 이상대 인근에서 급격히 깊어지는 양상이 체계적으로 관찰되었다. 이러한 분석결과를 근거로 굴착조사 지점을 선정하였고, 1개 지점에서 제4기 퇴적층을 절단하는 단층이 확인되었다. 굴착지점에서 단층이 절단하는 최상부층의 OSL 연대를 근거로 확인된 최후기 단층운동의 시기는 0.17 ± 0.01 ka 이후이며, 이는 이번 지진에 의해 발생한 국부적인 슬립핑으로 기존에 있는 단층이 재활한 것으로 판단된다. 또한, 단층운동 횟수가 2회 이상으로 해석되는데, 이는 이번 포항지진 이전에도 단층운동이 있었음을 지시한다. 이와 함께, 굴착조사 지점으로부터 북동쪽으로 2 km 떨어진 지점에서 해안단구층을 절단하는 단층노두가 확인되었으며, 이 지점에서 분포하는 해안단구층은 약 20 m 내외의 고도에 위치해 있어 2단구에 해당되는 것으로 판단된다. 단면상에서 해석된 최소 단층운동 횟수는 2회 이상이며, 각 단위퇴적층의 OSL연대는 분석 중에 있다. 이러한 조사결과들은 포항시 흥해읍 일원에서 2017년 포항지진 이전에도 고지진활동이 있었음을 지시한다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 '한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발 사업' (2017-MOIS31-006)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

구두 21-7

다학제적 조사를 통한 중남부 양산단층의 기하와 고지진 연구

Multidisciplinary investigations of geometry and paleo-earthquakes on the central-southern Yangsan fault

최진혁^{1,*}, 이호일¹, 천영범¹, 신영홍¹, 배한경¹, 이창현², 이승렬¹
 Jin-Hyuck Choi^{1,*}, Hoil Lee¹, Youngbeom Cheon¹, Young Hong Shin¹, Han-Kyung Bae¹,
 Changhyun Lee², Seung Ryeol Lee¹

¹한국지질자원연구원 국토지질연구본부, cjh9521@kigam.re.kr

²한국지질자원연구원 지질환경연구본부

2016년 규모 5.8 경주지진 이후, 진앙지를 포함한 중남부 양산단층을 대상으로 지난 3년간(2017-2019) 다학제적 단층조사가 수행된 바 있다(이승렬 외, 2019). 이번 발표에서는 단층조사 사업을 통해 제작된 1:25,000 단층주제도에 대한 설명과 함께 새롭게 규명된 단층 분포와 고지진학적 특성을 토의하고자 한다. 항공라이다 및 과거 항공사진 기반 지형분석을 통해 추출된 선형구조에 대한 단층추적 야외지질조사와 더불어 단층곡 내 천부지표에 대한 시추 및 지구물리탐사(전기비저항탐사, 탄성파탐사, 중력탐사 등)를 수행한 결과, 경주 도십지 등의 단층대 피복구간을 포함해 총 54 km 연장성을 보이는 양산단층의 분포를 파악하였다. 단층 주향에 따른 기하의 변화 양상을 통해 연구대상 구간의 양산단층이 총 5개의 기하학적 분절로 구성되어 있음을 보여준다. 대개 규모 6 이상의 대형지진에 수반되는 고지진 지표변형은 주로 단층곡 주변 충적지형과 퇴적층의 변위 여부를 통해 인지 및 추론 하였으며, 경주 이남의 경우 최후기 대형지진 단층운동은 약 30 ka 전 이후이다. 다학제적 조사를 기반으로 한 단층 연구기술은 국내를 비롯한 판내부 지진환경 지역의 대규모 단층 특성을 규명하는데 이용될 수 있고, 나아가 대형지진과 관련된 지진재해평가의 기초자료 확보하는데 활용 가능하다.

구두 21-8

경주-언양 일원의 양산단층 제4기말 운동 특성: 인보지점과 월산지점을 중심으로

Late Quaternary activities along the Yangsan fault in Gyeongju-Eonyang area: Focused on the Inbo and Wolsan sites

천영범*, 이태호, 최진혁, 이호일, 최이레, 김남권, 배한경

Youngbeom Cheon*, Tae-Ho Lee, Jin-Hyuck Choi, Hoil Lee, Iyre Choi, Namgwon Kim, Hankyung Bae

한국지질자원연구원 국토지질연구본부, cheonyb@kigam.re.kr

2016년 경주지진 발생 이후, 경주지진의 지진원인 중부 양산단층대 구간에 대한 단층대 발달특성과 제4기 운동이력을 규명하기 위한 다학제적 연구가 한국지질자원연구원 국토지질연구본부를 중심으로 수행되었다. 그 결과, 울산시 울주군 두서면 인보리 일대와 경주시 내남면 월산리 일대의 굴착조사를 통해 양산단층대의 제4기말 운동 증거를 확인하였다. 이번 발표에서는 새롭게 확인된 두 지점의 고지진학적 연구 결과를 소개한다. 우선 인보지점에서 확인된 제4기 단층은 양산단층의 동편 단층손상대 내에 발달하는 북북동-남남서 방향의 부차단층이 제4기 동안 재활동 결과이다. 동쪽으로 70° 이상의 경사각을 가지는 단층은 상부로 갈수록 경사각이 작아지면서 3매 이상의 splay로 분기된다. 이들 splay와 각 퇴적단위(unit-1~4)들의 상호 절단(또는 피복) 유무와 퇴적단위별 OSL 연대 결과에 근거할 때, 최후기 지표파열은 29 ka 이후이며 보다 이전의 지표파열은 70~29 ka 사이에 발생하였을 것으로 판단된다. 기반암과 최하위 퇴적단위(unit-4)의 부정합경계면을 기준으로 추정된 수직변위는 적어도 7.5 m이며, 단층면 주변에서 확인되는 우수향 횡압축성(transpression)의 단층조선(선주각: 150°)에 근거할 때 총 변위는 수직변위의 최소 두 배에 이를 것으로 추정된다. 월산지점에서 확인된 제4기 단층 역시 인보지점과 유사하게 양산단층 동편 단층손상대에 발달하는 북북동-남남서 방향의 부차단층으로, 동쪽으로 70° 이상의 경사각을 보인다. 전반적인 단층면을 따라 썩기형태로 채워진 원마도와 분급도가 불량한 퇴적단위(OSL 연대: 33 ka)가 특징적으로 관찰되는데, 이 퇴적단위는 최소 2매의 splay에 의해 절단되어 있다. 이 썩기형 퇴적단위를 절단한 splay가 최후기 지표파열의 결과이고 썩기형 퇴적단위를 형성시킨 사건이 보다 이전의 지표파열의 결과라고 추정할 때, 각각의 사건이 발생한 시기는 33 ka 이후와 37~33 ka 사이로 한정할 수 있다.

구두 21-9

해저단층 특성 파악을 위한 심부시추 연구**Deep drilling research for understand the characteristics of the submarine faults**

이광수*, 유동근, 홍석휘, 김소라, 김길영

Gwang-Soo Lee*, Dong-Geun Yoo, Seok-Hwi Hong, Sora Kim, Gil-Young Kim

한국지질자원연구원 석유해저연구본부, leegs@kigam.re.kr

고해상도 탄성파 자료를 이용하여 동남권 해저단층의 발달 및 분포 특성을 파악하였다. 울진-포항 해역에 분포하는 해저단층의 발달시기를 규명하고 거동 특성을 밝히기 위해 3개의 시추 지점을 선정하고 2019년 해저 심부시추를 수행하였다. 영덕 북동쪽 수심 165 m인 19ESDP-101 지점에서 120 m 시추코어, 후포뱅크 서쪽 수심 127 m인 19ESDP-102 지점에서 8 m 시추코어, 포항 동쪽 수심 175 m인 19ESDP-103 지점에서 104 m 길이의 시추코어를 각각 획득하였다. 획득한 코어는 절개 분석 전에 CT Scanner를 이용하여 코어의 3차원적 퇴적구조를 확인하였다. 이후 시추코어를 절개하여 퇴적상 분석, 입도분석, 연대분석, 미화석분석, XRF 분석 등을 수행하였다. 19ESDP-101 퇴적상 분석 결과, S (Sand), S/M (Sand/Mud), M (Mud)로 3개의 퇴적물로 구분되며, 퇴적구조는 퇴적물의 종류와 관계없이 다양하게 관찰된다. 전반적으로 상부 0~70 m 구간은 세립한 머드로 구성되어 있고, 하부 70~120 m 구간은 상대적으로 상부보다 조립한 모래 또는 실트로 조성되어 있다. 19ESDP-101 코어 분석 결과는 향후 후포분지 내 층서단위의 지질연대를 파악함으로써 연구 지역에 분포하는 지질구조들의 최후기 단층운동 시기를 규명하고 제4기 단층의 유무를 규명하는데 활용 될 예정이다. 19ESDP-102 코어 결과는 후포뱅크의 발달 시기와 퇴적층 구성 물질을 파악함으로써 후포단층의 발달 시기와 퇴적환경을 유추하는데 유용한 자료가 될 것이다. 19ESDP-103 코어는 동해 남부해역 해저사면 사태와 관련된 역학 물성 및 연대와 같은 지질학적 특징을 파악하는데 매우 중요하다. 따라서 19ESDP-103 코어의 역학 물성 특성 결과는 이 지역의 해저산사태의 공학적 특징 및 유동학적 거동특성을 규명하는데 핵심적인 자료로 활용 될 것으로 기대된다.

구두 21-10

Seismic stratigraphy and structural analysis in the western margin of the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea)

Yongjoon Park^{1,2}, Nyeonkeon Kang^{2,*}, Boyeon Yi², Donggeun Yoo^{1,2}

¹Department of Petroleum Resources Technology, University of Science and Technology, nkkang@kigam.re.kr

²Petroleum and Marine Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

Interpretation of multichannel seismic reflection and sparker data allowed to reveal basin-forming process and timing of offshore Pohang-Youngduk Basin (PYB) and Hupo Basin (HB) in the western margin of the Ulleung Basin, East Sea. Based on the reflection pattern and stratigraphic position, the sedimentary successions in the study area were divided into three major units separated by distinct unconformities. The lowermost Unit I comprises disrupted reflections deformed by reverse faults and related folds in the PYB. Unit II, which is confined in a fault-bound depression (i.e., HB), show divergent reflections with wedge-shaped external form. The uppermost Unit III is characterized by progradational to parallel configuration in the HB. Time-structure and isochron maps exhibit that the PYB filled with Unit I is presented as a rhomboid-shaped basin. Moreover, the PYB is bounded by distinct NNE- or NE-trending faults that show a left-stepping en-echelon pattern. The HB is bounded to the east by the Hupo Fault that displays a nearly north-south-striking curvilinear fault. On the seismic profiles, the Hupo Fault is steeply dipping, a simple geometric feature that consists of a sub-vertical fault. Three stages of basins evolution were identified and reconstructed based on the stratigraphic and structural analysis. Stage 1 is characterized by transtensional deformation along onshore Yeonil Tectonic Line and offshore en-echelon fault system, resulting in a pull-apart opening of the PYB in the late Early Miocene (about 17 Ma). During stage 2, the HB progressively formed as asymmetric wedge-shaped basin caused by tranpressional deformation (NW-SW compression) in the Late Miocene. Since neotectonics (E-W compression; approximately Early Pliocene) have prevailed in the East Sea, present HB and Hupo Bank have achieved and subaerial/subaqueous deltas have developed at both western and eastern basin margins.

구두 22-1

평균값과 중앙값 PSHA

Mean vs. median in PSHA

노명현

Myunghyun Noh

한국원자력안전기술원 구조부지평가실, mhnoh@kins.re.kr

재해도 곡선은 PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis)의 대표적 산물이다. 평균값과 중앙값 중 어느 것으로 재해도 곡선을 제시하는 것이 적절한가에 대해 한동안 혼선이 있었다. 2000년 대 이전에는 중앙값이 대세였다. 그 배경은, 중앙값이 이상치(Outlier)에 대해 매우 안정적이기 때문이다. 이상치에 대한 중앙값의 저항도(Resistance) 0.5로서 모든 통계적 추정치 중 최대값을 갖는다. 반면, 평균값의 저항도는 0.0으로 최솟값이다. 그러나 중앙값은 2가지 약점이 있는데, 하나는 중앙값을 구하는 과정이 대수적(Algebraic)이지 않으며, 다른 하나는 구성인자에 대한 결과가 선형적(Linear)이지 않다는 것이다. 이 중에서 후자에 대한 문제가 가장 심각한데, 예를 들어, 재해도 계산에 고려된 지진을 규모 6을 중심으로 분류하였을 때, 규모 6 미만의 지진에 의한 중앙값 지진재해도와 규모 6 이상의 지진에 의한 중앙값 지진재해도의 합은 전체 지진에 의한 중앙값 지진재해도와 같지 않다. 이러한 특성은 원인-결과 분석 측면에서 바람직하지 않다. 반면, 평균값은 그 계산과정이 대수적이며 선형적이다. 이러한 이유로, 저항도가 최소임에도 불구하고, 평균값으로 재해도 곡선을 제시하는 것이 2000년 대 이후의 추세이다.

구두 22-2

경주지진의 지진원 특성을 반영한 설계지진동 평가 기술기준(안) 개발 방향

Development direction of design earthquake evaluation regulation (draft) considering seismic source characteristics of 2016 Gyeongju earthquake

최호선*, 박선정, 심택모, 양준모, 우현동

Hoseon Choi*, Seon Jeong Park, Taek-Mo Shim, Junmo Yang, Hyeon-Dong Woo

한국원자력안전기술원, hoseon@kins.re.kr

국내 원전부지 설계지진동은 부지반경 320 km 지역의 지진 및 지질특성 평가와 반경 8 km 지역의 정밀 지질조사를 통해 예상되는 최대지진동에 여유를 감안하여 결정하는데, 원자력안전위원회고시 제2017-15호에 따라 미국 연방법 10 CFR Part 100 App. A을 준용하여 결정론적 방법으로 평가한다. 한편, 미국은 1997년 해당 연방법을 개정하여 확률론적 방법에 의한 설계지진동 결정을 허용하였고, 1997년 이후 신청된 상업용 원전에 대해 확률론적 방법으로 설계지진동을 결정하고 있으며, 미국 원자력규제위원회는 RG 1.208을 발행하여 성능기반 부지고유 설계지진동 결정 절차를 제시하였다. 따라서 성능기반 부지고유 설계지진동에 대한 국내 적용성을 검토하여 국제적인 변화에 적절히 대비해야 한다. 한편, 2016년 경주지진은 지표에 드러나지 않은 원인단층에서 발생한 지진으로 통상적인 지표지질조사만으로는 이 지진의 원인단층 특성 규명에 대한 어려움이 있다. 따라서 향후 지표 변형을 수반하지 않는 지진의 경우, 원인단층에 대해 그 특성을 규명하고 원전부지 설계지진동 평가를 위한 기술기준 개발이 필요한 상황이다. 원자력안전위원회는 2017년부터 2021년까지 '원전 설계기준 재평가를 위한 '16.9월 지진 지진원 특성조사' 과제를 수행하고 있으며, 한국원자력안전기술원은 세부과제인 '원전부지 설계지진 평가기술 개발'에 참여하고 있다. 이를 통해 확률론적 방법 기반의 성능기반 부지고유 설계지진동 결정 및 최근 국내 주요지진의 원인단층 특성을 고려한 설계지진동 평가 규제 기술을 검토하여 국내 원전부지에 적합한 설계지진동 평가 기술기준(안)을 제시할 예정이다.

감사의 글: 이 연구는 한국원자력안전재단이 출원한 원자력안전연구사업(과제번호 1705010-0420-SB130)의 지원을 받아 한국원자력안전기술원에서 수행하고 있다.

구두 22-3

해체원전 부지개념모델 구축 및 활용 Development and Application of Site Conceptual Model for NPP Decommissioning

황종선^{1,*}, 한재문², 박창희³Jong Sun Hwang^{1,*}, Jaemun Han², Changhui Park³¹한국수력원자력(주) 중앙연구원 방사선해체연구소, estwing1@khnp.co.kr²현대건설 기술연구소 신사업기술팀³(주)지오그린21 기업부설연구소

원전해체의 목적은 방사성오염 저감 및 복원을 통해 원자력 시설 및 부지를 규제에서 해제하여 궁극적으로 개방하는 것으로 부지복원은 해체의 가장 마지막 단계에 해당한다. 부지 복원을 위해 부지의 특성을 평가하여야 하며, 부지개념모델(Site Conceptual Model, SCM)을 통하여 수행된다. 부지개념모델을 토대로 규제해제를 위한 잔류방사선 유도농도(Derived Concentration Guideline Level, DCGL)계산이 수행되며, 인근 주민에 대한 영향평가에도 사용될 수 있다. 본 연구에서는 부지개념모델을 지질학적 3D 모델링, 지하수 유동 모델링, 그리고 부지내 오염물질 거동 모델링 통해 정립하고 부지 인근 주민에 대한 영향을 평가 하였다. 부지 및 주변지역 수리지질특성 해석을 위해 지하수위 측정, 전기전도도검층, 공내영상촬영을 실시하였고 주변지역 분포관정 100개소에 대해 현황조사를 실시하였다. 또한 기존 보고서 자료 및 시추조사 자료의 재해석을 통해 부지조성 전/후의 암상분포를 분석하였다. 부지내 단층은 총 4개조로 확인되었으며 암맥은 황반암 암맥과 몬조나이트 암맥으로 파악되었다. 이를 기반으로 3차원 모델을 증첩하여 예비 부지개념 모델 중 지질 3D 모델링을 구현하였다. 또한 부지 및 주변지역에 지하수 거동 모델링은 MODFLOW를 이용하여 수행되었으며 추가적으로 MODFLOW-NWT를 이용한 불포화대 거동 모델링과 MT3D-USGS를 이용한 오염물질 이동 모델링이 적용되었다. 3D 지질구조 모델을 기반으로 수리지질구조영역으로 재해석하여 개념모델을 수립 하였다. 부지 지하수 거동 모델링에 입력된 수리지질구조는 4개의 수리암반영역(HRD), 2개의 투수성구조영역(HCD), 2개의 수리토양영역(HSD)으로 구분되어 적용되었다. 부지 지하수 거동 모델링 보정시 결정계수는 0.99로 구축된 모델이 연구지역의 지하수 흐름을 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 발전소 영구정지 및 해체 시 잠재적 지하수 오염으로 인한 주변 주민의 방사선학적 영향을 6개 핵종에 대해 MODFLOW-GEN II 전산 코드를 사용하여 연령군별로 예비평가를 수행하였으며 주변 주민에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.

구두 22-4

해체 원전부지 EPRI 지하수 모니터링 지침 고찰

A Study on EPRI's Groundwater Monitoring Guidance for Decommissioning Planning

주병찬^{1*}, 홍슬기²Byungchan Joo^{1*}, Seulgi Hong²¹한국전력기술 토건환경기술실, bcjoo@kepco-enc.com²한국전력기술 PSA&PSR 사업그룹

원자력발전소는 지하수 보호 프로그램을 시행하여 허가된 물질이 토양과 지하수로 유출되는 것을 제어 및 최소화하기 위한 노력을 시행하고 있으며, EPRI에서는 방사성폐기물 유출 감지, 지하수 및 토양 감시, 부지 특성 조사, 정확화를 위한 기술 지침 등에 지원 및 도움을 제공하기 위해 지하수 감시 프로그램을 개발하였다. 지하수 감시 프로그램을 수행함으로써 원자력발전소는 지하수 오염 상황 감지를 해결할 수 있으며 향후 해체에 미칠 영향을 이해할 수 있다. 원자력발전소는 발전소 운영 기간 동안 지하수 감시 프로그램을 수행하여야 하며, 이를 통해 발전소 운영 중에 지하수 오염 및 유출을 감지할 수 있으며, 해체 계획 시 필수적인 정보를 제공한다. 발전소 운영 중 지하수 및 토양 감시는 필수적인데, 여기에서는 US NRC에서 해체 계획 규정(Decommissioning Planning Rule)을 도입한 이후부터 해체 부지에서의 유출에 의한 영향 평가를 의무화하였다.

EPRI 지침서는 가동 원전이 해체로 변하는 과도기 기간에 수정이 필요한 지하수 모니터링 프로그램을 원전 운영기관에서 효율적으로 수정할 수 있도록 지원하는 것을 목적으로 하며, 장기적인 지하수 보호를 위해, 첫 단계에서는 해체 계획(decommissioning planning)과 안전 저장(safe storage) 및 해체 이행(active decommissioning) 지침을 제공하고, 두 번째 단계에서는 장기적 관점에서 지하수 보호 프로그램의 최적화, 강화, 유지관리 향상에 대한 연구와 평가를 통한 원자력 발전소에서 진행 중인 지하수 보호 프로그램의 장기적 관리에 대한 정보를 제공한다.

EPRI 지침서는 발전소 운영 또는 해체 중 규제기관의 요구사항에 관한 지침을 제시하며, 운영 중 보고, 문서화, 모니터링, 정확화에 관한 지침, 영구 정지 후 지속적으로 진행되는 모니터링에 관한 및 정화 조치 종료 후의 모니터링 지침을 포함한다. 해체 중 지하수 모니터링을 계획하기 위해서 원전 운영중에 수행하는 것과 해체중에 수행하는 지하수 모니터링에 차이가 있다는 것을 이해함으로써, 부지 특성화에 필요한 정보를 효율적으로 수집하는 계획을 수립할 수 있으며, 필요에 따라 수집한 데이터를 분석하여 새로운 관측공 설치 여부를 결정할 수 있다. 본 EPRI 해체원전부지 지하수모니터링 고찰은 규제지침, 지하수 모니터링 지침, 과거 해체 경험 등을 검토해야 하는 해체원전부지 부지특성조사 계획을 수립 하는데 도움이 될 것이다.

구두 22-5

방폐물 심층처분 시 고려해야 할 지진에 의한 수리지질 특성 변화 Changes in hydrogeological characteristics due to earthquake to be considered for deepgeological disposal of radioactive waste

현승규*, 심택모, 진소범, 최강룡, 우현동, 민기훈

S.G. Hyun*, T.M. Shim, S.B. Jin, K.R. Choi, H.D. Woo, K.H. Min

한국원자력안전기술원, mgodo@kins.re.kr

방사성폐기물 처분을 위한 지질학적 처분 시스템의 성능은 공학적 방벽과 천연 방벽의 종합적인 조합에 의해 달성될 수 있다. 처분 시스템의 성능은 방사성 핵종이 최종적으로 생물권으로 배출되는 것을 제한하고, 최종 배출된 방사성 핵종의 농도가 인간과 환경에 영향을 미치지 않을 때 달성될 수 있다. 장수명 방사성핵종을 포함하는 고준위방사성폐기물의 처분 목적을 달성하기 위해서는 대규모 지각 이동 및 변형, 단층, 지진 및 열 흐름 측면에서 장기간(long term)(수 백만 년)의 지질학적 안정성, 최소 수 만년 동안 안정적으로 유지될 것으로 나타나는 저장소 심도에서의 낮은 지하수 함량 및 흐름 등의 특성과 같은 지질학적 환경이 확보되어야 한다(IAEA, 2003).

SKB (1983) 등의 연구에 따르면 지진은 처분시설 부지 내에 존재하는 기반암 내 단층의 이동을 초래할 수 있으며, 배경 단열들의 수리지질학적 특성을 변화시킬 수 있음을 제시하였다. 이와 같은 처분시설 부지 내 존재하는 단층의 이동과 배경 단열들의 수리지질학적 특성 변화는 처분심도 주변의 지하수 흐름 특성을 변화시킬 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 처분시설 부지를 포함하는 지하수 유동 영역의 수리지질학적 특성을 변화시킬 수 있는 처분시설 부지 및 인근 지역의 지질 및 지진학적 특성을 규명할 필요가 있다. 이와 같은 자료를 기초로 장기적인 처분 안전성 평가 측면에서 평가된 지질 및 지진학적 특성이 처분시

설 부지를 포함하는 지하수 흐름 체계에 미치는 영향과 관련된 수리지질학적 특성 변화를 평가할 필요가 있다. 이와 더불어 지질 및 지진학적 특성이 수리지질학적 특성에 미치는 영향에 대한 조사 및 평가의 불확실성을 저감하기 위한 노력의 일환으로 적절한 모니터링 체계를 구축할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글: 이 연구는 원자력안전재단의 지원(NSRM 1805020-0320-CG100)을 받아 수행되었습니다.

구두 22-6

연구지역 지형특성 변화와 지하수유동의 상관성 Correlation between Groundwater Flow and Change of Geographical Characteristics in the Study Area

정재열*, 김수진, 조현진

Jae-Yeol Cheong*, Soo-Gin Kim, Hyun-Jin Cho

한국원자력환경공단 안전평가팀, jiy@korad.or.kr

연구지역은 국내에서 발생하는 방사성폐기물을 안전하게 관리하기 위한 방폐장 주변으로 부지 내부를 가로지르던 도로를 이설하면서 부지 북쪽 경계 부근에 길이 2,430 m의 터널이 개통되었고, 종합개발계획에 따라 절토 및 사토 등의 지형 변화가 지속해서 발생하였으며 앞으로도 발생할 예정이다. 연구지역의 지질학적 분포는 주로 백악기 퇴적암류와 제3기 화강암류로 구성되며, 서쪽으로 산악지형이 발달하고, 동쪽으로 바다가 위치하여 광역적인 지하수의 흐름이 서에서 동쪽으로 일어난다. 현재 부지 내 북동쪽으로 1단계 동굴처분 시설이 건설되어 운영 중이며, 방사성폐기물과 지하수의 접촉을 차단하기 위한 배수의 영향으로 국부적인 지하수의 흐름이 형성되고 있다. 부지 남서쪽에 2단계 표층처분시설의 건설을 추진 중이며 부지 정지 과정에서 나온 토양을 적치하는 사토장을 여러 군데로 나누어 조성하는 과정에서 자연 상태 대비 많은 지형적 특성의 변화가 나타났다. 더불어 연구지역의 장기간 축적된 현장 조사를 바탕으로 시설이 개발되기 전 자연 상태와 현재의 지하수 유동 체계에 여러 가지 변화가 있음을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 지하수유동모델링을 통해 사토장 및 절토면, 부지정지면 등에 대한 깊이, 넓이의 지형변화와 수리토양영역(HSD)과 적치토, 매립토 등을 구성하는 매질의 수리지질학적 특성에 따른 지하수유동 특성 간의 상관성을 규명하는 데 있다.

구두 22-7

처분공 굴착에 따른 수리지질학적 진화 예비 연구

Preliminary study on the hydrogeological evolution due to the excavation of disposal hole

박경우*, 박병학, 이창용, 고낙열, 지성훈
 Kyung-Woo Park*, Byeong-Hak Park, Chang-Yong Lee, Nak-Youl Ko, Sung-Hoon Ji

한국원자력연구원 방사성폐기물처분연구부, woosbest@kaeri.re.kr

방사성폐기물 처분장 건설에 따라 응력 변화에 의한 단열 특성 변화가 예상되며, 단열 특성 변화는 수리지질학적인 특성과 지구화학적 특성에 영향을 미쳐 결과적으로 처분장의 안전성에 영향을 주게 된다. 본 논문은 처분장 건설에 따른 수리지질학적인 진화 과정을 처분공 규모에 초점을 맞춰 현장시험을 통해 이를 정량화 한 결과를 기술하였다. 심부에 처분공을 굴착함에 따라 굴착손상대가 발생하게 되며, 이 굴착손상대는 연구 지역의 현지 응력을 반영하여 형성된다. 굴착손상대가 발생하면 수리지질 특성이 따라서 변하게 되는데, 본 연구에서는 시추공을 이용하여 굴착손상대에 의한 수리지질학적 변화를 어느 정도 정량화 할 수 있는지를 확인해 보고자 하였다. 이를 위해 한국원자력연구원내 건설된 지하처분연구시설(KURT)에서 20 m 깊이의 3 인치 시추공을 2공 굴착하였으며, 시추공을 굴착한 후 공내 영상촬영과 현장수리시험(순간충격시험과 정압시험)을 수행하였다. 현장시험을 종료한 후 이 시추공을 확공하여 같은 심도에서 동일한 방법으로 현장시험을 수행하였으며, 두 결과를 비교해 보았다. 확공 전-후의 단열 특성을 시추공 영상촬영을 통해 확인한 결과, 연구 지역의 최대수평주응력 방향으로 분포하는 단열에서 그 기하학적인 특성이 변한 것을 관찰할 수 있었다. 또한 확공 전-후의 현장수리시험 결과를 비교해 볼 때, 확공 후 매질의 투수성이 전체적으로 커짐을 확인할 수 있었다. 시추공 확공에 의한 수리지질특성의 변화는 정압시험과 펄스시험의 해석에 수반되는 가정 조건을 이용하여 정량적으로 평가해 보았다.

구두 22-8

원자력발전소 부지 내 지하수 감시 현황

Status of groundwater monitoring in the nuclear power plant sites

조성일
Sung-Il Cho

한국수력원자력(주) 중앙연구원 플랜트설계연구소, chosi4476@khnp.co.kr

원자력발전소 운영 중에 발생하는 방사성 물질은 내부 차폐시스템과 지하수의 주기적인 정밀감시를 통하여 인간 및 자연환경에 피해가 없도록 철저히 관리되고 있다. 국내 원전부지 지하수 감시는 발전소별 절차서를 준용하여 운영되고 있으며 부지 내에 설치된 8~17개의 관측공을 활용하여 월 및 분기 별 지하수 성분분석을 통한 기준치 초과 여부를 판단한다. 지하수 내 pH, 염화물 이온, 황산염 이온 성분은 원전 콘크리트 구조물 열화 점검 시 활용되며, 방사능 농도 분석을 위하여 감마핵종 및 삼중수소 양을 측정하고 있다. 일부 지하수 관측공 내에서는 자동측정기를 이용하여 지하수위와 온도, 전기전도도 등을 측정하고 있으며 부지 지하수유동평가 시 활용된다. 원전 내 방사성 물질의 방출은 규제치 이하의 농도로 사전에 정해진 배출경로를 통해 방출되는 계획적 유출(planned release)과 계통/기기의 누설 및 작업자의 조작 실수 등에 의해 방사성 물질이 정해진 경로가 아닌 비정상적인 결로를 통해 외부로 방출되는 비계획적 유출(unplanned release)로 구분된다. 국내 원전의 경우 지하수와 관련한 비계획적 유출 감시기준의 부재로 원자력안전위원회 고시 "방사선 방호 등에 관한 기준"의 배출관리기준을 감시기준으로 준용하고 있어 국내 원전 특성을 고려한 합리적인 지하수 감시기준 개발이 필요한 실정이다. 한수원(주) 중앙연구원에서는 지하수의 비계획적 유출 감시기준 개발 연구를 수행 중에 있으며, 발전소 부지별로 방사성 물질의 배경준위를 설정하고 부지 개념모델(conceptual model)에 따른 부지 경계구역에서의 여유농도를 고려하여 감시기준을 선정할 예정이다. 또한, 관측공별 적정 감시주기 및 감시방법 최적화 연구도 병행하여 향후 지속적인 원전 안전운영과 방사성 폐기물 처분 및 원전해체 분야 등의 효율적인 부지감시에 기여할 것으로 기대된다.

구두 23-1

지질자원분야 기계학습 알고리즘 연구사례

Applications of Machine Learning Algorithms for Geology and Energy Resources

이경북^{1,2,*}, 김성일², 박선영², 손병국², 김광현²
 Kyungbook Lee^{1,2,*}, Sungil Kim², Sunyoung Park², Byeong -Kook Son², Kwang Hyun Kim²

¹공주대학교 지질환경과학과, kblee@kongju.ac.kr

²한국지질자원연구원 석유가스연구센터

최근 다양한 학문분야에서 4차산업혁명의 핵심기술인 인공지능기술을 접목하는 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 지질자원분야에서도 코어, 물리검층, 탄성파와 같은 대규모 탐사자료와 자원생산량, 공저압력과 같은 시계열 모니터링자료에 인공지능기술을 적용하여 수월성을 개선하는 연구가 보고되고 있다. 본 논문에서는 기계학습 알고리즘 중 대표적인 딥러닝 알고리즘인 순환신경망(recurrent neural network, RNN)을 포함한 인공지능기술을 지질자원분야에 활용한 세 연구사례를 소개하고자 한다. 첫 번째 연구는 셰일가스자원의 생산이력에 RNN을 적용하여 미래 생산량을 예측하는 연구이다(Lee *et al.*, 2019). 캐나다 알버타주 Duvernay 셰일에 대한 약 300개 생산정의 월간 가스생산량자료를 학습자료로 활용하여, 기존 감퇴곡선기법(decline curve analysis)에 비해 수월성을 개선한 예측모델을 개발하였다. 두 번째 연구는 XRD 실험에서 얻어진 intensity 프로파일에 RNN을 적용하여 광물조성정량을 분석하는 연구이다. 동해 울릉분지 8개 시추공으로부터 분석된 약 500개의 XRD 프로파일과 전문가 정량분석결과를 학습자료로 활용하여, 12개 광물의 조성을 예측할 수 있는 가능성을 확인하였다. 세 번째 연구는 가스하이드레이트의 해리과정동안 측정된 코어 CT이미지에 랜덤포레스트(random forest) 알고리즘을 적용하여 3상(물, 천연가스, 가스하이드레이트)의 포화도를 분석하는 연구이다(Kim *et al.*, 2020). 약 2,500개의 CT이미지를 학습자료로 활용하여, 포화도 예측값과 실제값과의 상관관계가 95% 이상인 분석모델을 생성하였다. 이 연구는 셰일가스와 가스하이드레이트와 같은 저탄소 천연가스자원에 대해, 가상자료(synthetic data)가 아닌 대규모 현장자료 또는 실험자료를 대상으로 인공지능기술을 적용한 연구라는 점에서 의미를 가진다. 인공지능기술을 적용하는 분야의 도메인지식에 근거한 특징추출(feature extraction)과 학습자료전처리(data preprocessing)가 인공지능기술의 성공적인 적용에 가장 중요한 요소임을 세 연구사례에서 공통적으로 확인할 수 있었다.

구두 23-2

Extraction of valuable information from the structure of the geological big-data

Jina Jeong^{1,*}, Jiho Jeong¹, Eungyu Park¹, Byung Sun Lee², Sung-Ho Song², MoonSu Kim³, Hyunkoo Kim³

¹*School of Earth System Science, Kyungpook National University, jeong.j@knu.ac.kr*

²*Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation*

³*National Institute of Environmental Research*

Recently, various data-driven technologies have been widely applied to geological prediction. When constructing a data-driven prediction model, the input variable have a significant impact on improving the prediction performance of the developed data-driven model. The process of evaluating an influential input variables is called "Feature Extraction". Although the feature extraction has a great impact on the performance of the data-driven model, its importance has often been overlooked. In particular, as deep learning technology, which tends to include the feature extraction process in the deep network structure, is actively developed, the importance of the feature extraction process is increasingly forgotten. However, the feature extraction process can provide ideas for the network structure of the model and improve the prediction performance of the model. In addition, it can reduce the computational resources by using the pre-processed variables. In this presentation, two example studies were presented using the feature extraction for the purposes of (1) correlation analysis and (2) data dimensionality reduction. As the first study, the model that predicts the safety of the natural radioactive elements concentration in groundwater was developed. In this study, the modified linear multivariate statistical analysis method was applied to quantitatively evaluate the relative correlations between input variables. The evaluated input variables were applied to the prediction model, and as a result, it showed reasonable performance on predicting the risk of natural radioactive elements concentration in groundwater. In the second study, a method for estimating general hydrological properties of the aquifer was developed based on the groundwater level fluctuation patterns. For this, a non-linear statistical analysis method was applied to extract the informative input variables of estimation model. Based on this study, we can confirm the systematic structure of high-dimensional groundwater level fluctuation patterns in visualized low-dimensional data space, and this information was able to be applied to improve the performance of the prediction model. In summary, all these studies show that the feature extraction process is useful for understanding the physical process of the target system, which contributes to objectively determining the model network and improving the performance of the developed model.

구두 23-3

주성분 분석과 LSTM 모델을 활용한 지하수위 예측 기법 개발

Prediction of groundwater level time series with LSTM combined with principal component analysis

김규범^{1,*}, 황찬익², 최명락³
Gyoo-Bum Kim^{1,*}, Chan-Ik Hwang², Myoung-Rak Choi³

¹대전대학교 건설안전방재공학과, geowater@dju.kr

²대전대학교 산학협력단

³대전대학교 일반대학원 방재학과

국내 설치 운영중인 지하수 관측정은 약 2,283개로서 이중 80% 이상이 자동 계측에 의하여 운영되고 있다. 계측장비의 고장은 수 시간 또는 수 주 이상의 결측을 발생시키기도 하는데, 각종 지하수 시계열자료의 분석을 위해서는 이들 데이터의 결측 처리가 필수적이다. 또한, 봄 철 농번기에는 인위적인 양수에 의한 과다한 수위 강하가 발생하기도 하여 지하수위 시계열 자료의 활용성을 떨어뜨리기도 한다. 본 연구에서는 인위적인 양수 영향을 배제하고 결측을 보완할 수 있는 자연적인 지하수위 변동 시계열을 도출하기 위하여 LSTM 모델을 적용하였으며, 최적의 입력 변수를 결정하고자 하였다. 자연적 및 인위적인 지하수위 변동의 대표성분을 도출하기 위하여 주성분 분석을 실시하여 입력변수 시계열을 생성하였으며, 강우, 자기 시계열 및 주성분 등을 활용한 LSTM 예측 모델을 개발한 결과 대표 주성분 4개(자연적인 시계열 특성의 주성분)를 입력 변수로 포함하는 것이 보다 일반화된 LSTM 모델로 평가되어 대부분의 지하수 관측정 지하수위 시계열 자료를 생성하는데 효과적인 것으로 분석되었다.

감사의 글: 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2019R1A2C1088085).

구두 23-4

Super learner technique to combine several learners in groundwater potential mapping

Sanghoon Lee^{1,*}, Dugin Kaown¹, Eun-Hee Koh¹, Hye-Lim Lee¹, Kyung-Seok Ko², Kang-Kun Lee¹

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, lshsh2311@snu.ac.kr*

²*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*

Machine learning techniques such as neural networks and tree based models have performed well as data-driven models in various research fields. They lead to great achievement even in solving complicated problems, but their performances are dependent on the data distribution or separation to train-validation data. With the advent of super learner technique, sensitivity caused by data selection as well as model performance was improved by combining several candidate learners. In this research, groundwater potential maps for mineral water were estimated by designing the super learner algorithm that combines several candidate learners: boosted regression tree (BRT), deep neural network (DNN), and frequency ratio (FR) models. 10-fold cross validation was conducted for all candidate learners and super learner, their performance and stability in validation and estimation processes were evaluated and compared to each other. As a result, super learner with logistic regression performed with superior performance and stability to the other candidate learners in overall evaluation criteria. This study demonstrated that super learner deserves to be a good algorithm, when more than two learners are given and their performance are sensitive to data handling.

Acknowledgement: This research was supported by the National Research Council of Science and Technology (NST) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. CAP-17-05-KIGAM). This subject is supported by Korea Ministry of Environment as "The SEM projects: RE2020002470001.

구두 23-5

National-scale estimation of potential for mineral water using tree-based ensemble learning

Hye-Lim Lee^{1,*}, Dugin Kaown¹, Eun-Hee Koh¹, Sanghoon Lee¹, Kyung-Seok Ko², Daeha Lee¹, Kang-Kun Lee¹

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, leeh16114@snu.ac.kr*

²*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*

Groundwater in some aquifers are suitable for drinking when contamination sources are not involved to degrade the water quality and aquifer matrix provides proper mineral constituents through water-rock interaction. Groundwater quality is closely related with natural environments along the groundwater evolution paths from surface to the extraction point. This study applied three methods such as Boosted Regression Trees, Random Forest, and Extremely randomized trees to estimate the spatial distribution of potential for mineral water. A total of 6,135 groundwater quality data were collected on a nationwide scale to determine response variable. Environmental factors such as altitude, slope, drainage grade, effective soil depth, soil texture, land use, and hydrogeology were served as predictors. After training process, precision-recall (PR) curve was employed to validate the three models, considering the data imbalance. Validated models produced the spatial distribution maps of potential for mineral water and they were very similar to each other, proving the reliability of the models and the results. In addition, the top 20 most important variables were determined from each model, and partial dependence plots of commonly important predictor variables were produced to depict the dependence between the target response and the selected variable. Consequently, specific land use and soil texture showed positive correlation with the response. On the other hand, specific land use showed negative correlation with the response.

Acknowledgement: This research was supported by the National Research Council of Science and Technology (NST) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. CAP-17-05-KIGAM).

구두 23-6

오픈소스 딥러닝 프레임워크를 이용한 지하수위 변화 예측 Groundwater level prediction using open source deep learning frameworks

박창희^{1,*}, 정일문²Changhui Park^{1,*}, Il-Moon Chung²¹(주)지오그린21 기업부설연구소, changhui.park@geogreen21.com²한국건설기술연구원 국토보전연구본부

1990년대 초 Guido V. Rossum에 의해 개발된 인터프리터 방식의 프로그래밍 언어 Python은 플랫폼 독립적, 객체지향적, 그리고 오픈소스라는 특징을 가지고 있으며 현재까지 수많은 사용자의 자발적 참여로 개선이 이루어져 오고 있다. 특히 “Battery Included”철학에 따라 수많은 과학, 수학 라이브러리를 비롯하여 머신러닝에 필요한 라이브러리도 폭넓게 제공되고 있다. 이를 바탕으로 딥러닝 구현을 위한 많은 프레임워크도 Python 기반으로 개발되어 왔다. 2010년 Theano를 시작으로 많은 프레임워크가 개발되었으며 2015년 Google의 TensorFlow와 이를 위한 Keras가 배포되며 딥러닝이 보다 여러 분야에 적용되기 시작하였다. Keras는 딥러닝 코드를 빠르게 개발하여 문제해결에 적용해야하는 연구자를 위해 개발되었다. 주요 특징으로 높은 수준으로 추상화(abstraction)가 이루어져 여러 딥러닝 프레임워크의 사용에 익숙지 않더라도 이를 직관적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 이와 더불어 연산자원(processing unit)의 활용 라이브러리도 탑재되어 GPU (graphic processing unit)를 이용한 고속연산을 지원한다. 본 연구에서는 이러한 Python-Keras-TensorFlow 딥러닝 프레임워크를 이용하여 지하수위 관측자료에 기반한 인공신경망을 구축하고 그 변동을 예측하였다. RNN의 기울기 소실 문제를 해결한 LSTM을 도입하여 인공신경망을 구축하였으며 지하수위 관측자료와 함께 강수량 관측자료를 보조자료로 신경망에 추가하여 지하수위의 변화를 예측하였다. 이 용된 지하수위 관측자료는 제주도 한경면의 지하수 관측소에서 얻은 자료로 4계절 1년 주기가 반영되는 초기 365일을 학습자료로 하고 나머지를 검증에 이용하였다. 학습 및 검증결과 결정계수 R^2 가 평균 0.98로 매우 높게 나타났으며 일부 관측지점에서는 0.9 이하로 낮게 나타났는데 이는 강수 이외의 다른 요소의 영향으로 인한 것으로 추정되며 이를 모델 구성에 추가하면 예측능을 향상 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

구두 23-7

Towards establishing a dynamic baseline of real-time hydro-environmental big data: 2. Systematic and integrated strategies with the IE&P framework

Yun-Yeong Oh^{1*}, Seong-Taek Yun¹, Bobby Pejcic², Matthew Myers²

¹Korea-CO₂ Storage Environmental Management (K-COSEM) Research Center & Department Earth and Environmental Sciences, Korea University, magojina@naver.com

²Energy, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)

Integrated watershed management (IWM) aims to ensure efficiency and sustainability by considering all factors of water quantity/quality and ecology. It examines the quantity and quality of water together with the functional and spatial characteristics of a water shed and is operationally based on planning/data technologies that interfaces management facilities and entities under a legal governance system. In this aspect, an integrated analysis/management strategy is required to systematize the quantitative research on the single process/system to the scale of the entire process chain for multiple complex processes/systems. For this, we've previously proposed the IE&P-based best management practice (IE&P-BMP) on riverine nutrients by considering the influence of groundwater baseflow (Oh *et al.*, 2017, 2019, 2020). In this study, we presented examples of dynamic baseline implementation with IE&P-BMP for riverine nutrients. The framework is based on the integrated data analysis methods (e.g., MRSSM, MR-LSTM, MR-MkSW) that enable us to quantify and predict main hydro-environmental drivers (MHDs) and observations in real-time. In particular, the framework can provide a basis to quantitatively evaluate the contribution of MHDs to the target observations with diagnosing their periodic interdependencies. This study presents the application case for implementing the IE&P-based systematic and integrated strategies to evaluate the dynamics of riverine nutrients (TOC, TN, TP, and Chlorophyll-a) by considering the role of GW baseflow over multiple time scales at the Changnyeong-Hamman River Barrage (CHRB) site in the downstream of the Nakdong River, South Korea.

Acknowledgement: This study was supported by the Korea Ministry of Environment (MOE) as "Korea-CO₂ Storage Environmental Management (K-COSEM) Research Program" and also by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2018R1C1B6003550).

References:

- Oh, Y.-Y., Yun, S.-T. and Hamm, S.-Y., 2017, The combined use of dynamic factor analysis and wavelet analysis to evaluate latent factors controlling complex groundwater level fluctuations in a riverside alluvial aquifer. *Journal of Hydrology*, 555, 938-955.
- Oh, Y.-Y., Yun, S.-T., Yu, S., Kim, H.-J. and Ju, S.-C., 2019, A novel wavelet-based approach to characterize dynamic environmental factors controlling short-term soil surface CO₂ flux: Application to a controlled CO₂ release test site (EIT) in South Korea. *Geoderma*, 337, 76-90.
- Oh, Y.-Y. and Yun, S.-T., 2020, Optimization Apparatus for training conditions of environmental prediction model and operating thereof. KOR Patent No. 10-2149495.

구두 24-1

Cretaceous syn-rift to post-rift evolution of the Mentelle Basin on the southwest Australian rifted margin (IODP Sites U1513-U1516)

Eun Young Lee^{1,*}, Erik Wolfgring², Maria Luisa G. Tejada³, Seung Soo Chun^{1,*}

¹Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University, eun.y.lee@chonnam.ac.kr

²Department of Geodynamics and Sedimentology, University of Vienna

³Institute for Marine Geodynamics (IMG), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The Mentelle Basin is a large and deep-water basin located beneath the Naturaliste Trough on the southwest Australian rifted margin. The rifted margin is underlain by thinned continental crust, which formed during the Late Jurassic to Early Cretaceous rifting and breakup of Greater India and Australia-Antarctica. The Mentelle Basin lies to the east of the Perth Basin, to the west of the Naturaliste Plateau and to the north of the Perth Abyssal Plain, which share tectonic and depositional histories. However, the formation and evolution of the Mentelle Basin have not been well established due to limited drilling and sparseness of geophysical data. In 2017, International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 369 drilled four sites on the Mentelle Basin. In particular, two holes at Site U1513 on the western margin of the basin penetrated through the Early Cretaceous volcanoclastic-rich sedimentary sequence spanning the syn- to post-rift phase [1] and into the syn-rift volcanic sequence [2]. At Site U1515 on the eastern part, drilling penetrated below the seismically imaged breakup unconformity into the Jurassic syn-rift strata [3]. Drilling at Sites U1514 and U1516 in the central part reached the Albian post-rift sequence. Using a combination of shipboard and post-expedition data, we interpret the lithological, paleontological and geochemical characteristics of the syn-rift to post-rift sequences, and then refine the age-depth model and assess the depositional environment since the final breakup with Greater India. Based on these results, we discuss the depositional and subsidence history of the Mentelle Basin and its implications for the evolution of the southwest Australian rifted margin.

- [1] Lee, E.Y., Wolfgring, E., Tejada, M.L.G., Harry, D.L., Wainman, C.C., Chun, S.S. and *et al.*, 2020, Early Cretaceous subsidence of the Naturaliste Plateau defined by a new record of volcanoclastic-rich sequence at IODP Site U1513. *Gondwana Research*, 82, 1-11.
- [2] Tejada, M.L.G., Lee, E.Y., Chun, S.S., Harry, D.L., Riquier, L. and Wainman, C.C., 2020, Data report: petrology and volcanic stratigraphy at Site U1513, IODP Expedition 369. *Proceedings of the International Ocean Discovery Program*, 369. IODP, College Station, TX.
- [3] Wainman, C.C., Borissova, I., Harry, D.L., Hobbs, R.W., Mantle, D.J., Maritati, A., Lee, E.Y. and The Expedition 369 Scientists, 2020, Evidence for non-marine Jurassic to earliest Cretaceous sediments in the pre-breakup section of the Mentelle Basin, southwestern Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 67, 89-105.

구두 24-2

그린란드 화석을 통한 초기 동물진화와 캄브리아기 대폭발 연구

Study on early animal evolution and Cambrian explosion in the Greenland

이미리내*, 박태윤
Mirinae Lee*, Tae-Yoon Park

극지연구소 극지지구시스템연구부, mirinae.lee@kopri.re.kr

약 5억 년 전에 시작된 '캄브리아기 생명 대폭발'은 초기 생물들의 다양성을 큰 폭으로 증가시킨 지질학적 사건으로, 이후 화석 기록에서의 생물들은 캄브리아기 이전과는 달리 형태학 및 생태학적으로 복잡한 형태를 보이게 된다. 초기 생명의 진화 연구는 고생물학뿐 아니라 대중의 관심과 흥미를 유발할 수 있는 주제이며 90년대 이후 버제스 셰일을 비롯한 세계 각국의 캄브리아기 지층에서 활발하게 수행되고 있다. 캄브리아기 보존 화석산지 중 하나인 Sirius Passet은 북위 82도로 지구상에서 최북단 육상지역인 북그린란드에 위치하며 북극점에서 불과 800 km밖에 떨어져 있지 않은 미답 지역이다. Sirius Passet은 일반적인 화석의 보존 방식과는 달리, 생물의 경질부분 아니라 연질부도 보존되어 있어 초기 생물의 형태를 추정하기에 용이하다. 또한 북그린란드 및 동그린란드 일대에 노출된 캄브리아기 탄산염 퇴적층에서는 캄브리아기 생물의 외골격 파편들이 인산염으로 치환된 '작은 껍질 동물군'들이 다수 산출되어, 당시 생물들의 외형적 특징을 짐작케 하는 수단으로 활용되고 있다. 그린란드에서 획득한 화석 데이터 연구를 통해 캄브리아기 생물들의 초기 진화가 어떠한 방식으로 진행되었는지를 재구성할 수 있는 토대가 마련될 수 있을 것으로 기대한다.

구두 24-3

천부지열시스템 작동에 따른 지하수의 수리화학적 특성변화

Hydrochemical variation of groundwater due to groundwater heat pump operation

최한나*, 심병완

Hanna Choi*, Byoung Ohan Shim

한국지질자원연구원 지질환경연구본부 지하수연구센터, pythagoras84@kigam.re.kr

지하수의 축열 특성을 고려한 대수층 냉난방 시스템은 신재생에너지의 하나로 주목받고 있다. 한국지질자원연구원에는 천부지열히트펌프 시스템을 설치하여 지하수(지하)와 대기의 온도 차이를 이용하여 건물의 냉난방에 활용하는 연구를 지속적으로 수행해 왔다. 연구원 부지에 설치된 밀폐형 관정은 지난 십 여년간 모니터링이 수행되어 왔으며, 연간 0.1℃씩 상승하는 것으로 보고되었다. 선행 시스템의 가동에 근거하여 지난 2018년, 150 m의 심도에 복합형 지열히트펌프(hybrid groundwater heat pump)를 설치해 개방형과 밀폐형 히트펌프를 동시에 운영하여 에너지 효율을 높이고 환경 친화적 냉난방을 수행하고자 시도하였다. 그러나 지열관정의 가동은 평형을 이루며 거동하고 있는 지하수계에 온도변화 및 펌핑 등 물리적 자극을 주는 행위이므로 장기적 히트펌프의 운영을 위해서는 수리화학 관점의 연구가 필요하다. 이 발표에서는 복합형 히트펌프의 가동전과 후로 지하수 수리화학 특성을 이해하고, 천부지열발전이 지속적으로 이루어질 경우 수온상승과 수위강하로 인한 지하수 수리화학이 어떻게 변화할지 예측하였다.

구두 24-4

광물의 기계화학적 변화가 단층의 거동에 미치는 영향

Mechanochemical effect of minerals on the behavior of fault

김현나^{1,*}, 김진우¹, 김민식¹, 소병달², 김영석¹
 Hyun Na Kim^{1,*}, Jin Woo Kim¹, Min Sik Kim¹, Byungdal So², Young Seok Keehm¹

¹공주대학교 지질환경과학과, hnkim10@gmail.com

²강원대학교 지구물리학과

지진성 단층의 순간적인 미끄러짐은 단층면의 기계적 마찰에 의한 분쇄를 통해 단층 비지(fault gouge)를 형성하며, 지진 사이클을 따라 반복되는 단층의 미끄러짐에 다시 영향을 줄 수 있다. 이와 같은 단층비지를 구성하는 광물은 나노스케일의 초미세 입자로서 미끄러짐 과정에서 광물 고유의 결정 구조가 붕괴되며 비정질화가 관찰되며, 이에 따라 광물 특성이 달라지는 기계화학적 변화가 일어날 수 있다. 단층비지 광물의 기계화학적 특성의 변화는 분말에 의한 윤활작용, 휘발성 물질의 기화에 의한 열적 공극압 상승, 흡열반응에 의한 마찰열 지연효과 등 여러 작용이 복합적으로 작용하며 단층의 미끄러짐 거동에 영향을 줄 수 있다. 하지만 이와 같이 광물의 기계화학적 변화가 단층의 거동에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구는 아직 부족한 실정이다. 본 연구에서는 고에너지 불밀을 이용하여 단일 광물로 구성된 인공적인 단층비지를 성형하였으며, 다양한 입도와 결정도의 변화가 단층의 거동에 미치는 영향에 대한 이해를 고양하고자 하였다. 활석과 백운석과 같은 규산염 및 탄산염 광물 모두에서 분쇄에 의한 광물의 특성 변화가 뚜렷하게 되었다. 활석의 경우, 결정도의 감소에 따른 소수성 및 함수량의 변화가 관찰되었다. 백운석의 경우 분쇄과정에서 기계적 탈이산화탄소 반응이 나타났으며, 기존에 알려진 열적 탈이산화탄소 반응 온도 역시 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 모두 광물의 결정도 및 입도의 감소가 광물의 휘발성 물질의 함유량에 변화를 가져올 수 있으며, 그 과정에서 공극압 상승 및 흡열반응에 의한 마찰열 지연효과를 가져올 수 있음을 지시한다. 본 연구의 결과, 광물의 기계화학적 변화가 단층면 전단 강도의 감소를 가져올 것으로 예상되며, 단층 미끄러짐의 이해를 고양하기 위하여 다양한 광물의 기계화학적 변화 연구가 필요하다.

구두 24-5

Gas hydrates: Issues for long-term productions

Joo Yong Lee

Petroleum and Marine Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, jyl@kigam.re.kr

Korea has significant hydrate resources, which, if developed, will improve its energy security and meet its growing domestic gas demand. However, there are still several challenges to commercializing hydrates, such as technical issues, high costs, and environmental concerns. Further research and development could potentially address and overcome challenges to commercialize hydrates. The technical challenges include geotechnical hazards, sand production, flow assurance, and artificial stimulation. Potential environmental risks arising from gas hydrate production include uncontrolled release of methane into the ocean and atmosphere, ecosystem disruption, and seafloor instability. Similar to other unconventional carbon based energy resources, technical challenges for more efficient and safe production rely on advancing cuttingedge technology in geomechanics, such as enhancing near well-bore stability and controlling fines migration in reservoirs. Gas hydrate production induces pore pressure changes, changes in hydrate saturations and fines migration. The systematic and extensive experimental studies revealed that these phenomena would become huddles to overcome for long-term gas hydrate production.

구두 24-6

Hydraulic fracture propagation in soft and viscoelastic layered formations: Photoelastic observation

Soo-Min Ham*, Tae-Hyuk Kwon

*Department of Civil and Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
soomin.ham@kaist.ac.kr*

Hydraulic fracturing is a way widely used to stimulate low-permeability formations, in particular shale formations, and to enhance oil and gas productivity; however, prediction of the fracture propagation and geometry still remains as an important but daunting task. Among many factors affecting fracture propagation, such as in-situ stress, formation rock properties and injection fluid property, this study explore the hydraulic fracture propagation in discontinuous media, particularly in layered formations. A series of two-dimensional hydraulic fracture experiments was carried out with a gelatin plate. Herein, the stiffness of the gelatin was controlled at three levels by using different water-to-gelatin ratio: soft, medium, and strong. Thereby, gelatin layers with different stiffness were prepared in the gelatin plate samples. The fracturing fluid was sugar water and its viscosity was controlled to be 10 cp. During hydraulic fracturing with constant flow rate, its propagation was captured using a digital camera and the fluid pressure was monitored. From experiments, two contrasting containment behaviors, which were crossing or dilation/arrested, were observed. The fracture propagation was observed to be confined by discontinuity where the fracture propagated from a soft formation to a stiff formation. By contrast, the fracture was crossed the discontinuity when it encountered the lower stiffness bounding layer. In addition, a photoelastic analysis was conducted to identify the stress distribution at the fracture tip near the discontinuity.

구두 25-1

유역통합 지하수 기초조사 개선방향

Suggestion on Improvement Direction of Integrated Basin Groundwater Fundamental Investigation

박재현*, 이재경

Jae Hyun Park*, Jae Kyoung Lee

한국수자원공사, geopark@kwater.or.kr

지하수법에 규정된 지하수 기초조사의 현재까지의 추진현황 및 주요 조사내용, 향후 추진방향 및 개선방향에 대하여 고찰하였다. 특히,물관리일원화로 2019년부터 지하수 기초조사 또한 수량과 수질 부분으로 나누어져 수행되던 조사사업이 통합되어 수행되고 있으며, 장래에는 유역중심의 물관리 차원에서 지하수를 통합하여 조사 및 관리하여야 할 것이다. 이를 위하여 기존에 수행되어 온 지하수 기초조사의 문제점과 보완점, 그리고 개선방향에 대하여 개선안을 제안하였으며, 본 조사가 완료된 이후, 후속적으로 진행되어야 할 보완조사의 수행방안에 대하여도 최적의 비용 및 합리적인 조사를 위한 추진방향을 제시하였다. 한편, 학계 및 산계, 관계 등에서 지하수 기초조사 본조사의 조속한 완료 및 후속적인 보완조사에 대한 시급성을 강조하고 있지만, 본 조사와 연관된 산학연의 지속적인 예산확보 노력과 조사연구 성과의 뚜렷한 활용실적이 없이는 조속한 조사가 수행되기 어려울 것이다.

구두 25-2

금강권역의 지질과 지하수 산출성

Geology and Groundwater Yield Characteristics in Geum River Basin, South Korea

문상호*, 김형찬, 김용철, 고동찬, 하규철, 박창희

Sang-Ho Moon*, Hyoung Chan Kim, Yongcheol Kim, Dong-Chan Koh, Kyu-cheol Ha, Changhui Park

한국지질자원연구원 지질환경연구본부, msh@kigam.re.kr

기존의 1/5만, 1/25만, 1/100만 지질도와 최근의 1/10만 당진/대산 및 홍성지역 지구조층서도를 바탕으로 금강권역 내 지질 분포 특성을 파악하고 수문지질단위를 분류하였다. 지하수관리기본계획의 수문지질단위 분류 방식에 의해 금강권역은 충적 지하수 대수층의 미고결 쇄설성 퇴적층과 암반 지하수 대수층의 탄산염암, 쇄설성 퇴적암, 관입 화성암, 비다공질 화산암, 변성 퇴적암류, 결정질 변성암류의 7개로 분류된다. 그러나, 관입 화성암 중 주라기 화성암과 백악기 화성암은 지형적으로 큰 차이를 보이며, 관련된 지하수 수질과 산출 특성이 다른 경우가 많아 각각 관입 화성암 1과 2로 세분류될 수 있다. 또한, 변성 퇴적암류도 퇴적구조가 보존·관찰되는 것들과 퇴적구조가 보존되어 있지 않은 것들 두 가지 경우가 있어, 이들도 각각 변성 퇴적암류 1과 2로 세분류될 수 있다. 이들 세분류를 토대로 비양수량, 투수량계수, 수리전도도, 저류계수 등 금강권역의 지하수 산출성이 검토되었다. 지하수 산출성 분석에 이용된 자료는 기발간된 지하수기초조사 보고서에서 주로 추출되었으며, 보고서 미발간 지역에 대하여는 지자체 및 한국농어촌공사가 보유한 지하수영향조사 보고서와 충청남도 공공 및 대용량 지하수 이용현황조사용역 보고서를 활용하였다. 수집된 자료에 대하여는 좌표와 지하수 산출성에 대하여 6차례의 검증 과정을 거쳐서 총 4,329개(암반 3,337개, 충적 992개)의 관정 자료를 선정하였으며, 이들 자료를 이용하여 수리상수별 공간통계분석(밀도분포, hot spot analysis)을 실시하여 대용량 지하수 및 유망취수원 확보 가능 지역을 추정하였다. 각 수문지질단위별로는 지하수 산출성 자료들의 등고선도를 작성하여 수문지질단위별로 지하수 고산출성 지역을 분석하였다.

구두 25-3

지하수 산출성도 작성 및 검증을 위한 다기준의사결정법 적용 Application of Multi-Criteria Decision-Making method to Groundwater Potential Map

이충모*, 김용철, 고동찬

Chung-Mo Lee*, Yongcheol Kim, Dong-Chan Koh

한국지질자원연구원 지질환경연구본부 지하수연구센터, lcm@kigam.re.kr

물관리 통합에 따라 지하수의 유역관리 및 기후변화에 대응하여 지하수 정보(수량, 수질 등)에 대한 지도 제작(권역/유역별)이 지속가능하고 건전한 지하수 환경 확보를 위해 요구되고 있다. 기존의 행정구역 단위 지하수기초조사에서 기본적인 수준의 지하수 지도가 작성되어 있지만 체계적인 지하수 유역관리를 위해서 추가로 권역별 지하수정보지도가 필요한 실정이다. 이를 위해 그동안 축적된 다양한 지하수 정보를 체계적으로 DB화 시키고 부족한 부분을 보완하여 권역별 지하수 정보지도를 개발을 통해 기후변화에 대응하는 지하수 통합관리/지침 마련 및 지하수 유망지 정보 제공이 선행되어야 한다. 지하수 산출성도(Groundwater Potential Map: GPM)에 대한 일반적이고 보편적인 정의나 그 결과를 확인하기 위한 표준화된 방법은 없지만, 대부분 GPM은 조사 목적을 달성할 수 있을 만큼의 지하수를 산출하는 공간적 추정치(확률)로 정의한다. GPM을 개발하는 과정은 첫째, 가용 자료의 DB 구축 및 검증, 둘째, 지하수 산출성도 작성을 위한 자료 취합, 셋째, 지하수 산출성 분석 도구 개발, 넷째, 지하수 산출성도 검증의 단계로 진행된다. 기존 연구들에서 지하수 산출성 분석에 관련된 인자들은 주로 암상, 지형, 토양, 토지이용/피복, 선형구조, 경사 및 기복, 대수층 함양, 강수량, 수리시험 자료, 지하수위, 하천 밀도 등과 같은 인자들이 많이 사용되었다. 이들 가용 자료들은 다기준의사결정법(Multi-Criteria Decision-Making: MCDM)을 이용하여 주제 지도 내의 각 픽셀에 점수(weight)를 부여하여 최종 개발된다. 본 연구에서는 MCDM 중 계층화 분석법(Analytic Hierarchy Process: AHP)을 적용하여 대분류 4개 항목(지질, 수리지질, 지형, 함양), 중분류 12개 항목에 대해 지하수 산출성도의 필수 인자를 결정하고 각 인자들의 초기 가중치를 도출하였다. 향후 개발된 GPM과 기존 DB로 구축되어 있는 수리지질인자(ex. 비양수량)과의 비교를 통해 높게 계산된 GPM내 위치가 실제로 비양수량이 높은지에 대한 검증도 수행할 예정이다.

구두 25-4

다기준의사결정기법과 GIS를 이용한 지하수 산출성 분석도구 개발

Developing a spatial analysis tool of groundwater yield based on MCDM and GIS

박창희*, 이상철

Changhui Park*, Sangcheol Lee

(주)지오그린21, changhui.park@geogreen21.com

다기준의사결정기법(Multi Criteria Decision Making)의 하나인 TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) 방법과 GIS (Geographic Information System)을 기반으로 지하수 산출성 분석을 위한 도구를 개발하였다. TOPSIS 방법은 다양한 기준의 평가요소와 대안(Alternatives)이 여러 가지 일 때 각 기준의 가중치와 점수를 정규화한 값 및 각 대안과 이상적인 해(ideal solution)와의 기하학적 거리를 계산하여 모든 대안에 점수를 부여하여 최적의 대안을 찾는 방법이다. 지하수의 산출성은 대수층의 수리특성을 비롯하여 수문지질단위, 선구조 분포, 함양량 등 다양한 요소에 영향을 받게 되므로 수계 또는 지역별 평가기준은 매우 다양하게 나타나 평가에 어려움이 있으며 이를 해결하기 위해 TOPSIS방법을 적용하는 것은 하나의 해결방안이 될 수 있다. 최근까지 수행된 지하수 조사 자료들로부터 지하수 산출성과 관련한 자료들을 선별하여 database로 구축하는 연구가 진행되고 있으며 이들 자료들은 위치에 기반한 자료들로 GIS도구에 의한 구조화가 필수적으로 요구된다. ESRI (Environmental Systems Research Institute)사의 geodatabase 및 관리도구를 이용하여 지하수 산출성 자료를 TOPSIS 적용이 가능한 형태로 가공하였고 Spatial Analysis 도구를 기반으로 TOPSIS 계산 도구를 개발하였다. ArcGIS전산코드는 Python에 기반한 사용자 도구 개발이 가능하여 이를 이용해 ArcGIS 내부 또는 단독으로 실행가능한 코드를 작성하였다. 수계 polygon에 속성표(attribute table)로 정리된 지하수 산출성 평가 요소들을 기반으로 TOPSIS분석 후 수계별 점수 및 순위가 부여되어 결과로 나타나게 된다. 본 연구에서는 개발된 지하수 산출성 분석도구를 금강유역의 지하수 자료에 적용하여 지하수 산출성을 분석하였으며 도구 개발의 적정성 및 적용성을 고찰하였다.

구두 25-5

유역단위 지하수 수질상태 평가 및 지도 작성방안 연구

A study on assessment and mapping of groundwater quality in watershed scale

김락현^{1,*}, 여영도¹, 장종근¹, 김광식²
 Rak-Hyeon Kim^{1,*}, Young-Do Yeo¹, Jong-Geun Jang¹, Kwang-Shik Kim²

¹한국환경공단 토양지하수처, acezeta@keco.or.kr
²(주)유신

본 연구는 지하수 관련 기초자료를 활용하여 수질상태 및 추세를 평가하고, 유역단위 지하수 환경지도를 작성하는 방안에 대하여 고찰해 보았다. 본 연구에 사용된 기초자료로는 지하수 이용시설에 대한 정기수질검사 등 지하수 수질자료와 잠재오염원 및 비점오염원 관련 자료를 활용하였다. 또한 지하수 배경농도를 고려한 세부유역단위 지하수 수질상태와 추세분석을 실시하여 이에 따른 환경지도 작성 방안에 대해서 추가적으로 고찰하였다. 실제로 본 연구에서 적용한 지하수 환경지도 작성방안은 지하수의 수질상태 및 추세 평가 결과와 수문지질, 토지피복, 오염원 등 수질에 관련된 정보를 중첩하여 도시하는 방향으로 검토하였다. 또한 추가적으로 이러한 지하수 환경지도 발전방향과 활용방안에 대하여 논의를 하고자 하였다.

구두 25-6

지하수 수질지수(GWQI)를 이용한 금강유역 적용성 평가 Evaluation of Applicability of Geum River Basin Using Groundwater Quality Index

고경석*, 고동찬, 이재민

Kyung-Seok Ko*, Dong-Chan Koh, Jae Min Lee

한국지질자원연구원 지하수연구센터, kyungsok@kigam.re.kr

수질지수(WQI)와 건강위험 평가는 전반적인 지하수 수질을 평가할 수 있는 매우 중요하고 효과적인 도구이기 때문에 유역 지하수의 통합 관리기법으로 이용할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 금강유역의 2개 중권역(논산천 181개, 영동천 242개)을 대상으로 10개 성분을 이용한 수질지수(GWQI)와 위험성지수(HQ) 기법에 대한 적용성을 평가하였다. 지하수 수질지수는 각 인자별 가중치의 차이가 있는 두 연구자(Singaraja, 2017; Adimalla and Qian, 2019)의 방법을 적용하였으며, 건강위해도는 질산염 노출의 EPA 모델을 적용하여 잠재적 비발암성 위험지수(HQ)를 계산하였다. 두 방법에 의해 얻어진 연구지역의 GWQI는 매우 우수(excellent, <50) 상태가 각각 88.7, 96.7%이었으며 불량(poor, 100~200) 1개소를 제외하면 모두 우수 이상의 조건을 나타내었다. NO₃-N 공간 분포를 GWQI와 비교한 결과, 대체로 양의 상관성을 보여주었으나 NO₃-N가 먹는물 기준인 10 mg/L 이하에도 불구하고 GWQI는 25 이상을 나타내는 것도 나타났다. 또한 연구지역 암반지하수의 GWQI는 층적층보다는 상대적으로 높고 변동이 큰 것을 확인할 수 있었으나, 2개 중권역의 차이를 보여주지는 않았다. 질산염 오염에 대한 비발암성 건강 위험성지수(HQ)는 어른과 아이에 대해 계산한 결과 각각 82.5, 84.2%로 대부분 수용 가능(<1)한 범위의 값을 가지는 것을 확인할 수 있었으며 고위험(>3) 판정은 1% 미만인 것으로 나타났다. 이를 통해 대상지역의 지하수는 질산염 오염에 대한 위험성은 전반적으로 낮음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 지하수 수질지수와 위험성지수 기법에 적용 연구 결과를 통해 향후 유역지하수 통합관리를 위해 단일 대표 오염성분(NO₃-N)에 의한 지하수 수질평가보다는 적정 수질 인자와 가중치의 GWQI를 이용하여 유역 지하수 수질관리의 방안으로 활용할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

구두 25-7

금강권역 암반지하수의 자연기원 및 오염 지시자 분포 특성

Distribution Characteristics of Natural Origins and Contamination Indicators from bedrock aquifer in the Geum River Watershed area

최한나*, 권홍일, 고동찬

Hanna Choi*, Hong-Il Kwon, Dong-Chan Koh

한국지질자원연구원 지질환경연구본부 지하수연구센터, pythagoras84@kigam.re.kr

기존 시군 규모 대상으로 이뤄지는 표준유역 지하수 연구는 대유역 이상 광역규모 단위의 지하수 수질특성을 대표하기에 체계적인 조사가 미흡하였다. 이 연구에서는 권역규모 지하수의 공간적 분포 자료를 구축하고, 특성화 인자를 파악하고자 하였다. 이를 위해 금강권역 내 분포하는 지하수공 가운데 광역적 대유역을 균등하게 대표할 수 있다고 여겨지는 지하수공 128개소를 선정하였다. 후보지 예비조사를 바탕으로 선정된 관정의 지역별 분포는 충청남도 74%, 세종시와 충청북도 26%로 구성되었으며 암반대수층을 대상으로 연구를 수행하였다. 연구지역 가운데 태안군은 모든 관정에서 $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 이상의 높은 전기전도도 값을 보여, 해수침투의 영향이 반영된 것으로 여겨졌으며, 이는 내륙의 지하수가 대부분 $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ 이내의 값을 가지는 것과 확연히 구분되었다. 연구지역 대부분의 지하수는 농업용수로 사용되고 있었으나, 가정용 및 생활용으로 용도를 혼용하여 사용하는 경우도 많은 것으로 조사되었다. 그러나 지하수의 질산성질소는 먹는물 기준을 넘어서는 샘플이 전체의 13%에 달하는 것으로 조사되어 지하수의 음용 시 주의가 필요할 것으로 판단하였다. 한편, NO_3 와 Cl 혹은 NO_3 와 SO_4 의 오염도는 비례한 경향을 보이지 않아 질산성질소 기원이 생활하수보다는 농업 활동에 의한 것으로 유추되며, 이는 조사관정 주변이 대부분 논 및 밭으로 사용되는 것과 일치하였다. 연구지역에서 불소 이온 농도가 $10 \text{ mg}/\text{L}$ 이상으로 높게 나타나는 관정이 일부 존재하였는데, 주변의 관정과 연속성이 보이지 않아 지질특성과 연관지어 해석하기 위해서는 미량원소의 분석 및 좀 더 다양한 관정의 수질자료와 비교가 필요할 것으로 여겨진다.

구두 25-8

지하수 수질 특성인자 DB 구축에서 주성분 분석을 이용한 자료 검토 효과 분석

Effect of data inspection using principal component analysis in construction of the database of hydrogeochemical parameters in groundwater

권홍일^{1,2,*}, 고동찬^{1,2}, 문상호², 이재경³, 김용철²

Hong-Il Kwon^{1,2,*}, Dong-Chan Koh^{1,2}, Sang-Ho Moon², Jae-Kyoung Lee³, Yongcheol Kim²

¹과학기술연합대학원대학교 광물지하수자원학, hong1k@kigam.re.kr

²한국지질자원연구원 지하수연구센터

³K-water 지하수물순환처

금강유역 지하수 수질지도 작성을 위한 기초자료 확보를 위해 지역단위 지하수 기초조사를 이용하여 현장 수질과 주요 용존성분 자료의 지하수 수질 데이터베이스(DB)를 구축하였다. 금강유역에 포함되는 미조사 지역인 무주, 진안, 장수를 제외한 총 23개 시·군의 관정제원, 현장수질, 이화학분석 자료를 수집하였다. 이번 연구는 수집된 지하수 수질 DB의 표준화 및 신뢰성 제고 방법을 제시하고 지하수 수질 DB를 구축할 때 자료 검토과정의 중요성을 확인하기 위해 수행되었다.

수집된 지하수 수질 항목은 총 14가지 항목으로 위치정보(좌표, 주소), 층적/암반 대수층 구분, 현장수질(온도, pH, 전기전도도(EC)), 양이온(Ca, Mg, Na, K), 그리고 음이온(HCO_3 , Cl, SO_4 , Cl)으로 구성되어 있다. 이 중 양이온과 음이온을 포함하는 주요이온 분석결과와 신뢰성 검토는 두 단계로 수행되었다. 첫 번째 단계는 EC와 양이온 혹은 음이온 당량합을 비교했다. EC와 양이온 당량합 및 음이온 당량합의 비율이 0.8 - 1.2의 범위내인지 확인했다. 두 번째는 첫 번째 기준을 통과한 시료들을 전하균형오차(charge balance error; CBE)를 이용해 검증했다. CBE는 기본적으로 10% 이내로 하며, 만약 음이온 당량합이 3 meq/L이하인 경우는 양이온과 음이온의 차가 0.6 meq/L이하로 CBE기준으로 약 20% 이내를 만족하는 시료들만 선정하였다. 이러한 두 방법을 이용하여 화학분석과 자료 입력시 발생할 수 있는 오류를 검증하였다.

지하수 수질 DB 구축시 자료 검토의 필요성을 평가하기 위해 검토되지 않은 자료와 검토된 자료를 주성분 분석 기법을 이용하여 비교하였다. 주성분 분석은 차원 축소의 목적으로 데이터를 직관적으로 해석할 수 있는 편의성을 제공한다. 주성분 분석은 서로 상관되어 있는 p개의 변수 집합을 선형변환하여 주성분이라고 부르는 서로 상관되어있지 않은 m개의 새로운 인공변수를 도출하는 기법이다. 두 지하수 수질 DB는 서로 다른 주성분들이 도출 되었다. 이는 검증 전 이상치가 의해 전체 DB 분석에 영향을 주어 신뢰성 있는 수질지도 작성이 어려울 것으로 예상된다. 따라서 지하수 수질 DB 구축에서 수집된 자료를 검토하는 절차가 필수적임을 잘 보여준다.

구두 26-1

지하수 내 미세플라스틱의 발현, 운명 및 거동 연구

Study on occurrence, fate and transport of microplastics in groundwater

이진용^{1,*}, 정은주¹, 권기덕¹, 김희정¹, 안진성²
 Jin-Yong Lee^{1,*}, Eunju Jeong¹, Kideok D. Kwon¹, Heejung Kim¹, Jinsung An²

¹강원대학교 지질학과, hydrolee@kangwon.ac.kr

²세명대학교 바이오환경공학과

미세플라스틱(microplastics)은 일반적으로 크기가 1 μm 에서 5 mm인 플라스틱을 말한다. 이러한 미세플라스틱에는 애초부터 특정 목적을 가지고 작게 제작된 것(1차 미세플라스틱, 예를 들어 치약과 화장품 등의 마모제 등)부터 큰 크기의 플라스틱이 여러 풍화작용을 통해 작게 쪼개진 것(2차 미세플라스틱)까지 매우 다양하다. 한편 미세플라스틱에 의한 해양환경 오염과 해양생태계에 관한 연구는 상당히 있어왔다. 그러나 육상환경에서의 미세플라스틱의 발현, 운명 및 거동에 관한 연구는 크게 부족하였는데 특히 지하수에서 이들의 거동 특성에 관한 연구는 거의 없으며 세계적으로도 거의 알려진 것이 없다. 최근 2019년에 일리노이주 카르스트 대수층의 지하수에서 미세플라스틱이 발견되어 학계의 큰 관심을 끌기도 하였다. 한편 우리나라에서도 미세플라스틱에 대한 국민적 관심과 우려가 고조됨에 따라 환경부 등을 중심으로 이들의 육상환경에서의 분포, 생태계 및 인체영향 등에 관한 연구가 본격적으로 시작되었다. 본 연구에서는 우리나라 지하수에서 미세플라스틱의 발현, 운명 및 거동을 어떻게 조사하고 연구할 것인가를 제시한다.

감사의 글: 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미세플라스틱 측정 및 위해성평가 기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003110010).

구두 26-2

농촌지역의 지하수 내 미세플라스틱 분포 연구

Occurrence of Microplastics in Groundwater in Rural Area

정은주*, 이진용, 김희정

Eunju Jeong*, Jin-Yong Lee, Heejung Kim

강원대학교 지질학과, opal6is586@naver.com

미세플라스틱(microplastics)이란 1 μm 에서 5 mm인 플라스틱으로 의도적으로 제조되거나 거대 플라스틱이 다양한 물리·화학적 풍화과정을 거쳐 형성된다. 최근 농촌 토양에서 미세플라스틱이 발견되었다는 보고가 잇따르고 있다. 농업환경은 작물의 생산성을 높이기 위해 비닐하우스, 멀칭, 차광막, 하수슬러지 비료, 플라스틱 코팅 씨앗(펠레팅) 등 플라스틱이 포함된 다양한 제품을 사용하고 있으며 특히 하수슬러지 비료의 경우 세탁 섬유와 같은 다량의 미세플라스틱을 함유하고 있어 이에 대한 우려가 증가하고 있다. 또한, 토양에 존재하는 미세플라스틱은 토양 내 균열, 토양생물의 활동으로부터 생성된 거대공극, 강우 등에 의해 침전이 가속화될 수 있으며 특히 50 μm 이하의 크기는 지하수로 유입될 가능성이 큰 것으로 보고되었다. 그러나 토양, 지표수 내 미세플라스틱에 관한 연구에 비해 지하수 내 미세플라스틱에 관한 연구는 매우 제한적으로 현황 파악이 제대로 이루어지지 않고 있다. 따라서 우리나라의 대표적 농업밀집지역인 양구 해안분지를 대상으로 현미경과 FTIR을 이용하여 지하수 내 존재하는 미세플라스틱의 종류, 크기(20 μm -5 mm), 형태, 개수농도를 분석하고자 하며, 이를 통해 다양한 플라스틱 함유 제품을 사용하는 농업 관행이 지하수에 미치는 영향을 밝혀내고자 한다.

감사의 글: 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미세플라스틱 측정 및 위해성평가 기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003110010).

구두 26-3

지하수환경에서 미세플라스틱 거동 모의 Modeling of microplastics transport in groundwater environment

김희정^{1,*}, 유한선¹, 이진용¹, 권기덕¹, 안진성²
Heejung Kim^{1,*}, Han-Sun Ryu¹, Jin-Yong Lee¹, Kideok D. Kwon¹, Jinsung An²

¹강원대학교 지질학과, hydroqueen@kangwon.ac.kr

²세명대학교 바이오환경공학과

최근 출판된 국내 수 환경 중 미세플라스틱 관련 연구는 하수처리장에서의 미세플라스틱의 분포, 한강에서의 미세플라스틱의 발생 및 생물체내의 미세플라스틱에 관한 연구, 해변에서의 미세플라스틱의 다양성 및 분포 등 다양한 환경에서 연구가 진행되었다. 그러나 지하수환경에서 미세플라스틱의 거동에 대한 연구는 최근까지 이루어진 바가 없다. 본 연구에서는 미세플라스틱의 입자형태, 크기, 종류, 생물학적 클로킹 등 지하수 흐름에 따른 이송현상을 표현하는 각각 파라미터들에 대한 실험 및 문헌 연구를 통한 실제 현장을 반영하는 한국형 미세플라스틱 거동평가 모델을 제시하기 위한 선형 수치모델을 모의한다. 포화매질 내에서의 미세플라스틱의 농도를 모사하기 위하여 다공성 매질 내에서의 콜로이드 입자에 대한 이송-분산방정식을 이용하여 미세플라스틱 이동의 지배방정식을 나타내고, 거동 특성으로서 매질 표면에서의 입자의 부착을 고려한다. 문헌의 물성치를 참고하여 지배방정식 수치해석을 통해 미세플라스틱의 농도변화 경향을 분석한다. 지하수 환경에서 미세플라스틱의 거동 모의를 통해 미세플라스틱 오염에 대응하는 안전한 지하수자원 확보 및 유지 관리에 활용 가능한 기반 정보를 제시하고자 한다.

감사의 글: 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미세플라스틱 측정 및 위해성평가 기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003110010).

구두 26-4

카르스트지역 지표수 및 지하수 미세플라스틱 조사 연구 및 방법

Survey research and method of microplastic of surface water and groundwater in Karst area

유한선*, 김희정, 이진용

Han-Sun Ryu*, Heejung Kim, Jin-Yong Lee

강원대학교 지질학과, rhs@kangwon.ac.kr

최근 미세플라스틱 오염이 상당한 관심을 끌고 있다. 미세플라스틱은 입자크기가 5 mm 이하의 고체 플라스틱을 말하며, 소화기관 또는 폐를 통해 인체에 흡수되면 각종 피해를 야기 시킬 수 있다. 카르스트 지역은 화강암 및 편마암 지대와 달리 지표수가 지하수로 쉽게 유입될 수 있는 채널(돌리네, 우발레, 폴리에)이 발달되어 있어 지하수 내 미세플라스틱으로 인한 피해가 더욱 클 것으로 예상된다. 하지만 현재 카르스트지역 지하수 내 미세플라스틱 연구 뿐 아니라 조사방법에 대한 정보 또한 전무한 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 카르스트지역 지표수와 지하수 내 미세플라스틱의 존재유무를 파악하고, 존재형태(개수농도, 질량농도, 종류, 크기, 모양 및 색)를 조사할 예정이다. 또한 지표수와 지하수에서의 미세플라스틱 조사방법을 고안하고, 분석방법(Raman, FTIR, TOF-SIMS)에 따라 미세플라스틱 검출한계를 비교하고자 한다. 카르스트지역 지표수와 지하수에서의 미세플라스틱 조사 및 분석방법 연구를 통해 향후 지하수 내 미세플라스틱 연구에 가장 적합한(효율적인) 연구방법을 제시하고자하며, 활용 가능한 기초 자료를 제공하고자 한다.

감사의 글: 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미세플라스틱 측정 및 위해성평가 기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003110010).

구두 26-5

지하수내 미세플라스틱 거동: 환경광물학적 접근

Transport of micro- and nano-plastics in groundwater: The environmental mineralogy perspective

명현아*, 권기덕

Hyeonah Myeong*, Kideok D. Kwon

강원대학교 지질학과, gusdk6425@naver.com

플라스틱은 컵, 일회용품, 옷, 세안제 등 다양한 제품으로 전 세계적으로 연간 약 3억 톤이 생산 소비되고 있지만 아주 소량만 재활용되고 있다. 그 외 많은 양의 플라스틱은 5 mm 이하인 미세플라스틱 또는 100 nm 이하인 나노플라스틱 형태로 해양, 지표수, 지하수에 유출되며 그 유해성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 미세플라스틱의 유해성에 관한 연구에 비해 자연환경 내에서의 거동에 대한 연구는 매우 부족하며, 특히 지하수 내 미세플라스틱의 유동성에 대한 지식은 전무하다 할 수 있다. 기존 지하수 내 나노파티클 거동연구에 의하면, 대수층 환경광물의 표면화학이 나노파티클의 거동을 결정짓는 중요한 역할을 한다고 알려져 있다. 지하수 내 미세플라스틱의 거동 역시, 광물 표면과의 상호작용에 의해 결정될 것으로 예상된다. 하지만 광물 표면에서의 미세플라스틱의 흡착 과정은 일반 컬럼흡착실험으로 규명하기는 매우 어렵다. 이번 연구에서는 5 ng/cm^2 정도 미량의 흡착 질량을 측정할 수 있는 수정진동자(piezoelectric quartz crystal sensor)를 활용하여 환경광물 표면과 미세플라스틱 흡착/침적 간의 상관관계를 규명하고자 한다. 연구결과에서 얻어지는 침적 속도(deposition rate)는 지하수 유동 모델에 핵심 변수로 사용하여, 보다 신뢰도 높은 미세플라스틱 거동 모델링에 기여할 것으로 기대된다.

구두 26-6

풍화로 인한 미세플라스틱의 물리화학적 특성 및 중금속 흡착 특성 변화

Changes in physicochemical properties of microplastics and their sorption characteristics for heavy metals by aging

안진성^{1,2,*}, 최형준², 이진용³, 권기덕³, 김희정³

Jinsung An^{1,2,*}, Hyung-Jun Choi², Jin-Yong Lee³, Kideok D. Kwon³, Heejung Kim³

¹세명대학교 바이오환경공학과, jsan@semyung.ac.kr

²세명대학교 환경안전시스템공학과

³강원대학교 지질학과

플라스틱의 과도한 사용에 따라 환경 중으로 배출되어 잔류하는 미세플라스틱의 양 또한 급격히 증가하였다. 이러한 미세플라스틱은 그 자체로 생물체에 독성을 발현하기도 하지만, 다른 오염물질의 이송체로 작용하여 생물체에 영향을 끼치기도 한다. 본 연구에서는 미세플라스틱의 풍화(aging)에 따른 중금속(As 및 Cu)의 흡착특성을 평가함으로써, 중금속 이송체로서의 미세플라스틱의 역할을 확인하고자 하였다. 가소제 등 첨가제가 포함되어 있지 않은 5가지 플라스틱(LDPE, HDPE, PP, PS, PET) 펠렛을 고분자 압출기(LME-TUS, Dynisco)를 이용하여 섬유형태로 제조하고 100~500 μm 길이로 절단한 후, 자외선 램프(254 nm)에 노출시켜 광분해 및 광산화를 유도하였다. 이와 병렬적으로 유사펜톤반응을 이용해 화학적 풍화를 모사하였다. 미세플라스틱의 풍화가 진행됨에 따른 물리화학적 특성 변화를 확인하기 위해 표면 작용기, 표면전위 및 접촉각 등을 분석하였다. 미세플라스틱의 풍화와 중금속 흡착 현상과의 관계를 확인하기 위해, As와 Cu에 대해 등온 흡착실험을 수행하여 결과를 비교분석하였다. 본 연구를 통해, 중금속 이송체로서의 미세플라스틱의 역할을 확인함으로써, 지중환경 중 미세플라스틱 관리 필요성의 합리적 근거를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글: 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미세플라스틱 측정 및 위해성평가 기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003110010).

구두 26-7

미세플라스틱 시험방법 국제표준화 동향

Status of International Standardization of Microplastics Test Method

정재학

Jaehak Jung

한국분석과학연구소, jh3370@naver.com

미세플라스틱은 해양 환경을 비롯한 소금, 수산물 외에도 육지에서는 식품(음료, 과일, 채소 등), 먹는물, 화장품 및 생활화학제품(섬유유연제 등), 대기(자동차타이어 등), 토양(비료/농약 등), 합성섬유제품 등 수많은 매체를 통하여 인체에 노출되고 있어서, 미세플라스틱의 위험성 뿐만 아니라 검출을 위한 분석법 개발 및 표준화 연구도 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 최근 COVID-19 pandemic 이후 일회용 플라스틱 사용 증가 및 PP 재질의 마스크의 무단 폐기로 인한 전 지구의 플라스틱 환경오염이 더욱 심각해지고 있는 상황이다. 대표적인 미세플라스틱 분석방법은 크게 분광학적 방법과 열분해를 이용한 방법으로 나누어진다. 전통적으로 사용되어온 현미경-적외선분광법 및 라만분광법을 사용하는 분광학적 방법은 미세플라스틱의 정성 및 정량분석에 시간이 많이 걸린다는 점과 측정 가능한 크기에 한계가 있기에, 이를 보완하기 위하여 열분해를 이용한 분석법 필요성이 높아지고 있다. 전통적인 열분해 분석법인 pyrolysis-GC-MS의 경우 샘플컵에 도입할 수 있는 시료양이 제한적이므로 대량 환경시료 분석에 어려움이 있으며 분석시 열분해 gas가 모두 GC-MS로 주입되므로 쉽게 오염될 수 있다. 이를 해결하기 위하여 TGA를 활용한 열분해 gas를 적절한 고체흡착제에 흡착시킨 후 이를 다시 탈착하여 열분해 생성물을 분석하는 TED (Thermal extraction desorption)-GC-MS 방법이 독일 BAM(연방재료연구소)에 의해 개발되었고, 현재 ISO/TC61(플라스틱)/SC14 (환경측면)/WG4 (미세플라스틱) 국제표준안으로 제안되어 먹는물 및 지하수와 같은 수질시료 분석법에 표준개발이 진행 중이다. 현재 ISO에서는 여러 TC에서 매질별 국제표준화를 추진하기 위한 활동이 매우 활발하다. 특히, 가장 먼저 TC61(Plastics)에서 2018 시험방법 표준화를 시작하였고, 이후 TC147(수질) 및 TC38(섬유)에서 신규표준안 제안/통과된 후 표준화가 진행 중이다. 앞으로도 ISO의 여러 TC별 매질별 표준제안이 예상되어 TC간 JWG 설립 및 조화를 위한 협의가 진행 중이며 향후 많은 변화가 예상된다. 이에 본 연구에서는 미세플라스틱 국제/국가 표준화 동향 및 새로운 분석방법에 대해서 소개하고자 한다.

Reference:

ISO/TC 61/SC 14/WG 4. ISO/NP 24542, Method for analysing micro plastics in waters with very low contents of suspended solid.

구두 27-1

Brothers 해저산의 마그마-열수 시스템 연구 Magmatic-hydrothermal system of Brothers volcano

이현주*, 서정훈

Hyun Joo Lee*, Jung Hun Seo

인하대학교 에너지자원공학과, hunjunu@gmail.com

Brothers 화산은 태평양 해저지판이 호주 해저지판 아래로 섭입하는 Kermadec arc 남부에 위치한 칼데라형 해저화산이다. 석영 안산암질 용암류 및 화산 쇄설암으로 이루어져 있으며, 전 세계에서 보고되는 해저 열수 활동 중 가장 큰 규모의 열수 활동을 기록하고 있다. 이에 따라 IODP EXP. 376은 서로 다른 양상의 열수 활동이 일어나는 칼데라의 북서쪽 내벽(NW Caldera site)과 칼데라 중심부의 화산 콘(Cone site)에서 시추를 진행하였다.

본 연구는 열수작용에 의해 형성된 다양한 이차광물(경석고, 석영, 중정석, 명반석) 내에서 발견된 유체포유물의 microthermometry, Raman 분광 분석, LA-ICP-MS 분석을 시행하였다. 유체 내의 높은 B, As, Cs 함량 등을 통해 다른 해저 열수 시스템에서보다 월등히 높은 마그마 기여도를 확인할 수 있었다. 또한 높은 균질화온도 및 Cl/Br 값은 높은 염도의 열수가 비등현상과 마그마 열수의 혼합에 의해 형성되었을 가능성을 지시한다. Mg-녹니석 관계를 통해 활발한 수암반응으로 인하여 녹니석을 침전시키는 반응이 유체 내의 Mg를 감소시켰음을 보여준다. 시추 자료를 이용해 작성한 깊이에 따른 유체포유물의 균질화 온도, 염도, 화학성분 분포는 단층과 같은 구조적 경계를 통하여 열수가 집중 분출됨을 보여준다. 이러한 연구를 통해 호상환경 해저 열수 시스템의 마그마 유체 기여와 열수 시스템 역학에 대한 연구는 지표의 반암-천열수형 시스템과 유사한 환경이 해저에 형성될 수 있음을 지시한다.

구두 27-2

지구의 냉각에 따른 섭입대 글루코페인의 안정성 변화

The stability of subducted glaucophane with the Earth's secular cooling

방윤아^{1,*}, 황희정¹, 김태현¹, 신현채², 박 용³, 정해명³, 박창용⁴, Dmitry Popov⁴, Vitali B. Prakapenka⁵, Lin Wang⁶,
Hanns-Peter Liermann⁷, Tetsuo Irifune⁸, Ho-Kwang Mao⁶, 이용재¹
Yoonah Bang^{1,*}, Huijeong Hwang¹, Taehyun Kim¹, Hyunchoe Cynn², Yong Park³, Haemyeong Jung³,
Changyong Park⁴, Dmitry Popov⁴, Vitali B. Prakapenka⁵, Lin Wang⁶, Hanns-Peter Liermann⁷,
Tetsuo Irifune⁸, Ho-Kwang Mao⁶, Yongjae Lee¹

¹연세대학교 지구시스템과학과, yoonahbang@yonsei.ac.kr

²Physics Division, Physical and Life Sciences Directorate, Lawrence Livermore National Laboratory

³서울대학교 지구환경과학부

⁴High Pressure Collaborative Access Team, X-ray Science Division, Argonne National Laboratory

⁵Center for Advanced Radiation Sources, University of Chicago

⁶Center for High Pressure Science and Technology Advanced Research

⁷Photon Sciences, Deutsches Elektronen-Synchrotron

⁸Geodynamics Research Center, Ehime University

섭입과 관련된 판구조론은 시생누대 이후 작동해왔으며 지구가 식어감에 따라 다양한 섭입 지온구배에 의해 지배되는 지구 동역학적 과정을 초래하였다. 섭입대를 대표하는 주요 지구화학적 변형 과정 중 하나로 청색편암에서 유헤암의 변성을 꼽을 수 있으며, 이에 수반되는 유체의 방출은 지진과 호상 화산활동을 유도하게 된다. 글루코페인은 청색편암을 대표하는 함수 광물 중 하나이지만, 현재 및 초기 지구의 다양한 섭입 환경하의 깊이에 따른 안정성은 실험적으로 연구된 바 없었다. 이번 연구에서는 글루코페인에 대해 다양한 섭입대 지온구배에 따른 고온고압 실험을 수행했으며, 섭입대 지온구배가 감소함에 따라 글루코페인 안정성의 최대 깊이가 증가한다는 것을 확인하였다. 차가운 섭입대의 지온구배 환경에서 글루코페인은 약 240 km 깊이에 해당하는 압력과 온도까지 안정적으로 유지된다. 반면 따뜻한 섭입대의 지온구배 환경에서 글루코페인은 약 50 km에서 100 km 깊이에 해당하는 압력과 온도 범위에서 탈수되어 휘석과 코사이트로 분해된다. 이보다 높은 지온구배가 형성된 원생대 지각 환경에서, 글루코페인은 보다 쉽게 탈수반응을 겪어 약 40 km 깊이보다 낮은 압력과 온도 범위에서 조장석과 휘석으로 분해된다. 이러한 결과는 지구가 식어감에 따라 글루코페인의 안정성은 더 깊은 섭입대 환경까지 확장되었고, 결과적으로 섭입대를 따라 일어나는 마그마의 형성, 화산 활동, 및 지진 활동을 억제하여 지구의 더 깊은 내부로 물을 운반할 수 있게 되었음을 의미한다.

구두 27-3

Gold and Tin Mineralization of Sulfide Chimneys from the Ultramafic-Hosted Cheoeum Vent Field, Central Indian Ridge

Sun Ki Choi^{1,2,*}, Sang Joon Pak³, Jonguk Kim², Jung-Woo Park¹, Seung-Kyu Son²

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, chlsunki@kiost.ac.kr*

²*Deep-sea and Seabed Mineral Resources Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology*

³*Global Ocean Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology*

The newly discovered ultramafic-hosted Cheoeum vent field is located in the middle part of the Central Indian Ridge. Here, we conducted detailed mineralogical and geochemical study on subsea chimneys that are highly enriched in Sn (up to 1,720 ppm) and Au (up to 17.8 ppm). The recognized ore-forming condition is characterized by the steep temperature gradient and substantial redox inversion of vent fluid during chimney growth; (1) low-temperature stage (<250°C) consisting largely of anhedral sphalerite and pyrite/marcasite, (2) high-temperature stage (250–365°C) featured by pyrrhotite, isocubanite, chalcopyrite, Fe-rich sphalerite and electrum, (3) seawater alteration stage distinguished by the mineral assemblages of marcasite pseudomorph, Y-phase, covellite and amorphous silica. Gold mineralization intensively occurred during main mineralization stage, together with high fineness of electrum (801 to 909‰) that is indicative of the selective saturation of Au over Ag in the fluid during high-temperature mineralization. This differs from the gold mineralization in MORB-hosted hydrothermal systems on mid-ocean ridges. TEM and LA-ICP-MS analyses represent that tin is mainly incorporated into the structures of sphalerite, isocubanite and chalcopyrite as solid solution, and not as mineral inclusion. The continuous hydrothermal reworking of previously formed sulfides enables the redistribution of Sn to produce the significantly Sn-enriched replacement boundaries between isocubanite with chalcopyrite exsolution and sphalerite. We suggest that the effective Au-Sn mineralization could be favored by the low redox potential of ultramafic-hosted hydrothermal system such as in the CVF, which may affect gold solubility and transport capacity of tin during hydrothermal process.

구두 27-4

Sesismic anisotropy generated from lithospheric mantle beneath Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica

Daeyeong Kim^{1,*}, Munjae Park², Chao Qi³, Sung-Hyun Park¹

¹*Division of Polar Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, dkim@kopri.re.kr*

²*Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University*

³*Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences*

The NE-SW-trending fast S-wave splitting beneath northern Victoria Land, Antarctica, has been regarded as the products of magmatism and lithospheric mantle. Microstructures of six mantle xenoliths from the Mt. Melbourne area were investigated to reveal the influence of lithospheric mantle on seismic anisotropy in the study area. The studied harzburgite and lherzolites show various degrees of deformation due to lithology. The rotated olivine CPOs of five samples displays clustered [100] and girdled [010], which is classified into D-type fabric and those of one exhibits clustered [100] and girdled [010], that is categorized into A-type olivine fabric. Those olivine types could be formed at high stress conditions hence subducting at Early Paleozoic and rifting at Mesozoic could be candidates for tectonic environments. Seismic properties calculated from the EBSD data show fast S-wave anisotropy along the olivine a-axis. The observed delay time of 0.9-13 s could be generated mostly by the studied peridotites however additional source such as melt-pockets is needed to explain the rest of seismic anisotropy beneath northern Victoria Land, Antarctica. This study therefore proves significant source of observed seismic anisotropy generated from lithospheric mantle.

구두 27-5

고해상도 수심 자료와 음향 후방산란 자료를 이용한 인도양 중앙 해령 내 Ocean Core Complex 구조의 지형적 특성 분석

Morphological Characteristics of Ocean Core Complex (OCC) in Central Indian Ridge using High-resolution Bathymetry and Acoustic Backscatter Intensity Data

황규하^{1,2,*}, 김승섭^{2,3}, 고영탁¹, 김종욱¹, 박상준⁴, 손승규¹

Gyuha Hwang^{1,2,*}, Seung-Sep Kim^{2,3}, Youngtak Ko¹, Jonguk Kim¹, Sang-Joon Pak⁴, Seung Kyu Son¹

¹한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터, ghhwang@kiost.ac.kr

²충남대학교 우주지질학과

³충남대학교 지질환경과학과

⁴한국해양과학기술원 대양자원연구센터

중앙 인도양 중앙해령(Central Indian Ridge, CIR)은 인도양 분지 남위 8도-18도 구간에 위치하는 대한민국의 해저열수광상 광구이다. CIR의 해저열수광상의 기원 및 지질학적 특성 연구를 위해 한국해양과학기술원은 2009년부터 지구물리 탐사기기를 활용한 정밀 조사를 진행해오고 있다. 느린 속도로 확장하는 CIR은 6개의 1차 확장구간으로 구분되며 확장구간이 끝나는 지역에는 분리단층에 의한 Ocean Core Complex (OCC) 구조가 발견된다. OCC를 형성하는 분리단층은 열수 유체가 이동할 수 있는 통로가 될 수 있으며, 열수 순환 기작이 생성될 수 있는 지역을 확장축(on-axis)에서 확장축 주변(off-axis)으로 확대시킬 수 있다. 따라서 OCC는 확장 속도가 느린 해령 시스템에서 열수광체가 형성되는 주요 지구조환경 중 하나로 고려할 수 있다. 이 연구에서는 CIR의 3개의 확장구간(Segment 1~3)에서 획득한 고해상도 지구물리 자료를 활용하여 OCC 구조체의 지형적 특성을 분석하였다. OCC 지형 특성을 분석하기 위해 수심 자료를 바탕으로 계산한 경사 변화도(slope gradient)를 후방산란 강도 자료와 함께 비교하였다. 또한 연구 지역의 경사 방향(down-slope direction)을 계산하여 해저 확장으로 형성된 심해구릉과 지구조적 확장으로 생성된 OCC 구조를 구분하는데 활용하여 보았다. 고해상도 수심 자료를 이용하여 계산한 경사 변화도에서 경사가 약 30°이상의 급한 구역은 해저확장으로 인해 형성된 정단층으로 구분되었으며, 이러한 정단층의 구조적 특징 때문에 강한 후방산란 강도가 유도되었음을 확인하였다. 반면 경사가 완만한(10°이하) 지역에서는 해저지형의 구조적인 영향보다 매질의 특성을 반영하는 후방산란 강도를 확인할 수 있었다. 경사 방향 분석기법을 적용한 결과 마그마성 확장이 우세한 지역에서는 확장축 방위각에 수직인 경사 방향이 주로 분포하지만, 이러한 경향은 OCC 구조에 가까워지면서 경사 방향 수치가 축 방위각에 평행한 경향으로 변화함을 밝혀내었다. 따라서 이러한 경사 방향의 공간상 변화는 OCC 구조의 생성이 마그마성 확장보다 지구조적 확장에 의해 결정되었음을 시사한다고 볼 수 있다. 이와 같이 본 연구를 통하여 고해상도 지구물리 자료를 활용한 통계적 분석기법은 확장 구역의 지형 특성 분석에 활용될 수 있다. 또한, 열수 유체의 이동통로가 될 수 있는 OCC 구조의 지형적 특성과 범위를 우선적으로 정의할 수 있으며, 이를 통해 열수 활동의 연구 및 해저열수광상 개발에 필요한 시료 채취 지역을 국부적으로 제한하여 시료 채취의 효율성을 높이는 데에도 기여할 수 있을 것이다.

구두 27-6

호주-남극 중앙해령 KR1 구간의 지형적 변화와 맨틀의 불균질성의 상관성

MANTLE HETEROGENEITY BENEATH THE SUPER-SEGMENT OF THE AUSTRALIAN-ANTARCTIC RIDGE

박승현^{1,*}, Charles Langmuir², Peter Michael³, Kenneth Sims⁴, Janne Blichert-Toft⁵,
김승섭⁶, Sean Scott⁴, Jian Lin⁷, 최학겸¹, 양윤석¹
Sung-Hyun Park^{1,*}, Charles Langmuir², Peter Michael³, Kenneth Sims⁴, Janne Blichert-Toft⁵,
Seung-Sep Kim⁶, Sean Scott⁴, Jian Lin⁷, Hakkyum Choi¹, Yun-Seok Yang¹

¹한국해양과학기술원 부설 극지연구소 극지지구시스템 연구부, shpark314@kopri.re.kr

²하버드대학교 지구행성과학과

³틀사대학교 지구과학과

⁴와이오밍대학교 지질·지구물리학과

⁵리옹 파리 고등 사범 지질연구실

⁶충남대학교 지질환경과학과

⁷우즈홀 해양연구소 해양지질지구물리연구실

호주-남극 중앙해령의 KR1은 두 개의 변환단층 사이에 놓인 수심 약 2000 m의 300 km 길이의 구간으로서 중심축의 지형과 수심을 기준으로 서편, 중앙, 동편의 세 개 구간으로 나눌 수 있다. 서편 구간은 중심축이 평평한 고원의 형태이며 중앙구간은 중심에 골이 파여 있는 산맥형태이고 동편 구간은 깊은 계곡의 형태를 나타내며 수심이 중앙구간에 비해 수심이 1,000 m 정도 깊다. 해저산들이 서편 구간 북쪽과 중앙구간 남쪽에서 중심축과 만나고 있다. 주원소, 미량원소, 동위원소 함량은 중심축을 따라 크게 변하며 KR1 구간 아래의 맨틀이 매우 불균질함을 암시한다. 최근에 일어난 맨틀 용융에 의해 일부 미량원소의 함량이 낮아진 것으로 보이는 서편과 중앙 구간의 몇 개 시료를 제외하고 동위원소 비는 매우 좋은 선형의 상관관계를 보여준다. 서편과 중앙구간에서 있었던 것으로 추정되는 최근의 맨틀 용융은 해저산들의 형성과 관련있을 것으로 사료된다. 중심축을 따라 나타나는 동위원소비의 큰 변이는 맨틀에서 용융된 마그마가 중심축을 따라 흐르면서 섞이기 보다는 형성된 즉시 분출하여 해양지각을 형성하고 있다는 것을 암시한다. Sr 동위원소 비와 불호정 원소의 함량비가 모두 높은 곳은 고원이나 산맥의 형태를 나타내고 결핍된 곳은 계곡 모양의 지형을 나타내는 것으로 미루어 KR1의 지형에는 맨틀의 불균질성이 반영되어 있는 것으로 판단된다.

구두 27-7

Magnetic and bathymetric constraints on tectonic evolution of the North Fiji Basin: Preliminary results

Alyse BEBIN^{1,*}, Seung-Sep Kim^{1,2}

¹*Dept. of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University, alyse.bebin@gmail.com*

²*Dept. of Geological Sciences, Chungnam National University*

The North Fiji Basin (NFB), a back-arc basin situated between the Australian and Pacific plates, was the target of intensive research between the 1970s and the 1990s. However, since then, research in this area has stalled and few new datasets have been acquired. Previous studies date the formation of the NFB back to 10 Ma. Then the NFB has quickly expanded and evolved. Different evolution models have been proposed and improved upon since the early 1970s. In order to verify and improve the current understanding on the tectonic evolution of NFB, we utilize a recent global bathymetry to map out the large-scale tectonic structures, as well as a compilation of magnetic data from the early 1980s to the start of the 2000s to lay out the magnetic anomalies of the NFB. Main features in the basin include multiple spreading centers: the Central Spreading Ridge (CSR), a mid-ocean ridge propagating both northward and southward, the West Fiji Rift (WFR), propagating southward, and the Northern North Fiji Basin Spreading Belt (NNFBSB) composed of three spreading ridges spanning the whole northern part of the NFB. North of the CSR is a triple junction, which connects to a northern limb and an eastern limb. The eastern limb spreads “en echelon” and connects to the fracture zone north of the Fiji Plateau. The compilation of shipboard three-component magnetic data used as comparison to existing models was acquired during a total of 114 cruises and downloaded from American and French online databases, with the oldest datasets being from the mid-1980s and the latest from the early 2000s. The data was provided in raw format and was processed before comparison with global datasets. The shipboard magnetic anomalies are pinpointed and compared to magnetic anomalies modeled using MODMAG, a program allowing forward modeling of magnetic anomalies with control over the number of spreading periods, with different spreading directions or eventual asymmetric spreading and axial jumps. Using this software, modeled data with known parameters can be compared to observed data, thus giving insight on the formation of existing magnetic anomaly patterns inside the NFB. This comparison allows for examination of the viability of the most recent evolution models, as well as validation of the default Gplates rotation model. Throughout this study, we are able to pinpoint the areas where further research is needed to fully understand the evolution of the NFB. We thus establish a baseline of the magnetic anomalies present in the complex basin to prepare for a comparison of the tectonic movements of the western and eastern parts of the NFB using the stretching factor of the oceanic lithosphere in the basin.

구두 27-8

해저구릉 정단층의 재활성화 가능성 Possible Re-activation of Locked Abyssal Hill Faults

송지현^{1,*}, 김승섭^{1,2}, 고영탁³, 박장준⁴
Je-Hyun Song^{1,*}, Seung-Sep Kim^{1,2}, Youngtak Ko³, Jang-Jun Bahk⁴

¹충남대학교 우주지질학과, song_jh@cnu.ac.kr

²충남대학교 지질환경과학과

³한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터

⁴충남대학교 해양환경과학과

지구 표면의 약 71%를 차지하고 있는 해양분지는 중앙해령에서 생성되어 판운동과 함께 시공간 상에서 진화한다. 해저구릉은 이러한 해저 확장의 지형학적 증거로서 일반적으로 지각판의 움직임에 수직된 방향으로 발달한다. 과거 Dietz (1961)는 중앙해령에서 마그마의 관입과 분출이 일어남과 동시에 확장축에서 심해구릉이 생성된다고 주장하였다. 이후 해저확장 축 주변에서의 정밀 탐사가 활발하게 일어나면서 Macdonald *et al.* (1984)은 해령 축에서 단층생성이나 화산활동에 의한 지형적 변화가 뚜렷하지 않음을 발견하고 심해구릉은 중앙해령의 축 외부(< 3 km)에서 생성됨을 밝혔다. 하지만 중앙해령 주변부에 위치한 심해구릉에 대한 연구만 이루어졌을 뿐 해양분지의 약 30%를 차지하며 분포하는 심해구릉의 진화 양상에 대한 자세한 연구는 이뤄지지 못하였다. 본 연구에서는 한국해양과학기술원에서 2010년에 북동태평양에 존재하는 클라리온-클리퍼톤 균열대(Clarion-Clipperton Fracture Zone)내에 위치한 KR5(망간단괴 우선채광지역)에서 획득한 심해견인 지구물리자료를 기반으로 진행되었다. 심해견인 측면주사 음향장치인 IMI-120에 천부지층탐사기(sub-bottom profiling) 자료가 함께 측정되도록 설정하였다. IMI-120 견인체 운용 상 특성 때문에 천부지층탐사 자료는 해저면에 근접하여 측정되었기 때문에 평균수심 4000 m 이상 되는 심해 환경에서도 수~수십 m 깊이의 천부 퇴적층의 구조를 고해상도로 보여준다. 특히 망간단괴 부존량과 반비례 관계를 가지는 것으로 알려진 투명층의 분포 특성을 분석하기 위하여 Black Top-hat Transformation을 적용하였다. 일반적으로 천부지층탐사 자료에서 투명층 음향상 특징을 띠는 투명층은 동질한(homogeneous) 퇴적층이거나 극히 이질적인(extremely heterogeneous) 퇴적층이 존재할 경우 나타나며, 이중 후자는 저탁류와 같은 침전물 중력 흐름(sediment gravity flow)이 발생하는 연안지역에서 주로 발견된다. 연구지역의 경우 초기 예상했던 심해 환경에서 원양성 퇴적물이 평행하게 퇴적되는 양상과는 다르게 렌즈상의 퇴적 구조를 지닌 투명층들이 존재함을 보였는데, 이러한 특징은 근해에서 발생하는 질량류 퇴적체(Mass Transport Deposit)와 유사한 음향적 특징을 가지고 있다. 질량류 퇴적체를 만들기 위해서는 다량의 퇴적물이 유입될 수 있는 지리적 그리고 지형적 환경이 필요하다. 그러나 연구지역의 경우 경사도가 2.5도로 완만하며 급격한 퇴적물 공급이 이루어지지 않는 심해저평원이란 점에서 이러한 투명층의 발견은 매우 새롭다. 기존 퇴적 구조에 변화를 줄 수 있는 심층류(deep sea current)의 경우 침식 및 퇴적에 의한 특징적인 contourite 퇴적상을 가지는 데 연구지역의 투명층은 이러한 퇴적상을 따르지 않는다. 육상에서와 같이 규모 7.0 이상의 지진으로 인한 질량류 퇴적이 이루어졌다면, 연구 지역에 상대적으로 넓게 퇴적체가 분포해야 하는데, 투명층은 매우 국지적으로 그리고 그 최대 두께가 ~ 30 m인 소규모 구조로 분포하고 있다. 또한 연구지역은 큰 규모의 지진을 발생시킬 수 있는 변환단층과도 거리가 매우 멀다. 그러므로 기존의 심해구릉의 판구조론적인 생성과 진화 양상 그리고 심해 퇴적 환경 등을 고려하였을 때 이러한 투명층 생성 원인은 간단하게 설명되지 못한다. 연구지역의 경우 과거 태평양 판운동의 변화를 겪은 곳으로 압축력(83~68 Ma)과 인장력(68~48 Ma)의 변화가 일어난 지역이다. 해당 시기에 연구지역 남부에 위치한 균열대는 인장력에 의하여 암석권 수직 변이의 역전현상이 일어났음을 발견된 바 있다. 이는 과거 판경계에서만 단층이 활동한다고 여겼던 locked fault 가설이 판운동 변화에 따라 달라질 수 있음을 밝힌 결과이다. 마찬가지로 이러한 판운동 인장력 변화에 의하여 연구지역에서도 심해 해저 구릉을 생성했던 정단층들이 일부 재활성화되면서 질량류 퇴적체를 발생시켰을 가능성을 고려할 수 있다. 단층 재활성화의 증거는 투명층 주변부에서 발견된 상부 퇴적층 내의 단층선에서도 찾아볼 수 있다. 향후 추가적인 해저 시추 탐사를 통해 심도 있는 연구를 진행한다면 투명층의 생성 기작 및 시기를 정의할 수 있을 것으로 보인다. 만약 중앙해령에서 멀리 떨어진 심해구릉 정단층이 판운동 변화에 의해 재활성화된다면, 이는 판운동에 의한 공간 수용(accommodation)이 중앙해령과 변환단층, 그리고 섭입대에서만 일어나는 것이 아니라 판 내부에서도 발생 가능함을 시사한다.

구두 27-9

섭입대에서 해양지자기 이상대의 소멸과정에 관한 연구: 일본 섭입대로부터 다른 섭입대까지

The fate of marine magnetic anomalies in subduction zones: Global appraisal from Japan subduction zone to the other subduction zones

최한진^{1,*}, 소병달²Hanjin Choe^{1,*}, Byung-Dal So²¹강원대학교 지구자원연구소, hanjin.choe@kangwon.ac.kr²강원대학교 지구물리학과

일본해구와 그 주변 북서태평양 해역은 많은 양의 다양한 지자기데이터가 축적되어왔지만 일부 데이터의 까다로운 보정방법으로 인해 현재까지 고해상도 해양지자기이상도를 쉽게 만들지 못하고 있다. 이번 연구에서 새로운 보정법을 통해 만들어진 해양지자기이상도를 이용하여 섭입대에서 섭입 전후 해양지각 지자기장의 구조적 진폭감소를 관찰하였다. 섭입 전 자기이상대는 해양지각의 구부러짐에 의한 굴곡(outer flexural rise)으로 약 20%의 진폭이 감소한다. 이는 지각의 구부러짐으로 생성되는 단층과 균열, 그리고 두꺼운 퇴적층에 의해 해양지각내 재개된 폐(閉) 열수순환이 자성광물의 산화를 촉진시켜 화학적 재자화를 통한 자화강도(magnetization intensity)의 감소에 의한 것으로 사료된다. 섭입 후 지속적으로 감소하는 해양지자기는 두 단계로 일어나는데 (1) 분출현무암(extrusive basalt)층에 주로 분포하고 있는 낮은 큐리온도 특성(150-350℃)을 지닌 티탄자철석과 티탄마그네사이트의 자성이 섭입에 따른 지열증가로 9-12 km 사이에서 갑작스럽게 사라지고, 이 후 (2) 지각의 하부에 분포하고 있는 비교적 높은 큐리온도(580℃)를 지닌 자철석의 자성이 깊이 약 20 km까지 서서히 사라지는 특성을 확인하였다. 다른 섭입대를 조사해본결과 일반적으로 성숙한 해양지각이 위치한 섭입대에서 이와 같은 자화 감소패턴이 전반적으로 나타났다. 하지만 매우 젊은 해양지각이 위치한 캐스캐디아 섭입대만 다른 자화감소 패턴을 보였다. 이는 대부분의 섭입대 지온구조모델에서 제시된 수치보다 매우 높은 온도를 나타내고 있으며, 최근 제시된 학설 중 섭입 전 해양지각에 재활성화 된 폐 열수순환이 해양지각의 온도를 높인다는 주장과 잘 일치한다. 결과적으로, 섭입하는 해양지각내 활발한 고온의 열수순환에 의해 풍화대(altered zone)가 발달하고, 깊이에 따른 압력의 증가가 지진의 핵형성(nucleation)에 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다.

구두 27-10

Investigation on the geochemical variations of mid-ocean ridge basalts along the Central Indian Ridge from 14°S to 21°S

Vincent Clement^{1,*}, Jung-Woo Park¹, Sang-Mook Lee¹, Jonguk Kim², Sang-Joon Pak²

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, clementvincent@snu.ac.kr*

²*Korea Institute of Ocean Science and Technology*

The mid-ocean ridge basalts (MORB) from the Central Indian Ridge show a wide range of geochemical variations within and between segments, and the causes for such geochemical features are poorly constrained. At present, the Central Indian Ridge is located ~1000 km away from the Réunion hotspot. Paleogeographic reconstruction suggests that the hotspot crossed the middle part of the Central Indian Ridge (MCIR) between 8°S and 17°S at ~34 Ma. Previous studies argue that the plume material currently flows into the Central Indian Ridge at around 19°S, south of Marie Celeste Fracture Zone (MCFZ) and geochemical enrichments of the MORB from the MCIR 14°S and 19°S segments can be attributed to a fossil Réunion plume component. However, a recent geophysical study has suggested that the geochemical anomalies along the Rodrigues segment (18-21°S) can be ascribed to the asthenospheric flow from the Réunion plume, which reopened the debate about the origin of the enriched anomalies along the MCIR (14-19°S).

In this study, we revisited the MCIR from 14°S to 17°S with new geochemical data obtained based on high-resolution sampling and ship-board high-resolution bathymetry data to constrain the influence of the Réunion plume on geochemistry and bathymetry of the MCIR. The results show that trace element ratios and isotopic compositions of on-axis MORB vary in association with ridge discontinuities such as transform faults and non-transform fault discontinuities. The MORB from the northern parts of segments display substantially enriched geochemical features and the enrichments correspond to a shallower axial bathymetry. More importantly, these new results show that the chemical anomalies along the ridge cannot be attributed to the influence of the Réunion plume component, as proposed by previous studies. We propose that the enrichment can be ascribed to some upper mantle heterogeneities sampled by the oceanic ridge or the influence of a new large plume recently revealed by seismological studies and located under the Mascarene basin.

구두 28-1

Biogeochemical transport of arsenic in wetland microcosm

In-Hyun Nam*, Young-Soo Han, So-Jeong Kim, Jungho Ryu, Chul-Min Chon

Geologic Environment Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, nih@kigam.re.kr

Arsenic (As) pollution in aquatic environments is a concern due to its high toxicity and harmful effects on human health. This concern has generated increasing interest in the use of different treatment technologies to remove arsenic from contaminated water. Wetland sediment has been considered as a good scavenger of toxic inorganic contaminants. It has been known that the microbial activities in the geochemical reaction of As in wetland sediment are mainly responsible for controlling oxidation, reduction, methylation and demethylation. Also wetlands are a cost-effective natural system successfully used for removing various pollutants, and they have shown capability for removing arsenic. In the present study, microcosm experiments were performed to simulate a natural wetlands system contaminated with dimethyl arsenate. Monitoring of As distribution in the aqueous and solid phases demonstrated that the amended dimethyl arsenate was completely removed from the aqueous phase and most of the arsenic species associated with sediment were identified as inorganic As(V). These results imply that demethylation occurs at the interface between sediment and water, and the transformation of As speciation may be attributable to the microbial activity. The demethylated As(V) seemed to be adsorbed on wetland sediments, and the As(V) was reduced to As(III) in the deep layers of the wetland sediment with predominantly reducing conditions.

구두 28-2

Microbial effect in iron oxide/oxyhydroxide transformation process in natural environment

Hanbeom Park^{1,*}, Jonguk Kim², Jinwoo Lee³, Seungkyu Son², Jinwook Kim¹

¹Department of Earth System Sciences, Yonsei University, cuma0415@yonsei.ac.kr

²Deep-sea and Seabed Mineral Resources Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology

³Department of Functional Microbiome Lab, KoBioLabs

Microbe-mineral interactions in the extreme environment was investigated in light of biomineralization that could bypass the conventional thermodynamic barriers. Particularly, microbial mat sample around the hydrothermal vent area, recovered by Canadian scientific submersible ROPOS on South Pacific North Fiji basin KIOST hydrothermal vent expedition 1602. Various morphologies of minerals in the microbial mat observed by scanning electron microscopy (SEM) showed sheath shaped and stalks shaped, resembled with several iron circulation microbial species microbial structures. Biological association with iron oxide and iron oxyhydroxide formation revealed the variation in crystallinity, crystal structure utilizing focused ion beam (FIB) technique and transmission electron microscopy (TEM). Specifically, spectrum image (SI) analysis and electron energy loss spectroscopy (EELS) analysis were performed to identify the nano-scale iron oxidation states of hematite & iron oxyhydroxide, carbon C-K edge ELNES. In this study we present iron oxide & iron oxyhydroxide formation and transformation schematic mechanism with biological effect in natural environment.

구두 28-3

미생물학적 철 환원 및 황산염 환원에 의한 비소의 거동 연구

Reductive dissolution and sequestration of arsenic by microbial iron and thiosulfate reduction

고명수

Myoung-Soo Ko

강원대학교 에너지자원공학과, msko@kangwon.ac.kr

환원환경에서 비소의 거동특성을 확인하기 위해 저수지 하부 퇴적토양을 채취하고 Serrum bottle에 나누어 담아 N_2 purging을 통해 산소의 유입을 제거하였다. 토착미생물 유무에 따른 철환원 과정을 확인하기 위해 고압멸균기를 이용하여 멸균시료와 비멸균 시료를 구분하여 조성하였다. 토착미생물이 존재하는 실험에서는 토양 현탁액(slurry)의 Fe^{2+} 농도가 점차 증가하였으며 lactate를 주입한 경우 Fe^{2+} 의 용출량이 더욱 증가하였다. 철의 용출과 함께 용존 비소의 농도도 증가하는 결과를 보여 토착 철환원 미생물에 의해 철이 환원되고, 동시에 비소의 환원성 용해가 나타난 것으로 판단된다. 이러한 결과는 철산화물을 이용하여 비소의 이동성 저감을 유도하더라도 환원환경이 조성됨에 따라 재용출의 가능성을 보여준다. 그러나 동일한 실험에 thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$)를 주입한 실험에서는 검은색의 침전물이 생성되고 비소의 용출이 나타나지 않았다. 검은색 침전물은 Fe-As-S의 화합물로 확인되었으며 황산염환원 미생물에 의해 환원된 황과 철, 비소가 결합하여 침전하는 과정을 통해 비소의 이동성이 저감된 것으로 판단된다.

구두 28-4

Internal dynamics of inorganic and methylmercury in marine fish: Insights from mercury stable isotopes

Sae Yun Kwon, Saebom Jung*

Division of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, jsaebom@postech.ac.kr

Mercury isotope ratios in fish tissues have been used to infer sources and biogeochemical processes of mercury in aquatic ecosystems. Unfortunately, limited experimental studies have been performed to understand the internal dynamics of mercury isotopes and to further assess the feasibility of using fish mercury isotope ratios as a monitoring tool. In our study, we performed controlled experimental studies by exposing marine fish to food pellets spiked with different levels and species of mercury. Fish fed mercury unamended food pellets and MeHg amended food pellets showed absence of internal $\delta^{202}\text{Hg}$ and $\Delta^{199}\text{Hg}$ fractionation in all tissue types. For fish fed IHg food pellets, the $\delta^{202}\text{Hg}$ and $\Delta^{199}\text{Hg}$ values of intestine equilibrated to those of the IHg food pellets. Kidney, muscle, and liver exhibited varying degrees of isotopic mixing toward the IHg food pellets, consistent with the degree of IHg bioaccumulation. Liver showed additional positive $\delta^{202}\text{Hg}$ shifts ($\sim 0.63\%$) from the binary mixing line between the unamended food pellets and IHg food pellets, which we attribute to redistribution of liver IHg with a lower $\delta^{202}\text{Hg}$ to other tissues. The presence of significant isotope fractionation suggests that fish liver cannot serve as a conservative tracer for source monitoring at sites heavily polluted by IHg. Instead, fish intestine, which showed isotopic equilibration to the dietary IHg source, appears to be more suitable for identifying sources of IHg at polluted sites. The results from our study are essential for determining the appropriate fish tissues for monitoring environmental sources of IHg and MeHg.

구두 28-5

다중검출 유도결합 플라즈마 질량분석기(MC-ICP-MS)를 이용한 미량 황산염의 동위원소 분석

Applications of MC-ICP-MS in sulfur isotope biogeochemistry

문중한^{1,*}, 강정옥², 주영지³, 심민섭¹Jonghan Moon^{1,*}, Jung Ok Kang², Young Ji Joo³, Min Sub Sim¹¹서울대학교 지구환경과학부, zlvks@snu.ac.kr²서울대학교 해양연구소³부경대학교 지구환경과학과

황은 탄소와 함께 지표의 생지구화학적 산화환원 순환에서 중요한 원소이다. 황산이온은 해수에 가장 풍부하게 존재하는 전자수용체로, 미생물의 혐기성 호흡 및 철과의 반응을 통해 다시 지각 물질로 환원된다. 환원된 물질은 지표환경에서 제거됨으로써 광합성으로 생성된 산소가 생물학적 호흡과 화학적 반응으로 모두 소모 되지 않고 지표환경에 잔류하게 된다. 황 안정 동위원소는 황의 생지구화학적 순환을 이해하기 위한 도구로 지난 반 세기동안 다양한 연구에 이용되어 왔다. 4개의 안정동위원소(³²S, ³³S, ³⁴S, ³⁶S)로 이루어진 황 동위원소는 황산염 환원 미생물에 의하여 황산염이 환원되는 동안 동위원소 분별작용이 발생하여 생성된 황화수소는 황산염에서는 황산염에 비해서 가벼운 동위원소들이 부화된다. 따라서 미생물에 의한 황산염 환원 과정에서의 동위 원소 분별 작용 크기에 대한 연구로 퇴적암에 기록된 과거 지질시대의 황 동위원소의 기록을 해석함으로써 지질시대의 황 순환 과정을 이해할 수 있다.

최근 기체시료를 이용한 전통적인 황 동위원소 분석법에 비해 시료의 양을 1/100 수준으로 낮출 수 있는 다중검출 유도결합 플라즈마 질량분석기(MC-ICP-MS) 기반의 다중 황 동위원소 분석이 과거에 접근하기 어려웠던 미량시료를 이용한 생지구화학적 황 순환 연구방법으로 각광받고 있으나, 국내에서는 아직까지 MC-ICP-MS를 이용한 황 동위원소 분석 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 서울대학교 기초과학공동기구의 Nu Instruments사의 Nu Plasma 3를 이용해 미량의 황산염 내 황 동위 원소 분석을 시도하였다. 시료 내 황산이온은 음이온 교환수지를 이용해 분리하고, ESI-PFA 100 분무기(Nebulizer)와 Cetac Aridus II 탈용매화장치(desolvator)를 통해 MC-ICP-MS 장비로 주입하였다. 장비에 의한 동위원소 분별 현상은 표준물-시료 교차 분석법(standard-sample bracketing)으로 보정하였다. 분석 결과 실험실 내 표준시료(in-house standard)의 $\delta^{34}\text{S}$ 와 $\Delta^{33}\text{S}$ 값은 공인된 표준시료인 IAEA-SO-5로 보정하였으며, Vienna Canon Diablo Troilite를 기준으로 각각 $0.21 \pm 0.42\%$ (2σ , $n=38$), $-0.04 \pm 0.63\%$ (2σ , $n=35$)로 확인되었다. 분석의 정확성을 확보하기 위해, 실험실 내 표준시료로 황 동위원소 값이 알려진 IAEA-SO-6, NBS-127, 해수 시료의 동위원소 조성 측정 결과를 보정하여 얻은 $\delta^{34}\text{S}$ 와 $\Delta^{33}\text{S}$ 분석 오차는 각각 0.46% (2σ), 0.9% (2σ)로 확인되었다. 미량시료를 이용한 분석의 효율성 및 정확성을 알아보고자 순차적으로 희석된 해수시료를 이용해 분석하였으며, 20nmol 이상의 황산이온이 확보되는 경우에 시료 전처리 및 동위원소 분석 과정에서 재현성과 정확도에 문제가 없음을 확인하였다. 이렇듯 본 분석법은 많은 양의 시료확보가 어려운 퇴적물 코어, 빙하 및 탄산염암 내 황산염, 세포 내 대사물질 및 의학 분야 연구에 유용할 것으로 기대된다.

구두 28-6

공공하수처리장시설 방류수의 질산염 동위원소 변동에 대한 특성: 오염원 추적, 질산화 및 탈질화에 대한 고찰

Temporal variations of nitrate isotopes in wastewater treatment plant: Implications for sources, nitrification and denitrification

정혜정¹, 박범성^{1,2}, 유지수², 김윤석², 이정훈^{1,*}
Hyejung Jung¹, Bumsung Park^{1,2}, Jisu Yoo², Yun S. Kim², Jeonghoon Lee^{1,*}

¹이화여자대학교 과학교육과, jeonghoon.d.lee@gmail.com

²한국수자원공사 수질안전센터

본 연구는 충북 증평군에 위치한 증평 하수처리장과 인근 방류수역인 보강천 일대에서 질소의 거동을 조사하고 방류수(생활계 오염원)가 주변 환경에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 수행되었다. 이를 위해 하수처리장의 방류수 시료와 방류수역에 대해 방류수 합류 전(SW1), 후(SW2) 지점에서 지표수 시료를 2019년 7월부터 2020년 4월까지 한달에 한번 채취하여 질산성질소 농도와 물 및 질산염 안정동위원소를 분석하였다. 그 결과, 방류수(n=9)의 NO_3^- -N 농도는 $2.84\sim 10.50 \text{ mgL}^{-1}$ (7.46 ± 2.24)이고, $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ 의 경우 $10.56\sim 16.60\%$ (13.82 ± 1.81), $-4.86\sim -0.35\%$ (-1.73 ± 1.25), $-9.37\sim -8.68\%$ (-8.96 ± 0.21)로 각각의 범위 내에서 계절적 변동성을 보여주었다. SW1(n=9)의 NO_3^- -N, $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ 의 경우 $0.70\sim 3.48 \text{ mgL}^{-1}$ (2.38 ± 0.70), $9.31\sim 18.95\%$ (15.55 ± 3.07), $-0.02\sim 5.25\%$ (2.61 ± 1.66)로 나타났으며, SW2(n=9)의 경우 $1.19\sim 3.75 \text{ mgL}^{-1}$ (2.63 ± 0.89), $10.52\sim 17.31\%$ (14.73 ± 2.04), $-0.02\sim 5.39\%$ (2.62 ± 1.68)로 각각 나타났다. 이러한 결과를 통해 하수처리장 방류량이 보강천의 유량에 비해 매우 적기 때문에 질산성질소 농도 및 동위원소비 변화에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 또한 2019년 9월 한 달 동안 하루에 한 번씩 채취한 방류수(n=30)의 $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ 경우 각각 $9.07\sim 17.33\%$ (13.42 ± 2.03), $-3.77\sim -0.43\%$ (-2.46 ± 0.92), $-11.55\sim -8.47\%$ (-9.00 ± 0.59)의 범위를 가지고 있으며 한 달에 한 번 7개월 동안 샘플링 한 것보다 평균적으로 낮은 동위원소비를 가지고 있었다. 기존 연구결과들에 의하면 질산화가 발생하여 생성된 질산염의 산소는 주변 물과 대기로부터 기원 되는 것으로 알려졌지만 이번 연구결과에서는 하수처리시 호기조의 의해 질산화된 질산염에서는 $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ 와 $\delta^{18}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ 사이에 명확한 상관관계가 관찰되지 않았다. 또한, 월별로 샘플링한 방류수의 경우 $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ 와 $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ 의 비율이 2:1을 나타내었으며, 이는 탈질반응이 일어나고 있음을 시사한다. 이러한 연구결과는 공공수역, 특히 하천에서의 수질 및 수생태계 보호를 위해 질산염의 기원을 추적하고 오염원 관리체계를 구축하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 생각된다.

구두 28-7

The effects of indigenous soil bacteria on arsenic extraction from contaminated soil using *Shewanella putrefaciens*

Jong-Un Lee*, Thi Minh Tran, Hyeop-Jo Han

Dept of Energy and Resources Engineering, Chonnam National University, jongun@jnu.ac.kr

We investigated the removal of As from arsenic-contaminated soils using an iron-reducing bacterium *Shewanella putrefaciens* and indigenous bacterial consortium. Sequential extraction of As revealed that more than 30% of As was associated with Fe(III)-(oxy)hydroxides in the soil. The results indicated that the increase in bioreduction of Fe(III) resulted in the increase of dissolved As from the soil. The highest As removal (57.5%) was obtained from the combination of *S. putrefaciens* and indigenous bacterial consortium. When pure *S. putrefaciens* and indigenous bacterial consortium were applied to the soil, 30.1% and 16.4% of As were extracted from the soil, respectively. Sequential extraction analysis showed that As which had been bound with Fe-Mn fractions in the soil was efficiently reduced by microbes. After application of the microbial leaching technique, the preservation of soil quality was confirmed when compared with the initial soil. Our results suggested that the ecological and physiological understanding of the indigenous microbiome might be important for the efficient application of bioleaching technology to remove As from contaminated soils.

구두 28-8

Batch experimental study of microbially induced Smectite-to-Illite reaction at high temperature/pressure: Analogy in Nankai Trough

Tae-Hee Koo^{1,*}, Hanbeom Park¹, Yuki Morono², Fumio Inagaki², Jin-Wook Kim¹

¹Department of Earth System Sciences, Yonsei University, ktaehee@yosnei.ac.kr

²Japan Marine Science and Technology Center

Microbially induced Smectite-to-Illite (S-I) reaction has been actively studied over the last 20 years, and its evidence has been reported recently with natural samples from modern mudstone at Nankai Trough. Various experimental conditions including temperature, pH, and type of microbes have been tested in previous studies, however, batch experiments for testing conditions where temperature and pressure have combined like actual natural environment were not been conducted. Here, we incubated the pelagic sediment from the International Ocean Discovery Program (IODP), Site C0023 (32°22.0018'N, 134°57.9844'E) at various temperature (80, 95, 110, 125, and 140°C) with high pressure (55 MPa) to examine modification of structure and geochemical properties of smectite to elucidate the natural occurring microbially catalyzed S-I reaction.

The X-ray diffraction profiles showed modification in d_{001} peak of smectite as well as detection of mixed layer (I/S) in $2\theta=9.84^\circ$ that may indicate the S-I reaction has been progressed by microbial respiration and/or thermal diagenetic process. Additionally, Al, Si, and Fe concentration in the supernatant and Al/Si ratio with interlayer K contents were measured to determine the geochemical modification in smectite. Furthermore, energy electron loss spectroscopic analysis was applied to demonstrate the local Fe-reduction by a microbe in high temperature and pressure (80°C and 55 MPa) condition. The detailed evidence to reveal the microbially induced S-I reaction in the deep sub-seafloor environments will be discussed.

구두 28-9

Importance of speciation and mineralogy of toxic metals on microbial community diversity and composition in subsurface environments

Man Jae Kwon

Earth and Environmental Sciences, Korea University, manjaekwon@korea.ac.kr

Little is known about the effects of co-contamination of toxic metals on the surrounding environments and indigenous microorganisms. We investigated the distribution and speciation of As, Sb and other toxic metals near a mine tailing and a refinery using sequential extraction, XRD and XAFS. Soils with high and low toxic metal concentrations showed significant differences in microbial community compositions, indicating a direct influence of the toxic metals on the environment. Although total As ($\sim 100,000 \text{ mg kg}^{-1}$) in the mine tailing and Sb ($\sim 21,400 \text{ mg kg}^{-1}$) in the refinery were extremely high, over 95% of As and Sb were in the form of scorodite ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and tripuhyite (FeSbO_4), respectively. These results demonstrated that As and Sb were present in an oxidized, stable form. Furthermore, exchangeable fractions of these toxic metals were not high enough to affect the microbial community. The microbial, geochemical, and mineralogical results suggest that the observed differences in microbial community distribution are mainly due to other toxic metals (e.g., Pb and/or Zn), rather than As and Sb.

구두 28-10

토양 중 탄산무수화효소 보유 박테리아를 위한 프라이머 개발 Development of primers for bacterial carbonic anhydrase in soil

조은혜^{1,*}, 홍진경², 양동진³Eun Hea Jho^{1,*}, Jin-Kyung Hong², Dong Jin Yang³¹전남대학교 농생명화학과, ejho001@jnu.ac.kr²연세대학교 환경공학부³한국외국어대학교 환경학과

육상 탄소저장소로서의 역할을 하는 토양은 이산화탄소를 흡수하거나 방출한다 알려져 있으며, 토양 내 세균에 의한 이산화탄소의 세포내 수송 또한 이 과정에 포함된다. 토양 미생물의 대기 중 이산화탄소의 중탄산염으로의 수화 반응은 탄산무수화효소에 의해 촉매된다. 토양 중 인간의 다양한 활동은 토양의 오염, 나아가서는 토양 미생물 군집 구조의 변화를 초래하고, 이는 결국 토양과 대기 간 이산화탄소 플럭스에 영향을 미칠 것이다. 이렇듯 토양환경에서 가지는 환경학적 중요성에도 불구하고, 탄산무수화효소의 분포 및 활성을 분자생태학적으로 모니터링 하기 위해 가장 기본적으로 필요한 PCR 프라이머조차 제작되어 있지 않은 상태이다. 탄산무수화효소는 모든 생물계(Domain)에 분포하고 있으며, 계의 수준에서 수평적 유전자 이동과 같은 과정을 통해 유전자가 전달된 것으로 알려져 있다. 때문에 세균이 보유하고 있는 모든 탄산무수화효소의 유전자 서열을 대상으로 계통학적 분석을 수행하고 보존 서열을 찾아 전체 세균 공통의 탄산무수화효소 특이적인 프라이머를 설계하는 전략은 성공 가능성이 매우 낮다. 따라서 본 연구에서는 대표 토양 세균 그룹인 *Bradyrhizobium* 속(genus)이 보유한 탄산무수화효소를 분자 생태학적으로 모니터링할 수 있는 프라이머 개발을 목표로 하였다. 유전자 데이터베이스로부터 *Bradyrhizobium* 종의 탄산무수화효소 유전자 서열을 수집한 후, 서열 정렬 분석을 통해 유전자 서열 중 보존되는 지역 3곳을 찾았다. 이를 활용해 후보군 프라이머 서열을 선별하고 1) 타겟 지역에 대해 전체 서열에서 85% 이상의 일치율을 보이며, 2) Forward와 Reverse 서열 간의 길이가 300 bp 이상이며, 3) 유사한 온도에서 타겟 유전체에 정렬이 가능한 프라이머 세트를 최종 후보로 선정하였다. 선정된 프라이머는 실제 증폭 효율을 확인하기 위해 *Bradyrhizobium* 속 박테리아의 유전체(genomic DNA)를 추출하여 경험적 평가를 수행 중에 있으며, 이후 실제 토양의 메타유전체(metagenome)에 *Bradyrhizobium*의 유전체를 internal standard로 포함하여 실제 토양시료를 대상으로 증폭효율을 경험적으로 평가할 계획이다. 현재 진행되는 연구는 비단 속 수준에서 하나의 계통학적 그룹만을 대상으로 제한하고 있지만, 이와 같이 다양한 토양 내 미생물 계통군을 대상으로 다수의 프라이머의 제작이 가능해진다면, High throughput qPCR과 같은 최신의 기법에 적용하여 토양 내 주요 세균 계통군의 탄산무수화효소의 분포에 대한 동시다발적인 모니터링까지 가능할 것으로 기대하고 있다.

구두 28-11

척치해 아라온 마운드 메탄 생성 기작 및 속성 작용 Methane generation and diagenesis in the ARAON Mounds, Chukchi Sea

김지훈^{1,*}, 이동현², 진영근³, 류종식⁴, 이영미³, 허 진⁵, 박명호⁶, 김영균⁷, 강무희¹, 박상희⁸, 강승구³, 김수관³
Ji-Hoon Kim^{1,*}, Dong-Hun Lee², Young Keun Jin³, Jong-Sik Ryu⁴, Yong Mi Lee³, Jin Hur⁵, Myong-Ho Park⁶,
Young-Gyun Kim⁷, Moo-Hee Kang¹, Sanghee Park⁸, Seung-Goo Kang³, Sookwan Kim³

¹한국지질자원연구원, save@kigam.re.kr

²국립수산과학원

³극지연구소

⁴부경대학교

⁵세종대학교

⁶연세대학교

⁷강원대학교

⁸한국기초과학지원연구원

북극해에서 배출되는 메탄(CH₄)은 지구 탄소 순환(carbon cycle)을 이해하는 데 매우 중요한 요소이다. 그러나 북극해가 해빙으로 두껍게 덮혀 있어 접근이 어렵기 때문에 CH₄ 및 공극수 연구 결과가 매우 드물다. 이번 연구에서는 2016년 및 2018년 쇄빙선인 아라온(IBRV ARAON)에 승선하여, 척치해(Chukchi Sea) 아라온 마운드(ARAON Mounds) 지역과 비마운드(non-mound) 지역에서 해양 퇴적물내 공극수 및 가스를 채취하여 다양한 성분 (e.g., 양이온/음이온 농도, 탄화수소/비탄화 수소 농도) 및 동위원소(e.g., δ¹³C_{CH₄}, δD_{CH₄}) 분석을 실시하였다. 비마운드 지역에서 채취한 퇴적물 코어는 황산염-메탄 전이(sulfate-methane transition; SMT) 심도에 도달하지 않았고 CH₄의 기원은 생물기원이다. 반면에 아라온 마운드에서 채취한 모든 정점에서의 퇴적물 코어는 해저면 3.3 m 이내의 천부에서 SMT 심도에 도달하였다. 아라온 마운드 구조에서 채취하여 분석한 공극수내 황산염 프로파일은 높은 메탄의 상부 유동량에 의해 unsteady state를 지시하며, CH₄의 동위원소 분석결과는 심부에서 해저면으로 갈수록 열기원, 열기원 및 생물기원(biogenic) 혼합 기원, 생물기원으로의 가스 기원 변화가 뚜렷하게 관찰된다. 그러나 아라온 마운드내의 유기물들은 열적 성숙도가 immature stage에 위치하고 채취한 코어 길이에서 측정된 지열이 매우 낮기 때문에, 퇴적물 내에서 자생적으로 열기원 가스를 생성할 수 없다. 따라서 아라온 마운드 구조의 CH₄는 측정된 아라온 구조의 지열을 고려할 때 심도가 깊은 곳(<1 km)에서 생성한 열기원 (thermogenic) CH₄이 천부로 상부 이동한 것이다. 아라온 마운드 구조에서 채취한 열기원 가스들의 C₁/C₂₊ 비율은 일반적으로 보고된 열기원 가스(< 100) 보다 매우 높다(> 300). 이러한 결과는 심부에서 생성된 탄화수소 가스들이 fracture 또는 faults를 통해 상부로 이동하면서 열분해(thermal cracking) 보다는 생분해(biodegradation) 작용 등과 같은 postgenetic 속성 작용을 받아 C₂₊ 이상의 탄화수소 가스들이 분해되었음을 지시한다. 따라서 아라온 마운드의 탄화수소 가스는 깊은 퇴적물 심도에서 생성된 후 상부로 이동하면서 속성작용에 의해 가스 성분 및 동위원소가 변화하였고, 상부 가스 유동량에 따라 아라온 마운드의 공극수 및 가스 지화학 특성에 영향을 주고 있다.

구두 28-12

생지구화학적 황 순환에서 황철석의 산화와 매장 사이의 균형 Imbalance between pyrite oxidation and burial fluxes?

심민섭^{1,*}, 주영지²Min Sub Sim^{1,*}, Young Ji Joo²¹서울대학교 지구환경과학부, minsub.sim23@gmail.com²부경대학교 지구환경과학과

황산이온은 지각 내 황산염 광물이나 황화광물, 주로 황철석의 풍화를 통해 지표환경에 공급되며, 증발 광물이나 미생물에 의한 환원을 통해 다시 지각에 편입되어 하나의 순환 고리를 이룬다. 생지구화학적 황 순환은 지표환경의 산화에도 영향을 미치는데, 황철석의 풍화는 산소를 소모하고 황철석의 매장은 반대로 상용하는 산화물을 지표환경에 잔류시킨다. 현재 황산이온의 공급과 제거속도는 평형에 가까운 상태이지만, 최근에 동위원소를 이용한 두 연구에서 해양에서 매장되는 황 중 황철석의 비율은 22~36%, 육상에서 풍화를 통해 공급되는 황산이온에 황철석의 산화가 기여하는 비율은 35~42%로 각각 추정되어, 황 순환에서 산소를 소모하는 반응이 상대적으로 우세할 수 있음을 보여준다. 빙하코어에서도 대기 중 산소 농도 감소의 기록은 확인되지만, 그 속도는 탄소와 황의 순환에서 단 2% 정도의 불균형을 필요로 하는 수준에 불과하다. 결국 환원된 유기 탄소의 매장이 황철석과는 반대로 풍화보다 빠른 경우가 아니라면, 황철석의 풍화와 매장에 대한 추정치는 현재의 안정된 산화환원 환경에 부합하기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 모순에 대한 답을 육상의 미생물에 의해 매개되는 황산염 환원에서 찾고자 하였으며, 비교적 단순한 기반암 조성의 하천을 대상으로 한 연구와 동위원소 질량균형 모델을 이용한 이론적 접근을 함께 진행하였다. 하천에서의 황 동위원소 연구결과는 기반암의 풍화를 통해 생성된 황산이온의 1/5 이상이 미생물에 의한 황산염 호흡으로 소모되었으며, 육상에서도 유의미한 양의 황화철이 매장되었을 가능성을 시사한다. 황 순환 질량균형 모델 또한 산화환원 평형을 위해서는, 육상에서 제거되는 황산이온이 전체 풍화 산물의 10~30%, 수반되는 동위원소 분별 또한 일반적인 담수 환경에 부합하는 20% 이하를 요구해, 실험 대상인 하천에서 추정된 황 순환과 유사한 경향을 보여준다. 물론 질량균형 모델에 황산염 광물과 황철석 동위원소 조성 등의 불확실이 존재하고, 보다 많은 하천 유역에 대한 자료 확보 또한 요구되지만, 이번 연구 결과는 현재까지 대부분의 황 순환 모델에서 고려되지 않은 육상 환경에서 황산염 환원의 중요성과 대륙의 풍화와 생산성 변화가 황 순환에 미친 영향에 대한 깊이 있는 연구의 필요성을 환기시켜 준다.

구두 28-13

Combining isotopic and pyrosequencing approaches to assess denitrification in a hyporheic zones

Heejung Kim^{1,*}, Han-Sun Ryu¹, Dugin Kaown²

¹Department of Geology, Kangwon National University, hydroqueen@kangwon.ac.kr

²School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

Hyporheic zones are considered hot spots for the numerically vast and phylogenetically diverse microbial communities found between surface water and groundwater. However, the prokaryotes in these zones have rarely been investigated in detail. To date, little is known about the hydroecology of hyporheic zones. The effect of change in hydraulic conditions on the community variation of indigenous microorganisms and the water quality was examined based on the determined depth of the zone. The $d^{15}\text{N-NO}_3$ and $d^{18}\text{O-NO}_3$ values of nitrate were compared to evaluate the transformation processes of nitrate in each flow zone. The isotope values indicated that different denitrification processes and different origins of water were identified in upwelling and downwelling zones. Here, we report on the use of the pyrosequencing technique to elucidate the denitrifying bacteria (DNB) community profiles associated with the dual isotope data and hydrological patterns in hyporheic zones. Analyses of the zones of microbial communities showed that the new genera, species and isotope data were associated with the hydrological uniqueness of the hyporheic zones. The 16S rRNA sequences were determined and phylogenetic analysis revealed that the DNB communities distributed and gathered the genus *Comamonas denitrificans* within the mixing patterns of the hyporheic zones, and that the relative scarcity of these microbials in the zones was caused by the lack of appropriate substrates. This study showed that pyrosequencing and isotopic approaches are very useful for evaluating the transformation processes of nitrate in upwelling and downwelling water of a hyporheic zone.

Acknowledgments: This work was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (grant numbers 2019R111A2A01057002).

구두 28-14

Microbial Fe(III) reduction in clay minerals as a potential iron source

Jinwook Kim

Department of Earth System Sciences, Yonsei University, jinwook@yonsei.ac.kr

The limited availability of iron (Fe) in the Ocean, compared to major nutrients such as nitrate and phosphate, leads to underutilization and thus outgassing of upwelled CO₂ in some areas of the modern Southern Ocean. Relief of this Fe limitation, and sequestration of carbon into the deep ocean, is thought to enhance the Southern Ocean's ability to act as a mediator of global climate over millennial to ice-age timescales. However, the source, transport, and fate of Fe in the Southern Ocean has been widely debated, with sources ranging from dust, ice sheets, iceberg rafted debris to sub-ice shelf and other continental shelf sediments. With evidence supporting spatially variable contributions of Fe from numerous sources to the Southern Ocean, consideration of the configuration of ice shelves and their dynamics is vital for understanding how changes in Fe supply help to drive carbon uptake in the Southern Ocean. Microbial reduction of structural Fe(III) in clay minerals could be a significant pathway of supplying the bioavailable Fe into the Ocean. The mechanism of biogenic Fe-liberation from the clay minerals will be discussed.

포스터발표

10. 27. 화 - 29. 목

- 1 고기후·고해양학 및 제4기지질학
- 2 광물학
- 3 광상학 및 자원지질학
- 4 구조지질학 및 지체구조학
- 5 빙권과학
- 6 암석학
- 7 일반지질학(자원정책 등)
- 8 지구물리학 및 물리탐사
- 9 지구화학
- 10 지질공학 및 응용지질학
- 11 지질유산
- 12 지질정보학(GIS 및 원격탐사)
- 13 층서·퇴적학 및 석유지질학
- 15 환경지질학 및 지하수학
- 18 대륙주변부의 지질 및 지각 구조: 한반도 동남부를 중심으로 ㉮
- 19 독도 및 주변 해저화산의 성인 및 변동연구 ㉮
- 21 영남지역 대단층계에 대한 육상 및 해양에서의 지진지질학 연구결과 토의 ㉮
- 22 원자력 발전 전주기 지질학적 부지 안전성 평가 ㉮
- 27 해양지각 및 맨틀의 지구화학/지구물리/지구시스템 연구 ㉮

㉮ 표시는 특별세션임

포스터 1-1

동해 한국대지 코어 퇴적물(E09-08)에 대한 화학층서와 고해양환경

Chemostratigraphy and Paleoenvironments inferred from a core sediment, E09-08, Korean Plateau of the East Sea, South Korea

현상민^{1,*}, 김진경², 강나연¹

Sangmin Hyun^{1,*}, Jin-Kyoung Kim², Nayeon Kang¹

¹한국해양과학기술원 해양환경연구센터, smhyun@kiost.ac.kr

²FIO Lab of Marine Geology and Geophysics

동해 한국대지에서 얻어진 코어 퇴적물(E09-08)에 대해 무기 및 유기 화학적 층서(chemostratigraphy)를 이용하여 정확한 층서를 재검토했다. 화학적 층서는 유공층의 산소 동위원소 비와 유기화합물 alkenones에 의해 도출된 SST를 기준으로 결정했다. 또한 일부 층에서는 방사성 탄소 동위원소(¹⁴C age)와 화산재 층을 이용해서 연대를 결정했다. Alkenones에 근거한 SST의 변화는 최소한 MIS (Marine Isotope Stage) 9까지는 명확한 빙기-간빙기의 주기적 변화를 보이고 있다. 반면, 유공층에 의한 산소 동위원소 비는 MIS 6 정도까지는 주기적 변화를 보이고 있다. 특히, 동해에서 빙기 동안에 산소 동위원소 값이 가벼워지는 현상은 MIS 2, 6에 나타나고 있어 층서 설정에 유효한 지시자로 사용될 수 있다. 한국대지에서와 같이 화산재가 협재되어 유공층이 결핍된 퇴적물에 대해서는 유공층의 산소 동위원소 값과 유기화합물에 의한 층서 결정에 어려움이 있을 수 있다. 따라서 동해 한국대지에서 화학적 변화가 뚜렷하지 않은 MIS 9 이전에는 빙기-간빙기의 주기적 변화가 뚜렷하지 않은 특징이 있다. 이 연구에서는 기존 동해에서 얻어진 연구결과(Kido *et al.*, 2007)와 범지구적으로 통용되는 SPECMAP 자료와의 검토 및 퇴적학적 특징을 참고하여 이 코어 퇴적물의 연대를 50만년으로 결정했다. 퇴적물 자체의 복잡성으로 인해 화학적 층서 설정에 어려움이 있을 수 있기 때문에 우선적으로 퇴적학적 특성을 고려한 연구가 선행되어야 정확한 층서 결정에 유리하다고 판단된다.

포스터 1-2

척치 고원 사면 코어 퇴적물의 광물학적 특성 및 기원지 연구 Mineralogical Characteristics and Provenance of sediments deposited in the slope of Chukchi Plateau

구효진*, 민수영, 임효진, 류나형, 조현구

Hyojin Koo*, Suyeong Min, Hyojin Lim, Nahyeong Ryu, Hyengoo Cho

경상대학교 지질학과 및 기초과학연구소, ghj6011@nate.com

척치고원은 베링해, 보퍼트해, 동시베리아해와 인접한 지역으로, 퇴적 시기에 따른 빙상의 발달과 해류의 변화에 의해 퇴적물의 유입이 크게 달라지는 지역이다. 이번 연구에서는 척치 고원의 사면에서 획득한 코어 퇴적물 ARA09C-St03을 이용하여, 광물학적 특징을 알아보고 퇴적시기에 따른 기원지의 변화를 추적하고자 하였다. ARA09C-St03 코어(길이 4.75 m, 수심 820 m)는 상부로부터 3개의 갈색층과 회색층이 번갈아가며 나타나며, Unit 1 (갈색층, 0-60 cm), Unit 2 (회색층, 60-148 cm), Unit 3 (갈색층, 148-214 cm), Unit 4 (회색층, 214-359 cm), Unit 5 (갈색층, 359-412 cm), Unit 6 (회색층, 412-475 cm)로 구분된다. 또한, Unit 2는 IRD (ice rafted debris) 함량의 차이를 기준으로 Unit 2A와 2B로 구분되었다. 퇴적물의 색, IRD의 함량을 주변 코어의 암석학적 층서와 대비한 결과, 후기 ARA09C-St03 코어는 MIS 5 까지의 기록을 가지는 것으로 판단된다. 북극에서의 퇴적물 유입은 강으로부터의 직접 유입, 해류를 통한 유입, 빙산을 통한 유입으로 고려될 수 있다. 캐나다 군도 및 북아메리카 북부 지역은 카올리나이트, 돌로마이트, 석영이 풍부한 반면, 동시베리아 지역은 일라이트와 장석이 풍부하다. 따라서, 유닛에 따른 광물 조성의 차이와 퇴적시기에 따른 환경 변화를 통해 기원지의 변화를 추적할 수 있다. 회색층의 Unit 2B, 4, 6은 모두 세립질 퇴적물로 구성되며, 일라이트와 장석의 함량이 높은 특징을 나타낸다. 이 시기동안 퇴적물 기원지는 동시베리아의 콜리마 강(Kolyma River)과 인디기르카 강(Indigirka River)로 판단되며, 빙기동안 확장된 빙상과 노출된 대륙붕으로 인해 강으로부터 직접적인 퇴적물 공급이 이루어졌다. 한편, Unit 2A는 IRD 함량이 높고 일라이트, 카올리나이트, 석영 및 돌로마이트의 함량이 높으며, 강으로부터 유입과 함께 빙산을 통한 퇴적물의 유입이 증가하였음을 나타낸다. 북극해에서 일반적으로 따뜻한 시기를 나타내는 갈색층들(Unit 1, 3, 5)은 일라이트, 장석, 돌로마이트의 함량이 높고, 모래와 자갈의 함량이 간헐적으로 높은 특징을 보이며, 보퍼트 환류와 빙산을 통한 캐나다 군도 퇴적물과 연안류를 통한 동시베리아 퇴적물이 모두 공급되는 것으로 보인다.

포스터 1-3

강원도 평창군 진부면 일대에 발달한 하안단구 특성 및 연대측정 Characteristic features and Age dating of the Fluvial terrace in the Pyeongchang Jinbu-myeon area, Gangwon-do

이재훈*, 이희권

Jae-Hun Lee*, Hee-Kwon Lee

강원대학교 지질학과, jhn000203@naver.com

하안단구는 현재보다 고도가 높은 곳을 흘렀던 고하천(paleo-stream)에 의해 형성되었던 하도나 범람원이 기후 변화나 지반 용기에 의한 하천의 활발한 하방침식으로 인해, 현 하천보다 높은 고도에 남게 된 충적지형이다. 연구지역은 강원도 평창군 진부면 오대천 일대이며, 하안단구면의 분포를 확인하기 위해 ArcGIS 프로그램을 이용하여 수치지형도를 수치표고모델(Digital Elevation Model; DEM)화하여 각 지역별 유역분지의 고도 분석 및 하곡 평면도를 작성하였다. 지형분석을 토대로 야외 조사를 실시하여 총 4단의 하안단구를 발견하였으며 현 하상비고 기준으로 1단구(T1)의 퇴적면은 약 5 m이고 퇴적층 두께는 약 3 m의 필 테라스(fill terrace)형태이다. 나머지 단구(2~4단구)들은 기반암인 트라이아스기 사암에 발달한 스트래드 단구(strath terrace)형태이다. 2단구(T2)의 침식면은 약 5 m, 퇴적면은 약 10 m로서, 퇴적층 두께는 약 5 m이다. 3단구(T3)의 침식면은 약 15 m, 퇴적면은 약 20 m로서, 퇴적층 두께는 약 5 m이다. 4단구(T4)의 침식면은 약 20 m이며, 퇴적면은 약 40 m로서, 퇴적층 두께는 20 m이다. 발견한 하안단구 퇴적층의 특성을 파악하고 채취한 시료로부터 90~250 μm 입자 크기의 석영을 분리하여 광역기 루미네선스(Optically Stimulated Luminescence; OSL)와 전자스핀공명(Electron spin resonance; ESR) 연대측정 결과를 비교 및 분석을 통해 각 하안단구 퇴적층의 퇴적시기를 규명하였다. 1단구의 퇴적층 OSL 연대는 약 1만 6천년 전이며 Ti ESR 신호가 하천환경에서의 퇴적 중 100% Bleaching 되었다고 가정했을 경우 ESR 연대값이 OSL 연대값의 약 3배가 되며, 70~80% Bleaching 되었다고 가정했을 경우 ESR 연대값과 OSL 연대값이 오차범위 내에 일치한다. 나머지 단구 퇴적층의 OSL 및 ESR 연대는 현재 비교 분석을 진행 중이다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 “한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발” 사업의 연구비지원(2017-MOIS31-006), 행정안전부의 지진방재분야 전문인력양성사업의 지원을 받아 제작되었습니다.

포스터 2-1

From Planetesimals to Terran's World

Suyeon Heo^{1,*}, Yongjae Yu^{1,2}

¹Department of Geological Sciences, Chungnam National University, suyeon@cnu.ac.kr

²Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University

Planetary accretion on Earth is an on-going process as meteoroids (and seldom asteroid or comets) are continuously supplied to increase the total mass. Earth probably reached half of present mass around 4560 Ma. Around 4544 Ma, Earth reached 90% of its current mass. Earth probably acquired 99% of its mass within 46 million years from the onset of planetary accretion. If Earth is entirely synthesized from accretion of planetesimals, the maximum available heat energy can reach as high as 60,000 K. Of course, such anomalously high temperatures are unlikely because planetesimals never accreted all at once and because converting entire kinetic energy into heat energy is unrealistic. Earth, Venus, and Mercury lies along the mixing trend of rocky and metallic planetary bodies, consistent with its large core fraction. In contrast, smaller core volumes are inferred from Mars and the Moon. The maximum radial growth rate of fully-grown Moon was $1.372 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$, about four orders magnitude smaller than that of the Earth, indicating that planetary volume itself is a pivotal factor in the growth rate of planetary bodies.

포스터 2-2

Magneto-static Energy of Magnetite and Hematite

Hanul Kim¹, Yongjae Yu^{1,2,*}

¹Department of Geological Sciences, Chungnam National University, yongjaeyu@cnu.ac.kr

²Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University

Micro-magnetic configuration of magnetic minerals is dictated by various energies including exchange energy, magneto-static energy, magneto-crystalline energy, magnetic potential energy, and magneto-elastic energy. In particular, magneto-static energy is responsible for the nucleation and growth of magnetic domains with different magnetization directions. For an ensemble of stable single-domain (SSD) magnetic particles with uniaxial anisotropy, magneto-static energy of representative magnetic minerals were calculated. We found that magneto-static energy is strongly dependent on the angle between the magnetization and particle elongation. Volume transition from superparamagnetic state to SSD occurred from 30 to 60 nm for magnetite whose saturation magnetization was strong ($480,000 \text{ A m}^{-1}$). For hematite, volume transition occurred from 80 to 200 nm whose saturation magnetization was weak (2500 A m^{-1}).

포스터 2-3

Shallow Bias in Magnetic Inclination of Sediments

Yoo Kyoung Yee¹, Yongjae Yu^{1,2,*}

¹*Department of Geological Sciences, Chungnam National University, yongjaeyu@cnu.ac.kr*

²*Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University*

Rarity of high-precision apparent polar wander (APW) path for East Asia results from the uneven temporal coverage of paleomagnetic pole data with severe lithologic bias towards sedimentary rocks. It is well-known that paleomagnetic data from sedimentary rocks are often biased towards shallower magnetic inclination. In practice, shallower magnetic inclination results in underestimation of paleo-latitude determinations. Magnetic inclination reflects the degree of flattening (i.e., by implication compaction) and porosity of sediments. We found that porosity decreased as volume of sediments decreased. Amount of inclination shallowing was proportional to the particle rotation angles with respect to a horizontal axis. Impact of inclination shallowing is fairly straightforward as the shallow inclination lowers the magnetization intensity.

포스터 2-4

Petrological Delineation of Pumice Eruptions in Kirishima-Kinkowan National Park, Japan

Eun-Hye Choi¹, Yongjae Yu^{2,3,*}

¹*Bukhansan National Park Eco-Learning Institute, Korea National Park Service, yongjaeyu@cnu.ac.kr*

²*Department of Geological Sciences, Chungnam National University*

³*Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University*

Mt. Sakurajima is an active volcano located in southern Kishu, Japan. It consists of two main cones (Kitadake, 1117 m; Minamidake, 1040 m) as well as several small parasitic volcanoes. The Kirishima-Kinkowan National Park includes more than 20 volcanoes, encompasses the summits of Mt. Sakurajima. A total of 22 pumice samples were collected from Mt. Sakurajima at sites Nabeyama. Nabeyama represents the oldest tephra sequence among six well-recognized pyroclastic layers. Nabeyama pumice displayed abundant gas bubbles which were colorless to light-brown in color. Phenocrysts are dominated by anhedral feldspars and quartz. Compositional analyses indicate that all the cations were inversely correlated with silicate content. Nabeyama pumice fell in a "Rhyolite" region on a total alkaline silicate diagram for volcanic rocks. Thermal demagnetization of Nabeyama pumice showed multidomain (MD)-like behavior with distributed unblocking temperatures. Unblocking temperatures range up to 580°C, indicating that MD magnetite is the principal remanence carrying minerals.

포스터 2-5

Self-reversed Remanent Magnetization of Haruna Dacite Pumice

Ji-In Jung¹, Yongjae Yu^{2,3,*}

¹*School of Earth, Energy, & Environmental Sciences, Stanford University, yongjaeyu@cnu.ac.kr*

²*Department of Geological Sciences, Chungnam National University*

³*Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University*

Ferrimagnetic titano-hematite ($\text{Fe}_{2-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$) acquire a thermoremanent magnetization (TRM) that is reversed in direction to the Earth's magnetic field. The composition of self-reversed titano-hematite varies from $y=0.51$ to $y=0.73$. Several cylindrical cores 23 mm in diameter and 21 mm in height were cut from unoriented block samples of Haruna Dacite pumice, Japan. Stepwise thermal demagnetizations were carried out for TRM with various applied field intensity. Distribution of unblocking temperatures demonstrates a presence of dual phases. A phase with higher unblocking temperatures (i.e., by implication Fe-enriched) acquired weak magnetization parallel to the applied field. On the other hand, a phase with lower unblocking temperatures (i.e., by implication Fe-depleted) acquired strong reversed magnetization. As a consequence, total TRM showed a self-reversal phenomenon.

포스터 2-6

Decompression of Gas Bubbles in an Ascending Magma

Hyun-Jung Noh¹, Yongjae Yu^{2,3,*}

¹Operations & Production Team, Ambatovy Department, Korea Resources Corporation, yongjaeyu@cnu.ac.kr

²Department of Geological Sciences, Chungnam National University

³Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University

To describe decompression of gas bubbles in an ascending magma, a sequential process of thermal expansion, compression, and bubble decompression was considered. First, thermal expansion involves volume changes with temperature at constant pressure. Second, compression incorporates volume decrease with depth at constant temperature. Third, bubble decompression relates pressure variation (ΔP) and temperature change (ΔT) with a power of n . We found that values of n ranged from 1.00 to 1.22. It is reasonable to set the maximum density of gas bubbles as 1000 kg m^{-3} . We found that density of gas bubbles in an ascending magma is a function of fractional mass of gas phase (f), fractional volume of gas phase (V), and density of liquid and solid fractions, respectively.

포스터 2-7

Reversals of Earth's Magnetic Field: A Gamma Process?

Raegyung Ha^{1,2,*}, Yongjae Yu^{1,2}

¹Department of Geological Sciences, Chungnam National University, thestory21@naver.com

²Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University

Chrons represent time intervals with identical geomagnetic polarity. To date, seafloor magnetic anomaly identified 118 chrons. These 118 chrons include 33 normal and 33 reversed chrons from present to 83 Ma, Cretaceous normal superchron (CNS) from 83 to 121 Ma, and 25 normal and 26 reversed chrons from 121 to 156 Ma. In addition to 118 chrons, paleomagnetic investigation using sediment cores refined additional 169 chrons. Hence, the revised geomagnetic polarity time scale included a total of 287 chrons. It is apparent that the duration of geomagnetic polarity increased with time. In particular, the log-based linear regression from 120.95 to 131.83 Ma yielded statistically significant correlation. For longer chrons, the duration of polarity reversal followed a gamma distribution with $k=1$. This is equivalent to Poisson distribution, suggesting that previous reversals had no effect on future reversal process. On the other hand, the duration of polarity reversal followed a gamma distribution with $k>1$ for shorter chrons. For shorter chrons, previous reversals will inhibit rather than encourage the future reversal event.

포스터 2-8

Crater Depth-to-Diameter Ratio of the Lunar Impact Craters

Yu Kyung Shin^{1,*}, Yongjae Yu^{1,2}

¹Department of Geological Sciences, Chungnam National University, eile3287@naver.com

²Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University

Impact craters have dominated surface features of planetary bodies in the Solar System. Crater density in a given area is proportional to the length of time that surface has been exposed. In other words, an older terrain will have more impact craters than a younger surface. In addition to the crater density determination, the depth to diameter ratio of impact craters provide a first-order constraint on the evolution of lunar surface. A linear linkage between diameter of impact crater (D) and depth of impact crater (d) was tested for Apollo landing sites. For all Apollo landing sites, it is evident that D and d were linearly correlated. The minimum value of the coefficient of determination ($R^2=0.82$) was observed for Apollo 15 landing site. Overall, crater depth-to-diameter ratio of the lunar impact craters was confined from 0.13 to 0.19. Values of the depth to diameter ratio for Apollo landing sites were virtually indistinguishable to those for lunar highlands, implying that impact crater morphology is mainly governed by gravity.

포스터 2-9

명목상의 무수광물의 함수량 측정 방법 연구

A study on the measurement method of water content in nominally anhydrous minerals

오솔비*, 김현나

Sol Bi Oh*, Hyun Na Kim

공주대학교 지질환경과학과, sb811@smail.kongju.ac.kr

명목상의 무수광물(Nominally Anhydrous Minerals, NAMs)은 격자의 결함 또는 표면에 물과 수산기를 소량 함유할 수 있으며, 이에 대한 함수량은 광물 중, 동일 광물 비교 특성뿐만 아니라 지질학적 히스토리, 광물 격자의 결정도, 비표면적, 보관 환경에 따라 수 - 수백 ppm으로 다양하다. 함수량은 맨틀의 물 저장량과 관련이 있으며, 단층비지에 초미세 입자로 존재하는 경우 함수량의 변화가 단층의 움직임에 영향을 줄 수 있다. 이러한 중요성에도 불구하고 함수량을 정량적으로 정확하게 측정하는 방법에 대한 연구는 부족하다. 이에 따라 본 연구에서는 NAMs의 함수 능력에 영향을 주는 다양한 변수를 체계적으로 조사하기 위한 선행 연구로서 신뢰할 수 있는 NAMs의 함수량 측정 방법을 확립하고, 상대습도에 따른 비정질 규산염 나노입자의 함수 능력의 변화를 측정하고자 한다.

본 연구에서는 시그마 알드리치 코리아에서 입자크기가 다른 파우더 형태의 규산염 나노입자 시료를 구매하여 사용했다. 온도 및 습도가 조절이 되는 글러브 박스 내에서 시료를 24시간 이상 보관한 후, 시료 패킹(packing)까지 글러브 박스 내에서 진행하였다. 제작된 시료는 한국기초과학지원연구원으로 가져가 ^1H 고상 핵자기 공명(Nuclear Magnetic Resonance, NMR) 분광분석을 진행하였다. 추가적으로 수소의 개수가 알려져 있는 기준 시료인 폴리디메틸실록산(PolyDiMethyl Siloxane, PDMS)을 이용하여 수소 원자의 양을 정량적으로 계산하였다.

첫 번째로, 글러브 박스 내에서의 습도 조절 여부를 확인하기 위해 시료를 각각 따로 제작하였다. 실험 결과 동일 습도에서 각각 따로 준비된 시료의 NMR 스펙트럼이 거의 유사하게 나타났으며, 이를 통해 글러브 박스 내에서의 습도 환경이 동일하게 재현되었음을 보여주었다. 두 번째로, 패킹된 시료가 분석될 때까지 보관하는 과정에서 변질의 여부를 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 실험 결과 보관 환경에 차이가 있음에도 서로 유사한 결과가 나타났으며, 이를 통해 NMR 로터에 패킹된 시료는 보관 환경의 차이에도 변질되지 않음을 보여주었다. 앞서 나온 결과를 통해 습도에 따른 함수량 변화를 ^1H NMR 분석을 통해 측정할 수 있다고 판단하였으며, 이에 따라 상대습도에 따른 규산염 나노입자의 함수량 변화를 측정하였다. 상대습도 20 - 70%까지 조절하였으며, 실험 결과 상대습도가 증가함에 따라 물과 수산기의 피크 세기가 증가하였고, 이는 규산염 나노입자의 물과 수산기의 양의 증가를 의미한다. PDMS를 이용한 실리카 나노입자의 단위 면적당 수소의 개수 변화 계산 결과, 상대습도가 증가함에 따라 약 6.1 ± 0.4 에서 12.7 ± 0.8 ^1H atom number/nm²로 증가하였다.

본 예비연구를 통해, 광물의 습도 변화에 따른 규산염 나노입자의 물과 수산기의 함량 변화 연구를 ^1H NMR 분석을 통해 측정 가능함을 제시하였으며, 본 결과를 토대로 NAMs의 함수 능력에 미치는 다양한 변수를 체계적으로 연구할 수 있을 것으로 기대된다.

포스터 2-10

대면적 입자 측정 분석법을 이용한 셰일 저류층 내 공극 구조 연구

The study of pore structure in shale reservoir using large-area particle measurement method

박선영^{1,*}, 윤충식², 고용규², 최지영¹, 김민기², 이현석¹

Sun Young Park^{1,*}, Choong-Sik Yoon², Yong Kyu², Jiyoung Choi¹, Min-Ki Kim², Hyun Suk Lee¹

¹한국지질자원연구원, sunyoung@kigam.re.kr

²(주)코셈

셰일가스, 셰일오일, 치밀가스, 치밀오일, 석탄층 메탄을 포함하는 비전통(unconventional) 자원은 전통(conventional) 자원과 다르게 저류층의 미세한 공극에 넓게 퍼져 분포하고 있다. 이러한 비전통 자원의 회수율을 높이기 위해서는 미세 공극들의 구조 연구가 필수적이다. 이러한 공극을 정량적으로 분석하는 방법에는 질소나 이산화탄소, 수은 흡착 실험을 통해 공극물이나 크기분포를 관찰하는 것이 있으며 공극의 형태나 이미지를 직접적으로 관찰하는 방법으로는 전계방사형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)을 이용한 분석이 있다. 전통적인(conventional) 저류층의 경우 연마한 박편 시료를 FE-SEM으로 관찰하면 광물의 분포나 공극의 구조를 관찰할 수 있지만 비전통 저류층의 경우 공극의 크기가 수십 마이크로미터에서 수 나노미터까지 다양하게 분포하고 있고 유기 공극의 경우 연마 과정에서 쉽게 손상되기 때문에 연마된 박편으로는 공극의 이미지를 관찰하기가 어렵다. 이러한 다양한 스케일의 공극을 관찰하기 위해 집속 이온 빔 시스템(Focused Ion Milling, FIB)으로 시료 표면을 전처리하여 FE-SEM으로 연구를 진행해 왔지만 이 경우 시료의 국소부위만 관찰이 가능한 한계점이 있다. 본 연구에서는 이러한 한계점을 보완할 수 있는 대면적 전처리에 적합한 이온 밀링 시스템(Ion Milling System, IMS)을 이용하여 시료를 전처리하고 대면적으로 입자 또는 입도(형상)분포를 확인 할 수 있도록 개발된 분석 장치(Scanning Electron Microscope Particle Analysis, SELPA)를 활용하여 새로운 분석법을 개발하여 셰일의 공극 구조를 관찰하였다. 셰일 저류층 내 공극 구조 연구를 위해 베사리버 층을 대상으로 시추된 A-068 시추공을 사용하였다. 연구에 사용된 A-068 시추공은 Exshaw, Patry, Fort Simpson, Horn River, Nahanni 층으로 구성되어 있고 주구성광물은 석영, 방해석, 백운석, 백운모, 일라이트 등이며 시료 내 총 유기물 함량(Total Organic Carbon, TOC)은 0.15~9.86 wt%로 다양하게 분포하고 있다. 대면적 입도 측정 분석법인 SELPA를 이용하여 A-068 시추공 시료 내 수십 나노에서 수백 마이크로미터 사이즈의 공극의 분포를 관찰하기 위해 mapping을 수행하였고 에너지 분산형 X선 분광법(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)을 활용하여 조성의 분포를 확인하였다. 본 연구에서 개발된 방법을 통해 A-068 시추공 내 공극의 분포 관찰 및 특성 분류 가능성이 확인되었고 향후 비전통 저류층 내 공극 구조 파악에 활용하여 공극의 크기나 형태가 셰일가스 회수 증진에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

포스터 2-11

Structural modifications of microbially iron reduced smectite at high pressure

Moonseon Koo*, Seohee Yun, Wooseung Choi, Yongjae Lee, Jin-Wook Kim

Department of Earth System Sciences, Yonsei University, moonseon@yonsei.ac.kr

The role of microbes in the structural modification of Fe(III)-rich minerals has been elucidated for the last 3 decades suggesting that the conventional concept of thermodynamics and kinetic reaction can be by-passed during the microbial redox reaction. Particularly, microbes are capable of respiring iron the fourth most abundant element in the crust suggesting in the new aspects of mineral diagenesis with a far-reaching implication of elemental cycling and a limit of biosphere. Nontronite at high pressure was proceeded with shock experiments (~30 GPa) and temperature at the same time. However, microbial redox reaction with minerals under high pressure has never been investigated, that could be applied to the changes in physicochemical properties of sediments in the subduction zone.

Shewanella oneidensis MR-1, Fe-reducing bacterium, was inoculated in the degassed M1 medium at pH 8 with 5 g/L of nontronite (NAu-1) as an electron acceptor. Control samples were prepared identically to the experiments except with bacterial inoculation. The extent of Fe(III) reduction in the nontronite was measured by the 1,10-phenanthroline method, and then the time points of the active microbial Fe-reduction were determined for the high pressure experiment. The pressure of 0.7 GPa was applied with QUICK PRESS. The pressure was adapted from the depth-temperature modeling in the Honshu subduction similar to the inoculation temperature (30°C) for the samples.

Preliminary XRD data for the mineral structure modification for each time point and pressure will be discussed. Particularly, we hypothesize that bio-reduced nontronite may show a different behavior under high pressure condition compared to the non-reduced control.

포스터 2-12

경녹니석이 함수광물로서 지진파 비등방성에 주는 영향

Evaluating the role of chloritoid in seismic anisotropy in subduction zones

이정진^{1,*}, Mainak Mookherjee², 김태환³, 정해명¹, Reiner Klemd⁴
 Jungjin Lee^{1,*}, Mainak Mookherjee², Taehwan Kim³, Haemyeong Jung¹, Reiner Klemd⁴

¹서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리학 연구실, ljj2718@snu.ac.kr

²Earth, Ocean and Atmospheric Sciences, Florida State University

³극지연구소 극지지구시스템연구부

⁴Geo-Center of Northern Bavaria, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nürnberg

섭입대는 해구에 평행한 강한 지진파 비등방성과 긴 지진파 지연시간이 나타나는 것이 특징이다. 이를 설명하기 위해, 맨틀 암석 내부의 주요광물인 감람석의 격자선호방향이 주로 사용되어왔다. 그러나 섭입대에 존재하는 함수광물들은 고유의 강한 탄성적 비등방성을 가지고 있으며, 동시에 전단변형에 대해 강한 격자선호방향을 나타내기 때문에 중요하다. 그 중에서도 경녹니석(chloritoid)은 섭입대에 존재하는 중요한 함수광물이지만 경녹니석의 탄성계수, 격자선호방향, 그리고 지진파 비등방성에 대한 연구는 전무하다. 이번 연구를 통해 경녹니석 단결정의 탄성계수 및 탄성적 비등방성을 first principles 시뮬레이션을 통해 처음으로 분석해보았다. 그 결과 경녹니석 결정은 매우 강한 S파 비등방성($AV_s = 47\%$)과 강한 P파 비등방성($AV_p = 22\%$)을 나타냄을 확인하였다. 또한 이번 연구에서는 자연 암석 내에서 다결정질 경녹니석의 격자선호방향을 측정하였다. 경녹니석의 격자선호방향은 [001]축이 암석의 엽리에 거의 수직하게 강한 배열을 보였고, [100]축과 (010)면은 엽리에 거의 평행한 거들 형태의 배열을 보였다. 이번 연구에서 새롭게 얻은 단결정 경녹니석의 탄성계수와 다결정질 경녹니석의 격자선호방향 결과를 함께 사용하여 지진파 비등방성을 계산하였다. 그 결과, 차가운 섭입대에서 관찰되는 해구에 평행한 S파 비등방성이 경록니석의 강한 격자선호방향에 의해 영향을 받을 수 있음이 밝혀졌다.

포스터 2-13

합성 제올라이트-W 및 일가 양이온 치환체의 구조비교 연구

Characterization of synthetic Zeolite-W and its monovalent cation forms

김현수^{1,*}, 김표상¹, 송치현², 이수형², 이시현², 채성민², 이현승², 성동훈¹, 이용문²
 Hyeonsu Kim^{1,*}, Pyosang Kim¹, Chihyun Song², Suhyeong Lee², Sihyun Lee², Sungmin Chae², Hyunseung Lee²,
 Donghoon Seoung¹, Yongmoon Lee²

¹전남대학교 지질환경과학과, 197942@jnu.ac.kr

²부산대학교 지질환경과학과

제올라이트는 다공성 함수광물 중 하나로 높은 표면적과 다양한 동공의 크기, 높은 양이온 치환율을 가지기 때문에 산업 및 실생활 속에서 널리 활용되어져왔다. 물질의 특성을 이해하는 첫 단계로 X-선 회절분석을 통한 원자단위의 구조해석이 흔히 사용되며, 이를 통해서 동공의 형태나 치환의 가능성이 높은 자리를 일차원적으로 설명이 가능하다. 본 연구에서는 천연 제올라이트인 멜리노이트(Merlinoite, $(K,Na)_5(Ca,Ba)_2Al_9Si_{23}O_{64} \cdot 23H_2O$)와 같은 골격 구조를 가진 제올라이트-W를 열수 합성법을 이용하여 준비하였다. $3K_2O : Al_2O_3 : 5SiO_2 : 100H_2O$ 를 배치 조성으로 하여 R. M. Milton의 제조 방법을 따라 합성하였다. 에너지 분산 X선 분광법(EDS)과 열중량 분석(TGA)을 통해 합성물의 화학 조성($K_{6.1}Al_{6.5}Si_{25.8}O_{64} \cdot 16H_2O$, K-MER)을 확인하였다. 비구조 양이온 및 구조 내 물분자 양에 따른 구조적 변화를 이해하기 위해 환류 시스템을 이용한 일반적인 이온 교환법을 사용하였으며, 제올라이트-W의 일가 양이온 치환체(M-MER, M=Li⁺, Na⁺, Ag⁺, NH₄⁺)를 제작하였다. 정밀한 공간군의 구분 및 구조해석을 위해 포항 가속기연구소의 고분해능 X선 분말 회절 빔라인(High-Resolution Powder Diffraction, 9B 빔라인)에서 실험을 수행하였다. 측정된 데이터는 리트벨트법을 사용하여 분석을 실시하였다. 분석 결과 정방정계인 I4/mmm 공간군으로 확인되었으며, Li-MER에서 K-MER까지 치환된 양이온의 크기에 비례하여 a축이 증가하였다. c축에서는 Li-MER에서 Ag-MER까지 양이온의 크기에 비례하여 증가하나 K-MER에서 축 길이가 급격하게 줄어드는 것을 확인하였다. 단위포의 경우 Ag-MER이 가장 큰 반면 K-MER은 가장 작은 것으로 관찰되었다. MER에서 H₂O의 weight%는 치환된 양이온의 크기에 의해 기하급수적으로 감소한다. 이를 통해 제올라이트 내의 물의 양과 단위포의 격자상수는 비구조 양이온의 크기에 따라 변화함을 확인하였다.

포스터 2-14

북극 동시베리아해 망간단괴의 광물-화학조성

Mineral-chemical compositions of Manganese nodules in the East Siberian Sea, Arctic

구효진*, 신은주, 유혜진, 조현구

Hyojin Koo*, Eunju Shin, Hyejin Yu, Hyengoo Cho

경상대학교 지질학과 및 기초과학연구소, ghj6011@nate.com

북극해 망간단괴는 카라해(Kara Sea), 바렌츠해(Barents Sea), 랍테브해(Laptev Sea), 동시베리아해(East Siberian Sea), 척치해(Chukchi Sea) 등에서 발견되었으며, 심해저 망간단괴와 달리 얽은 수심의 대륙붕에 주로 분포하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 북극해 망간단괴의 형태와 내부조직, 광물-화학조성에 관해서는 잘 알려지지 않았다. 이번 연구에서는 지난 3차례의 아라온호 탐사(2012, 2017, 2019)동안 동시베리아해 대륙붕에서 획득한 2천여 개의 망간단괴를 이용하여, 동시베리아해 망간단괴의 특징을 알아보고자 하였다. 모든 단괴들은 외형적 특징 구분을 위해 형태와 크기를 측정하였으며, 대표적인 단괴들을 선정하여 절개면을 관찰하고, 송곳을 이용하여 구분된 내부조직별 부시료를 채취하였다. 부시료들은 X선 회절분석(XRD)과 주사전자현미경 분석(SEM-EDS)을 통해서 광물조성과 화학조성을 분석하였다. 동시베리아해 망간단괴는 대부분 3 cm 이하의 구형으로 산출되며, 소량의 비구형 단괴들(타원형, 탁상형, 튜브형)이 확인된다. 내부조직은 다공질대(porous structure), 층상대(layered structure), 주황색의 얇은 층(orange-colored thin layer), 핵(nuclues) 등 4가지로 구분되었다. XRD 분석 결과, 망간단괴를 구성하는 주요 광물은 버네사이트(birnessite), 부서라이트(buserite), 토도로카이트(todorokite), 버나다이트(vernadite) 등 산화망간광물과 석영, 장석 등 규산염 광물로 확인되었다. 내부조직과 관련하여 다공질대와 층상대에는 망간 광물이 풍부하지만, 두 조직간의 광물 조성 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 핵은 석영, 장석 및 점토광물과 소량의 망간 광물로 구성된다. 동시베리아해 망간단괴는 전반적으로 Mn/Fe ratio가 매우 높고, Co+Ni+Cu의 함량은 낮은 특징을 보인다. 내부조직과 관련하여 다공질대와 층상대는 Mn이 풍부하며, 주황색의 얇은 층은 Fe가 풍부하다. 또한, Fe는 P와 양의 상관관계를 보인다.

포스터 2-15

소듐-산소 고체상 핵자기공명기법을 통한 비정질 소듐 규산염의 구조 연구

An investigation on sodium silicate glasses through NaO solid-state NMR spectroscopy

이정재*, 이성근

Jeongjae Lee*, Sung Keun Lee

서울대학교 지구환경과학부, jl635@snu.ac.kr

비정질 규산염 유리의 원자단위 구조에 대한 연구는 지구 내부에 존재하는 암석 용융체의 구조를 간접적으로 규명하여 여러 거시적인 지질활동에 대한 미시적인 메커니즘을 제공할 수 있다. 하지만 지난 세기에 걸친 심도있는 연구에도 불구하고 비정질 고체의 단거리 및 중거리 구조에 대해서는 아직도 알려지지 않은 부분이 많이 존재한다. 본 연구에서는 단거리 구조분석에 특화된 분석도구인 고체상 핵자기공명을 활용하여 $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2=1:2$ 조성을 가지는 비정질 유리를 연구하였다. 특히, 소듐과 산소간의 공간적 근접성을 확인할 수 있는 이종핵 상관(heteronuclear correlation) 기법과 비연결산소와 연결산소를 산소 스펙트럼상에서 구분케 하는 MQMAS (multiple quantum magic-angle spinning) 기법을 본 샘플에 동시에 적용하여 비정질 구조에서 연결산소와 소듐 원자가 공간적으로 근접하여 있다는 사실을 확인하였다. 본 연구는 통상적으로 받아들여져 왔던 비정질 유리의 미시적인 구조 모델인 교란된 랜덤네트워크(modified random network) 모델에 수정이 필요함을 시사하며, 거시적으로는 규산염 마그마 내부에서 소듐의 확산 계수나 소듐-규소의 혼합 시에 발생하는 자유 에너지 변화 등의 정확한 계산에 도움이 될 것으로 기대한다.

포스터 3-1

고남산 화성복합체와 관련된 Fe-Ti (-V) 광화작용의 형성과 기원

Formation and origin of Fe-Ti (-V) mineralization related to the Gonamsan intrusion

이지현^{1,2,*}, 김의준¹, 양석준¹, 신승욱¹, 조성준¹, 신동복²Jihyun Lee^{1,2,*}, Euijun Kim¹, Seokjun Yang¹, Seungwook Shin¹, Seongjun Cho¹, Dongbok Shin²¹한국지질자원연구원, wlgus6094@kigam.re.kr²공주대학교 지질환경과학과

신원생대 암상형(sill) 고남산 화성 복합체는 고원생대 변성암 복합체 내 남북방향으로 연장 5 km, 폭 1.5 km로 관입하였으며, 암상학적으로 하부, 중부, 상부로 세분된다. 하부와 중부는 규산염암(섬록암, 몬조섬록암, 몬조반려암)과 다양한 형태와 규모의 Fe-Ti (-V) 광화작용이 교호하고, 상부는 규산염암(석영 몬조섬록암)만으로 구성된다. 하부의 광화작용은 연장 ~150 m, 폭 100 m, 최대 60 m 두께를 갖는 2개조의 층상(stratiform) 고품위 광체로 발달하고, 철 산화광물(자철석, 티탄철석, 침정석)과 규산염광물(각섬석, 감람석($Fe_{39.4-67.6}$), 휘석($Mg^{\#}= 55.7-73.9$), 사장석($An_{95.8-97.2}$))이 교호하는 미세 층상구조를 이룬다. 중부의 광화작용은 고·저품위 렌즈상과 저품위 산점상으로 발달한다. 렌즈상 광화작용은 ~2 m 폭으로 주변 몬조섬록암과 뚜렷한 경계를 보이며 발달하고, 산점상 광화작용은 최대 30 m 두께로 몬조섬록암과 교호하는 oxide-apatite 반려암 내 발달한다. 고품위 렌즈상은 철 산화광물(자철석, 티탄철석, 침정석)과 각섬석이 우세하고, 소량의 녹니석과 인회석으로 구성되나, 저품위 렌즈상·산점상은 휘석($Mg^{\#}= 34.4-55.5$), 감람석($Fe_{14.5-20.9}$), 사장석($An_{25.8-36.2}$), 티탄철석, 자철석, 인회석 및 소량의 흑운모, 각섬석, 황화광물로 구성된다. 마지막으로 맥상 광화작용은 2 cm 내외의 폭으로 몬조섬록암 내에 발달하며, 구성광물은 저품위 광화작용과 유사하다. Fe-Ti (-V) 광화작용의 전암분석 결과는 철 산화광물의 함량에 크게 영향을 받고 있으나, 하부에서 중부와 상부로 가면서 규산염암의 광물 조합 변화에 따른 일정한 변화 양상을 보여준다. 상대적인 층서에 따른 주원소, $Mg^{\#}$, P_2O_5 의 변화와 주 구성광물(장석(An %), 휘석($Mg^{\#}$), 감람석(Fe %))의 조성 변화는 마그마의 분화가 하부에서 상부로 진행되었음을 지시하고, 새로운 마그마의 주입이나 층서의 붕괴에 따른 혼염의 증거는 관찰되지 않는다. 자철석 내 미량원소의 부화-결핍 양상은 공생하는 규산염 광물의 변화 양상과 잘 부합하고, 고품위 층상 광체에서 고품위 렌즈상 광화작용으로 체계적인 조성적 변화 양상을 보이거나 중부에서는 다소 상이한 결과를 보인다. 자철석은 하부에서 고온의 마그마로부터 정출되었으며, 상부로 가면서 더 분화되고 냉각된 마그마로부터 정출되었음을 보여준다. 종합적으로, 고남산 화성복합체와 수반되는 Fe-Ti (-V) 광화작용의 산상과 광물 조합, 상대적인 층서에 따른 구성광물의 조성적 변화 양상은 화성복합체가 단일 마그마 챔버 내에서 내부적으로 밀도에 따른 층의 분리가 진행된 후, 개별 층에서 개별적인 분화가 진행되었음을 시사한다. 고남산 화성복합체 내 배태된 Fe-Ti (-V) 광화작용의 다양한 산상과 복잡한 분포는 화성복합체의 복잡한 분화과정에 강하게 규제되고 있음을 보여준다.

포스터 3-2

모암 특성에 따른 금은광상 광석광물 및 황동위원소 조성 비교

Comparison of ore mineralogy and sulfur isotope compositions
between Au-Ag deposits in different host rock characteristic이상용^{1,*}, 신동복¹, 조재국¹, 임헌경¹, 유현민²Sangyong Lee^{1,*}, Dongbok Shin¹, Jaeguk Jo¹, Heonkyung Im¹, Hyunmin Yu²¹공주대학교 지질환경과학과, tkddy3454@naver.com²주대영이엔씨

충남 공주일대의 지질은 경기육괴편마암이 기반암으로 전역에 자리잡고 있으나 중앙부의 북동-남서방향 주향이동단층을 기준으로 남동지역에는 대보 및 불국사관입암류가 넓게 분포하고 있어 대비를 보이고 있다. 공주일대에는 열극충진형 석영맥 금광상이 발달하며, 모암의 차이에 따른 금광화작용 특성을 비교하기 위해 8개 광상을 대상으로 암석기재학, 광물화학 및 황동위원소 분석을 수행하였다. 전체적으로 북서지역 광상은 황철석>유비철석>자류철석>방연석>황동석 순으로 우세하게 산출되며, 남동지역은 황철석>방연석>섬아연석>자류철석>황동석 순으로 산출량이 높다. 모든 광상에서 황철석 산출이 두드러지지만 북서지역에는 유비철석이 남동지역에는 방연석, 섬아연석이 다수 산출된다. 금광상들의 에렉트럼은 광화작용 후기에 금속광물의 균열대를 충전하며 정출된 것으로 보이며 에렉트럼을 배태하는 금속광물에 따라 금-은 함량의 차이를 나타낸다. 황동위원소 분석결과 북서지역 금광상은 -1.8~10.1%(avg. 2.3%), 남동지역은 0.3~13.8%(avg. 6.2%)의 조성을 보여 남동지역 광상들이 북서지역에 비해 높은 황동위원소조성을 보인다. 연구지역 모암인 편마암의 황동위원소조성은 -6.2~3.5%(avg. -0.7%)이고 남동지역 화강암의 황동위원소조성은 5.1~12.5%(avg. 8.2%)으로 화강암이 편마암보다 현저히 높은 조성을 보인다. 이러한 특징은 북서 및 남동지역 금광상들의 황동위원소조성이 각각 주변 모암 및 화성암의 영향을 크게 받았음을 시사한다. 이상의 연구결과를 종합해 보면 편마암이 우세한 북서지역 광상과 화강암이 산출이 두드러진 남동지역 광상은 암석기재학 및 황동위원소 조성의 현저한 차이를 보이고 있어서 이들 암석이 광상형성에 중요한 역할을 했을 것으로 추정된다.

포스터 3-3

홍천 희토류 광화대의 산출양상에 따른 분광학적 특성 Spectral Characteristics of REE Ore Occurrence in Hongcheon Area

Emmanuel Habimana^{1,*}, 유병운², 유재형³
Emmanuel Habimana^{1,*}, ByoungWoon You², Jaehyung Yu³

¹충남대학교 우주지질학과, habimana838@gmail.com

²한국지질자원연구원 DMR융합연구단

³충남대학교 지질환경과학과

희토류 원소는 란타넘(La)부터 루테튬(Lu)까지의 란탄족 15개 원소와 스칸듐(Sc)과 이트륨(Y)을 포함하는 17개 원소를 지칭한다. 이들 원소의 지각 함유량이 매우 적어 이들을 함유한 광물의 경우 희소광물로 취급되며, 특히 IT 산업의 주원료로 활용되어 국가전략광물로 이들 자원의 확보가 매우 중요하다. 국내에는 충주, 홍천 일대에 희토류 광화대가 분포하며, 특히 홍천 희토류 광화대는 경기육괴 중앙 춘성분지의 남쪽 경기기저 변성암 복합체에 해당되며, 흑운모-각섬석 편마암을 모암으로 자철석을 함유하는 탄산염암 광화대로 남북으로 좁고 길게 시트(sheet)상으로 분포하며, 주변으로 페나이트 변질대가 분포한다. 북부, 중부, 남부로 나뉘어 분포하며 연장은 약 2.2 km 이다. 중부를 포함한 희토류 광화대 일부가 논으로 덮혀 있지만 북광체와 남광체의 경우 주 광체가 지표에 노출되어 탐사 및 연구에 유리하다. 본 연구는 카보나타이트를 모암으로 하는 국내 최대 매장량의 홍천 희토류 광화대의 흑운모-각섬석 편마암과 희토류와 철의 광화작용을 포함하는 탄산염암을 주 연구 대상으로 선정하였다. 모암인 흑운모-각섬석 편마암은 주로 섀캠브리아기의 편마암으로 흑운모가 우세하거나 흑운모-각섬석이 함께 산출되는 두가지 산상으로 구분된다. 또한, 희토류 광화대는 자철석을 수반하여 관찰되는데 야외 산상만으로는 희토류가 부화된 광화대와 철광체만 부화된 비광화대를 구분하기 쉽지 않다. 분광분석을 통한 탐사기법은 다른 분석법들과 비교하여 상대적으로 경제적, 시간적으로 효율적인 장점을 갖고 있고, 그 활용범위가 넓어지는 추세이다. 본 연구는 홍천 희토류 광화대 일대에서 채취한 시료를 모암, 페나이트 변질대 및 희토류 광체 특성에 따라 분류하고, 다양한 산출양상에 따른 분광학적 특징을 파악하였다. 본 연구의 결과는 연구지역인 홍천 희토류 광화대 일대 뿐만 아니라 다양한 희토류 광화대를 효율적으로 분석, 탐사함에 있어 기초자료로써 활용될 수 있을 것으로 생각되며, 궁극적으로 희토류 자원확보에 원격 탐사적 기법을 활용하는 데 기여 할 것으로 기대된다.

포스터 4-1

암석 변형 모사실험 및 최소자승기법을 적용한 변형과정 내의 입자군집 변형률 분석

Strain rate analysis of deformed single-phase aggregates using rock analogs and the least-square method

김성실^{1,*}, 하창수²
Sungshil Kim^{1,*}, Chang Su Ha²

¹전남대학교 지구과학교육과, neogeo94@hotmail.com

²전남대학교 교육대학원

암석 변형 구조에 대한 연구는 암석의 고온-고압 조건에서의 변형 실험 등을 통해 변성암 및 구조지질학 분야에서 꾸준히 수행되어왔다. 특히, 연성 전단대(ductile shear zone)와 같은 자연 상태에서 관찰되는 암석의 미구조 형성 및 변형 기작을 이해하는데 주요한 연구 결과를 산출해왔다. 그러나, 자연 상태에서 관찰되는 암석 구조나 변형 실험의 결과는 그 중간 과정의 변화를 연속적으로 수행할 수 없어, 그 대안으로 광학적/광물학적 유사성을 갖는 물질을 이용하여 변형 모사 실험이 수행되어 오고 있다. 이번 연구에서는 암석 변형 중 온도 및 변형률에 대한 단일 결정집합의 성장 및 변형 과정을 분석하기 위해 석영과 유사한 광학적 성질을 가지는 유사물질로서 노캄퍼(Norcmaphor)를 사용하였다. 이러한 유사물질은 고온/고압의 실험조건을 필요로 하지 않기 때문에 입자의 변형 과정에 대한 중간 변화를 지속적으로 관찰할 수 있다는 장점을 지닌다. 이러한 단일 유사물질 결정집합의 성장 및 변형 중의 연속적 변화과정을 현미경을 통해 지속적으로 취득하기 위해 현미경을 개조하여 상/하부 편광 조절, 온도/변형률 조절 및 이미지를 취득을 자동화할 수 있는 실험 장비를 구현하였으며, 전체적인 실험 과정 및 실험 요인을 프로그래밍을 통해 제어할 수 있도록 실험 장비를 자동화하였다. 또한, 입자 군집에서의 변형률 분석을 분석하기 위해 입자 내 추적이 가능한 추적점(particle marker)를 추가하여, 실험 중 이미지 취득과 마커의 추적을 통해 입자 군집의 변형률을 통계적으로 분석할 수 있는 분석 기법을 적용하였다. 적용된 최소자승법(least-square method)은 기존의 삼각망 기법에서 나타나는 제한점을 보완하여 입자 군집 전체에 대한 통계적 변화를 분석할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이번 실험에서는 선형의 노캄퍼 입자 군집을 가지는 초기 시료를 제작하여 단순전단변형(simple shearing) 실험을 수행하였으며, 최소자승법 변형률 분석을 통해 입자 군집의 변형률 분석을 실시하였다. 이를 통해 관찰되는 입자군집 전체에 대한 변형률을 높은 해상도로 통계적 분석을 수행할 수 있었으며, 전체 단순전단변형에 대해, 내부적인 변형률의 차등 및 변형률에 대한 분석을 수행할 수 있었다. 이러한 유사물질을 활용한 변형 실험 및 변형률 분석과정은 암석 변형 실험 및 분석을 통해 암석 및 광물의 변형 기작과 전체 응력에 대한 내부적 또는 국지적 변형 과정에 대한 정량적 분석과 이해를 높일 수 있는 과정이 될 수 있다.

감사의 글: 이 연구는 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(과제번호 : NRF-2018R1D1A1B07049627).

포스터 4-2

경상북도 포항시 호미곶과 구룡포 일원에서 관찰되는 활성단층의 운동학적·고지진학적 특성

Kinematic and paleoseismic features of active fault at Homigot and Guryong area, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do, SE Korea

한종원^{1,*}, 하상민¹, 이성준¹, 김민철¹, 강희철¹, 성영배², 최정현³, 손 문¹

Jong-Won Han^{1,*}, Sangmin Ha¹, Seongjun Lee¹, Min-Cheol Kim¹, Hee-Cheol Kang¹, Yeong Bae Seong²,
Jeong-Heon Choi³, Moon Son¹

¹부산대학교 지질환경과학과, han.jongwon@pusan.ac.kr

²고려대학교 지리교육과

³한국기초과학지원연구원 환경분석연구부

미래에 큰 지진을 발생시킬 가능성이 있는 활성단층은 위치, 연장, 기하, 변위량, 운동학적 특성 등을 명확하게 규명해야 하며, 이를 위해 활성단층에 대한 상세 구조분석과 고지진학적 연구 등을 필수적으로 수행해야 한다. 이번 연구에서는 경상북도 포항시 호미곶과 구룡포 일원에 발달하고 있는 활성단층의 특성을 규명하기 위하여 지형분석과 선형구조분석을 수행하였으며, 활성단층이 발달될 가능성이 가장 높을 것으로 판단되는 지점을 대상으로 전기비저항탐사를 실시하여 굴착조사 지점을 선정하였다. 굴착지점의 굴착단면에서 관찰되는 단층의 기하, 단층조선, 운동감각 등을 토대로 실제 변위량의 범위와 모멘트 지진규모(Mw)를 산정하였으며, OSL, ESR 연대측정법을 이용하여 단층의 마지막 활동시기를 규명하고자 하였다. 호미곶 일원에 발달할 것으로 판단되는 활성단층의 추적을 위하여 지형분석과 선형구조분석을 실시한 결과, 경사급변점과 1 m의 소규모 단차가 발달하는 0.25 m 연장의 선형구조가 확인되며, 해당 선형구조 상에 발달하는 노두 지점에서 미고결 퇴적층을 절단하는 단층이 관찰된다. 노두 지점에서 좌수향 역이동성 운동감각을 보이는 단층은 기반암인 마이오세 응회암과 상위 미고결 역층의 부정합면에 0.12 m의 수직변위를 발생시켰으며, 미고결 역층 내에 발달하는 회전된 역의 장축방향과 단층조선은 북동-남서 방향의 압축변형이 발생하였음을 지시한다. 해당 선형구조 상에서 굴착조사 지점을 선정하기 위하여 전기비저항탐사를 실시하였으며, 노두 지점에서 남동쪽으로 약 20 m 떨어진 평탄면에서 굴착조사를 실시하였다. 굴착지점의 굴착단면에서 관찰되는 퇴적층은 퇴적상에 따라 총 4개의 단위 퇴적층으로 구분되며, 미고결 퇴적층을 절단하는 단층이 확인된다. 좌수향 역이동성 운동감각을 보이는 단층은 기반암인 마이오세 응회암과 상위 미고결 역층의 부정합면에 0.1 m의 수직변위를 발생시켰으며, 굴착단면에서 관찰되는 단층면과 단층조선을 토대로 복원된 고응력장은 북동-남서 방향의 최대수평응력을 지시한다. 제4기 퇴적층과 단층의 횡결관계는 최소 1회의 단층운동이 발생하였음을 지시하며, 굴착단면에서 관찰되는 단층면, 단층조선, 변위 등을 활용하여 실제 변위량의 범위를 산정한 결과 단층활동으로 인한 실제 변위량은 0.22-0.27 m로 산정된다. 또한 산정된 실제 변위량을 최대변위-모멘트 지진규모 경험식에 적용하여 산정된 모멘트 지진규모는 약 5.5-5.7이며, 굴착단면에서 관찰되는 단층의 마지막 활동시기를 규명하기 위하여 현재 굴착단면 내에 발달하는 미고결 퇴적층에 대한 OSL 연대측정이 진행중에 있다. 구룡포 일원의 지형분석, 선형구조분석 결과 선형곡이 발달하는 2.5 km 연장의 선형구조가 확인되며, 전기비저항탐사에서 저비저항이상대가 확인되는 지점을 대상으로 총 4개소의 굴착조사를 실시하였다. HT-1과 HT-2 지점에서는 기반암인 안산암을 절단하는 단층이 확인되지만, 해당 단층들은 모두 직상위에 발달하는 인공층에 의해 피복되어 있다. 따라서 제4기 퇴적층의 부재로 인하여 단층면에 발달하는 단층비지를 이용하여 ESR 연대측정을 실시한 결과, 해당 단층은 최소 260±30 ka 이후에 마지막 단층활동을 했을 것으로 판단된다. HT-3 지점의 굴착단면에서 관찰되는 퇴적층은 퇴적상에 따라 총 6개의 단위 퇴적층으로 구분되며, 미고결 퇴적층을 절단하는 3개의 단층이 확인된다. 굴착단면 내에서 좌수향 역이동성 운동감각을 보이는 단층은 미고결 역층 내에 발달하는 역에 0.03-0.05 m의 수직변위를 발생시켰으며, 제4기 퇴적층과 단층의 횡결관계는 최소 1회 이상의 단층운동이 발생하였음을 지시한다. HT-3 지점의 굴착단면에서 관찰되는 단층면, 단층조선, 변위 등을 활용하여 실제 변위량을 산정한 결과 단층활동으로 인한 실제 변위량은 0.14 m로 산정되며, 모멘트 지진규모는 약 5.2로 산정된다. 현재 단층의 최후기 운동시기를 결정하기 위해 HT-3 굴착지점에 발달하는 미고결 퇴적층에 대한 OSL 연대측정이 진행중에 있다. 호미곶과 구룡포 일원의 굴착조사와 지표지질조사에서 관찰된 좌수향 역이동성 운동감각을 가지는 단층들은 모두 북서-남동 내지 서북서-동남동 방향으로 발달하며, 상위의 미고결 퇴적층을 절단하고 있다. 본 연구에서 확인된 단층들은 추후 연대측정 결과에 따라 최후기 운동시기가 결정될 것으로 사료된다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업(2017-MOIS31-006)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

포스터 4-3

3D 모델링을 통한 백악기 음성분지의 복원과 구조적 진화

Restoration and structural evolution of the Cretaceous Eumseong Basin using 3D modeling

이 정, 김만재*, 이희권

Jeong Lee, Man-Jae Kim*, Hee-Kwon Lee

강원대학교 지질학과, amond314@daum.net

백악기 퇴적분지 중 하나인 음성분지는 북동-남서 방향으로 발달한 금왕단층과 공주단층으로 이루어진 공주단층계의 좌수향 주향이동 운동에 의해 형성된 인리형 퇴적분지(Pull-apart basin)이다. 음성분지 내에 분포하는 퇴적암은 약 10개의 퇴적상으로 구분되며, 이 퇴적암 내에는 단층, 절리 및 습곡 등의 지질구조들이 발달되어 있다. 음성분지 내에 분포하는 퇴적암에서 측정된 층리 데이터를 MOVE 프로그램에 입력하여 3D 모델링을 실시하였다. 그 결과 지질도 규모의 습곡구조들이 안행상으로 발달되어 있음이 확인되었으며, 이러한 습곡구조들의 배열은 좌수향 주향이동 운동에 의해 형성된 것으로 해석된다. 음성분지의 최북부인 생극면 일대는 변형을 받은 이후의 분지의 폭이 약 1.19 km이며 북동방향으로 경사진 단사구조가 발달되어 있다. 지질 단면도를 이용하여 복원 및 밸런싱을 한 결과, 이 지역의 변형받기 이전 분지의 폭은 약 1.38 km로 해석된다. 분지의 폭이 약 1.84 km인 사정저수지 일대는 완만형의 배사 습곡구조가, 분지의 폭이 약 5.16 km인 쌍정리 일대 지역은 개방형의 향사 및 배사 습곡구조가, 분지의 폭이 약 5.89 km인 두성리 일대 지역은 개방형의 향사 및 습곡구조와 완만형의 배사 습곡구조가, 그리고 분지의 폭이 약 7.71 km인 증석리 일대에는 완만형의 향사 및 배사 습곡구조가 발달되어 있다. 음성분지의 북부는 폭이 좁으며 습곡이 뚜렷하게 나타나는 반면, 분지의 남부로 가면서 폭이 넓어지고 습곡이 소멸하는 양상을 보인다. 음성분지 내에 발달한 모든 습곡은 분지의 북서쪽 경계인 금왕단층 부근에서는 뚜렷하게 발달되어 있지만, 분지의 남동쪽 경계인 공주단층 부근에서는 배사의 습곡날개가 연장될 뿐 특징적인 습곡구조가 발달하지 않았다. 또한 음성분지 내에 발달한 습곡구조들의 습곡축의 평균은 약 $16^{\circ} \rightarrow 039^{\circ}$ 내지 $7^{\circ} \rightarrow 227^{\circ}$ 이며, 단층과의 관계를 생각하였을 때 음성분지 내 퇴적암에 발달한 습곡구조는 공주단층보다는 금왕단층의 좌수향 주향이동 운동의 영향을 받은 것으로 해석된다. MOVE 프로그램을 이용하여 습곡구조를 포함한 지질단면도들을 복원 및 밸런싱하여 각각의 지역에서 음성분지가 변형 받기 이전의 폭을 복원하여 변형 전의 음성분지의 크기 및 모양을 구현하고자 한다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 “한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발” 사업의 연구비지원(2017-MOIS31-006), 행정안전부의 지진방재분야 전문인력양성사업의 지원을 받아 제작되었습니다.

포스터 4-4

위상기하 분석을 이용한 단열계 특성화의 응용가능성

Potential applications of fracture characterization based on topology

손효록^{1,*}, 김영석^{1,2}Hyorok Son^{1,*}, Young-Seog Kim^{1,2}¹부경대학교 지구환경과학과 지질구조재해연구실, tgf0428@naver.com²활성단층 및 지진재해저감연구소

위상기하학(topology)은 단층 및 단열과 같은 공간적 객체 간의 배열과 기하학적 관계를 설명하는 학문이다. 단열계의 위상기하는 객체가 있는 공간의 연속적인 변형(찢어지는 변형이 아닌 변형)에 의해 변하지 않는 성질을 가진다. 한편, 단열계의 기하(단열의 개수, 방향, 길이)는 연속적인 변형으로 변할 수 있기 때문에 단열계를 특성화 할 때 위상기하 분석이 유용할 수 있다. 이런 이유로, 최근 들어 구조지질학, 특히 단열계의 연구에서 위상기하학적 분석이 활발히 활용되고 있다. 단열계의 연구에서 위상기하학적 분석은 연결성(connectivity), 풍부함(abundance) 등과 같은 단열계의 특성을 결정하는 데 도움이 될 뿐만 아니라, 전체적인 접근이 어려운 경우에도 일부 속성을 추출하는 것이 가능하다. 단열계를 특성화하는데 도움이 되는 이러한 위상기하 분석의 유용성에도 불구하고 아직 우리나라에서는 위상기하 분석이 지질매체에 적용되어 연구된 적은 거의 없다. 따라서 이번 연구에서는 단열계의 특성화를 위해 사용할 수 있는 위상기하 분석의 개념을 간단히 소개하고 이들의 응용가능성을 토의하고자 한다. 2차원에서 단열계의 위상기하는 노드(node)와 노드 사이의 브랜치(branch)로 이루어진 그래프로 설명이 되며, 노드와 브랜치의 개수는 각 단열계의 연결성, 풍부함 등을 구하는 매개변수를 설정하는데 이용된다. 단열계에서 노드는 다른 단열과 연결되지 않고 독립된 'I 노드', 다른 단열에 접하는 'Y 노드', 두 단열이 서로 교차하는 'X 노드'로 구분 된다. 'I 노드'는 독립된 노드, 'Y 노드'와 'X 노드'는 연결하는 노드로 묶을 수 있다. 양 끝의 노드 종류에 따라 브랜치는 양쪽 모두 독립된 노드가 있는 'I-I 브랜치', 한쪽만 연결하는 노드가 있는 'I-C 브랜치', 양쪽 모두 연결하는 노드가 있는 'C-C 브랜치'로 구분 된다. 단열계의 노드와 브랜치의 수를 수학적으로 조합해 단열계의 연결성을 결정하는 매개변수인 '브랜치 당 연결 개수(CB)'를 구할 수 있다. 또한 이를 이용하여 단열계의 풍부함을 결정하는 매개변수인 단열빈도(Fracture frequency, B20), 단열강도(Fracture intensity, B21), 무차원 단열강도(Dimensionless fracture intensity, B22)를 구할 수 있다. 단열계의 위상기하 분석으로 얻은 연결성과 풍부함 등에 대한 정보는 암석에서 단열을 따라 흐르는 유체의 흐름을 예측할 때 사용하는 매개변수인 투과성을 평가하는 데 활용 될 수 있다. 또한 이는 단열 배열의 발달특성 연구에도 도움이 될 수 있다. 따라서 이러한 위상기하의 개념과 분석법이 적절히 적용된다면 유체유동의 특성뿐만 아니라 원자력폐기물처분장의 부지선정이나 활성단층의 진화특성을 이해하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 '한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발 사업' (2017-MOIS31-006)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

포스터 4-5

캘리포니아 Jenner 지역의 남섬석 편암과 에클로자이트의 변형 미구조와 지진파 비등방성 연구

Study on the microstructures and seismic anisotropy of glaucophane schist and eclogite from Jenner in California

하윤해*, 정해명

Yoonhae Ha*, Haemyeong Jung

서울대학교 지구환경과학부, gkyoon0507@gmail.com

많은 섭입대에서 관찰되는 강한 지진파 비등방성은 지진파가 맨틀, 섭입하는 해양 지각, 맨틀 웨지와 같은 비등방적 매질을 통과하며 발생한다. 본 연구에서는 섭입하는 해양 지각이 섭입대의 지진파 비등방성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 섭입판은 비교적 저온/고압 환경에서 남섬석 편암으로 변성되는데, 남섬석 편암을 주로 구성하고 있는 남섬석, 녹렴석, 녹니석, 펜자이트와 같은 함수 광물들은 매우 강한 탄성적 이방성을 보이기 때문에 섭입대의 지진파 속도와 비등방성은 이들의 격자선호방향의 영향을 받을 수 있다. 그러므로 남섬석 편암의 변형 미구조에 관한 연구는 섭입하는 해양 지각의 지진파 전파 특성을 이해하는 데 중요하다. 본 연구에서는 캘리포니아의 제너에서 산출되는 남섬석 편암과 에클로자이트의 변형 미구조와 지진파 전파 특성들을 조사하였다. 남섬석 편암 샘플들은 주로 남섬석, 녹렴석, 펜자이트로 이루어져 있으며, 에클로자이트는 녹휘석, 각섬석, 녹렴석, 석류석으로 이루어져 있다. 서울대학교 지구환경과학부에 설치된 Scanning Electron Microscope (SEM)/ Electron Backscattered Diffraction (EBSD) 기기를 사용하여 주요 구성 광물들의 격자선호방향을 결정하였다. 그 결과와 함께 광물의 밀도, 탄성 계수를 이용하여 광물과 전체 암석의 지진파 비등방성을 계산하였다. 남섬석의 격자선호방향은 [001]축이 엽리면에 거의 평행한 거들을 보였다. (110)면의 극점들과 [100]축은 모두 엽리면에 거의 수직하게 나타났다. 녹렴석의 격자선호방향은 [001]축이 엽리면에 거의 수직하고, (110), (010)면의 극점들이 선구조에 아평행한 구조를 보였다. 펜자이트는 [001]축이 엽리면에 수직하고, (110), (010)면의 극점들과 [100]축이 모두 엽리면에 아평행한 거들을 보였다. 에클로자이트의 주 구성 광물인 녹휘석의 격자선호방향은 [001]축이 선구조에 아평행하고, [010]축이 엽리면에 수직하게 나타났다. 남섬석 편암의 주 구성 광물들은 아주 강한 지진파 비등방성을 보였다. 특히 펜자이트는 P파의 경우 최대 42%, S파의 경우 최대 43%로 가장 강한 지진파 비등방성을 보였다. 반면 녹휘석과 석류석은 아주 약한 지진파 비등방성을 보였다. 구성 광물들의 비율에 따라 전체 암석의 지진파 비등방성을 계산한 결과, 남섬석 편암은 에클로자이트보다 훨씬 강한 지진파 비등방성을 보였고, 펜자이트를 많이 포함하는 암석일수록 비등방성 값이 더 커졌다. 그러므로 섭입대에서 관찰되는 지진파 비등방성은 에클로자이트보다는 남섬석 편암의 영향이 클 것으로 예상할 수 있고, 펜자이트를 많이 포함할수록 그 영향도 커질 것으로 보인다.

포스터 4-6

고압에서 변형된 로소나이트 청색편암의 미구조와 지진파 이방성에 대한 영향

Microstructures in experimentally deformed lawsonite blueschist at high pressure and implications for seismic anisotropy

최승순*, 정해명

Seungsoon Choi*, Haemyeong Jung

서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리학연구소, seungshum@snu.ac.kr

지구내부의 구조를 파악하기 위해 이용되는 지진파 이방성은 세계 곳곳에서 관측된다. 그중 섭입대에서 나타나는 지진파 이방성은 섭입하는 해양지각의 영향도 받았을 것으로 생각된다. 섭입하는 해양판 상부에는 고압 저온의 환경에서 로소나이트 청색편암이 존재하며, 이 암석이 지진파 이방성에 미치는 영향을 밝혀내기 위하여 암석변형 실험기기를 이용한 단순전단 변형실험을 수행하였다. 실험은 로소나이트 청색편암의 안정영역인 온도(230 - 400°C), 압력(1.0 - 2.0 GPa)에서 진행되었으며, 전단변형(γ)은 1.1 - 4.0이고 전단변형률($\dot{\gamma}$)은 10^{-5} - 10^{-4} s $^{-1}$ 의 조건에서 수행되었다. 실험결과 로소나이트 청색편암의 주된 광물인 남섬석의 광물선호방향(crystal preferred orientation, CPO)은 저변형($\gamma < 1.5$)일 때 (110)극(pole)과 [100]축은 전단방향에 아수직한 거들 형태를 보였으며, [001]축의 최대 분포가 전단방향에서 45°정도 떨어져 나타났다. 고변형($\gamma > 2.0$)에서는 남섬석의 (110)극과 [100]축의 최대 분포가 전단면에 아수직하게 나타났으며, [001]축의 최대 분포는 전단방향에서 15°정도 떨어져서 나타났다. 이는 엽리가 발달한 자연암석에서 관찰된 남섬석 선호방향과 일치한다. 로소나이트의 선호방향은 변형 정도가 증가하면서, 전단방향에 아평행한 축이 [010]축에서 [100]축으로 변화하였으며, [001]축이 전단면에 아수직하게 변화하는 경향을 보여주었다. 이러한 자료를 바탕으로 각 광물들의 지진파 이방성을 계산해본 결과, 남섬석의 경우 지진파 P파의 이방성(V_p)은 7.7 - 16.9%, S파의 최대 이방성(max.AVs)은 4.4 - 9.2%로 비교적 큰 P파의 이방성을 보여주었다. 그에 반해 로소나이트는 V_p 이방성이 4.7 - 10.3%로 비교적 작으나, max.AVs가 8.3 - 20.7%로 크게 나타났다. 로소나이트 청색편암의 경우 V_p 이방성은 4.1 - 7.6%, max.AVs는 4.2 - 8.6%를 보여주었다. 실험결과 로소나이트 청색편암이 변형되면 남섬석과 로소나이트 광물들이 큰 지진파 이방성을 만들 수 있다는 것을 밝혀냈으며, 이것으로 인하여 고압저온의 섭입판 상부에서 나타나는 커다란 지진파 이방성에 크게 영향을 줄 수 있음을 발견하였다.

포스터 4-7

울릉 분지 좌굴 구조의 2차원 점탄소성 수치 모사

2D viscoelastoplastic numerical simulation of buckling structure in the Ulleung basin

도석현^{1,*}, 소병달¹, 김영균², 김기범³
Seok-Hyeon Do^{1,*}, Byung-Dal So¹, Young-Gyun Kim², Gi-Bom Kim³

¹강원대학교 지구물리학과, rhffldm135@kangwon.ac.kr

²강원대학교 지구자원연구소

³부산대학교 지질환경과학과

동해는 유라시아 판과 태평양 판, 필리핀 해 판의 상대적인 운동에 의해서 생성된 배호 분지로 일본 분지, 야마토 분지, 울릉 분지로 구성되어 있습니다. 울릉 분지는 다양한 생성 가설이 존재하며 (당겨 열림 모형; 부채꼴 열림 모형), 울릉 분지의 지각의 경우 인장된 대륙 지각 또는 두꺼운 해양 지각으로 제안되었습니다. 최근 지구물리학적 관측(예: 지진 반사, 단층 촬영, 지열류량, 진원 기구)에 따르면, 울릉 분지의 지열류량이 높으며, 동서 방향으로 작용하는 압축이 울릉 분지에 ~60-70 km의 파장과 ~150-200 m의 진폭의 좌굴 구조를 유도했다고 제안했습니다. 좌굴 구조는 강도가 다른 층서 구조가 압축을 받을 때 생성됩니다. 암석권의 강도는 깊이에 따른 압력과 온도에 의해 결정되며, 취성-연성 전이 영역이 형성되어, 강도 대비가 있는 층서 구조를 형성하게 됩니다. 암석권의 층서 구조와 지구조 응력에 의한 압축은 암석권의 좌굴 구조의 형성에 기여할 수 있습니다. 본 연구에서는 2차원 유한 요소법을 이용한 수치모사를 통해 울릉 분지의 좌굴 구조를 재현하고, 암석권의 종류와 강도에 따른 좌굴 구조의 파장과 진폭의 상관 관계를 확인하고자 했습니다. 동해의 울릉 분지의 아래의 유변학적 구조를 유추할 수 있는 지구물리학적 자료가 부족하기 때문에 광범위한 물성을 매개 변수로 이용하여 대륙 암석권과 해양 암석권을 경우를 각각 수치모사 했습니다. 울릉 분지를 대륙 암석권으로 가정한 경우 12 km 두께의 대륙 지각(상부 지각과 하부 지각)으로, 해양 암석권으로 가정한 경우 12 km 두께의 해양 지각으로 가정했습니다. 우리는 다양한 매개 변수를 이용하여 암석권의 종류와 강도를 변경하며 실험했고, 암석권의 강도가 증가할수록 좌굴 구조의 파장과 진폭이 증가하는 상관관계를 도출했습니다. 대륙 암석권과 해양 암석권의 모두 경우에서 좌굴 구조를 형성되었고, 울릉 분지에서 관측된 온도와 좌굴 구조의 크기를 바탕으로 울릉 분지의 하부 물성에 대한 합당한 조건을 제시하고자 합니다.

포스터 5-1

남극 세종과학기지 인근 활동층의 열적 특성 및 토양수분 특성 평가

Thermal characteristics of active layer and assessment of soil moisture at King Sejong Station in Antarctica

김창성^{1,*}, 이진용¹, 김희정¹, 전우현¹, 김기태²

Chang-Seong Kim^{1,*}, Jin-Yong Lee¹, Heejung Kim¹, Woo-Hyun Jeon¹, Kitae Kim²

¹강원대학교 지질학과, kcs@kangwon.ac.kr

²극지연구소 극지환경연구부

본 연구의 목적은 남극 활동층의 열적 특성을 해석하는 것과 이에 중대한 영향을 미치는 토양수분의 분포 및 시계열적 특성을 파악하는 것이다. 연구지역은 세종과학기지에서부터 1.5 km 떨어진 해발고도 68-95 m에 위치한 언덕이다. 연구지역의 세 지점(ASM1-3)에 토양수분 및 지온 센서를 20 cm 깊이까지 5 cm 간격으로 설치하였고 2019년 12월 19일부터 2020년 1월 4일까지 17일 동안 5분마다 측정하였다. 각 지점의 경사는 해발고도가 상대적으로 높은 곳(ASM1)부터 낮은 곳(ASM3)까지 18, 15, 8°로 완만해진다. 열적 특성을 이해하기 위해 진폭, 대수 및 위상방정식을 사용하여 겉보기열확산계수를 계산하였으며 시계열적 특성을 해석하기 위해 자기상관분석, 스펙트럼분석 및 교차상관분석을 하였다. 활동층의 열확산계수 중앙값은 0.34-0.59 mm²/sec의 범위를 보였고 이는 동일 방정식으로 계산한 기존 연구의 열확산계수 중앙값 범위인 0.4-3.3 mm²/sec의 최솟값에 가까웠다. 또한 다른 연구에서 유한요소방법을 이용하여 추정한 열확산계수 범위 (0.8-1.4 mm²/sec)보다 작았다. 이는 해안으로부터 0.2 km 내에 위치한 기존 연구지역과는 달리 본 연구지역은 바다와 1.5 km 이격되어 있고 상대적으로 높은 곳에 위치하기 때문에 활동층의 열적 특성이 다른 것으로 해석된다. 토양수분 함량의 경우 경사가 상대적으로 가파른 지점(18, 15°)에서는 20 cm 깊이를 제외하고 얕을수록 많으며 완만한 ASM3에서는 깊을수록 많다. 자기상관분석 결과 ASM3는 지연시간이 짧아 다른 지점에 비해 외부 영향에 빠르게 반응한다고 판단하였다.

감사의 글: 이 성과는 극지연구소의 지원을 받아 연구되었고(과제번호 PE20030), 또한 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행됨(No. NRF-2015R1A4A1041105).

포스터 5-2

북동시베리아와 북알래스카 지역 얼음썰기의 온실기체 및 Ar-O₂-N₂ 농도 분석을 통한 고기후 해석 Paleoclimate Interpretation through Greenhouse Gas and Ar-O₂-N₂ Concentration Analysis of Ice Wedges in Northeast Siberia and Northern Alaska

고나연^{1,*}, 양지웅², Go Iwahana³, Alexander Fedorov⁴, Andrei G. Shepelev⁴, Thomas Opel⁵, Sebastian Wetterich⁵, 안진호¹
Nayeon Ko^{1,*}, Jiwoong Yang², Go Iwahana³, Alexander Fedorov⁴, Andrei G. Shepelev⁴, Thomas Opel⁵,
Sebastian Wetterich⁵, Jinho Ahn¹

¹서울대학교 지구환경과학부, rshkdus88@naver.com

²Laboratoire des Science du Climat et de l'Environnement

³International Arctic Research Center

⁴Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch RAS

⁵Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research

지구온난화가 진행됨에 따라 전 세계적으로 기후 및 환경 변화에 큰 이목이 집중되고 있다. 따라서, 지구온난화로 야기된 오래된 영구동토 해동에 따른 온실기체 생성과정과 방출속도를 더 잘 이해하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 기체화학을 이용하여 동토 얼음썰기 내의 온실기체 형성과정을 밝혀 냉과 동시에 포집된 기체의 조성을 분석하였다. 이를 통해 고기후를 복원하고, 영구동토의 해동에 의한 향후 전 지구적인 온실기체 방출량 변화를 추론하는 데 연구의 목적을 두었다.

연구 지역은 북동시베리아에 위치한 Batagay, Zyryanka 지역과 알래스카의 North Slope 지역이며, 물리적으로 얼음을 부수어 기체를 추출하고 튜브에 포집하는 '건식 추출법(Dry extraction method)'을 사용하여 기체를 추출하고 기체농도 혼합비(mixing ratio)는 가스크로마토그래피법을 이용하여 분석하였다. 얼음 속 기포에 포집된 N₂, Ar은 비교적 미생물활동의 영향을 받지 않으나, 대기가 액체의 물과 접촉한 후에 얼음이 다시 열게 되면, 기체의 용해도 차이로 N₂/Ar비가 대기 값과 달라지게 된다. 반면, 얼음썰기 토양 내에서 미생물이 O₂를 이용하여 호흡한다면, O₂의 농도를 낮추어 O₂/Ar비가 낮아지게 된다. 이러한 사실에 입각하여 Zyryanka와 North Slope 지역의 얼음썰기의 농도비를 계산해 본 결과, 대기 조성을 기준으로 $\delta(N_2/Ar) = -16.0\% \sim 5.5\%$, $\delta(O_2/Ar) = -86.5\% \sim -12.2\%$ 의 범위에서 변동을 보였다. 덧붙여, Zyryanka와 North Slope 샘플의 식물 잔해에서 측정된 ¹⁴C 연대는 각각 810±30 BP, 1920±30 BP로 측정되었다. 즉, 이 두 지역의 시료는 홀로세에 해당하고, 후기 홀로세는 상대적으로 기후가 온난한 시기였기 때문에 당대의 얼음은 눈이 녹은 물로 형성이 됨으로써 $\delta(N_2/Ar)$ 이 음의 값이 나온 것으로 해석된다. 또한 Central Yakutia 지역의 샘플(Syrdakh, Cyuie, Churapcha)에서 측정된 기존의 자료(Yang *et al.*, 2018)와 비교해보았을 때, 해당 샘플의 CO₂ 연대는 대략 20,000 BP로 최근 최대빙하기에 해당한다. 따라서 해당 지역의 얼음썰기는 Zyryanka 및 North Slope 지역의 샘플보다 이른 시기에 형성되었으므로 미생물에 의한 산소의 소모가 오랜 기간 동안 일어나 $\delta(O_2/Ar)$ 의 값이 대체로 -100%에 가까운 값이 되었을 것으로 추정된다. 아울러 최대빙하기는 상대적으로 한랭한 기후를 유지했기 때문에 Central Yakutia 지역의 얼음썰기는 눈이 녹은 물이 거의 포함되지 않아 $\delta(N_2/Ar)$ 이 대기의 비율인 0에 가깝게 되었을 것이다. 결론적으로 연대가 다른 얼음썰기의 Ar-O₂-N₂ 혼합비는 유의미한 차이를 보여 이를 분석함으로써 과거 빙하기의 기후 상태를 추론할 수 있다.

Batagay 샘플에 대해서는 주로 CO₂, N₂O, CH₄의 농도를 측정하였는데, 각각 260-71,000 ppm, 0.11-68 ppm, 4.7-130 ppm의 농도 범위를 보였다. 주로 CO₂의 농도가 높게 나타나고 N₂O의 농도가 대체로 낮게 나타나는 경향성을 보이고 있으나, 앞서 언급한 세 온실기체의 구체적인 상관 관계에 관해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

포스터 6-1

Lattice Preferred Orientation (LPO) and seismic anisotropy of minerals in retrograded eclogites from Xitieshan, NW China

Jaeseok Lee*, Haemyeong Jung

Tectonophysics Lab., School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, shoo3680@snu.ac.kr

Seismic anisotropy in subduction zones is affected by various rock phases including those in subducting slabs. Seismic velocity and anisotropy of rock are strongly affected by the lattice preferred orientation (LPO) of minerals. LPO of minerals in retrograded eclogites from Xitieshan, NW China were measured to understand the seismic velocity and anisotropy of upper part of subducting slab. In the case of omphacite, S-type LPO was observed in three samples, but L-type LPO was observed in a sample which has higher omphacite concentration than other samples. In the case of amphibole, [001] axes were aligned subparallel to the lineation, and (010) poles were aligned subnormal to foliation. LPOs of amphibole in samples were similar to that of omphacite. The misorientation angle between amphibole and neighboring omphacite was very small and no intracrystalline deformation feature was observed in amphibole. These results indicate that the LPO of amphibole might have been formed due to topotactic growth of amphibole during retrogression of the eclogite. Seismic properties of retrograded eclogite showed very similar to that of amphibole, indicating that seismic properties of retrograded eclogites are strongly affected by the LPO of amphibole. In addition, the contact boundary between serpentinized peridotites and the retrograded eclogites showed high reflection coefficient indicating that reflected seismic wave can be detected easier than other rock boundaries.

포스터 6-2

Evolution of deformation fabrics related to petrogenesis of upper mantle xenoliths beneath the Baekdusan volcano

Munjae Park^{1,*}, Youngwoo Kil², Haemyeong Jung³

¹Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, noproblem82@naver.com

²Department of Energy and Resources Engineering, Chonnam National University

³School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

Knowledge of the formation and evolution of cratonic subcontinental lithospheric mantle is critical to our understanding of the processes responsible for continental development. Here, we report the deformation microstructures and lattice preferred orientations (LPOs) of olivine and pyroxenes alongside petrological data from spinel peridotite xenoliths beneath the Baekdusan volcano. We have used these datasets to constrain the evolution of deformation fabrics related to petrogenesis from the Baekdusan peridotites. Based on petrographic features and deformation microstructures, we have identified two textural categories for these peridotites: coarse- and fine-granular harzburgites (CG and FG Hzb). We found that mineral composition, equilibrium temperature, olivine LPO, stress, and extraction depth vary considerably with the texture. We suggest that the A-type olivine LPO in the CG Hzb may be related to the preexisting Archean cratonic mantle fabric (i.e., old frozen LPO) formed under high-temperature, low-stress, and dry conditions. Conversely, we suggest that the D-type olivine LPOs in the FG Hzb samples likely originated from later localized deformation events under low-temperature, high-stress, and dry conditions after a high degree of partial melting. Moreover, we consider the Baekdusan peridotite xenoliths to have been derived from a compositionally and texturally heterogeneous vertical mantle section beneath the Baekdusan volcano.

포스터 6-3

가평 각섬암 내부 각섬석의 광물선호방향(CPO)과 지진파 비등방성 Crystal preferred orientation (CPO) and seismic anisotropy of amphibole in Gapyeong amphibolites

김준하*, 정해명

Junha Kim*, Haemyeong Jung

서울대학교 지구환경과학부 지체구조물리화연구실, ratoria1001@snu.ac.kr

지각내부에서의 지진파 전파 특성은 지각의 주요 구성광물들의 격자선호방향에 크게 영향을 받는다. 따라서 지진파 전파속도자료를 이용해 지구내부구조를 해석하기 위해서는 해당 지역의 주요 구성 광물들의 격자선호방향과 이를 통해 계산된 암석별 지진파 전파속도 특성 자료가 필요하다. 하지만 국내의 암석과 광물의 격자선호방향에 대한 연구는 거의 없다. 이번 연구에서는 경기육괴 북부에 위치한 가평지역의 두 각섬암체에서 각섬암을 채취하여, 각섬암 내부의 주요 광물들, 특히 각섬석과 사장석의 격자선호방향을 전자현미경과 EBSD 기기를 통해 분석하고, 이를 이용해 가평지역 각섬암에서 나타나는 지진파 전파속도 특성을 계산하였다. 분석결과 가평 위곡리 일대 두 개의 각섬암체에서 각각 Type I과 Type IV로 정의된 두 가지 타입의 각섬석 격자선호방향이 관찰되었다. Type I 각섬석 격자선호방향은 각섬석의 [100]축이 엽리에 아수직하고, [001]축이 선구조방향에 아평행하게 배열되며, Type IV 각섬석 격자선호방향은 [100]축이 선구조에 아수직한 방향으로 거들을 그린다. 사장석은 비교적 약한 격자선호방향을 보여주었다. Type I 각섬석 격자선호방향이 관찰된 각섬암에서는 P파의 비등방성이 19.0-21.3%, 최대 S파의 비등방성이 12.3-15.9%로 큰 지진파 비등방성이 관찰되었으나, Type IV 각섬석 격자선호방향이 관찰된 각섬암에서는 P파의 비등방성이 12.2-14.1%, 최대 S파의 비등방성이 7.0-9.0%로 작은 지진파 비등방성이 관찰되었다. 빠른 S파의 편파방향은 각섬석의 격자선호방향에 관계없이 선구조방향에 평행하게 나타났다. 가평지역의 각섬암에서 관찰된 이러한 지진파 전파 특성은 경기육괴 지각 내부의 구조와 지진파 자료를 해석하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

포스터 6-4

심부 결정질 암반의 화학적 풍화와 투수성 상관관계 연구

Correlation between permeability and weathering of crystalline rock core

이주연^{1,*}, 양민준²Juyeon Lee^{1,*}, Minjune Yang²¹부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공, juyeon_lee@pukyong.ac.kr²부경대학교 지구환경과학과

본 연구는 화강암체(대전광역시)와 편마암체(경북 안동)를 대상으로 심부 암반 내 풍화도와 투수성간의 상관관계를 규명하였다. 화강암 코어(n=21)와 편마암 코어(n=19)는 50 m 간격으로 수집되었으며 각 코어 샘플을 이용하여 XRF 분석과 고압 셀을 이용하여 투수성 실험을 실시하였다. XRF 분석 결과를 토대로 화학적 풍화 지수를 계산하였으며, Ruxton Ratio (RR), Silica-Titania Index (STI), Chemical Weathering Indices (CWI), Sesquioxide Content (SOC), Weathering Product Index (PI)가 사용되었다. 풍화 지수를 계산한 결과, 화강암 코어는 RR: 4.8 ± 0.5 ; STI: 81.7 ± 1.8 ; CWI: 18.1 ± 1.7 ; SOC: 16.6 ± 1.4 ; PI: 0.8 ± 0.02 로 비교적 신선한 암체임을 알 수 있었으며, 편마암 코어의 경우 RR: 4.1 ± 0.9 ; STI: 77.4 ± 4.4 ; CWI: 22.9 ± 4.7 ; SOC: 20 ± 3.9 ; PI: 0.7 ± 0.1 로 화강암 코어와 비교했을 때 상대적으로 풍화가 좀 더 진행된 암체인 것으로 나타났다. 투수성 실험 결과 화강암의 투수성은 10^{-19} 에서 10^{-22} m²의 범위로 측정되었으며, 편마암의 투수성은 10^{-18} 에서 10^{-22} 의 범위로 측정되었다. 풍화지수와 투수성간의 상관계수(r)는 화강암의 경우 -0.4에서 0.36, 편마암은 -0.54에서 0.49로 나타났으며, t-검정을 사용하여 풍화지수와 투수성간의 유의 확률(p-value)을 계산하였다. 화강암 코어의 경우 유의 확률이 0.05 이상으로 유의미한 상관 관계를 보이지 않았으나 편마암 샘플의 경우 RR, STI, CWI, SOC의 유의 확률이 각각 0.04, 0.03, 0.02, 0.02로 0.05 보다 낮게 나타났다. 연구 결과를 통해 암질이 신선할수록 풍화 지수와 투수성간의 상관 관계가 미비한 것을 확인하였으며, 위 5개의 화학적 풍화 지수 중 4개의 풍화 지수(RR, STI, CWI, SOC)는 편마암의 투수성을 간접적으로 나타내는 지표로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

포스터 6-5

Petrogenesis of the Niagara Icefalls Ultramafic-mafic complex, Northern Victoria Land, Antarctica

Austin Arias^{1,*}, Jung-Woo Park¹, Sang-Bong Yi², Mi Jung Lee²

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, atarias1@snu.ac.kr*

²*Division of Polar Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute*

The Niagara Icefalls ultramafic-mafic complex is located within the Wilson terrane, near to the tectonic border between the Bowers and Wilson terranes, within Northern Victoria Land, Antarctica. Previous studies indicate this complex was emplaced ~514 Ma during a period of extension within Northern Victoria Land, [1, 2] based on U-Pb zircon ages and the complex's boninite-like affinity [1].

In this study, we revisited the petrogenetic model of the Niagara Icefalls ultramafic-mafic complex using whole-rock and mineral major and trace elements from a more extensive sample set. Also, new zircon U-Pb SHRIMP and Lu-Hf LA-MC-ICP-MS analyses reveal a more complex petrogenetic model than previously described. The mineral and whole-rock data exhibit boninitic characteristics with very low whole-rock TiO₂ content (<0.07%) and depleted HREEs and HFSEs while showing a relative enrichment in LREEs and fluid-mobile elements. However, differences in mineral chemistry between wehrlites in the North, and a sequence of dunite, orthopyroxenite, and gabbronorite in the South, suggest these rocks were produced from different parental melts. Furthermore, zircons from pegmatitic gabbronorites, which cross-cut wehrlites, have a mean age of 513.7 +/- 2.6 Ma, whereas the mean age of zircons in gabbronorite associated with dunite and orthopyroxenite is 500.3 +/- 4.2 Ma. These temporal and chemical disparities among similar boninite-like plutonic rocks suggest they were formed at two stages. Firstly, ~514 Ma the production of a high-Ca boninite-like melt was produced, this was then followed by the production of an even more depleted low-Ca boninite-like melt at ~500 Ma. Also, εHf values of the first stage are lower in comparison to the second stage products. These low εHf values suggest the involvement of crustal materials during the petrogenesis of the Niagara Icefalls ultramafic-mafic rocks.

[1] Tribuzio *et al.* (2008), *Contrib. Mineral. Petrol.*, 155, 619-633.

[2] Rocchi *et al.* (2011), *Gondwana Res.*, 19, 594-607.

포스터 7-1

한국형 동위원소 빅데이터 플랫폼 구축을 위한 관계형 데이터베이스 구성

Developing relational database for bigdata platform of isotopes in Korea

양수민^{1,*}, 김승섭^{1,2}, 김정민³

Sumin Yang^{1,*}, Seung-Sup Kim^{1,2}, Jeongmin Kim³

¹충남대학교 우주지질학과, sumineee@o.cnu.ac.kr

²충남대학교 지질환경과학과

³한국기초과학지원연구원

제 4차 산업혁명의 도래와 함께 빅데이터 생산 및 활용의 중요성이 날로 커지고 있다. 빅데이터란 기존의 데이터베이스로는 수집, 저장, 분석과 같은 업무를 수행하기 어려울 만큼 방대한 데이터를 뜻한다. 그러나 빅데이터가 과학기술 생태계에 만들어 낸 가장 큰 변화는 데이터의 수집 기관에 상관없이 데이터는 접근성과 재사용성이 보장되어야 한다는 인식변화라고 할 수 있겠다. 이러한 새로운 저변에서 새로운 과학적 발견이 더 빠르게 일어날 수 있고, 동시에 연구 결과의 투명성과 재생산성이 보장 될 수 있는 것이다. 해외에서는 EarthRef, EarthChem 등과 같은 빅데이터 공유 플랫폼을 개발하여 연구자들의 자료에 대한 접근성을 높이고 있다. 그러나 국내의 경우, 개별 연구자 및 연구 기관에서 독자적으로 연구를 수행하고, 자료의 입력 및 보관도 각 기관 고유의 형태를 따르기 때문에 생산된 지질 자료에 대한 접근 및 공유가 어려운 상황이다. 이에 따라 본 연구는 한국기초과학지원연구원에서 생산하는 동위원소 연대측정 자료를 활용하여 한국형 동위원소 빅데이터 플랫폼을 구축해, 국내 연구자의 지질학적 빅데이터 자료 접근성을 높이고자 한다. 이를 위하여 빅데이터 플랫폼 구축을 위해 관계형 데이터베이스를 구축하고자 한다. 관계형 데이터베이스 구축 프로세스는 다음과 같이 진행된다. 1) 데이터베이스 인자를 정의하고, 2) 인자간의 계층구조를 정의하는 XML (eXtensible Markup Language) Schema 구성한다. 3) 구성된 XML Schema 구조를 바탕으로 관계형 데이터베이스를 구축하여 빅데이터 플랫폼을 위한 기반을 형성한다. 데이터베이스를 구축하기 위해 우선적으로 인자 분석을 한 후, XML Schema를 정의하였다. XML Schema란 문서의 구조를 표현하기 위한 언어로 인자간의 계층 구조를 정의하기 위해 사용한다. XML Schema를 작성할 때는 다음과 같은 요소명 규칙을 따라야 한다. 1) 요소명의 처음과 중간에는 공백을 사용할 수 없다. 2) 첫 문자는 문자나 '_' 기호로 시작해야하고 숫자로 시작할 수 없다. 3) '/' 기호를 사용할 수 없다. 이 세 가지 규칙에 따라 Ar-Ar 동위원소 연대측정 결과 자료를 바탕으로 시료를 구별해주는 SampleID, 분석 시료를 구분해주는 RunID, 중성자 조사기간 동안 K³⁹로부터 만들어지는 Ar³⁹의 비율을 알려주는 J.factor 등 15가지의 인자를 정의하였다(Variables: SampleID, RunID, J.factor, Watts, Step, Cum, Ca_K, Cl_K, Ar39, Ar36_Ar39, Ar36.Ca, Ar40_Ar39, RespectiveAge, Integ.Age, Plateau.Age). 그 후, 각각의 인자 특성을 비교하여 Sample (SampleID, J.factor), Test (RunID, Watts, Step, Cum, Ca_K, Cl_K, Ar39, Ar36_Ar39, Ar36.Ca, Ar40_Ar39, RespectiveAge), Result (Integ.Age, Plateau.Age)로 구분하였고, Test는 다시 Parameter (RunID, Watts, Step, Cum)와 MeasurementValues (Ca_K, Cl_K, Ar39, Ar36_Ar39, Ar36.Ca, Ar40_Ar39, RespectiveAge)로 구분하여 XML Schema를 구성하였다. 향후 Ar 동위원소 연대 데이터뿐만 아니라 다른 동위원소 데이터 또한 XML Schema를 구성하여 관계형 데이터베이스를 구성할 예정이다.

포스터 8-1

Detecting pore-fluid pressure changes with shear wave splitting measurements at Groningen gas field, Netherlands

Jaewoo Kim*, YoungHee Kim

School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, giiiox123@snu.ac.kr

The Groningen gas field, Netherlands, is the largest gas field in western Europe and thus has the highest seismogenic potential. The seismicity and surface subsidence appear to be closely related to reservoir compaction resulting from the continuous extraction of gas since 1963. Its production rate has been regulated by the government after the highest compaction rate and seismicity are observed at the central western area of the gas field in 2014. In this study we aim to investigate detailed spatiotemporal variation in crustal anisotropy of Groningen gas field from the shear wave splitting using S waves from local events occurred in 2014–2019 and recorded from 54 borehole geophones and 17 surface accelerometers. We measure crustal anisotropic parameters in terms of fast polarization direction (φ) and delay time (δt) for 4,787 event-station pairs using three different methods, which are eigenvalue-minimization method (Silver and Chan, 1991), cluster analysis method (Teanby *et al.*, 2004), and manual method (Kaviris *et al.*, 2017). Our results show that the parameter values are highly correlated with the pore pressure distribution of the gas reservoir. First, the φ is overall predominantly oriented in NW-SE direction, which is subparallel to the dominant fault strike and current maximum horizontal stress direction measured at deep boreholes. A strong correlation between φ and fault orientations is confirmed by the synthetic test where we generate φ given the fault orientations. Second, the scatter of δt decays during our observation period, and its decay trend is clear in the regions except the shut-in area. This time dependent tendency of δt well corresponds with the pore-pressure values obtained from the static pressure gauge measurement at the gas reservoir.

포스터 8-2

Detection and location of local earthquakes in the oldest Pacific plate using the Oldest-1 (Pacific Array) data

Jun Yong Park^{1,*}, YoungHee Kim¹, Takehi Isse², Kwang-Hee Kim³, Hajime Shiobara², Hitoshi Kawakatsu², Sang-Mook Lee¹, Hisashi Utada², Nozomu Takeuchi², Hiroko Sugioka⁴

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, zip1900@snu.ac.kr*

²*Earthquake Research Institute, The University of Tokyo*

³*Department of Geological Science, Pusan National University*

⁴*Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University*

Oldest-1 array, consisting of 12 broadband ocean-bottom seismometers (BBOBS) and 7 electro-magnetometers (OBEM), was deployed in 2018-2019 on the oldest Pacific basin (age of ~170 Ma). This experiment was conducted as a collaboration between South Korea and Japan to investigate an early evolution of the oldest Pacific plate. Here we report preliminary results on oceanic intraplate seismicity recorded at 11 BBOBS and one pressure gauge. We detect and locate 21 new events within and nearest to the array, which are not reported by the global network. The seismicity and earthquake source mechanism will reveal present-day intraplate tectonic activity in the oldest Pacific basin. The detection and location procedures are as follows. Using the tilt-noise removed data, we perform a short-term over long-term average (STA/LTA) triggering (Allen *et al.*, 1978) to detect P-wave arrival time in the frequency band of 5-10 Hz. We construct a composite velocity model which combines models of Kaneta *et al.* (2010) and Oikawa (2010) for depths less than 9 km with PAC06 model for upper mantle by Tan and Helmberger (2007). Using this velocity model, we apply Bayesian Hierarchical Seismic Event Locator (Bayesloc, Myers *et al.*, 2007), which locates multiple events simultaneously in a probabilistic framework, to constrain event locations with uncertainties. Given the array geometry (6 degrees by 7 degrees), resolvable lateral and depth uncertainties are at most 10 km and 5 km, respectively. The 21 detected earthquakes occur at depths of 3-8 km.

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).

포스터 8-3

Fault zone structure imaged by teleseismic receiver function with geophone array in Clark fault, California

Hobin Lim^{1,*}, YoungHee Kim¹, Fan-Chi Lin²

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, hbim76@gmail.com*

²*Department of Geology and Geophysics, University of Utah*

We probe seismic structure of the fault zone from a linear geophone array across the Clark fault, part of strike-slip San Jacinto Fault Zone, in southern California, U.S. The 129 geophones were deployed across the distance of about 2.5 km, slightly oblique to the strike of the fault, and recorded 42 teleseismic earthquakes with $M > 5.5$ during the deployment period of one month. Of the total 42 events, only one earthquake (2015-11-24 22:45:38, latitude: 10.54°S, longitude: 70.94°W, depth: 606 km, M_w 7.6) was able to compute P wave receiver functions for structural imaging because of low gain of instrument response at low frequencies (less than 1.0 Hz). The width of the fault zone is inferred as about 460 m from the delayed P wave arrivals (up to 0.6 s) and a bifurcation of a reflection branch. Deconvolution of the vertical-component signal recorded from one station distant (~1.2 km) from the fault was effective to identify phases that are reverberated in or refracted by the narrow fault zone. We anticipate that the beam-forming is efficient to clarify the fault structure and seismic velocity.

포스터 8-4

신호대잡음비 분석을 통한 MEMS 가속도계 자료 활용 방안 연구

A study on how to use MEMS accelerometer data through signal to ratio analysis

박은아*, 이지민, 안재광

Euna Park*, Jimin Lee, Jea-Kwang Ahn

기상청 지진화산국 지진화산연구과, eunapark@korea.kr

빠른 지진감지와 정확한 진도정보를 생산하기 위해서는 조밀한 지진관측망이 필요하다. 현재 우리나라의 국가지진관측망은 매우 조밀하며 전세계적으로 훌륭한 수준이지만 더 나은 지진정보를 국민들에게 전달하기 위해서 보다 조밀한 관측망을 구축해 운영 중이다. 기존의 장비는 설치가 까다롭고 비용이 많이 들기 때문에 저비용의 MEMS 가속도계가 고안되었다. SKT에서 제작한 MEMS 가속도계를 2019년부터 전국의 SKT 기지국과, 대리점, 기상청 지진관측소에 설치 중이고 현재 2721개소의 설치가 완료되었다. SKT 기지국과 대리점이 주된 설치 장소이다 보니 도심지에 관측소가 밀집되어 있는데 관측망을 점차 확장하며 전국에 고르게 분포될 수 있도록 개선할 예정이다. 현재 구축중인 MEMS 가속도계에 기록된 신호를 확인하고 신호대잡음비를 분석하였다. MEMS 관측망 중 기상청 관측소에는 지진계와 MEMS 가속도계가 거의 같은 위치에 설치되어 있기 때문에 동일 이벤트에 대한 관측자료의 품질비교를 통해 기상청 지진계와 MEMS 가속도계의 성능 비교가 가능하며, 이를 통해 MEMS 가속도계의 지진 감지 및 분석 성능을 검토할 수 있었다. 2020년 3~8월에 발생한 규모 2.5 이상의 내륙지진을 분석 대상으로 하였으며, 진앙거리 50 km 이내에 분포한 관측소의 자료를 사용했다. MEMS 가속도계에 기록된 이벤트 파형을 확인해본 결과, 진앙거리가 먼 관측소에서는 이벤트의 P, S파가 뚜렷이 구분되지 않지만 가까운 관측소에서는 비교적 잡음이 적은 이벤트 파형이 기록되는 것으로 나타났다. 그러나 신호대잡음비 분석결과 기존의 지진계에 비해 상대적으로 낮은 값을 보여, 센서의 성능이 떨어지는 것으로 판단된다. 저가의 MEMS 가속도계를 이용한 조밀한 지진관측망으로 기존보다 빠른 지진 감지가 가능하며, 고해상도의 진도정보 산출에 MEMS 가속도계 자료를 활용하기 위해서는 향후 관측자료 품질 관리를 통해 선별된 자료를 사용할 필요가 있다.

포스터 8-5

수도권 지역의 미소지진 탐색과 단층면해 분석

Focal Mechanism Solutions and Microseismic Event Detection in Seoul Metropolitan

정동찬^{1,*}, 이준형¹, 박성준¹, 김우한², 홍태경¹Dongchan Chung^{1,*}, Junhyung Lee¹, Seongjun Park¹, Woohan Kim², Tae-Kyung Hong¹¹연세대학교 지구시스템과학과, isky2124@yonsei.ac.kr²경상대학교 지질과학과

유라시아 판의 내부에 위치한 한반도는 중대규모 지진의 발생 빈도가 낮고 재래 주기가 긴 편이지만, 역사적 문헌 기록들은 과거 한반도에서 큰 규모의 지진 피해가 지속적으로 발생하였음을 보이고 있다. 2011년 일본에서 발생한 $M_w 9.0$ 의 도호쿠 대지진은 한반도의 지진 활동도에도 영향을 끼쳤으며, 2016년 발생한 $M_L 5.8$ 의 경주 지진과 2017년 발생한 $M_L 5.4$ 의 포항 지진은 한반도에서의 지진 발생 가능성과 그 피해에 대한 경각심을 높이는 계기가 되었다. 제4기 단층인 추가령 단층이 존재하는 서울·경기 지역은 대한민국 인구의 약 절반이 집중된 중요한 지역이지만, 해당 지역의 지하 단층 구조와 지진 활동에 대한 연구는 지역의 중요성에 비해 제한적으로 이루어지고 있다. 본 연구에서는 2009년부터 2020년까지 수도권 지역에서 발생한 지진들(최대 지진규모 최대 $M_L 3.8$)에 대한 단층면해 분석을 실시하였다. 단층면해 분석은 단층의 구조와 운동 감각에 대한 정보를 제공한다. 단층면해는 지진파의 P파와 S파의 초동, 그리고 S/P 진폭비를 이용하여 분석을 수행한다. 수도권 지역에 조밀하게 설치된 지진계 관측망에 기록된 연속 파형자료내에 가정된 지진 위치와 발생 시간에서 예상되는 P파와 S파의 도달 시점의 지진 에너지를 분석하여 미소지진을 탐지한다. 대부분의 단층면해는 N-S 방향 및 NNE-SSW 방향의 단층면을 가진 주향이동성 단층이 우세하게 나타났으며, 단층면의 주향은 지표에서 관찰되는 단층의 주향과 거의 평행하다. 단층의 면구조와 지진 활동 연구 결과는 수도권 지역 지하의 활성 단층 존재 가능성을 시사한다. 본 연구는 수도권의 지하 구조 연구와, 나아가 수도권 지역의 지진 피해 경감 대책 수립에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

포스터 8-6

Matched Filter 알고리즘을 활용한 해남지역 발생지진 분석

Analysis of undetected earthquake in Hae-Nam area using Matched-filter algorithm

임도윤*, 이지민, 이덕기

DoYoon Lim*, Jimin Lee, Dukkee Lee

기상청 지진화산연구과, aserop@korea.kr

해남지역에서 발생한 규모 3.1의 지진은 발생인근 지역에서 지진동을 느낄 수 있었으며 발생 전후로 다수의 미소지진이 관측되었다. 4월 26일부터 5월 9일까지 기상청에서 발표한 해남지역 지진의 발생건수는 규모 2.0 미만 미소지진을 포함하여 총 74건이다. 해당 기간에 해남지역에서 연속적으로 발생한 지진 중 기상청이 발표하지 않은 미소지진을 감지하기 위해 Matched Filter 알고리즘을 적용하였다. 4월 26일부터 5월 9일까지 기록된 기상청 지진관측소 5개소, 기상청 임시관측소 4개소 및 부산대학교 임시관측소 8개소에 기록된 74건의 지진 파형 및 24시간 연속 지진자료를 사용하여 총 86건의 지진을 추가로 감지 및 분석하였다. 감지된 86건의 지진의 규모는 감지에 사용한 지진자료마다 분석결과가 상이하지만 평균적으로 0.4정도의 규모 오차를 보였다. 하지만 지진 발생 시각은 소수점의 오차가 발생하여 대체로 일치하는 결과를 보였다. 감지된 지진의 진앙 분석을 위해 Hypoinverse를 이용하여 정밀분석을 수행하였다. 분석결과, 탐지된 지진의 깊이는 18~21 km 사이에 분포하며 규모 3.1 지진을 기준으로 반경 6 km의 이내의 거리에 분포하는 것으로 확인되었다.

포스터 8-7

표면파 분산 및 수신함수의 베이시안 통합역산으로 추정된 백두산 하부 암석권 구조 변화

The variation of lithospheric structure beneath Changbaishan from bayesian joint inversion with surface wave dispersion and receiver function

임연주^{1,*}, 이상준¹, 김성룡²

Yeonjoo Lim^{1,*}, Sang-Jun Lee¹, Seongryong Kim²

¹고려대학교 기초과학연구원, yjim0508@gmail.com

²고려대학교 지구환경과학과

유라시아 판 내부에 위치한 백두산은 순상화산과 성층화산이 복합된 형태를 띠고 있는 활화산으로 알려져 있다. 백두산 하부 암석권은 여러 선행연구들을 통해서 지각과 상부맨틀의 다양한 상호작용으로 인해 지역적으로 매우 복잡한 것으로 알려져 있는데, 배경잡음 이용한 연구에서는 지각 내에 S파의 속도가 빠르게 증가하는 얇은 층이 존재하며 모호면 직하부에서 주변 지역보다 속도가 감소한다고 하였다(Kim *et al.*, 2017). 이에 본 연구에서는, 표면파 분산자료와 수신함수를 사용하여 백두산 및 주변지역에 대한 1차원 속도 구조를 구하였다. 수신함수를 계산하기 위하여 중국과 북한에 분포하고 있는 3개의 임시 관측소 중 총 12곳의 관측소에서 최소 2개월부터 최대 2년 동안 관측된 데이터를 얻었다. 표면파의 분산 자료는 배경잡음 상호 상관법을 활용한 이전 연구의 결과를 사용했다(Kim *et al.*, 2017). 각 관측소의 방향을 고려하여 isotropic P-receiver function을 구하고 하부구조의 비등방성 정도를 파악하기 위하여, 입사하는 지진파의 3차원적 방향을 고려할 수 있는 harmonic decomposition을 진행하였다. 이렇게 구한 수신함수와 표면파 분산자료에 transdimensional bayesian joint inversion을 적용하여 각 관측소 하부에 대한 1차원 S파 속도구조모형을 계산했다. 백두산에서 동서방향으로 20 km 이상 떨어진 관측소의 경우, 약 32-35 km의 모호면 깊이를 갖는 것과는 달리, 백두산 근처 약 5.5 km 이내에 위치한 관측소 하부에서는 최대 45 km 깊이의 경계가 불분명한 모호면과 약 2-3 km 두께의 고속도층이 상부지각 11-15 km 깊이에 존재하는 것으로 나타난다. 백두산으로부터 거리에 따른 모호면 깊이 변화와는 다르게, 지각과 상부맨틀의 평균 속도는 각각 3.5-3.7 km/s, 4.3-4.4 km/s로 거리에 따른 변화가 크지 않다. 이는 백두산 주변 및 중국의 북동쪽 지역에 백두산의 기원이 되는 마그마의 영향이 전역적으로 미치지 않으며 백두산 중심의 하부지각 온도가 크게 높지 않을 수 있다는 것을 지시한다.

포스터 8-8

계층적 베이지안 역산법을 이용한 Mw 5.5 포항지진 모멘트 텐서 해와 불확실성 추정

Full moment tensors for the 2017 Mw 5.5 Pohang earthquake and uncertainty estimation based on hierarchical Bayesian inversion method

이지연^{1,*}, 김성룡², Marija Mustać³, 이상준¹
Jiyeon Lee^{1,*}, Seongryong Kim², Marija Mustać³, Sang-Jun Lee¹

¹고려대학교 기초과학연구원, jyom0310@gmail.com

²고려대학교 지구환경과학과

³Department of Geophysics, University of Zagreb

2017년 발생한 Mw 5.5 포항 지진은 double-couple mechanism (DC)이 추가되어 발생하는 일반적인 지구조 지진과는 다르게 높은 non-double-couple (non-DC) 성분을 기록했다. 이러한 특성은 복잡한 지진원 과정을 암시하며, isotropic (ISO) 성분으로부터 유체주입과의 연관성을 생각해 볼 수 있다. 하지만 정확한 non-DC 성분을 결정하는것은 어려우며, 이는 다른 파라미터들간의 상충 효과(trade-offs) 및 파형자료 품질과 관련된 문제 뿐만 아니라 기존의 선형 역산법의 근본적인 해의 비 유일성 문제에 그 원인이 있다. 실제 지진자료는 다양한 요소의 잡음을 포함하고 있지만 기존의 모멘트 텐서 역산법은 이를 고려하지 않는데, 본 연구에서는 이러한 점을 보완하기 위해 계층적 베이지안 모멘트 텐서 역산법을 적용하였다. 고른 방위각 분포를 고려하여 관측소 자료를 선별하고, 가정되는 데이터 잡음의 형태 및 주파수 범위, 관측소 별 허용되는 time shifts의 세 가지 효과가 모멘트 텐서 해에 미치는 영향을 동시에 살펴보았다. 이러한 조건에 대하여 베이지안 방법을 적용하여 그 불확실성을 정량적으로 추정하였다. 모멘트텐서해는 적용한 조건들의 변화와 큰 관계없이 비교적 안정한 변화를 보였지만, DC, CLVD, ISO 성분의 비율에 따른 source-type의 분포는 자료의 잡음 형태의 변화에 민감하게 반응하였다. 또한, 가장 장 주기 대역필터 (20-50s)를 적용할 때 ISO 성분이 20%에 육박하는 가장 높은 값이 기록되었으며, 보다 높은 주파수 영역을 포함시키면서 ISO 성분의 값이 크게 감소하는 것을 확인하였다. 이는 역산 시 가정되는 요소들에 따른 non-DC 성분들의 불안정한 특성을 나타내며, 이러한 불확실성을 고려할 때 2017년 포항지진 모멘트텐서해에서 나타나는 높은 non-DC 성분은 지진원 과정과 직접적인 관련성이 낮을 수 있음을 지시한다.

포스터 8-9

Pn, Sn 토모그래피를 이용한 한반도 최상부 맨틀의 3차원 속도구조 연구

3-D velocity structure from Pn and Sn tomography for the uppermost mantle beneath the southern Korean Peninsula

김민경^{1,*}, 김성룡², 송정훈³, 이상준¹
Minkyong Kim^{1,*}, Seongryong Kim², Jung-Hun Song³, Sang-Jun Lee¹

¹고려대학교 기초과학연구원, alsrud1956@gmail.com

²고려대학교 지구환경과학과

³서울대학교 지구환경과학부

최상부맨틀 영상화를 통해 지각과 맨틀의 상호작용을 통한 암석권의 진화과정을 추정할 수 있다. 한반도는 초기 형성과정에서부터 중생대-신생대 초에 걸친 반복적인 관입과 같은 복잡하고 다양한 지구조적 활동의 영향을 받아왔으며 이는 물리적-화학적 경계면인 모호면 근처 깊이에서 더 잘 관측될 수 있다. 본 연구에서는 모호면 굴절파인 Pn과 Sn의 도달시간을 이용하여 한반도 하부 최상부맨틀에 대한 고해상도 P파와 S파의 속도구조 모델을 구하였다. 2005년부터 2020년 사이에 한반도 주변에서 발생한 규모 2.9 이상인 59개의 지진기록으로부터 각각 2,586개의 Pn과 2,130개의 Sn의 도달시간을 얻었다. 측정된 데이터는 평균적으로 150 km 부근의 교차거리를 보여주었고, Pn 과 Sn 의 평균 속도는 각각 7.86 km/sec과 4.31 km/sec 였다. 연구에 사용한 지진의 위치는 한반도 1차원 속도구조모델과 비선형적 역산 알고리즘(NonLinLoc)을 이용하여 재결정되었다. 기존의 방법과 달리, 실제와 같은 3차원적인 모호면 굴절파의 전파를 고려할 수 있는 3-D fast marching ray tracing 알고리즘을 적용하여 최상부맨틀의 3차원 P파와 S파 속도구조를 결정하였다. 얻어진 모델은 전반적으로 중생대 관입과 관련된 지표의 지질구조와 높은 연관성을 보였으며, 특히 한반도 동쪽 경계에서는 높은 Vp/Vs비를 보였다. 이는 관입과 관련된 과정들이 한반도 지각을 크게 변형하였음을 지시하며, 특히 한반도 대륙 경계면에서는이전 연구에서 부분적으로 보고된 마그마 underplating이 광범위하게 분포할 수 있음을 나타낸다.

포스터 8-10

전단파 분리 특성을 활용한 한반도 주변 상부 맨틀 비등방성 연구**A study for anisotropy of the upper mantle beneath the southern Korean peninsula from shear wave splitting**조경준^{1,*}, 이상준¹, 김성룡²Kyeongjun Jo^{1,*}, Sang-Jun Lee¹, Seongryong Kim²¹고려대학교 기초과학연구원, kjo0825@gmail.com²고려대학교 지구환경과학과

비등방 광물의 배열로 인해 발생하는 전단파의 비등방성은 상부 맨틀의 동역학적 특성을 나타내는 중요한 지표이며, 원거리 지진을 이용한 관측망 하부 전단파 분리 특성 분석을 통해 이러한 비등방성을 측정할 수 있다. 이 연구에서는, 한반도 아래 상부 맨틀의 비등방성을 측정하기 위해 한반도에 분포한 광대역 관측소에 기록된 외핵에서 굴절된 전단파(SKS, SKKS, SKiKS, PKS) 기록을 사용했다. 자료는 1999년~2018년 기간 동안, 80°~145°의 거리 범위에서 발생한 규모 5.5 이상인 원거리 지진 중 육안으로 위상을 식별할 수 있는 자료를 선별하여 사용하였다. 비등방성 측정을 위해 상호 상관 방법, 전단 성분 최소화 방법, 고유값 방법을 각각 적용하여 교차 검증을 수행했으며, 측정 방법에 관계 없이 일관된 결과를 보이는 것을 확인했다. 한반도의 남쪽 경계 지역 관측소의 경우, 남쪽 방향에서 입사하는 지진파에 대하여 동-서 방향으로 빠른 축이 결정되며, 나머지 방향에서 입사하는 지진파에 대해서는 남-북 방향으로 빠른 축이 결정된다. 한반도 남부의 서쪽에 위치한 관측소의 경우, 동-서 방향과 남-북 방향이 복합적으로 나타나며, 동쪽 경계의 관측소에서는 빠른 축이 남-북 방향으로 일관되게 결정된다. 또한 모든 비등방성 측정 결과에서 지연 시간은 약 1초로 비교적 작게 측정된다. 이러한 상부 맨틀 비등방성의 패턴은 한반도 남서쪽에 두꺼운 암석권이 존재한다는 최근의 결과와 상응하며, 상부 맨틀의 흐름이 두꺼운 암석권에 의해 영향을 받고 있음을 지시한다. 추가적으로, 암석권 내의 화석된 비등방 구조의 영향이 있을 것으로 추정되며, 이를 검증하기 위한 모델링 결과가 제시될 예정이다.

포스터 8-11

유한요소법을 이용한 지진 후 점탄성 완화에 관한 3차원 수치 모사: 동해 하부 지각과 상부 맨틀의 강도에 관한 함의

3D Finite Element Modeling of Postseismic Viscoelastic Relaxation: Implications for Strength of Lower Crust and Mantle Beneath the East Sea

김민수*, 김나원, 김현섭, 소병달

Minsu Kim*, Nawon Kim, Hyeonseob Kim, Byungdal So

강원대학교 지구물리학과, bdso@kangwon.ac.kr

지진 주기는 지진 변위(coseismic displacement)와 지진 후 변위(postseismic displacement), 지진 간 변위(interseismic displacement)로 구성된다. 단층이 파열한 순간에 축적된 응력의 방출로 발생하는 탄성 변형이 지진 변위이며, 하부 지각과 상부 맨틀의 점탄성 완화(viscoelastic relaxation)는 지진 후 변위를 발생시킬 수 있다. 점탄성 완화에 의한 지표 변위의 시간 단위는 점성도와 전단 계수(shear modulus)의 비인 맥스웰 이완 시간(Maxwell relaxation time)에 의존한다. 점탄성 완화는 지진 변위에 의해 유도된 하부 지각과 상부 맨틀에 저장된 탄성에너지가 이완하는 것으로 하부 지각과 상부 맨틀의 점성도가 클수록(즉, 맥스웰 이완 시간이 길수록) 점탄성 완화 속도가 느리고 점성도가 낮으면 이완되는 속도가 빠르다. 본 연구에서는 탄성 상부 지각, 점탄성 하부 지각, 점탄성 상부 맨틀로 층화된 모형을 제작하여 단층의 파열 및 미끄러짐으로 인한 지진을 재현하고, 시간에 따른 지진 후 변위 변화를 모사하고자 한다. 지진 후 변위의 속도 및 영향을 미치는 공간적 범위는 점성도 및 맥스웰 이완 시간에 의존하므로 정확한 지진 후 변위 계산은 맨틀의 점성도 추정에 필수적이다. 본 연구는 범용성 유한요소 소프트웨어인 COMSOL과 오픈 소스인 PyLith 솔버를 사용했다. COMSOL은 내장 격자 생성기를 이용해서 공간적 모형 제작에만 사용했고, PyLith는 변위를 유한요소법으로 계산하기 위해 운동량 보존 방정식과 점탄성 조성 방정식을 결합한 선형계 해석에 사용했다. PyLith는 일반 유한요소 소프트웨어와 달리 절점을 분리해 계산이 가능하여 지진 단층을 모사하는 데 적합하다. 본 연구에서, 우리는 지진 후 변형 모사 연구를 3단계로 나누어 진행했다. 첫째, 미지질조사국에서 개발한 Coulomb3.0 소프트웨어를 이용하여 PyLith의 지진 변위 계산 능력을 검증하였다. Coulomb은 반 무한 공간에서 정의된 단층의 미끄러짐과 그에 따른 주변부의 지진 변형을 준 해석적으로 계산하여 얻은 해를 바탕으로 하는 소프트웨어다. Coulomb 모형과 PyLith 모형을 이용해 지진으로 발생한 지진 변위 값을 계산하고 비교함으로써 PyLith의 지진 변형 모사 능력에 관한 신뢰성을 확인하였다. 둘째, PyLith의 지진 후 점탄성 완화 모사 능력을 벤치마킹하였다. PyLith를 이용해 시간과 단층으로부터 거리에 따른 수평 및 수직 방향 지진 후 변위를 정량적으로 계산하여 기존 연구와 매우 유사한 결과를 얻었다. 셋째, 다양한 점성도 구조를 도입한 단층화된 2차원과 3차원 동해 모형을 제작하여 실제 2011년 Mw 9.0 도호쿠 대지진 후 동해 및 한반도에서 관측된 지진 후 변위와 비교하여 동해 하부 지각의 기계적 강도를 단순하게나마 추정하였다. 향후 깊이에 따른 압력과 온도 변화에 의한 강도 곡선(strength envelope)을 세밀하게 추가하고, 실제 동해와 유사한 복잡한 구조의 3차원 모형을 제작한다면 동해 하부의 실제 점성도를 추정할 수 있을 것으로 기대된다.

포스터 8-12

지각 내 밀도 이상체에 의한 하방 응력에 관한 3차원 유한요소 수치 모사: 한반도 남동부 응력 변화에 관한 함의

3D Finite Element Simulation of Downward Stress Driven by Crustal Density Anomaly: Implications for Stress State of Southeastern Korean Peninsula

김나원*, 김현섭, 김민수, 소병달

Nawon Kim*, Hyeonseob Kim, Minsu Kim, Byungdal So

강원대학교 지구물리학과, 201713509@kangwon.ac.kr

한반도 남동부에는 최근 경주지진(2016년 Mw5.5)포항지진(2017년 Mw5.4)이 발생하였다. 두 지진은 판 경계가 아닌 판 내부에서 일어나는 지진으로 이곳에서 발생하는 지진의 기작을 이해하기 위해서는 판 경계로부터 원거리에 있는 단층에 응력을 지속적으로 제공하는 근원에 관한 연구가 필수적이다. 판 구조 운동으로 발생한 응력은 먼 거리에 존재하는 다수의 단층에 동시에 영향을 미치므로 판 내부 단층에 큰 응력을 전달해 주기 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서, 한반도 남동부 지역에서 발생하는 지진의 원인으로 국지적 응력 작용을 고려해야한다. 기존 판내부지진에 관한 연구에서는 1) 액체 주입(fluid injection)에 의한 지진 유발, 2) 빙하의 후퇴나 퇴적물의 침식 때문에 발생하는 단층의 수직 응력 감소(fault unclamping), 3) 맨틀 대류에 의해 압축권 하부에 가해지는 끌림 힘(basal traction), 4) 밀도의 이질성이나 지형의 급격한 변화에 따른 중력 포텐셜 에너지 차이를 응력의 원인으로 제시했다. 중력 이상과 P파 단층촬영 연구는 양산 단층 하부에 주변과 높은 밀도를 가진 고밀도체가 존재할 수 있음을 제시했다. 남미 브라질의 판내부지진에 관한 중력 이상과 수치모사 조합 연구에서도 고밀도체가 지각을 당기면서 발생하는 응력이 주변의 단층을 재활성할 수 있다고 주장했다. 본 연구에서는 한반도 남동부 양산 단층 하부 일원에 존재하는 고밀도체의 하강으로 인해 발생하는 응력의 규모와 그에 따른 주변 단층의 응력 변화를 유한요소법으로 계산하기 위해 PyLith 솔버를 사용해 연구했다. PyLith는 모형 제작이 불가능하므로 외부의 격자망 생성기를 이용하여 탄성 상부 지각과 점탄성 하부 지각, 점탄성 상부 맨틀 모형을 제작하고 하부 지각 아래에 고밀도체를 정의했다. 중력을 작동시켜 고밀도체의 상부에 가해지는 응력 텐서에서 다양한 각도의 단층에 전달되는 응력을 쿨롱 응력 변화(Coulomb stress change)를 통해 계산하였다. 기존 연구를 통해 얻은 한반도 남동부에 분포한 단층의 깊이와 경사를 사용하여 단층에 쌓이는 응력의 크기를 정량적으로 계산하여 단층에 지진이 일어날 수 있을 만큼의 충분한 크기의 응력이 축적 가능한지 추정하였다.

포스터 8-13

스펙트럼 분석을 통한 2020년 해남지진군 진원 요소 추정

Estimation of source parameters for 2020 Haenam earthquake sequence using spectral analysis method

안병석^{1,*}, 강태섭¹, 유현재²Byeong Seok Ahn^{1,*}, Tae-Seob Kang¹, Hyun Jae Yoo²¹부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공, 11196abs@gmail.com²부경대학교 지질환경연구소

2020년 4월 26일부터 6월 11일 사이 한반도 남서부 해남지역에서 발생한 153건의 지진(이하 해남지진)의 진원 요소[모서리 주파수(f_c), 응력강하량, 지진모멘트(M_0) 및 모멘트규모(M_w)] 분석을 수행하였다. 기상청 및 한국지질자원연구원에서 운영하는 관측소의 광대역 속도 및 가속도 자료를 사용하여 진원 스펙트럼을 계산하였다. 각 관측소의 진원 스펙트럼으로부터 평균 진원 스펙트럼을 계산하였으며, 변위와 속도 진원 스펙트럼 밀도 간의 비를 이용하여 각 지진의 진원 요소를 추정하였다. 진원 요소 추정 결과, 전반적으로 M_0 가 커짐에 따라 f_c 가 낮아지는 것으로 나타났다. 응력강하량의 경우, M_0 에 비례하는 경향성이 나타났다. 이는 응력강하량이 규모와 관계없이 지역에 따라 일정한 것으로 알려진 것과는 상이하다. 한편, 추정된 M_w 와 기상청 발표 지역 규모(M_L) 간의 선형회귀분석을 통해 M_L - M_w 관계식을 유도하였다. 이 관계식은 Sheen *et al.* (2018)에서 개발된 M_L - M_w 관계식보다 낮은 M_w 경향성을 보여준다. 이는 두 관계식 유도에 사용된 지진의 규모 범위가 다르기 때문에 나타난 현상으로 보인다.

포스터 8-14

한반도 지진활동상수의 일관성 분석

Consistency analysis of seismicity on the Korean Peninsula

공민경^{1,*}, 유현재², 박제찬¹, 이상선¹Min-Kyung Kong^{1,*}, Hyun Jae Yoo², Jechan Park¹, Sangsun Lee¹¹한국전력기술 토건환경기술실, mkkong@kepco-enc.com²부경대학교

지진활동상수(a&b값)은 특정 지역의 지진활동을 대표하는 값으로 확률론적 지진재해도 분석에 큰 영향을 주는 요소 중 하나이다. 이번 연구에서는 지진관측 자료의 관측기간 차이에 따른 지진활동상수값의 일관성을 분석하였다.

2년의 관측기간 차이가 있는 두 개의 지진목록(한국 기상청 1978년~2017년 목록과 1978년~2019년 목록, 이하 2017-목록 및 2019-목록)을 사용하여 Gutenberg and Richter a&b값 및 규모 5.0 이상 지진의 연발생률(ν 값)을 산정한 후 두 목록에 의한 지진활동상수값들을 비교하였다. 지진활동상수 분석에는 Wiemer and Wyss (2000)에 제시된 기법을 사용하였다. 관측기간 차이에 따른 지진활동상수의 공간적 변화양상을 분석하기 위해 격자 평활화 기법을 적용하여 지진활동상수 평활화 지도를 작성하였다. 한반도와 그 주변지역($32^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$, $123^{\circ}\sim 133^{\circ}\text{E}$)을 0.5도 간격의 격자로 나눈 후 총 441개 격자에서 지진활동상수 분석을 수행하였다. 각 격자에서 300 km 거리에 포함되는 모든 지진자료를 이용해 지진활동상수를 분석하였으며 안정적인 지진활동상수 분석을 위해 각 격자에서 활용 가능한 지진자료의 갯수가 300개 이상인 경우에만 계산을 수행하였다. 2017-목록 및 2019-목록의 M_c , b값 및 ν 값(단위 면적으로 정규화)의 평활화 지도를 구한 후 그 변화양상을 분석하였다.

분석 결과 두 목록에 의해 산출된 b값이 국지적인 미소한 차이를 제외하면 연구지역 내에서 거의 동일한 공간적 변화양상을 나타내었다. 또한, 동해연안 지역과 내륙의 일부지역에서 최대 약 0.005 정도의 지진발생률(ν 값)의 변화를 보여주지만, 그 외의 지역에서는 전반적으로 동일한 공간적 변화양상을 나타내었다. 이는 전체 관측기간에 비해 상대적으로 짧은 기간(2년) 동안 추가된 지진기록의 차이는 지진활동상수값에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다.

포스터 8-15

지진동 예측을 위한 한반도 남부 지역 적합 GMPE 평가

Validation of ground motion prediction equations for ground motion predictions in the southern Korean Peninsula

박하영^{1,*}, 김성룡², 이상준²Hayoung Park^{1,*}, Seongryong Kim², Sang-Jun Lee²¹충남대학교 지질환경과학과, hyoung0713@naver.com²고려대학교 지구환경과학과

Ground Motion Prediction Equation (GMPE; 지진동예측식 또는 감쇄식)은 강진동을 효율적으로 예측하는데 있어 가장 중요한 요소이다. 지진재해도 결정 등의 과정에서 지진동 모사를 위해 국내외 많은 수의 GMPE가 제안되었으며, 이들은 각 지역에 적합하도록 다양한 형태의 관계식과 매개변수 값을 가지고 있다. 본 연구에서는 다양한 국내외 GMPE를 탐색하고 국내 발생 지진의 강진동에 대한 적합도를 분석했다. 이를 위해 먼저 국내 지진에 대한 계기관측 자료의 표준화된 최대지반속도, 가속도, 응답스펙트럼 포함하는 강진동 자료(flatfile)를 생성했다. 이러한 관측치와 GMPE 예측치와의 잔차를 비교하여 최종적으로 GMPE의 적합도를 평가했다. 강진동 값은 필터 사용과 측정방식 등에 따른 다양성이 존재하므로, 미국 USGS의 ShakeMap software (Worden *et al.*, 2020)를 사용하여 측정했다. 잔차의 통계분석을 통해 한반도 강진동 특성을 반영하는 GMPE를 선별하고, 나아가 경험적 자료에 기반한 차세대 GMPE 도출을 목표로 하는 후속연구를 위한 관계식 형태를 제안하고자 한다.

포스터 8-16

수치 해석을 통한 해구의 모양을 조절하는 기작 제시: 해구 퇴적물의 효과

A suggestion of the mechanism controlling subduction trench shape using numerical analysis: the effect of trench sediment

금재윤*, 소병달

Jae Yoon Keum*, Byung-Dal So

강원대학교 지구물리학과, jaeyoon.keum@kangwon.ac.kr

현생 지구에서 나타나는 섭입대에서의 해구 모양은 매우 다양하며, 이는 각각의 섭입대마다 해구의 움직임이 다르다는 것을 암시한다. 해구의 주향방향을 따라 하나의 섭입대에서조차 해구 움직임의 편차를 설명하기 위해 최근 10년간, 1) 해양판의 나이에 따른 음의 부력차이, 2) 섭입 슬랩의 양 끝에 존재하는 맨틀의 도넛형 흐름(toroidal flow), 3) 섭입판 아래에서 맨틀 플룸의 충돌 등의 지구조적 기작이 제시되어 왔다. 한편, 기후와 해수면 변화에 의해 전 지구적인 표면 과정(surface process)과 관련된 퇴적물의 효과가 해구의 움직임에 미치는 영향에 대해서는 상대적으로 논의가 부족한 상황이다. 섭입대 역학에서 해양 암석권에 비해 상대적으로 밀도가 낮은 해구 퇴적물의 역할은 해양 암석권의 음의 부력에 의해 발생하는 슬랩 당김 힘(slab pull force)에 저항하는 지각 평형의 복원력(isostatic restoring force)을 발생시키는 것이다. 본 연구에서는 해구 움직임을 조절하는 해구에 충전된 퇴적물(trench sediment)의 효과를 규명하기 위해, 3차원 열-역학적(thermo-mechanical) 섭입대 수치 모형을 제작하였다. 실험 결과는 상대적으로 두꺼운 해구 퇴적물에서 해구 후퇴의 양이 적어지고, 얇은 해구 퇴적물을 적용한 경우 해구 후퇴의 양이 많아지는 것으로 나타났다. 해구의 주향방향을 따라 해구 퇴적물의 다양한 분포를 고려한 경우(예, 해구의 중앙 부분에 각각 두꺼운 또는 얇은 해구 퇴적물 적용과 양 끝 부분에 각각 얇은 또는 두꺼운 해구 퇴적물 적용) 현생 섭입대에서 나타나는 오목(concave) 혹은 볼록(convex)한 해구 모양이 도출됨을 확인하였다. 뿐만 아니라, 실험 결과는 [Schellart and Rawlinson, 2013]이 보고한 전세계 해구 곡률(trench curvature)의 범위 안에 속하는 것을 확인하였다. 따라서 우리는 해구 퇴적물이 해구 모양을 조절하는 인자가 될 수 있음을 토론하고자 한다.

포스터 8-17

열개 형성에 관한 3차원 유한 요소 수치 모형의 타당성 평가: 한반도와 울릉 분지의 지열류량 설명의 관점에서

3D Finite Element Numerical Model for Rifting: Implications for heat-flow data of the Ulleung Basin and Korean Peninsula

장민석*, 문병전, 홍운서, 소병달

Minseok Jang*, Byungjeon Moon, Yunseo Hong, Byungdal So

강원대학교 지구물리학과, alstjr2264@kangwon.ac.kr

열개(rift) 작용은 판 간의 상대 운동이나 지구 심부 물질의 용승이 일으킨 인장력에 의해 암석권이 확장되고 그 일원에 정단층의 발달 및 지각이 얇아지는 현상으로, 지구 내부 물질 순환에 있어 중요한 지구동역학적 현상이다. 열개 형성의 진화 과정을 규명하기 위해 유한요소법 등의 다양한 방식의 수치 모사 연구가 수행되어왔다. 한반도와 일본 열도 사이에 존재하는 동해는 올리고세에서 마이오세(32 Ma ~ 18 Ma)동안 태평양 판과 필리핀 판이 수렴하는 과정에서 유도된 해구 후퇴(trench rollback) 현상에 의해 다양한 방향의 열개 작용이 발생한 후열도 분지이다. 동해는 형성 과정에 대한 많은 가설이 경쟁 중이며 지구물리학적 탐사 자료 역시 충분하지 않은 지역이다. 본 연구에서는 지구동역학 유한 요소 해석기(solver)인 ASPECT를 이용하여 공간상에서 유체 격자를 흐름과 함께 움직이도록 임의의 재구성하는 ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) 기법을 바탕으로 자유 표면(Free surface) 3차원 수치 모형을 제작하였다. 지배방정식으로 질량 보존 법칙, 운송 방정식, 비압축성 유체의 스토크스 방정식, 에너지 보존 방정식을 도입했다. 모형은 상부지각 및 하부지각과 암석권 맨틀로 이루어진 대륙 암석권 구조로 구성되어 있고 모형 전체는 중력의 영향을 받으며 좌/우 경계에 등속(1 cm/yr) 인장이 부가되었다. 넓은 범위의 초기 지온 구배를 도입하여 열개 모형을 계산한 후, 다양한 열개 형태를 유도했다. 그리고 각 열개 형태와 20세기 후반부터 탐사한 동해 울릉 분지와 한반도 남동부의 지열류량 자료와의 상관관계를 추적하였다. 본 연구를 통해 제작된 3차원 수치 모형으로 후열도 분지의 생성 및 확장을 확인하고 열곡 구조를 구현하였으며 2007년 탐해 2호가 시행한 울릉 분지 지열류량 탐사 자료와 대조할 수 있었다. 하지만 모형에서 울릉분지를 중심으로 한 주변부의 역학적 운동, 지각평형을 맞추는 물질이동이 없었다는 한계가 있다. 향후 연구에서는 더 많은 지구물리탐사 자료(동해 형성 시 이동 경로 및 속도, 퇴적층의 두께와 속도 등)를 적용시켜 더 발전된 모형의 개발을 예상하며 열개 과정과 발생 기작의 이해를 증진시킬 것으로 기대한다.

3D Ground Motion Simulations of Pseudo-dynamic Source Models for the 2016 Gyeongju Earthquake

Jaeseok Lee^{1,*}, Jung-Hun Song¹, Junkee Rhie¹, Seok Goo Song³, Seongryong Kim²

¹*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, jaeseok291@gmail.com*

²*Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University*

³*Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*

Accurate evaluation on the intensity and variability of ground motions from an earthquake is crucial in seismic hazard analysis. The ground motions resulting from a future earthquake can be variable when the source uncertainties are coupled with wave propagation effects and site effects. The source uncertainties lie within the range of feasible earthquake scenarios, which are constrained by the physical laws of the rupture process. Yet neither realistic source uncertainties nor their effects on ground motion in complex velocity structures are explicitly considered in classical ground motion prediction methods that have been applied to the Korean Peninsula. In this research, we calculate the full 3-component ground motions across the Korean Peninsula up to 1Hz for an ensemble of M_w 5.4 scenario earthquakes at the Yangsan fault, Gyeongju through pseudo-dynamic source modelling and wave propagation simulation in a three-dimensional velocity structure. An ensemble of physically consistent earthquake scenarios accounting for both epistemic and aleatory source uncertainties were generated stochastically by emulating the 1-point and 2-point statistics of earthquake source parameters derived from a series of dynamic rupture models. The possible range of peak ground motions across the Korean Peninsula were estimated and compared with the observations of the 2016 M_w 5.4 Gyeongju earthquake. Surface-wave radiation patterns, rupture directivity effects, and the effects of the 3D velocity structure are recognized in the spatial distributions of the calculated peak ground velocity. The simulation results suggest that large ground motions with a wide range of variability may be expected at low-velocity regions in proximity to the Yangsan fault in occurrence of future earthquakes.

포스터 8-19

주성분 분석과 랜덤 포레스트 기반의 기계학습을 활용한 단층 배치 조절 인자 인식

Recognition of controlling factor from fault distribution using Machine Learning based on Principal Component Analysis and Random Forest

장진수*, 소병달

JinSu Jang*, Byung-Dal So

강원대학교 지구물리학과, jinsujang@kangwon.ac.kr

단층의 공간적 배치는 단층 사이의 응력 상호작용에 영향을 미친다. 기계학습을 이용해서 단층의 공간적 배치와 응력 상호작용 간의 관계를 분석하기 위해 단층 분포의 복잡도나 자료의 크기가 기계학습에 미치는 영향을 조사할 필요가 있다. 본 연구에서는 다양한 매개변수가 기계 학습 분류기의 성능에 미치는 영향을 조사하기 위해 10000개 이상의 단층 배치 자료와 주성분 분석과 랜덤 포레스트로 구성된 분류기를 활용하였다. 단층 배치 자료는 한 변의 길이가 R km인 정사각형 영역에 다수의 단층을 임의의 위치에 배치한 이미지로 구성된다. 이미지 형태의 자료는 전처리 과정을 통해 기계학습 분류기에 입력 가능한 형태로 변환된다. 그 후, 주성분 분석은 전처리 된 자료의 차원을 감소시키고 단층 배치의 지배적인 특징을 추출한다. 랜덤 포레스트는 추출된 특징과 이에 대응하는 R 값을 바탕으로 결정 경계를 형성하여 학습을 완료한다. 학습이 완료된 기계학습 분류기는 새로운 단층 배치 이미지의 단층 배치 조절인자를 인식한다. 학습자료의 수와 단층 배치 자료로부터 추출한 주성분의 수는 기계 학습 분류기에 영향을 미치는 매개변수이다. 주성분 분석이 추출한 주성분으로 재구성한 자료와 원본 자료를 비교한 결과, 더 많은 학습자료를 사용하거나, 다양한 R 값이 적용될수록 재구성된 자료가 원본의 특징을 보존하기 위해 더 많은 주성분이 필요했다. 학습 자료의 수에 따라서 효율적인 기계학습 분류기를 위한 주성분의 수를 조사하기 위해 학습 자료 수와 주성분 수의 비율에 따른 정밀도를 조사하였다. 그 결과, 두 변수의 비율이 ~ 0.1 일 때, 분류 정밀도가 높은 경향을 보였다. 이 결과는 주성분 분석과 랜덤 포레스트로 구성된 분류기가 구체적인 단층의 배치보다 단층이 배치되는 영역을 기준으로 단층 배치 자료를 분류하며, 특징 추출을 위한 주성분의 수는 학습에 사용되는 자료 수에 의존함을 지시한다.

포스터 8-20

유한요소법에서 Particle-in-cell 방법을 이용한 맨틀 대류 수치 모사 전략

Numerical strategies for mantle convection using PIC-FEM scheme

박상진*, 안수정, 소병달
Sangjin Park*, Soojung An, Byung-Dal So
강원대학교 지구물리학과, psjin0329@kangwon.ac.kr

암석권과 맨틀의 거동에 초점을 맞춘 많은 지구동역학 유체해석 코드들이 유한요소, 유한차분법과 같은 격자 기반 이산화 방법을 Particle-in-cell (PIC) 방법과 결합하여 사용한다. 고정된 격자에서 물질의 흐름을 모사하기 위해 격자 위에 물성, 물질을 대변하는 입자를 띄우고 속도장에 따라 대류하며 정보를 전달한다. 맨틀 대류와 같은 열대류 현상의 모사는 스토크스(Stokes) 방정식과 함께 열 방정식의 해석이 필요하고 PIC를 도입함으로써 열의 대류에 관한 대수 연립방정식을 풀지 않고도 직접적으로 해결할 수 있다. 본 연구에서는 간단한 맨틀 대류 문제를 벤치마킹하고 열 대류항을 해결하기 위해 PIC를 이용한 방법과 직접 솔버를 이용한 방법을 각각 사용, 비교하였다. 격자의 절점으로부터 입자로 온도를 보간하기 위한 두 가지 전략과 스토크스 방정식에 온도장을 전달하기 위한 효율적인 방식을 확인하였다.

포스터 9-1

규산염 표준물질 산소동위원소 비의 국제 상호비교 차이 개선을 위한 2점-표준화 방안

Two-point normalization for reducing inter-laboratory discrepancies in $\delta^{17}\text{O}$, $\delta^{18}\text{O}$, and $\Delta^{17}\text{O}$ of reference silicates

김낙규^{1,*}, 박창근², Minoru Kusakabe³

Nak Kyu Kim^{1,*}, Changkun Park², Minoru Kusakabe³

¹극지연구소 K-루트 사업팀, kimnk@kopri.re.kr

²극지연구소 극지지구시스템연구부

³Department of Environmental Biology and Chemistry, University of Toyama

레이저 불화방식이 개발된 이후 규산염 광물 및 암석의 산소동위원소 분석이 전 세계적으로 빈번하게 이루어지고 있다. 보고되는 산소동위원소의 델타 값($\delta^{17}\text{O}$, $\delta^{18}\text{O}$)은 기본적으로 측정 대상의 산소동위원소 비와 VSMOW(Vienna Standard Mean Ocean Water) 산소동위원소 비 차이로 정의된다. 하지만 서로 다른 실험 환경으로부터 기인한 동위원소 분별 효과를 보정하기 위해 산소동위원소 비가 매우 결핍된 SLAP(Standard Light Antarctic Precipitation, -55.5‰)을 이용한 2점-표준화법(VSMOW-SLAP scaling) 적용이 필요하다. 본 연구에서는 분석 정확성 향상을 위해 VSMOW와 SLAP의 산소동위원소를 분석하였다. 전통적인 불화방식을 통해 물 시료에서 산소를 추출하였고 규산염 고체 시료들을 분석하는 전처리 라인을 이용해 순수한 산소 기체만 정제하여 안정동위원소 질량분석기로 산소동위원소 비를 측정하였고, VSMOW와 SLAP의 결과를 바탕으로 국제 표준시료들(UWG2 garnet, NBS28 quartz, San Carlos olivine)의 산소동위원소 값을 2점-표준화법을 적용하여 보정하였다. 선행 문헌에서 보고된 값들을 수집·비교하였을 때, 2점-표준화법으로 보정한 산소동위원소 값들이 미보정 산소동위원소 값들보다 연구실 간 차이가 감소하였음을 확인하였다. 산소동위원소 분석의 정확성 및 정밀성이 향상되면서 최근 연구자는 $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ 비의 작은 차이에 대해서도 관심을 가지기 시작했다. 주어진 $\delta^{18}\text{O}$ 값에서 기준질량분별선(reference fractionation line)으로부터 $\delta^{17}\text{O}$ 값의 편차를 $\Delta^{17}\text{O} (= \ln(1 + \delta^{17}\text{O}) - \lambda \times \ln(1 + \delta^{18}\text{O}) - \gamma)$ 로 표현한다. 하지만 지구물질의 $\Delta^{17}\text{O}$ 값은 매우 작은 범위 내에서 변동하고, 기준질량분별선의 기울기와 γ -절편의 임의적인 선택에 따라 그 값이 매우 크게 변한다. 아직 합의된 기준질량분별선이 없지만, 최근 Miller *et al.* (2020)이 제시한 2점-규산염 질량분별선이 연구실 간 $\Delta^{17}\text{O}$ 비교연구에 적용할 수 있음을 확인하였다. 향후 규산염 광물 및 암석의 $\Delta^{17}\text{O}$ 정보가 지구화학 연구에서 중요한 역할을 할 것으로 기대한다.

포스터 9-2

제주도의 생물학적 섭취 스트론튬 동위원소 조성

Isotopic composition of biologically available strontium in Jeju Island, Korea

정민지^{1,2,*}, 임성균^{1,2}, 정연중², 정기영³, 류종식⁴, 정창식^{1,2}Min-Ji Jung^{1,2,*}, Sung-Gyun Yim^{1,2}, Youn-Joong Jeong², Gi Young Jeong³, Jong-Sik Ryu⁴, Chang-sik Cheong^{1,2}¹충남대학교 분석과학기술대학원, jmj8967@kbsi.re.kr²한국기초과학지원연구원³안동대학교 지구환경과학과⁴부경대학교 지구환경과학과

먹이사슬을 통해 생물체에 전달되는 스트론튬(Sr)의 동위원소 조성은 1980년대부터 법과학적, 고고학적 연구에 널리 활용되어왔다. 생물학적 섭취 스트론튬의 동위원소 조성($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)은 대사 과정을 통해서는 거의 분별되지 않아서 매우 유용한 지구화학적 지시자가 될 수 있지만, 가능한 기원물질이 토양, 대기, 수원지, 또는 비료 등으로 다양하기 때문에 일반적으로 기반암의 동위원소 값을 그대로 반영하지 않는다. 우리는 제주도의 생물학적 섭취 스트론튬 동위원소 분포와 기원물질의 반영 특징을 알아보기 위하여 8군데 지점에서 토양과 식물을 채취하였다. X선 회절분석 결과에 의하면 토양은 석영이나 일라이트-스펙타이트 점토 등 제주도에서 직접적으로 유래되기 어려운 광물로 구성되어 풍성층으로 해석되는 1군, 조면암질 기반암으로부터 유래된 새니딘을 포함하는 2군, 그리고 감람석과 휘석, 비정질 물질 등 현무암질 기반암으로부터 유래된 광물로 주로 구성되는 3군으로 나눌 수 있었다. 3군에는 폐각으로부터 유래된 아라고나이트를 함유한 시료도 있었다. 토양과 식물 시료의 스트론튬 동위원소 자료는 한국기초과학지원연구원의 다검출기 유도결합 플라즈마 질량분석기를 이용하여 구했다. 토양을 전체적으로 녹여 분석한 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 결과는 대부분 제주도 화산암의 값(0.7045 내외)보다 높았는데 1군의 경우 0.712를 초과하였다. 1M 질산암모늄과 초산으로 각각 용출시킨 토양의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 도 대개 화산암 값보다 높았으며 사장석이나 비정질 유리, 폐각과 같이 잘 용해되는 광물들의 조성이 주로 반영되어 0.7047에서 0.7092 범위였다. 이러한 토양 추출물의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 은 식물 값(0.7062-0.7092, 평균 \pm 표준편차 = 0.7077 ± 0.0012)과 상관관계를 잘 보여 생물학적 섭취 스트론튬이 토양의 지배를 받고 있음을 알 수 있었다. 토양 추출물보다 다소 높은 식물 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 값은 지하수($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7053$ 내외)보다는 해수($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7092$)의 영향을 반영하는 것으로 해석되는데, 분무, 빗물, 해수 침투 등 다양한 공급 경로를 생각할 수 있다. 이번 연구에서 구한 제주도의 생물학적 섭취 스트론튬 동위원소 조성은 향후 법과학적, 고고학적 문제 해결에 과학적 단서를 제공할 수 있을 것이다.

포스터 9-3

레이저 삭박 유도결합 플라즈마 질량분석 과정에서의 루비듐과 스트론튬 동위원소 질량 분별 관찰과 보정

Correction for mass fractionation of Rb and Sr isotopes during laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry

임성균^{1,2,*}, 정민지^{1,2}, 정연중², 김영민², 정창식^{1,2}

Sung-Gyun Yim^{1,2,*}, Min-Ji Jung^{1,2}, Youn-Joong Jeong², Yeongmin Kim², Chang-sik Cheong^{1,2}

¹충남대학교 분석과학기술대학원, ysg0911@kbsi.re.kr

²한국기초과학지원연구원

이 연구에서는 한국기초과학지원연구원 오창 캠퍼스의 레이저 삭박 다검출기 유도결합 플라즈마 질량분석기를 이용한 분석 결과에 미치는 Sr과 Rb 동위원소의 동중간섭(isobaric interference)과 질량분별효과를 알아보고 적절한 보정 절차를 수립하였다. Ar 가스에 포함되어 Sr 동위원소 84와 86에 겹치는 Kr 동위원소의 피크 세기는 ^{84}Kr 기준 1.6 mV에서 0.1 mV 수준이었으며 배경값으로 제거하였다. NIST SRM610으로부터 측정된 83 질량수와 83.5 질량수 피크 세기 사이의 비율은 $^{166}\text{Er}/^{167}\text{Er}$ 과 잘 일치하였으며 85.5와 86.5 질량수의 피크 세기 비율($^{171}\text{Yb}^{2+}/^{173}\text{Yb}^{2+}$)은 0.88 내외로 $^{171}\text{Yb}/^{173}\text{Yb}$ 비율과 같아서 희토류원소 2가 동위원소의 보정이 원활하게 이루어질 수 있음을 알 수 있었다. 84, 85, 86, 87, 88 질량수에 겹치는 희토류원소 2가 동위원소의 간섭은 83.5 ($^{167}\text{Er}^{2+}$), 86.5 ($^{173}\text{Yb}^{2+}$) 질량수의 피크 세기와 문헌상의 희토류 동위원소 비를 이용하여 보정하였다. ^{87}Rb 의 보정에 있어서 고려하여야 하는 가장 중요한 요소는 동위원소 사이의 비율이 장비를 이용한 측정 과정 동안 실제 값에 비해 달라지는 기기질량분별 현상이다. NIST 610의 알려진 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비로부터 계산을 통하여 Rb의 기기질량분별계수(β)를 구해 보면 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$ 비로부터 구한 Sr의 질량분별계수와 약한 음(-)의 관계를 보이며 변함을 알 수 있었다. 실제로 레이저 삭박과정 동안 Rb과 Sr 동위원소의 신호 세기 변화는 측정조건에 따라 일관되지 않게 일어남을 확인하였다. 따라서 특히 Rb/Sr 비가 높은 물질에 대해서는 $\beta(\text{Sr})$ 을 $\beta(\text{Rb})$ 으로 가정하여 Rb의 질량간섭을 보정하는 방법을 쓸 수 없다. 하지만 브래킷(bracketing) 방법을 쓸 경우 Rb과 Sr의 농도비가 1 내외인 NIST 610에 대해서도 신뢰할 만한 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{85}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 결과를 얻을 수 있었다. 한편 Rb을 거의 포함하지 않는 상어 이빨($\text{Sr} = \sim 1600$ ppm)과 NIST 616 ($\text{Sr} = \sim 40$ ppm)에 대해서는 $\beta(\text{Rb})$ 을 $\beta(\text{Sr})$ 으로 가정하여 Rb의 질량 간섭을 보정할 경우에도 거의 정확한 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 값을 구할 수 있었다. 상어 이빨 결과에 있어서는 산화물(아마 ArPO^+)에 의한 87 질량수의 간섭효과가 미미하지만 인지되었다.

포스터 9-4

환경추적자를 이용한 중규모 수계 내 하천수 유동 시스템 평가

Assessment of stream-water flow system in a mesoscale watershed using environmental tracers

정윤영^{1,*}, 고동찬², 신우진¹, 이광식¹, 오용화²Youn-Young Jung^{1,*}, Dong-Chan Koh², Woo-Jin Shin¹, Kwang-Sik Lee¹, Yong-Hwa Oh²¹한국기초과학지원연구원 환경분석연구부, jyy0211@kbsi.re.kr²한국지질자원연구원 지하수연구센터

결정질 암반으로 구성된 202.5 km² 규모의 논산에 위치한 노성천 유역을 대상으로 강우패턴 변화에 따른 하천 유동 시스템의 변동 특성을 규명하기 위한 현장 연구를 수행하였다. 갈수기와 풍수기 두 차례에 걸쳐 이 유역 일대의 하천수와 지하수에 대한 현장수질 측정과 주요 용존 이온 및 물 안정동위원소 분석을 실시하였다. 시기별 강수량 변동에 따른 지하수의 주요 용존 이온 농도 및 물 안정동위원소 조성 변화는 크지 않아 결정질 암반 내 파쇄대를 통한 심부 유동이 지배적인 것으로 나타났다. 반면, 하천수의 이온 농도 및 동위원소 조성은 지하수에 비해 상대적으로 시기적 변동성이 크게 관찰되어 강수량 변동에 민감하게 반응하는 것으로 파악되었다. 지하수에서 높은 Ca²⁺와 Cl⁻ 농도는 농경지의 대표적인 오염물질인 NO₃⁻와 높은 상관성을 보여, 연구지역 평지의 지하수 대부분이 농업활동에서 기인된 지표오염원 유입이 취약한 특성을 보였다. 하천수의 경우 상부에서 하부로 유동거리가 증가함에 따라 물 안정동위원소 조성의 부화와 더불어 Ca²⁺와 Cl⁻ 농도가 증가하여 농업활동의 영향을 받은 지하수의 유입이 점차 증가하는 양상을 보였다. 주요 지류가 합류되는 노성천 본류의 경우 시기별 주요 용존 이온 농도 및 물 안정동위원소 조성은 명백한 차이를 보인 반면, 하천 유동거리 증가에 따른 변화는 극히 미약하였다. 하지만 노성천을 구성하는 주요 지류들의 경우 하천 유동거리 증가에 따른 물 안정동위원소 부화 및 농업활동에 따른 지표 오염 물질의 농도 변화는 시기적으로 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이때, 강우가 집중되는 풍수기에 지류의 평균 산소 동위원소 조성과 지류를 구성하는 수문소유역의 평균지형경사는 높은 음의 상관성을 보여주었다. 이러한 결과는 풍수기에 토양층 발달이 상대적으로 불량한 산지를 중심으로 천부지하수 또는 지표유출량 증가가 연구유역 하천 수계 전반에 걸쳐 지배적인 영향을 미친다는 것을 시사한다고 볼 수 있다. 산소 동위원소와 NO₃⁻ 농도를 기준으로 하천수에 영향을 주는 세가지 유형의 지하수를 구분할 수 있었는데, 산지의 천부지하수와 논 경작지에 분포한 지하수가 하천수에 미치는 영향이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 시기적으로는 갈수기보다 풍수기에 산악지역을 통한 천부지하수의 영향이 하천 수계 전반에 걸쳐 확연히 커진데 반해, 상대적으로 농경지가 주로 분포하는 평지를 통한 지하수의 영향은 상대적으로 작았다. 이러한 결과들은 결정질 암반으로 구성된 중유역 내 하천수 유동이 산지에서 발원된 상위수계에 좌우됨을 의미하는 것으로, 산악지역을 중심으로 하천수의 보존과 관리의 중요성을 시사하고 있다.

포스터 9-5

산성용액의 미량원소 농도를 측정하기 위한 시린지필터의 평가

Evaluation of commonly used syringe filters for the measurement of trace elements in acidic solutions

신우진^{1,*}, 신형선², 황지훈¹, 이광식¹

Woo-Jin Shin^{1,*}, Hyung Seon Shin², Ji-Hun Hwang¹, Kwang-Sik Lee¹

¹한국기초과학지원연구원 환경분석연구부, sirms4@kbsi.re.kr

²한국기초과학지원연구원 연구장비운영부

여과과정은 용액의 미량원소에 대한 농도를 측정하기 위해 용존물질과 부유물을 분리하는 일반적인 방법이다. 따라서 시료에서 미량원소의 정확한 농도를 측정하기 위해서는 여과과정 중 필터로부터 배출되는 원소의 유무를 판단하는 것과 함께 정량적인 측정이 매우 중요하다. 이 실험에서는 일반적으로 사용되는 필터 중에서 다른 재질로 구성된 세 종류의 시린지필터(PVDF, PTFE, GD/X)에 질산암모늄과 아세트산을 통과 시킨 후 배출되는 용액에 대한 미량원소의 농도를 측정하였다. 산처리한 필터로부터 배출된 용액에 대한 미량원소 농도도 함께 비교하였다. 분석한 대부분 미량원소(Li, Al, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Cd, Cs, Ba, Pb, U)에 대한 농도는 산처리를 거친 필터를 통과한 용액에서 높게 측정되었다. PVDF와 PTFE를 통과한 용액의 경우 여러 가지 미량원소가 검출한계보다 낮게 측정되었다. 필터의 종류와 필터의 산처리 여부와 관계없이 질산암모늄에서 Li, Cu, Zn, Mo와 Ba 아세트산에서 Al, Cr, Mn, Cu, Zn와 Ba 농도가 다른 미량원소보다 높은 농도로 측정되었다. 이러한 차이점은 glass microfiber layers로 구성된 GD/X로부터 배출된 용액에서 특히 뚜렷하게 관찰되었다. 이는 필터로부터 다양한 미량원소가 배출되었음을 의미하며 필터를 구성하고 있는 물질에 따라 배출되는 미량원소의 양이 다를 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로, 필터를 사용하는 목적과 분석하고자하는 미량원소 등을 고려하여 필터는 신중하게 선택하여야 한다.

포스터 9-6

미세먼지 포집용 필터 내 무기 원소 배경농도

Background concentration of inorganic elements in suspended particulate matter (SPM) collecting filter

이지영*, 정 석, 고태경, 박수빈, 류종식
 Jiyeong Lee*, Seok Jeong, Taegyeong Go, Soobin Park, Jong-Sik Ryu

부경대학교 지구환경과학과, jylee@pukyong.ac.kr

국내 대기환경보전법에는 대기 중 떠다니거나 흩날리는 입자상물질(PM: Particulate Matter) 중 입자의 지름이 10 μm , 2.5 μm 이하인 물질을 각각 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5)로 정의하고 있다. 미세먼지는 사람의 호흡기에 침투해 폐에 영향을 주고 심혈관질환을 일으킬 수 있는 등 건강 위해성 때문에 전 세계적으로 미세먼지에 관한 연구가 널리 진행되고 있다. 하지만 미세먼지의 발생원, 유입경로, 측정, 예보, 저감 대책 등에 관한 연구에 집중되어 있고, 미세먼지 초정밀 정량분석을 위한 미세먼지 포집용 필터의 배경 성분 및 전처리 방법에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 이 연구는 미세먼지 포집용 필터의 배경 성분을 정량분석하여 미세먼지 초정밀 정량분석을 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 대기오염 공정시험기준에 적합한 미세먼지 포집용 필터 중, NC (Nitrocellulose) 11종류, Nylon 1종류, PTFE (Polytetrafluoroethylene) 7종류, GF (Glass fiber) 2종류를 선정하여 미국 환경 보호국(Environmental Protection Agency) 방법에 따라 왕수를 이용해 전처리 한 후, Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)와 ICP-Mass Spectrometer (ICP-MS)를 사용해 필터 내 무기원소를 분석하였다. 분석 결과, 다양한 종류의 필터 중 GF 필터의 배경 성분 농도가 가장 높게 검출되었다. 즉, 나트륨이 $1,105 \pm 59.92 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 가장 높았고, 알루미늄($513.95 \pm 20.11 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), 칼륨($392.37 \pm 9.70 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), 아연($551.42 \pm 6.75 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) 등 거의 모든 원소의 함량이 다른 필터에 비해 높게 검출되었다. NC 필터는 나트륨($44.64 \pm 5.39 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), 인($41.94 \pm 0.69 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), 칼슘($6.80 \pm 0.31 \mu\text{g}/\text{cm}^2$)과 같은 원소들이 많이 검출되었다. Nylon 필터의 경우 인의 함유량이 $2.96 \pm 0.02 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 가장 높았고, PTFE 필터는 모든 성분이 $0.36 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 이하로 가장 낮았다. 따라서, 미세먼지 중 무기원소에 대한 연구를 하기 위해서는 PTFE 필터를 사용하는 것이 가장 좋을 것으로 판단된다.

포스터 9-7

The impact of lockdown due to COVID-19 in China on Seoul's PM2.5 ionic composition

Giyeon Lee*, Jinho Ahn, Min Sub Sim

School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, giyeon80@snu.ac.kr

High concentrations of atmospheric particulate matter such as PM10 and PM2.5 (diameter $\leq 10 \mu\text{m}$ and $\leq 2.5 \mu\text{m}$, respectively) are a main concern regarding to air pollution in Seoul, South Korea. Multiple studies suggested that pollutants from Eastern China could be the regional source especially during the winter season because of the westerly and typical seasonal wind flow. However, due to the outbreak of COVID-19 major cities of China had been lock-downed (first on Jan. 23 in Wuhan); and during February - March 2020, air quality in Seoul had been improved and there was no severe haze event even though there was no lockdown implemented in South Korea. In that point, ionic composition and isotopic value of PM2.5 might have changed during that period compared to previous winter and early spring seasons. This large-scale regulation may give us a chance to evaluate the contribution of human activity to the air quality. 28 PM2.5 samples (Dec. 2017 - Mar. 2018, Dec. 2018 - Mar. 2019, Dec. 2019 - Jan. 2020) were used for pre-lockdown period and 10 PM2.5 samples (Feb. - Mar. 2020) for lockdown period to analyze water-soluble ionic components (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+). According to 120h back trajectory analysis (HYSPLIT-model) the samples which we used for the study originate from northwest of Seoul. Because the air mass trajectory does not show significant fluctuation of direction, we assume that the samples are representative of the sampling date. The concentration of ionic components ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) are in the order of $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ both in pre- and lockdown period-samples in Seoul. The average ion concentrations of nitrate, ammonium and anthropogenic sulfate for pre-lockdown period-sample are $11.89 \pm 9.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6.53 \pm 4.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $5.11 \pm 4.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Those for lockdown period are $6.38 \pm 2.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4.26 \pm 1.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $3.56 \pm 2.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The average contribution of sulfate from anthropogenic, terrigenous and sea salt is $87.69 \pm 5.36\%$, $11.04 \pm 4.71\%$ and $1.27 \pm 1.05\%$ respectively. Along with several t-tests, statistically significant difference exists in nitrate concentration ($p < 0.05$), but not in anthropogenic sulfate ($p > 0.05$). We interpret that traffic regulation on Chinese sources was effective and consequently nitrate concentration in PM2.5 was reduced, but as many Chinese use coal for heating, sulfate concentration was not statistically reduced during the lockdown period. To constrain potential sources and the process of sulfate formation, our future study includes analyzing the multiple sulfur isotopes of sulfate and nitrogen isotopes of nitrate.

포스터 9-8

봄철 부산지역 미세먼지 영향에 따른 강우의 화학적 특성

The effect of particulate matter on chemical characteristics of spring rainwater

박혜민^{1,*}, 양민준²Hyemin Park^{1,*}, Minjune Yang²¹부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공, hyemin_park@pukyong.ac.kr²부경대학교 지구환경과학과

본 연구는 미세먼지(Particulate Matter, PM₁₀) 농도와 강우 수질(pH, electrical conductivity (EC), 수용성 이온, 중금속)분석을 통해 대기 중 미세먼지가 강우의 화학적 특성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 강우 샘플링은 2020년 3월부터 5월까지 총 6번의 강우를 대상으로 집수장치를 통해 강우 초기 50 mL 샘플을 연속적으로 수집하였다. 수집한 샘플 내 미세먼지를 구성하는 주요 수용성 양이온(Na⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, NH₄⁺), 음이온(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) 및 중금속(As, Cu, Cd, Mn, Pb, Zn, Cr)을 분석하고 pH, EC를 측정하였다. 대기 중 PM₁₀의 농도는 미세먼지 센서 노드를 이용하여 실시간 모니터링하였으며 강우 샘플링과 동시에 수행되었다. 분석 결과 강우 1시간 전 평균 PM₁₀ 농도는 16.95 - 31.45 µg/m³ 범위로 나타났다. 초기 강우의 pH는 평균 4.1로 산성도가 높게 나타나는데 이는 대기 중으로 방출된 NO_x, SO_x 등의 화학반응 기인으로 판단된다. 특히 강우 1시간 전 평균 PM₁₀ 농도가 가장 높게 측정되었을 때 초기 강우 pH가 3.8로 산성도가 가장 높게 나타났다. 강우 지속 시간에 따라 pH는 평균 4.58로 증가하였으며 강우 초기 EC는 평균 117.63 µS/cm에서 강우 후기 29.63 µS/cm로 감소하였다. 강우 내 음이온 분석 결과 NO₃⁻의 평균 농도가 9.09 mg/L로 가장 높게 검출되었으며 Cl⁻ (5.84 mg/L), SO₄²⁻ (4.86 mg/L) 순으로 검출되었다. 강우 내 황산염과 질산염 간 양의 상관관계(r = 0.79)는 화석 연료 연소와 같은 인위적 활동의 영향으로 판단된다. 강우 내 양이온의 조성비는 상대적으로 낮게 나타났으며 Ca²⁺ (3.88 mg/L), Na⁺ (3.24 mg/L), NH₄⁺ (2.23 mg/L), Mg²⁺ (1.15 mg/L), K⁺ (0.92 mg/L) 순으로 검출되었다. 토양으로부터 파생될 수 있는 Mg²⁺와 Ca²⁺ 간 높은 양의 상관관계(r = 0.99)를 보였으며, 해염 기원을 지시하는 Na⁺와 Cl⁻ 사이 높은 양의 상관관계(r = 0.99)가 나타났다. 중금속 분석 결과 강우 내 Zn, Mn의 농도가 각각 45.15 µg/L, 14.11 µg/L로 높게 검출되었으며 Pb, Cr, Cd의 농도는 각각 7.71 µg/L, 0.95 µg/L, 0.25 µg/L로 미량으로 검출되었다. Zn은 유류의 사용, 자동차 타이어 및 윤활유 등의 영향으로 발생 가능하며 Mn의 경우 석유 및 가스 산업, 금속 산업 활동 등이 배출의 원인이 된다. 추후 연구에서는 본 연구 결과를 바탕으로 대기 중 미세먼지 농도와 강우의 다양한 화학적 인자 간 상관관계 분석을 통해 대기 중 미세먼지 농도가 강우에 미치는 영향을 정량적으로 파악하고자 한다.

포스터 10-1

정압배출시험을 이용한 시추공 확공의 수리지질학적 영향 분석**Analysis of hydrogeological effect of borehole using constant head withdrawal test**이창용^{1,2,*}, 박경우², 박병학², 지성훈², 진성욱¹Changyong Lee^{1,2,*}, Kyung-Woo Park², Byeong-Hak Park², Sung-Hoon Ji², Sung-Wook Jeon¹¹전북대학교 지구환경과학과, lcy0712@kaeri.re.kr²한국원자력연구원 방사성폐기물처분연구부

본 연구에서는 결정질 암반에서 NX 규격의 시추공에서 획득한 수리지질특성과 이를 4인치로 확공한 후에 도출한 수리지질특성을 비교함으로써 시추공 확공에 따른 수리지질특성 변화를 현장수리시험을 통해 확인해 보고자 하였다. 이를 위해 한국원자력연구원의 KAERI Underground Research Tunnel (KURT)에 굴착된 BDZ-1에서 현장수리시험을 수행하였으며, 현장수리시험 중 정압배출시험을 이용하여 수리지질특성의 변화를 확인하였다. 본 연구에서 수행한 정압배출시험은 특히 수리수두가 높아 자분하는 관정에서 쉽게 수행할 수 있는데, 높은 수리수두를 제거한 후 시간에 따라 배출되는 유량을 측정하는 것으로 투수량계수를 구할 수 있기 때문이다. 현장수리시험 결과는 부정류상 해석으로 Jacob and Lohman이 제시한 직선법과 표준곡선중첩법, 그리고 정류상 해석으로 Moya가 제시한 방법을 이용하여 함께 해석하였다. 전체 20 m의 관정에서 1.45 m 간격의 시험구간을 설정하여 수행하였으며, 일부 자분하지 않은 구간에서는 정압시험을 수행하지 않았다. BDZ-1 시추공에서 수행한 정압시험 결과, 3인치에서 4인치로 확공한 후 대체로 투수성이 커짐을 확인할 수 있었다. 작계는 소수점의 값이 차이를 보였지만 크게는 2 order의 차이를 보이는 구간이 있었다. 이러한 투수성의 증가는 시추공의 확공으로 인한 공벽 손상대의 영향으로 분석 할 수 있다.

포스터 10-2

이산요소법에서 상사 법칙을 적용한 변형률 속도에 따른 단층 강도 변화 모델링

A study for the variations of fault strength depending on strain-rate using a scale model with discrete element method

안수정*, 소병달

Soojung An*, Byung-Dal So

강원대학교 지구물리학과, ansj0603@kangwon.ac.kr

전세계 지진 발생 깊이 분포는 70 km 이내 지각 간의 충돌, 마찰로 인한 천발 지진이 대부분을 차지하며, 그 중에서 15 km 이내의 취성 영역은 얇은 지각 물질은 이산화규소(SiO_2)가 다량 함유되어 있어 탄성 및 마찰 거동을 한다. 지각 주위 구조적 환경 변화나 지각 내 응력 축적이 지속되면 지진 간 변형(interseismic deformation) - 단층 미끄러짐(coseismic slip) - 지진 후 변형(postseismic deformation) 단계를 반복하는 지진 사이클을 통해 지각 내부 응력의 축적과 해소를 반복한다. 측지학적 연구를 통해 단층 미끄러짐이 발생했을 때 파열면에서의 변형률 속도가 지진 간 변형이 일어나는 주위 지역의 변형률 속도보다 감소하는 경향이 관찰되었다. 이는 지질공학 실내 시험 중 압축 및 전단 강도 시험에서는 강판의 하중 재하 속도 감소에 따라 암석의 강도도 함께 감소하는 경험적 사실과 연결 지어 볼 수 있다. 시험편 내에서 축적된 응력이 내부에서 성장하는 미세 균열을 통해 점차 소산되는데 균열이 성장 할 시간이 충분한 경우에는 지속적인 응력 해소가 발생하므로 상대적으로 낮은 강도에서 파괴된다. 따라서 일축압축시험과 직접전단시험 경우 국제암반역학 협회는 일관된 탄성 상수 결과 값을 얻기 위해 강판의 하중 재하를 각각 0.5-1 MPa/s와 0.1 mm/min 이하로 제시하고 있다(ISRM, 1981). 그러나 자연상태에서는 암석권 이동속도 이방성, 기계적 물성 차이와 같은 거대 규모 변수가 존재할 뿐만 아니라 단층 비지, 구성 광물, 점착 강도 등 다양한 미소 규모 변수도 중요한 영향을 미친다. 특히 단층 미끄러짐 속도와 강도의 비례 관계는 속도 강화 현상(velocity-strengthening) 이라고 불리우는데 단층의 마찰이 안정 상태에 있을 때 발생한다. 섭입대에서 깊이 5 km 이내 단층은 마찰 안정상태에 놓여있으며 속도 강화 현상이 일어난다. 본 연구에서는 절리와 같은 불연속 성질을 지닌 물질을 유한개의 입자 집합체로 가정하여 물리적 거동을 해석하는 이산요소법을 사용하여 일축압축모델과 직접전단모델에서 재하 속도에 따른 미세 균열 성장 과 일축압축강도의 상관관계성을 탐구하였으며 실제 단층 규모에 적용 가능하도록 물리적 입력 변수들에 상사비를 적용하여 변형률 속도와 단층 강도의 속도 강화 거동을 연구하였다.

포스터 11-1

토기의 소성온도에 따른 석영 OSL 신호변화 연구: 토기의 OSL 연대측정 신뢰도

Variations in quartz OSL signals of pottery depending on firing temperatures: Testing the reliability of OSL dating of potteries

여은영^{1,*}, 최정현², 장성윤³, 이명성⁴, 진홍주⁴

Eun-Young Yeo^{1,*}, Jeong-Heon Choi², Sungyoon Jang³, Myeong Seong Lee⁴, Hong Ju Jin⁴

¹한국기초과학지원연구원 연구장비운영부, eunyeo@kbsi.re.kr

²한국기초과학지원연구원 환경분석연구부

³국립문화재연구소 문화재보존과학센터 무기물보존팀

⁴국립문화재연구소 보존과학연구실

석영에서 방출되는 OSL (Optically Stimulated Luminescence) 신호는 여러 TL (Thermo Luminescence) 신호 중, 325°C에서 방출되는 TL 신호와 밀접한 관련이 있다. 따라서, 석영 OSL 연대측정법은 ~ 325°C 이상으로 가열된(소성된) 토기의 제작연대추정에 유용하게 사용될 수 있다. Jang and Lee (2014)는 서로 다른 소성온도(500-1200°C)에서 열처리 된 시편(simulated pottery)을 제작하여, 소성온도의 증가에 따른 토기 구성광물들의 조성 및 조직의 변화에 대한 연구를 수행한 바가 있다. OSL 연대측정에 주로 사용되는 석영입자도 토기의 주구성광물 중 하나로서, 토기 제작당시의 소성온도에 따라 다양한 상(phase)으로 나타난다. 이 논문에서는 Jang and Lee (2014)의 연구에서 사용된 시료를 이용하여 토기의 소성온도에 따른 석영 OSL 신호의 다양한 물리적 변화양상을 고찰하였으며, 이를 바탕으로 토기에 대한 OSL 연대측정의 신뢰도에 대해 논의하였다. 석영 CW (Continuous-Wave)-OSL 신호의 Fast Ratio (FR; Durcan and Duller, 2011)는 600°C 이하의 소성온도에서 약 20-30 이상의 값을 보이며, 소성온도가 600°C 이상으로 높아짐에 따라 FR 값은 점차 감소하여 1000°C 이상에서는 10이하의 값을 나타낸다. 석영 OSL 신호의 세기는 소성온도가 높아질수록 증가하는 경향을 보이지만, 이는 석영 OSL 신호요소(OSL signal component) 중 연대측정에 적합하지 않은 신호요소들(Medium 혹은 Slow OSL component)의 증가에 따른 것으로 판단된다. 소성온도에 따른 석영 OSL 신호의 물리적 특성 변화와 선량재현시험(dose recovery test) 결과는 600°C 이하의 소성온도에서 제작된 토기가 신뢰도 높은 석영 OSL 연대측정에 가장 적합하며, 1000°C 이상의 고온에서 제작된 토기의 경우 석영 OSL 연대결과가 제작연대를 지시하지 않을 가능성이 높음을 지시한다.

References:

- Durcan, J.A. and Duller, G.A.T., 2011, The fast ratio: A rapid measure for testing the dominance of the fast component in the initial OSL signal from quartz. *Radiation Measurements*, 46, 1065-1072.
- Jang, S. and Lee, C.H., 2014, Mineralogical study on interpretation of firing temperature of ancient bricks: Focused on the bricks from the Songsanri Tomb Complex. *Journal of Conservation Science*, 30, 395-407.

포스터 11-2

백악기 발자국 화석의 형태학적 특성 정의를 위한 보존 등급 적용 Application of the preservation scale to define the morphological quality of the Cretaceous vertebrate footprints

하수진^{1,*}, 임현수¹, 김경수²
Sujin Ha^{1,*}, Hyoun Soo Lim¹, Kyung Soo Kim²

¹부산대학교 지질환경과학과, sjha@pusan.ac.kr

²진주교육대학교 과학교육과

지정문화재(천연기념물, 시·도지정문화재, 문화재자료) 및 비지정문화재(매장문화재 및 일반동산문화재)로 지정된 화석 및 화석산지는 「화석 및 화석산지 보존·관리 지침」에 따라 관리 받는다. 관리단체는 이 지침에 따라 지정된 문화재를 보존·관리하기 위해 필요한 조치를 시행하고 화석 또는 화석산지의 보존 및 훼손방지를 위한 계획을 수립하며 지속적인 점검을 실시해야 한다. 문화재청은 2014년 「화석 및 화석산지 보존·관리 지침」을 전면적으로 개정하여 공표하였고, 최근 일부개정을 통해 문화재 조사사항을 구체화하고 평가항목을 추가하였으며 실효성 확보를 위해 존속기한을 변경하는 등의 노력을 기울이고 있다.

문화재로 보호받는 화석의 유형은 실체화석 및 생흔화석으로 구분되며 이 중 척추동물 발자국 화석은 화석 유형 중에서 가장 큰 비중을 차지한다. 한국에서 산출되는 발자국 화석은 한반도 남동부의 백악기 육성퇴적층인 경상누층군에 집중되어 있으며, 그 외에 해남, 능주, 군산 등 육성 소분지에서 보고되었다. 현재 발자국 화석을 포함하거나 발자국 화석산지로 지정된 천연기념물이 13건, 문화재자료가 7건이며, 현장 보존되거나 화석표본 보관·전시 가능 기관으로 이전된 것들을 포함하면 발자국 화석은 지속적으로 증가하는 추세이다. 문화재청에서는 화석산지의 보존을 위해 「보존조치 평가항목의 구체적 내용」을 명시하고 있고, 화석산지 성격에서 역사성, 시대성, 희소성, 지역성, 풍부함, 다양성, 복합성을 구체적인 내용으로 설명하고 있다. 그러나 화석의 보존 상태를 판단하는 기준은 제시되어 있지 않으며 평가를 담당하는 연구자들에 따라 상이한 기준을 적용하여 혼란을 초래하고 있다.

이번 연구에서는 Marchetti *et al.* (2019)이 제시한 보존 등급(0.0-3.0)을 기준으로 국내 발자국 화석의 형태학적 특성(morphological quality)을 평가하고자 한다. 이 방법을 적용할 경우 현재 「화석 및 화석산지 보존·관리 지침」에서 제시하는 평가항목인 「매장문화재의 가치」 및 「매장문화재의 보존상태」를 정량적 수치로 표현하여 구체적인 보존 및 관리계획을 수립할 수 있다. 또한 향후 생흔분류학 연구뿐만 아니라 실체화석 등에 적합한 표본을 판별하는 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

포스터 12-1

중·저준위 방사성 폐기물 표층처분 시설의 다중 복토층 사면 안전성 확률론적 예측시스템 개발

Development of Probabilistic Estimation System for Long-term Performance Verification of Multilayer Covers in Near-surface LILW Disposal Facility

김유한^{1,*}, 박희정¹, 정진아¹, 박은규¹, 권기정², 권미진², 박창희³

Yuhan Kim^{1,*}, Hui Jeong Park¹, Jina Jeong¹, Eungyu Park¹, Gi-Jeong Gwon², Mi Jin Kwon², Changhui Park³

¹경북대학교 지질학과, steal7@knu.ac.kr

²한국원자력환경공단

³㈜지오그린21

현대사회에서 방사성 폐기물은 불가피하게 발생하며 방사성 폐기물의 지속적인 증가로 인하여 이의 처분 필요성이 증가하고 있다. 특히, 방사능 농도에 따라 구분되는 폐기물 중 전체 폐기물의 95%를 차지하는 중저준위 폐기물의 처리가 중요한 화두가 되고 있다. 이에 따라, 중저준위 방사성 폐기물의 처분을 위한 표층처분 시설이 건설 및 운영 계획 중에 있다. 해당 시설이 수백 년의 운영 계획을 가지고 있는 만큼 시설의 장기적 성능을 평가와 더불어 지능적인 분석 및 유지보수를 시행할 수 있는 관리기술의 개발이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 표층처분 시설의 지능적 관리를 위한 요소기술 및 관리 프로세스를 개발하였다. 특히, 표층처분 시설의 안전한 폐기물 처분을 보장하기 위해서는 처분고 위를 덮고 있는 다중 복토층의 성능 유지 여부가 중요함에 따라 다중 복토층의 사면 안전성을 예측하기 위한 방법을 고안하였다. 이때, 본 연구에서 고안된 방법들은 모두 시설 내 설치되는 센서로부터 획득될 수 있는 시계열 모니터링 자료를 이용하는 자료기반 예측모델을 기반으로 구성됨으로써 보다 효율적인 안전성 관리 시스템을 구성하고자 하였다. 먼저, 시스템 내 예측 요소기술로써 사면 안전성에 큰 영향성을 주는 수분함양 및 간극수압을 사전에 예측할 수 있는 자료기반 모델을 구성하고 이를 기반으로 사면 안전성을 조기에 예측할 수 있는 기술을 개발하였다. 이때, 획득 자료 및 예측모델의 불확실성으로 인하여 발생할 수 있는 예측 결과의 오류를 보완하기 위하여 사면 안전성의 정상범위를 확률론적으로 평가할 수 있는 방법을 고안하였다. 특히, 복토층을 구성하는 토양의 다짐 정도, 구성 물질의 불균질성에 의한 물성 변화, 등에 의한 불확실성을 고려하기 위하여 van Genuchten (1976) 및 Carsel and Parrish (1988)에 의해 제안된 함수 곡선 모델 및 토양 물성치를 이용하여 발생 가능한 다양한 간극수압 값을 도출하고 이를 기반으로 확률론적 사면 안전성 예측 결과를 획득하였다. 이 외, 센서의 오차 및 결측으로 인한 조기 예측모델의 성능저하를 방지할 수 있는 방법 또한 개발되었다. 최종적으로 개발된 모든 요소기술을 네트워킹화하여 사면 안전성을 조기에 효율적으로 예측할 수 있는 지능형 관리 시스템을 구축 및 제안하였다. 본 연구에서 제안된 시스템은 센서의 결함에 따른 결측에도 확률론적으로 사면의 안전성을 제시하여 보다 지능적이고 정량적으로 복토층의 성능유지 여부를 평가할 수 있는 효율적인 시스템으로 판단된다.

포스터 12-2

자료기반 통계 분석 기법을 이용한 물리검층 자료 공간 해상도 향상 기법 개발

Development of spatial resolution improvement technique of geophysical well logging data using data-driven statistical analysis method

박재성*, 정진아

Jaesung Park*, Jina Jeong

경북대학교 지질학과, pouy8286@knu.ac.kr

지하 불균질성을 추정하는데 있어 물리검층 자료는 시추 코어 자료를 대체할 수 있는 경제적이며 효과적인 방법이다. 물리검층 자료를 얻는 방법은 전류나 음파, 방사선과 같은 인공물질을 시추공에 발생시켜 검층 장비를 하부에서 상부로 내리거나 상부에서 하부로 올리면서 얻게 된다. 그러나 이때, 검층 장비가 움직이면서 인접한 자료 간의 convolution이 발생하여 공간적 해상도가 낮은 자료가 획득될 수 있다. 본 연구에서는 음성신호 처리나 뇌파 분석 분야에 주로 이용되고 있는 Blind Source Separation 기술 중 하나인 독립성 분분석(ICA, Independent Component Analysis)을 사용하여 물리검층 자료의 공간적 해상도를 향상하고자 하였다. ICA의 물리검층 자료 공간 해상도 향상에의 적용성을 확인하기 위하여 가상 자료를 이용한 검층을 시행하였다. 가상 자료 생성을 위해, 먼저, 총 3가지의 암상으로 구성된 시추공 및 각 암상 별 고유 물리검층 자료 분포를 가정한 후, 시추공 암상 시퀀스에 따른 고해상도 물리검층 자료 시퀀스(original signal)를 생성하였다. 그리고 중첩 행렬을 통해 인접 물리검층 자료와 혼합된 혼합신호(mixed signal)를 생성한 후, ICA 기법에 적용하여 혼합신호로부터 고해상도의 원래 신호를 추출하였다. 특히, 본 연구에서는 FAST ICA를 기반으로 하는 ICASSO를 사용하였다. ICASSO는 FAST ICA의 반복적인 수행 후 계층적 군집화(Hierarchical Clustering)를 통해 가장 적절한 분석값을 도출하며 FAST ICA보다 안정적인 결과를 보이는 것으로 알려져 있다. 다양한 암상 시퀀스를 가정한 총 120개의 케이스를 가정하였으며, 정량적인 결과 분석을 위해서 원래 물리검층 시퀀스와 ICASSO를 이용하여 처리된 물리검층 시퀀스 간의 상관계수를 분석하였다. 그 결과 평균 0.96의 높은 상관계수를 확인할 수 있었다. 이는 ICA 기반 분석을 통해 혼합된 검층 자료로부터 원래의 검층 자료를 복원할 수 있음을 의미하며, 이는 즉, 본 연구에서 적용된 방법을 통해, 저해상도의 물리검층 시퀀스 자료로부터 높은 공간 해상도의 시퀀스 자료를 획득할 수 있음을 의미한다. 비록 지금까지의 연구가 가상 자료를 기반으로 검증되었으나, 이의 적용 가능성이 본 연구를 통해 확인됨에 따라, 실제 물리검층 자료에 또한 적용하여 암상 간의 간섭이나 잡음을 제거하여 더욱 높은 해상도의 물리검층 자료를 얻을 수 있을 것으로 예상하며, 이에 관한 연구는 추가적인 수행이 필요하다.

포스터 12-3

다양한 자료 기반 모델의 지하 매질 예측 성능 비교 분석

Comparative analysis of the prediction performance on subsurface materials in data-driven models

박경태*, 정진아

Gyeongtae Park*, Jina Jeong

경북대학교 지질학과, pktkb011522@naver.com

지하 매질의 불균질성을 예측하는 것은 지하 공간을 대상으로 하는 다양한 과업의 성공적인 이행을 위해 필수적이다. 지하 매질 분포 예측에 있어 시추 코어의 이용이 가장 정확한 매질 분포를 제공하나 시추 코어의 완전한 회수가 어렵고 회수 비용 또한 비싼 단점이 존재한다. 반면, 시추공 내 물리 검층 자료는 시추 코어 회수에 비해 상대적으로 비용 효율적이며 상대적으로 많은 양의 자료를 획득할 수 있어 최근 매질 분포 예측을 위해 많이 이용되고 있다. 물리 검층 자료를 이용한 매질 분포 예측을 위해 최근, 인공신경망(artificial neural network, ANN)과 같은 자료 기반 예측 모델이 활용되고 있다. 그러나 기존의 자료 기반 예측 모델은 물리 검층 자료와 매질 간의 관계만을 예측에 활용함에 따라, 지질학적 층서관계를 예측에 반영하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 물리 검층 자료와 매질 간의 관계뿐만 아니라 지질학적 층서 특성을 반영할 수 있는 자료 기반 예측 모델을 이용하여 지하 매질 분포를 예측하고 이의 성능을 평가하였다. 특히, 층서학적 특성을 반영하기 위해 Long and short term memory (LSTM) 모델을 이용하였다. 이는 주로 시계열적 예측을 위해 이용되고 있으며, 과거의 정보를 이용하여 현재의 상태를 예측한다. 본 연구에서는 LSTM 모델을 기반한 다양한 변형 모델이 고안되어 이용되었으며, 이의 성능은 층서적 특성을 고려하지 않는 일반 ANN 기반의 예측과 비교 검증되었다. 따라서 본 연구에서는 최종적으로 총 6개 예측 모델이 고안되고 성능이 비교 검증되었다(M1: ANN, M2: Autoregressive (AR)-ANN, M3: LSTM, M4: Bidirectional LSTM (BLSTM), M5: AR-LSTM, M6: AR-BLSTM). M1은 ANN을 이용한 모델로 매질 예측을 위해 물리 검층 자료만을 이용하며, M2는 물리 검층 자료 외 이전 깊이에서 예측된 암상 정보가 입력 정보로 회귀되는 모델을 의미한다. M3 및 M4는 LSTM 모델에 기반하여 원거리로부터의 물리 검층 정보 특성을 예측에 반영하게 되며, 특히, M4는 상부 및 하부의 원거리 물리 검층 정보를 모두 이용한다. 그리고 M5 및 M6는 M3 및 M4와 유사한 구조를 가지고 있으나 입력 정보로 이전 위치에서 예측된 매질 정보가 예측에 회귀되는 모델이다. 고안된 모델의 성능을 비교 분석 하기 위해 총 3가지 시나리오의 가상 데이터를 이용하였으며, 각 시나리오는 S1) 정상(stationary)상태의 암상 시퀀스, S2) 지향적 비정규성을 나타내는 흡수상태(absorbing state), 및 S3) 개입상태(intervening state)의 암상 시퀀스로 구성하였다. 검증 결과, BLSTM 및 AR-BLSTM이 대부분의 시나리오에서 좋은 성능을 보였고 ANN이 가장 낮은 성능을 보였다. 회귀법을 적용한 모델(즉, AR-ANN, AR-LSTM, 및 AR-BLSTM)이 기존 물리 검층 자료만을 입력으로 하는 모델에 비해 성능이 향상됨을 확인하였다. 가상데이터를 이용한 모델 성능 검증 후, 실제 데이터에 모델을 적용하여 이들의 실질적 적용성을 검증하였다. 이를 위해, 서호주 Northern Carnarvon basin의 Satyr 5로부터 획득된 물리 검층 자료 및 기 검증된 암상 분석 주상도를 이용하였다. 검증 결과, BLSTM이 85.5%의 예측 정확도를 보여 ANN 및 LSTM에 비해 높은 성능을 보였으며, 자동회귀법을 적용한 AR-BLSTM이 86.8%의 예측 정확도로 6개의 모델 중 가장 높은 성능을 보였다. 이와 같은 결과로부터, 지구물리검층 자료를 이용한 암상 예측에 양방향 물리검층 및 예측 암상 정보를 이용하는 BLSTM 및 AR-BLSTM이 효율적임을 알 수 있다.

포스터 12-4

데이터 표준설계와 통합데이터 포맷을 적용한 급경사지 공간정보 DB의 관계형 DB변환

The Relational DB Transformation of the steep slope spatial data DB with Data Standard Design and Integrated Data Format

심규성*, 문치국, 김재영

Gyooseong Sim*, ChiGook Moon, Jaeyoung Kim

동부엔지니어링(주) GIS팀, kstangiser@dbeng.co.kr

『급경사지 재해예방에 관한 법률』에 의거하여 지정되는 급경사지는 현장조사서와 한정된 정보를 갖는 문서정보를 활용하여 지구·지정을 하고 있는 실정이고 개별 파일형태로 현장조사와 평가 결과를 관리하고 있어서 정보의 누락 및 손실에 직면한 상황이다. 또한 개별 문서형태의 데이터 관리는 합리적이고 과학적인 급경사지 지구·지정이 수반될 수 없고 정보를 저장하고 분석·표출하는 관리시스템을 구축할 때에 원시데이터와 관리시스템 DB의 호환성 문제, DB변환 오류 등과 같은 또 다른 문제점들을 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 과학적이고 합리적인 급경사지결정을 위하여 정부 및 공공기관에서 생산하는 개별 공간 및 속성정보를 상황관계 플랫폼 상에서 활용될 수 있도록 데이터 표준설계를 실시하였고, OGC (Open Geospatial Consortium)에서 발표한 통합 데이터 포맷인 Geopackge로 요소기술별 연계데이터의 통합을 실시하였다. 이러한 데이터 표준설계와 통합 데이터 포맷을 적용하여 도출된 결과물인 요소기술별 연계데이터 geopackage파일의 상황관계 플랫폼 상 표출을 위해서 상황관계 플랫폼의 관계형 DB로 변환을 실시하였고, 관계형 DB 변환시 일반적인 파일복사 방법과 오픈소스인 GDAL 패키지를 활용한 방법을 비교분석 하였다. 분석결과 일반적인 파일복사 방법보다는 오픈소스 GDAL패키지를 활용하여 관계형 DB로 변환하는 것이 효율적이고 정보누락이 최소화 된다는 결론을 도출할 수 있었다.

포스터 12-5

토픽 모델링을 이용한 국내 지질학의 연구 주제 분류 및 연구 동향 분석

Discovering themes and trends in Korean geological research using Topic modeling

김태용^{1,*}, 양민준²Taeyong Kim^{1,*}, Minjune Yang²¹부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공, xodyd123123@pukyong.ac.kr²부경대학교 지구환경과학과

국내 지질학은 1964년 지질학회지가 발간되면서 학문적인 연구가 활발하게 진행되었으며, 현대 지질학의 범주는 융복합 연구를 바탕으로 확대되고 있다. 국내 지질학의 연구 활동이 활발해짐에 따라 연구자들은 다각적인 측면에서 연구 동향 분석을 시도하였으나, 지질학의 특정 학술지를 대상으로 분석하거나 연구자마다 다른 기준에 근거하여 논문을 분류하는 등 통합적으로 비교 분석하기 어려운 실정이다. 따라서, 본 연구는 지질학 분야의 주요 학술지들을 LDA (Latent Dirichlet Allocation) 기반의 토픽 모델링으로 수행하여 지질학자들이 관심을 두는 연구주제들을 추론하고, 그에 따른 변화 추이를 분석함으로써 연구 동향 분석의 새로운 방법론을 제시하고자 한다. 연구 자료는 1964년부터 2018년까지 총 10개의 국내 지질학 관련 학술지에 게재된 10,676편의 영어로 쓰인 논문 제목, 주제어, 다국어 초록과 발행 연도를 수집되었다. 본 연구는 LDA 모델을 사용하여 주제별 단어의 출현확률을 바탕으로 연구주제를 추정하고, 그 결과를 바탕으로 문헌별 연구주제의 출현확률을 기반으로 하여 각 연구주제들의 시간에 따른 연구 동향을 분석하였다. 또한, 연구주제간 연관성을 파악하기 위해 동시 출현 단어의 빈도수를 바탕으로 네트워크 분석기법을 이용해 연구주제간 연결 관계를 시각화하였다. 연구 결과, 1993년 이전의 연구주제들은 기초 지질학 분야(지구연대학, 구조지질학, 층서학, 자원지질학, 암석학)가 주 관심 연구주제였으며, 1993년 이후 연구주제들은 응용지질학 분야(환경복원 분야, 토양오염, 수문학 및 수문지질학, 지질공학, 중금속)의 관심이 높아지면서 지질학 전반에 걸쳐 균형적인 연구가 진행되었음을 알 수 있었다. 네트워크 분석 결과, 지하수-환경오염 분야, 자원-환경오염 분야 간의 연결성이 높은 것을 알 수 있었다. 본 연구의 결과를 바탕으로 지질학의 분류체계를 제언하고 과거와 현재의 연구 동향을 보여주고, 연구자 및 학계 여러 당사자에게 지표를 제공함으로써 도움이 될 것으로 예상된다.

포스터 12-6

인공위성 SAR 영상으로 분석된 동남극 Campbell 빙하설의 25년간 변화

Change of Campbell Glacier Tongue in East Antarctica over the past 25 years analyzed by satellite SAR

한향선^{1,*}, 김진영¹, 김태욱¹, 김현수¹, 홍지훈¹, 김상희²

Hyangsun Han^{1,*}, Jinyoung Kim¹, Taewook Kim¹, Hyunsoo Kim¹, Jihun Hong¹, Sanghee Kim²

¹강원대학교 지질-지구물리학과, hyangsun@kangwon.ac.kr

²한국해양과학기술원 부설 극지연구소 극지생명과학연구부

남극장보고과학기지에 인접해 있는 Campbell 빙하설(Campbell Glacier Tongue)은 동남극 테라노바 만(Terra Nova Bay)으로 유출되는 대표적인 빙봉 중 하나이다. Campbell 빙하설의 변동성은 테라노바 만의 해양환경 변화에 밀접하게 관계되어 있으며, 기후변화 연구를 위한 핵심적 요소로 인식되고 있어 장기적인 모니터링을 통해 분석될 필요가 있다. 이 연구에서는 다양한 인공위성 영상레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 자료를 이용하여 1996년부터 2020년까지 25년간 Campbell 빙하설의 면적과 흐름속도, 지반선의 변화를 분석하였다. ERS-1/2 SAR (1996-2000년), ENVISAT ASAR (2006-2010년), ALOS PALSAR (2006-2010년), COSMO-SkyMed SAR (2010-2013년, 2019년) 및 Sentinel-1A/B SAR (2015-2020년) 영상을 구축하였고, 육안분석에 기반한 영상 디지털라이징을 통해 빙하설의 면적을 시계열로 추출하였다. 오프셋 추적(offset tracking) 기법으로 빙하설의 변위를 산출하였으며, 이를 이용하여 흐름속도와 그 변화를 분석하였다. 빙하설의 지반선은 1일의 시간적 기선거리를 가지는 1996년의 ERS-1/2 및 2019년의 COSMO-SkyMed SAR 간섭쌍 자료에 이중위상차분간섭기법(double-differential InSAR)을 적용하여 추출하였다. Campbell 빙하설의 면적은 1996년 88 km²로 관측되었고 이후 지속적으로 감소하여 2018년 1월에 70 km²로 가장 작았다. 이는 1996년에 비해 20% 줄어든 면적에 해당한다. 2018년부터 빙하설의 면적은 증가하였으나 증가량은 2 km²에 불과하였다. 빙하설의 흐름속도는 25년간 140-250 km/yr에서 180-280 km/yr로 증가하였고, 지반선의 위치는 약 1 km 후퇴한 것으로 분석되었다. 향후 본 연구를 확장하여 Campbell 빙하설의 변동 메커니즘을 규명하고, 테라노바 만의 해양환경에 미치는 영향을 분석할 예정이다.

포스터 12-7

Integrative Geological Model of Hyperspectral Imaging and LiDAR System for Gumunso Area

Huy Hoa Huynh^{1,*}, Jaehyung Yu², Chanhyeok Park¹

¹Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University, hoahcm198@gmail.com

²Department of Geological Sciences, Chungnam National University

With the development of technology, the field of remote sensing has evolved to hyperspectral imaging application with hundreds of spectral bands across the VNIR-SWIR spectrum. It opened up the new opportunities in mineral resources exploration and geological mapping. Additionally, the light detection and ranging (LiDAR) can acquire the precise 3D geometric information using a pulsed laser, which allows the development of high accuracy Digital Elevation Models (DEM). In this paper, we demonstrate an integrated model combining hyperspectral imaging and LiDAR based on 3D model for the realistic classification of dolomite and limestone located at Gumunso, Taebaek. We show that the combination between hyperspectral and 3D point-cloud information improves object-based classification and help researchers easily observe with 3D models. We strongly believe that the LiDAR and hyperspectral data as well as the fusion method in this paper has great potential for geological mapping and mineral resources exploration.

포스터 13-1

사천 함안층 상부의 무척추동물 서관구조를 포함하는 백색층의 기원과 퇴적연대

The origin and depositional age of the invertebrate burrow-bearing white layer in the upper Haman Formation, Sacheon

채용운^{1,*}, 김종선², 정기영³, 김경수⁴, 하수진¹, 임현수¹

Yong-Un Chae^{1,*}, Jong-Sun Kim², Gi Young Jeong³, Kyung Soo Kim⁴, Sujin Ha¹, Hyouon Soo Lim¹

¹부산대학교 지질환경과학과, chae@pusan.ac.kr

²국립공원공단 국립공원연구원 생태조사부

³안동대학교 지구환경과학과

⁴진주교육대학교 과학교육과

함안층 상부에 해당하는 사천시 남일대 해수욕장 인근에는 무척추 동물 서관구조를 포함하는 백색층이 산출된다. 백색층 내 서관구조로는 *Taenidium barretti*, *Planolites beverleyensis*, *Planolites montanus*가 존재하고, 붉은색의 서관구조를 제외한 기질의 백색물질은 XRD분석 결과 와이라카이트와 석영으로 구성된 다(Cho *et al.*, 2017). 이후 추가 연구를 통해 백색층의 기원이 화산재일 가능성이 높은 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2019). 이번 연구에서는 백색층 시료(HW-1)를 채취해 기원과 퇴적연대에 관한 정보를 얻기 위해 쇄설성 저어콘 입자들을 분리한 후, 한국기초과학지원연구원에 설치된 고분해능 이차이온 질량분석기(SHRIMP IIe/MC)로 U-Pb 절대연대를 측정하였다.

대체로 자형의 뚜렷한 진동누대를 보이는 저어콘들을 선택적으로 분석했으며, 의도적으로 다른 특징들(반투명, 옅은 핑크 혹은 갈색, 상대적으로 좋은 원마도, 진동누대의 부재)을 보이는 몇몇 저어콘들도 분석에 포함시켰다. 총 60점을 분석하여 고원생대 3개, 신원생대 1개, 쥐라기 4개, 백악기 52개의 연대값을 얻었다. 백악기를 제외하면 저어콘들이 대체로 각기 다른 연대들을 나타내며, 이는 경상분지와 인접한 영남육괴와 옥천대에 분포하는 암체들에서 보고된 연대로서 백색층 퇴적과 동시 혹은 직후 무척추동물에 의해 아래 혹은 위의 적색층에서 유래된 쇄설성 저어콘들로 판단된다. 백악기 저어콘들은 자형 및 각형의 장주상 형태로 뚜렷한 진동누대를 나타낸다. 그리고 모든 값들이 약 101 Ma를 중심으로 정규분포에 가까운 형태를 보인다. 또한 마운트 에 포함된 약 70% 이상의 저어콘들이 분석된 백악기 저어콘들과 유사한 특징을 보여주며, 이들은 동일기원의 저어콘들임을 지시한다. 위 결과는 백색물질의 기원이 화산재 층임을 의미하며, 백색층은 얇은 화산재 응회암으로 판단된다.

연구지역에서 북북동 방향으로 약 28 km 거리에 위치한 함안층 중부에 위치하는 남부구산동응회암(KT-01)의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대는 104.1 ± 1.3 Ma로 보고되었고, 연구지역에서 남서방향으로 약 5 km 거리에서 채취된 신수도응회암은 층서적으로 연구지역의 함안층 보다 상부지층에 해당하며 95.8 ± 1.0 Ma의 분출연대를 나타낸다(Kim *et al.*, 2013). 이와 같은 기존 연구결과들은 연구 지역 화산재층의 분출연대와 잘 일치하며, 종합하면 함안층 퇴적 당시 경상분지 남부지역에서 화산활동이 빈번했음을 의미한다.

포스터 13-2

우리나라 백악기 퇴적층에 발달한 미생물기원 퇴적구조(MISS): 산상 및 고환경적 의미

Microbially induced sedimentary structures (MISS) from Cretaceous deposits of Korea: occurrences and paleoenvironmental implications

김현주*, 백인성

Hyun Joo Kim*, In Sung Paik

부경대학교 지구환경과학과, sunstay@pknu.ac.kr

우리나라 백악기 함안층(대구층 하부)과 진동층에서 다양한 미생물기원 퇴적구조(MISS)가 확인되었다. 이 연구에서는 MISS의 산상을 기재하고 고환경적 의미를 해석하였다. 함안층과 진동층에서 관찰된 미생물기원 퇴적구조들은 roll-up structure, wrinkle mark, kinneyia structure, knobby texture, sieve-like surface, honeycomb-like texture, chipped mat 등이며, 이들의 표면과 단면의 박편에서 실시한 FE-SEM와 EDS 분석에서 미생물의 흔적이 확인되었다. 함안층의 MISS는 붉은색의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 사암과 이암에서, 진동층의 MISS는 회색 내지 암회색의 엽층 내지 매우 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암 및 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암에서 확인되었다. 이 암상들은 함안층과 진동층을 대표하는 퇴적암상으로서, 건기와 우기가 반복하는 계절성 기후 조건의 호수주변부 및 충적평원에서 형성된 개방수류 퇴적층으로 해석된다. MISS가 발달한 퇴적암상에서는 건열이 흔히 관찰되고, 공룡발자국화석, 새발자국화석, 증발광물흔과 토양화기록 등이 수반된다. 이들은 함안층과 진동층의 형성 시기에 한반도가 건조 내지 아건조한 기후의 지배 하에 있었음을 뒷받침한다. 우리나라 백악기 함안층과 진동층에서 다양한 MISS의 산출은 혹독한 기후 조건에 노출된 한반도의 호수주변부와 충적평원에서 미생물들도 생태계의 일원으로서 번성하고 있었음을 지시할 뿐만 아니라, MISS 산출의 층서적 및 고환경적 범위의 확장을 지시한다.

포스터 13-3

경북 경산시 하양읍 일대에 분포하는 백악기 대구층의 새발자국 화석 퇴적층: 산상, 보존특성 및 고생태

Bird footprint deposits from the Cretaceous Daegu Formation in Hayang-eup,
Gyeongsan City, Korea: Occurrences, preservation and paleoecology

김현주*, 백인성, 박정규

Hyun Joo Kim*, In Sung Paik, Jung Gyu Park

부경대학교 지구환경과학과, sunstay@pknu.ac.kr

경북 경산시 하양읍 일대에 분포하는 백악기 대구층에서 산출된 새발자국화석과 화석 퇴적층의 산상을 기재하고, 보존 특성과 고생태적 의미를 해석하였다. 연구지역의 새발자국화석 퇴적층은 붉은색 또는 녹회색의 얽층 내지 매우 얇은층으로 교호하는 사암 내지 실트스톤과 이암, 회색의 얽층 내지 매우 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암, 녹회색 또는 붉은색의 석회질의 사질 내지 실트질 이암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암, 사구상을 이루며 판상 내지 사엽층리가 발달한 사암, 회색 내지 암회색의 렌즈상 내지 얇은층으로 발달한 이회암, 붉은색 또는 녹회색의 세일질 이암, 암회색 세일질 이암, 점이층리가 발달한 응회질 사암 등의 퇴적상으로 구성되며, 이들은 건기와 우기가 교호하는 계절성 기후의 얇은 호수 내지 호수주변부와 충적평원에서 퇴적된 것으로 해석된다. 연구지역의 새발자국화석은 크기와 형태를 바탕으로 *Koreanaornis*, *Aquatilavipes*, *Uhangrichnus*, *Hwangsanipes*로 분류된다. 이들은 건기와 우기의 교호로 형성된 개방수류(층상범람) 퇴적층인 붉은색 또는 녹회색의 얽층 내지 매우 얇은층으로 교호하는 사암 내지 실트스톤과 이암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암을 피복한 이암엽층에 보존되어 있고, 때때로 보행렬을 이루거나 밀집되어 산출되며, 견열과 주름구조가 수반된다. 또한, 새발자국화석이 보존된 퇴적층의 박편과 성층면의 FE-SEM과 EDS분석에서 미생물막 또는 매트 발달을 지시하는 미생물 흔적들이 확인되었다. 이와 같이 미생물막의 발달은 개방수류 퇴적층과 함께 새발자국화석의 보존을 높이는 역할을 한 것으로 해석된다. 연구지역 새발자국화석 퇴적층에서는 견열, 연흔, 증발광물흔, 토양화기록, 미생물기원 퇴적구조인 롤업 구조와 주름구조, 무척추동물 생흔구조, 식물화석, 연체동물(복족류, 이매패) 패각화석, 공룡발자국화석 등이 산출된다. 이는 아건조한 기후 조건의 얇은 호수 내지 호수주변부와 충적평원에 이르는 백악기 대구층의 퇴적 환경이 미생물, 연체동물, 척추동물 등 다양한 생명체들에게 적절한 서식 환경을 제공했음을 의미한다. 또한, 그러한 환경 속에서 생명체들은 각각의 생태적 지위를 가지고 공생할 수 있었음을 시사한다.

포스터 13-4

태백산 분지에서 중기 오르도비스기에서 나타나는 황 동위원소의 기록

Paired sulfur isotope records of the Middle Ordovician successions in the Taebaeksan Basin

권효상*, 방선화, 심민섭

Hyosang Kwon*, Sunhwa Bang, Min Sub Sim

서울대학교 지구환경과학부, khs9419@snu.ac.kr

MDICE (Middle Ordovician Isotopic carbon excursion)는 오르도비스기 중후기 전 세계적으로 탄소 동위원소 조성이 0.5에서 5% 정도 증가하는 시기를 일컫는다. 동위원소 조성에서 확인되는 탄소 순환의 교란은 비교적 평온한 환경조건을 유지했던 오르도비스기 중기에서 빙하기와 종 다양성의 변화와 같은 격변으로 대변되는 오르도비스기 후기로의 전환점으로 많은 지질학자의 주목을 받아왔다. 탄소 순환 교란의 원인은 심층 해류 순환의 활성화로 인한 연안 지역의 영양분 공급 증가와 그에 따른 생산성의 향상이 가장 많은 지지를 받고 있다. 황은 탄소와 함께 지표 환경의 에너지 및 산화-환원 물질 순환에 중요한 역할을 하는 원소로, 퇴적암에 남겨진 황 동위원소 조성은 지표 환경의 산소 농도 변화, 풍화작용 및 생물의 생산성 변화 등 다양한 생지구화학적 변화를 반영한다. MDICE 시기의 황 동위원소 변동에 대해서도 북미, 남미 그리고 남중국 지역에서의 연구가 있으며 대체로 탄소와는 반대로 움직이는 동위원소 기록이 보고되었다. 이러한 황 동위원소 변동에 대해, 해양 퇴적환경에서의 환원된 구역의 확대와 축소라는 가설이 등장했으며 이렇게 상반된 두 가설은 더욱 다양한 연구지역의 동위원소 자료와 함께 분지 내 환경변화와 황 동위원소 기록의 상관관계에 관한 연구의 필요성을 보여준다. 한반도의 전기 고생대 지층인 조선누층군에서는 지금까지 다양한 지화학적 연구가 진행되었지만, 탄산염암에 포함된 미량 황산이온(carbonate associated sulfate; CAS)의 동위원소 층서에 대한 연구는 보고된 사례가 없다. 이번 연구에서는 오르도비스 후기에 해당하는 두위봉형 조선누층군의 두위봉층과 직운산층, 영월형인 영흥층 샘플에 시료에 대해 CAS 및 황철석의 황 동위원소 분석을 수행하였으며, 이는 국내 퇴적층에 대한 최초의 황산염 황 동위원소 연구일 뿐 아니라, MDICE 시기 새로운 고지리 환경의 동위원소 자료로서도 중요한 의미를 지닌다. 오르도비스기 중후기 한반도의 고환경 및 지구 규모 환경변화를 이해하기 위해, 태백산 분지의 황 동위원소 기록을 다른 대륙의 선행 연구 결과와 비교하고, 수치 모델을 이용해 탄소와 황 순환의 조절인자들이 미친 영향을 평가하며, 두 유형의 조선누층군 황 동위원소 기록을 비교해 분지 내 환경과 황 순환의 상관관계 또한 확인하고자 한다.

포스터 13-5

Subtidal meter-scale cyclic successions in the Dumugol Formation: Compactional influence on thickness trends in a mixed carbonate-siliciclastic succession

Eunhyun Cho*, Jongsun Hong

Department of Geology, Kangwon National University, Cho91@kangwon.ac.kr

Thickness trend of meter-scale cycles is of a great significance for high-frequency sequence stratigraphic interpretation. However, previous works, specifically on successions dominated by carbonate-mudstone interbeds, have often examined the cycles regardless of compaction influence, which potentially resulted in an inadequate interpretation. This study analyzes meter-scale cycles of the Lower Ordovician Dumugol Formation in the Sangdong section, and assesses the diagenetic influence on the cyclicity interpretation, by comparing the thickness trends of the extant and restored cycles. The Dumugol Formation consists of shale (Sh), limestone-shale couplet (L-S), thin-bedded lime mudstone (LMt), massive lime mudstone (LMm), and bioturbated lime mudstone (LMb), all of which are intercalated by intra-bioclastic packstone to grainstone (P/G). A total of 115 subtidal meter-scale cycles are recognized in the formation, and most of these consist in part of Sh, L-S, LMt, LMm, and LMb in ascending order, forming subtidal shallowing-upward meter-scale cycles. Based on the deepest facies component, they are classified into three types of Sh-, L-S-, and LMt-based cycles. Fischer plot trend in the extant cycle thickness shows two hierarchies of oscillations, with sets of about 50 and 15 to 25 cycles, respectively. Larger scale turnaround zones from thickening- to thinning-upward cycles occur around 7th and 92nd cycles, and the opposite turnaround is located around 47th cycle. Similarly, the trend in the restored cycles can be divided into two hierarchies but differ in the scale of larger oscillation containing more than 100 cycles, with a peak zone near 48th cycle. The lower to middle formation, an interval with a major discrepant thickness trend, consists mainly of Sh-based cycles rich in shale, and thus the restored oscillation appears to better fit the consistency in between thickness trend and facies proportion of the cycles. This different trend in larger scale oscillation may have resulted from earlier lithification of calcareous sediment, followed by significant thinning of shaly deposits by selective compaction. This finding suggests diagenetic influences on thickness pattern of stratigraphic successions, and would contribute to sequence stratigraphic works, specifically in the mixed carbonate-siliciclastic successions.

포스터 13-6

남중국 후기 오르도비스기 시아젠층에 기록된 골격질 생물초암의 시공간적 변화과정 연구: 중기 고생대 유형 생물초 발달의 서막

Spatiotemporal transition of diverse skeleton-dominated reefs from the Upper Ordovician Xiazhen Formation, SE China: a dawn of middle Paleozoic-type reef developments

박진오^{1,*}, 전주완^{2,3}, 홍중선⁴, 조석주⁵, 이동진⁶
Jino Park^{1,*}, Juwan Jeon^{2,3}, Jongsun Hong⁴, Suk-Joo Choh⁵, Dong-Jin Lee⁶

¹한동대학교 건설환경연구소, jinopark@handong.edu

²남경지질고생물연구소

³중국과학원

⁴강원대학교 지질학과

⁵고려대학교 지구환경과학과

⁶길림대학교 지구과학대학

대부분의 고생대형 생물군은 오르도비스기 대방산 기간 동안 처음 등장하였다. 이들이 해양환경에서 점차 서식지를 확장해 감에 따라 캄브리아기-오르도비스기 동안 널리 발달했던 미생물-해면동물 생물초는 실루리아기-데본기에서는 산호-층공충(stromatoporoid)-해조류 중심의 생물초로 전환되었다. 특히, 오르도비스기 중-후기(Darriwilian-Sandbian) 생물초의 주요 건설자 중 하나인 labechiid 층공충은 오르도비스기 후기(Katian-Hirnantian)에 들어 clathrodictyid 층공충으로 대체되어 실루리아기-데본기까지 지속적으로 대규모 생물초의 주 구성원으로 참여하였다. 이 연구에서는 중국 남부의 강서(Jiangxi)성 일원에 분포하는 후기 오르도비스기(Katian) 시아젠(Xiazhen)층에 발달된 다양한 생물초를 보고하며, clathrodictyid 층공충을 주 구성원으로 하는 생물초 유형의 시기적 변화상을 평가하고자 한다. 시아젠층에서는 6가지 유형의 생물초암이 8개 층에서 발달한다. 시아젠층의 하부층원에는 하부로부터 (1)해면동물-테트라디드 생물초(demosponge-tetradiid reef); (2)해면동물-사사산호 생물초(demosponge-*Tryplama* reef); (3)상판산호-해면동물 생물초(*Agetolites*-demosponge reef)가 순차적으로 나타난다. 이 생물초들은 구성원 다양성이 상대적으로 단순하고 중간 에너지 퇴적환경에서 형성되었다. 중부 및 상부 층원의 생물초는 층공충을 새 구성원으로 포함하며 다양한 생물이 참여하는 보다 복잡한 유형으로 나타난다. 시간순으로 (4)막대형 clathrodictyid 층공충-상판산호 생물초(dendroid *Clathrodictyon*-tabulate coral reef); (5)돛형 labechiid 층공충 생물초(laminar *Stylostroma* reef); (4)유형이 다시 형성된 후 (6)돛형 clathrodictyid 층공충-상판산호 생물초(laminar *Clathrodictyon*-tabulate coral reef)가 상부 두 층에서 발달하는데, (4)는 중에너지, (5)는 저에너지, (6)은 고에너지와 저에너지 퇴적환경에서 각각 형성된 것으로 clathrodictyid 층공충을 포함한 생물초들이 광범위한 환경에서 다양한 형태로 발달했음을 보여준다. 시아젠층의 clathrodictyid 층공충 생물초는 중기 고생대 천해에 번성한 clathrodictyid 층공충의 진화경향과 생물초 구성생물의 진화사를 보여주는 중요한 의미를 함유한다.

포스터 13-7

A sponge-microbial consortium in the Cool Creek Formation (Lower Ordovician), Arbuckle Group, Oklahoma, USA

SeungHoon Lee*, Jeong-Hyun Lee

Department of Geological Sciences, Chungnam National University, seunghoon.lee0826@gmail.com

We report Lower Ordovician “stromatolites” formed by microbial carbonates and keratose sponges from the Cool Creek Formation, Arbuckle Group, USA, which formed in shallow marine peritidal environments. Various stromatolite macrostructures are identified from the formation, including single hemispheroid, laterally linked hemispheroids, columnar/branching digitates, and microbial mats. Under microscope, various microstructures including fine-lamination and “vermiform” structures are identified, among which the former is interpreted as fine-grained stromatolites and the latter as remains of calcified keratose sponges. Vermiform fabrics are characterized by anastomosing, slightly curved bifurcating filamentous structures, which would have originated from the fibrous spongin networks of keratose sponge. The vermiform fabrics are generally observed as layers interbedded within stromatolites or intraclasts in the Cool Creek Formation. Such keratose sponges are not observable in the field, but can only be clearly identified in thin sections. Overall, this study suggests the necessity for the re-evaluation of the “stromatolites” in the Cool Creek Formation, which are previously interpreted as microbial in origin.

포스터 13-8

태백산분지 캄브리아 중기 대기층의 퇴적환경 및 순차층서학적 의미

Sequence stratigraphy and Depositional environments of the Middle Cambrian Daegi Formation, Taebaeksan basin

김병한^{1,*}, 유인창²Byoung-Han Kim^{1,*}, In-Chang Ryu²¹한국광물자원공사 에너지지원팀, kbhnj521@kores.or.kr²경북대학교 지구시스템과학부 지질학전공

태백산분지 백운산 향사대 남익부를 따라 대상으로 분포하는 고생대 캄브리아 중기 대기층은 약 300 m의 층후로 발달하고 있으며, 본 연구는 태백시 원동지역에 분포하는 대기층을 대상으로 퇴적상 분류 및 퇴적상 조합을 통해 퇴적환경을 파악하고 순차층서학적 해석을 수행하였다. 본 연구에서는 태백 원동일대 지표지질 조사 및 한국광물자원공사 국가광물정보센터에 보관된 원동지역 시추암추 관찰을 통해 엽층리의 이암-실트암상, 석회암-셰일 교호상, 우이드/온코이드 입자암상, 팩스톤~입자암으로 구성된 Microbialite상, 석회이암~팩스톤으로 구성된 Microbialite상, 괴상의 팩스톤~입자암상, 탄산염 각력암상 등 총 7개의 퇴적상으로 분류하였다. 퇴적상 분류 및 퇴적상 조합을 통해 해석한 퇴적환경은 모봉층 최상부~대기층 중부는 해퇴에 의한 해수면 하강으로 Outer shelf에서 Peritadal 환경으로 천해화되는 양상을 보이고 대기층 상부에 이르게 되면 장시간 대기 노출에 의한 고기 카르스트 지형이 발달하며, 대기층 최상부에서는 해침에 의한 해수면 상승으로 Subtadal 및 Inner shelf로 변화하는 양상으로 해석하였다. 이러한 양상은 대기층 하부 및 중부구간에 서 탄산염 대지의 성장과 함께 분지 내부로 유입되는 탄산염 퇴적물의 양이 많아지는 고수위기퇴적다발계가 발달하고 대기층 상부에서는 해퇴에 의해 탄산염 대지가 대기에 노출되어 카르스트 발달과 연계된 용식·붕락 각력암이 형성되는 하강수위기퇴적다발계-저수위기퇴적다발계, 대기층 최상부 및 세송층에서는 탄산염 퇴적물이 분지내부로 공급되고 이후 침수로 인해 쇄설성 퇴적시스템으로 전환되는 해침기퇴적다발계가 발달하는 등 총 3단계 퇴적다발계가 나타나는 것으로 해석하였다. 따라서, 고생대 캄브리아기 중기 Series3 Drumian Stage에 퇴적된 대기층에서 카르스트 발달과 연계된 용식·붕락 각력암 확인을 통해 해당 구간을 3차 순위 순차층 경계로 설정하였고, 전세계적으로 동시기에 퇴적된 퇴적층에서 대기 노출에 의해 형성된 카르스트 지형이나 고화지면, 고토양층 확인을 통해 2차 내지 3차 순위 순차층 경계가 보고된 바 있으므로 향후 태백산분지 내 캄브리아기 중기 퇴적층들의 지역 간 대비에 있어서 새로운 층서적 사고의 틀로 사용될 수 있으며, 전지구적 층서대비에 있어 중요한 건층으로 매우 유용한 정보를 제공할 수 있다.

포스터 13-9

제주도 수월봉응회환의 현무암질 화쇄류암에 대한 대자율이방성(AMS): 자기 미세구조의 발달과 화쇄류의 고유향과 화구 위치에 대한 논의 흐름 방향에 대한 논의

AMS (anisotropy of magnetic susceptibility) of basaltic tuffs in the Suweolbong tuff ring, Jeju Island: discussion to paleo-current directions and a location of source vent

이지수^{1,*}, 권창우³, 이승렬³, 손 문², 조형성¹
 Jisu Lee^{1,*}, Chang Woo Kwon³, Seung Ryeol Lee³, Moon Son², Hyeongseong Cho¹

¹경상대학교 지질학과, Jisu7150@gnu.ac.kr

²부산대학교 지질환경과학과

³한국지질자원연구원 국토지질연구본부

화산분출로 인한 화쇄류 및 용암류의 고유향은 과거 화구의 위치를 비롯하여, 경사면 방향과 같은 고지형, 당시 퇴적계 및 수계의 특성에 이르기까지 매우 유용한 정보를 제공한다. 최근, 화쇄류와 용암류의 고유향 분석을 위한 방법 중 하나인 대자율이방성(AMS) 분석을 통한 rock fabric 해석방법은 다양한 장점들을 바탕으로 관련 연구사례가 급증하고 있다. 이러한 대자율이방성의 적용 연구는 유문암질에서 안산암질 조성의 화쇄류암 및 용암류 그리고 현무암질 용암류를 주된 대상으로 하고 있으며, 현무암질 화쇄류암에 대자율이방성을 적용한 사례는 제주도 송악산응회환 하나를 제외하고는 거의 전무하다. 이번 연구에서는 제주도 수월봉의 화쇄류암을 대상으로 대자율이방성을 적용하여 화쇄류의 고유향과 과거 화구의 위치를 논의하고, 현무암질 화쇄류암에서의 미세구조 발달과 더불어 대자율이방성의 적용 가능성을 검토하였다. 제주도 서쪽 해안에 위치한 수월봉응회환은 수 개의 현무암질 화쇄류층으로 이루어져 있으며, 현재는 근원 화구가 노출되어 있지 않아 정확한 화구의 위치에 대한 해석이 요구되는 곳이다. 야외관찰 결과에 근거할 때, 수월봉응회환의 북부로부터 남부로 갈수록 일관되게 층의 두께가 얇아지고 입자의 크기도 감소하는 특징을 보여, 수월봉의 북쪽에 근원 화구가 위치할 것으로 추정되고 있다. 보다 정확한 근원화구의 위치 해석을 위해 수월봉 남부를 대상으로 총 7개 section, 54 site의 513개 코어시편을 채취하여 대자율이방성을 측정하였다. 측정된 모든 site에서 입자 및 결정편의 단축방향을 지시하는 k3가 거의 수직으로 군집되어 있으며, k1과 k2는 거의 수평으로 각각 군집되거나 대원을 이루고 있다. 이러한 특징은 화쇄류암을 비롯한 퇴적암에서 나타나는 전형적인 특징으로 자기미세구조가 효과적으로 정의되며, 고유향 분석이 성공적으로 가능함을 지시하고 있다. 또한, 입자 및 결정편의 장축 방향을 지시하는 k1은 대부분 site에서 북서, 북북서 그리고 북쪽을 향해 20도 내외의 저각으로 경사져 있다. 이러한 특징들은 화쇄류의 이동이 북서~북쪽으로부터 남동~남쪽으로 이동되었음을 지시하며, 근원화구 위치는 현재 수월봉의 북서 내지 북쪽에 위치한 것으로 해석된다. 한편, 분석된 고유향이 북서~북쪽 방향이 아닌 다른 방향으로 나타나는 site들이 부분적으로 관찰되는데, 이들은 rock fabric의 발달이 미약한 화쇄류층, 낙하테프라 그리고 재동된 퇴적층 등의 결과물로 판단된다. 이러한 site들에 대한 명확한 해석을 위해 보다 상세한 화산퇴적학적 연구와 대자율이방성 분석을 수행할 예정이다.

포스터 13-10

Clay의 함량에 따라 TOC와 가스포화도가 셰일가스저류층의 취성에 미치는 영향

Effects of TOC and gas saturation on brittleness of shale-gas formations and their changes due to clay contents

박은영*, 김영석

Eunyoung Park*, Youngseuk Keehm

공주대학교 지질환경과학과, eunyoung09@smail.kongju.ac.kr

투수율이 낮은 셰일가스저류층의 개발에 수압파쇄방법이 사용되므로 효율적인 개발을 위해 저류암의 취성특성의 파악이 중요하다. 이전 연구에서 검층자료로부터 취성을 추정하는 두 가지의 취성도(Brittleness Index), 즉 광물조성을 이용하는 BIC와 탄성계수를 이용하는 BIE의 특성과 의미에 대하여 살펴보았고, 이들의 차이가 TOC와 가스포화도에 의해 기인하는 것을 보고한 바가 있다. 요약하면, TOC가 증가하면 암석의 취성은 감소하며, TOC와 달리 가스포화도는 증가하면 취성도 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이들의 효과를 정량적으로 분석하고 암상 별로 나타나는 효과를 살펴보았다. 암석 내에 TOC가 증가할 경우 TOC가 암석의 frame을 soft하게 만들어 암석의 취성이 낮아지는 것으로 해석되었다. 암석의 stiffness가 높은 경우, 즉 clay의 함량이 낮은 경우에 효과가 크며, 암상이 점점 더 shaly해지면 TOC가 취성 감소에 미치는 효과도 점점 더 작아지는 것으로 나타났다. 다음으로 가스포화도에서는 가스포화도가 증가할 때 영률의 감소보다 포아송비의 감소에 의한 영향이 더 커서, 결과적으로 취성이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 이 효과는 clay의 함량이 매우 낮은 경우에는 그렇게 크지 않다가 clay의 함량이 증가하면서 그 효과가 커지다가, clay의 함량이 매우 높아지면 그 효과는 다시 감소하는 비선형적인 결과가 나타났다. 이 이유는 암석의 가스포화도에 대한 민감도가 암상 별로 달라지는 것으로 설명이 가능할 것으로 판단된다. Clay가 거의 없는 stiff한 암석의 경우 가스의 효과가 크게 나타나지 않다가, clay의 함량이 증가하면서 암석이 점점 soft해지면 그 효과가 커지는 것으로 생각된다. 하지만 clay의 함량이 매우 높아지면 이미 지나치게 soft해진 frame에 가스의 효과가 적어지는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 TOC와 가스포화도가 셰일가스저류층의 취성에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고 정리하였다. 특히, clay의 함량이 중간정도(15% V_{clay} 30%) 되는 경우에는 이 두 효과가 매우 크게 나타나기 때문에 취성의 해석에 특히 주의할 필요가 있음을 시사한다.

포스터 15-1

국내 농업용 지하수 사용과 변동 분석

Analysis of agricultural groundwater use and fluctuation in Korea

전찬혁^{1,*}, 이진용¹, 목종구², 김희정¹, 송성호³, 이규상⁴
 Chanhyeok Jeon^{1,*}, Jin-Yong Lee¹, Jong-Koo Mok², Heejung Kim¹, Sung-Ho Song³, Gyu-Sang Lee⁴

¹강원대학교 지질학과, jeonchan0424@kangwon.ac.kr

²(주)지오쓰리애코

³한국농어촌공사 제주지역본부

⁴한국농어촌공사 농어촌연구원

국제적으로 농업용 지하수는 전체 지하수 사용량의 약 70%를 차지하고 있으며, 농업용 지하수의 과도한 사용은 지하수 고갈을 야기하는 가장 큰 원인이다. 한편 국내 농업용 지하수 사용량은 1994년 9.3억m³에서 2016년 21.1억m³으로 11.8억m³ 증가하였고 전체 지하수 사용량 중 농업용 지하수 사용량이 차지하는 비율은 1994년 38.1%에서 2016년 52.2%로 증가하여 14.1% 증가하였다. 이는 국내 농업용 지하수 사용량이 계속해서 증가하고 있으며 전체 지하수 사용량에서 큰 비중을 차지하고 있음을 나타낼 뿐만 아니라 국내 농업용 지하수 사용량의 꾸준한 증가와 과도한 사용이 지하수 고갈문제에 영향을 줄 수 있음을 나타낸다. 따라서 국내 농업용 지하수 사용량의 증가 원인을 규명함으로써 계속해서 농업용 지하수 사용량이 증가할 경우에 발생할 수 있는 국내 지하수 고갈을 예방하고 사전에 대처할 수 있는 방법을 제시할 수 있다. 본 연구에서는 농업용 지하수 사용 증가 원인을 크게 기후변화 측면과 기술발달 측면으로 나누어 1994년부터 2016년까지의 용도별 지하수 이용량, 용도별 관정 수와 작물재배면적 변화 등을 파악하고 이를 통해 농업용 지하수 사용량의 증가 원인을 규명하고자 하였다.

감사의 글: 이 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다 (No.2019R1A6A1A03033167, No.2019R111A2A01057002).

포스터 15-2

해남에서 발생한 집중적인 미소지진이 지하수에 미치는 영향에 대한 예비연구

A preliminary study on the effect of intensive microearthquakes on groundwater in Haenam

장지욱^{1,*}, 이성빈², 이진용¹Jiwook Jang^{1,*}, Sungbeen Lee², Jin-Yong Lee¹¹강원대학교 지질학과, jiwook1108@kangwon.ac.kr²강원대학교 지질-지구물리학과 지질학전공

전라남도 해남에서 지난 2020년 4월 26일부터 5월 9일까지 총 74회의 집중적인 미소지진이 발생하였다. 이번 연구는 집중적인 미소지진으로 인한 인근 지역의 지하수위와 지하수 수질(수온과 전기전도도) 변화를 파악하고자 한다. 지진 발생 자료는 기상청에서 자료를 수집하였으며 진양 인근 지역의 지하수위와 수질을 확인하기 위해 국가지하수관측망에서 1시간 단위로 측정하는 자료가 사용되었다. 관정은 진양과 가장 가까운 곳에 위치하는 3개 지점(목포, 해남, 진도)의 자료를 조사하였다. 지진의 규모(M)는 $1 \leq M < 2$ 가 총 68회로 가장 많이 발생하였다($M < 1$: 1회, $2 \leq M < 3$: 4회, $3 \leq M$: 1회). 첫 지진이 발생하고 8일 뒤인 2020년 5월 4일에 하루 14회의 가장 많은 미소지진이 발생하였고 최대 규모의 지진(M: 3.1)이 발생한 것으로 나타난다. 지하수 특성은 거리가 가장 먼 진도(진양과의 거리 27.9 km)에서 지하수 특성(수온, 전기전도도)의 변동이 거의 없어 지진의 영향이 없는 것으로 나타나며 지하수위(el.)는 해당 기간에 내린 강우의 영향을 받는 것으로 추정된다. 진도에 비해 가까운 목포(17.1 km)와 해남(20.6 km)은 지하수위(el.)가 15.7-20.1 m와 31.3-38.4 m로 진도(5.1-6.1 m)에 비해 큰 변화 폭이 있다. 전기전도도는 406-462 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 와 282-403 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 진도(265-275 $\mu\text{S}/\text{cm}$)에 비해 변동이 크다. 수온은 목포에서만 2°C의 변동이 나타나고 해남과 진도는 변동이 나타나지 않는다. 규모 3.1 지진 발생 직전과 마지막 지진 발생 직후 지하수위가 전체적으로 상승하는 것은 강우의 영향 이외에도 지진의 영향을 받은 것으로 추정된다. 추후 지하수에 영향을 주는 요소(조석, 대기압 등)를 이용하여 상관분석과 시계열 분석을 통해 미소지진이 지하수에 미치는 영향 정도를 정확하게 파악하고자 한다.

감사의 글: 이 성과는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2019R1A6A1A03033167).

포스터 15-3

포항시 지열정과 주변 관정의 지하수위 및 수화학적 특성 비교

Comparison of water levels and chemistries between geothermal wells and surrounding wells in Pohang, Korea

박상욱*, 이진용, 김희정, 전찬혁, 김창성, 유한선

Sangwook Park*, Jin-Yong Lee, Heejung Kim, Chanhyeok Jeon, Chang-Seong Kim, Han-Sun Ryu

강원대학교 지질학과, wooky3624@kangwon.ac.kr

이 연구의 목적은 경상북도 포항시 지열발전실증부지 내 3개 관정과 포항지역 국가지하수관측소 8개 관정의 지하수위 및 수화학적 특성을 비교하는 것이다. 본 연구에서는 2018년 8월 31일부터 2020년 7월 14일까지 실증부지 내 3개(PX-1, 2, EXP-1) 관정의 지하수위를 모니터링하였다. 또한 채수한 물 시료에 대해 4회(2019년 5월, 2019년 6월, 2019년 8월 및 2020년 1월)의 현장 수질(수온, pH, 전기전도도, 산화환원전위, 용존산소) 측정, 주양/음이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) 및 동위원소($\delta^{18}\text{O}$, δD , $\delta^{13}\text{C}$) 분석을 하였다. 국가지하수관측소의 2018-2020년도 지하수위, 양음이온 자료는 국가지하수정보센터 및 지하수관측연보로부터 획득하였다. 특별히 실증부지 내 관정 중 2개(PX-1, 2)의 지열정 깊이는 각각 4,215 및 4,340 m이며 지상에서 6 m 떨어져 있는데도 불구하고 2017년 포항지진($M_w=5.4$) 발생 이후 나타난 지하수위 및 상승속도의 차이가 상당했다. PX-1의 지하수위(DTW)는 모니터링기간 동안 98.2 m에서 50.6 m로 47.6 m 만큼 상승했고 PX-2의 지하수위는 735 m에서 574.9 m로 160.1 m 만큼 상승하였다. 현장수질측정 결과, PX-1, 2의 수온은 각각 17.4-22.3, 32.1-32.6°C, pH는 6.7-9.2, 6.2-7.8, 전기전도도는 339-3,200, 396-8,160 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 산화환원전위는 -323-110, -368--75 mV, 용존산소는 1.63-6.2, 0.13-1.81 mg/L이다. 부지 내 세 관정의 양이온 및 음이온 농도에 대한 파이퍼 다이어그램을 도시($n=10$)한 결과 모두 Na-Cl 유형에 속하지만 EXP-1은 Na^+ 의 함량이 다른 관정보다 더 많았다. 상기 관정들의 지하수위를 이용한 시계열 분석 및 수화학 자료를 사용한 인자, 군집 분석을 통하여 이들의 차이를 규명하고자 한다.

감사의 글: 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20198210100030). 또한 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(No. 2019R1A6A1A03033167).

시계열 자료기반 분석기법을 이용한 제주 대정-한경 유역의 지하수 거동특성 분석

Groundwater Flow Characterization of Daejeong-Hankyung basin, Jeju-island, using time-series Data-driven analysis method

이소연^{1,*}, 배효진¹, 정지호¹, 정진아¹, 박원배², 김민철²

Soyeon Lee^{1,*}, Hyojin Bae¹, Jiho Jeong¹, Jina Jeong¹, Wonbae Park², Mincheol Kim²

¹경북대학교 지질학과, tsyh394@gmail.com

²제주연구원

제주도의 하천은 건천의 형태를 띠고 있어 지하수에의 수자원 의존도가 높은 편이나, 복잡한 지질학적 구조로 인하여 물리학적 기반의 방법만을 이용하여 지하수 거동 특성을 정확하게 규명하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 자료 기반 기법을 활용하여 제주 서쪽에 위치한 대정-한경 유역의 지하수 거동 특성을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 1) 대정-한경 유역 내 산발적으로 분포하고 있는 총 19개의 지하수위 관측공으로부터 획득한 12년(2008년 ~ 2019년) 간의 지하수위 시계열 자료, 2) 총 3개의 관측소(고산, 대정 및 서광)로부터 측정된 12년 간의 강수량 시계열 자료, 3) 대정 유역 중산간 지역에 위치한 총 4개의 근집형 지하수 이용 관정(저지, 금악, 서광, 및 영어교육도시)으로부터 획득한 이용량 시계열 자료를 이용하였다. 해당 자료를 활용하여 대정-한경 유역의 지하 수위 저하 현상들과 근집형 지하수 취수 시설들의 영향력을 분석하고 이를 기반으로 지하수 거동 특성 분석하였다. 분석을 위해 먼저, 각 지하수위 관측공에 대하여 강수량 및 이용량 자료를 입력 변수로 하는 자료 기반 지하수위 예측 모델을 개발하였다. 이 때, 과거의 변동 특성을 효과적으로 학습 모델에 적용하기 위하여 딥러닝 기법의 일종인 Stacked GRU (Gated Recurrent Unit) 모델을 이용하였다. 그리고 학습된 모델을 이용하여 이용량이 존재하지 않았을 때의 지하수위를 예측하였으며, 이를 이용량이 존재할 때의 실제 지하수위와 비교하여 두 자료 간 차이를 시계열 데이터로 획득하였다. 해당 과정을 모든 관측공에 대하여 반복수행하여 시계열 데이터를 획득하였으며, 이와 같이 획득된 결과를 이용량 시계열 자료와의 다양한 상관성 및 영향력 분석을 통해 최종적인 결과를 도출하였다. 분석 결과, 대정-한경 유역의 지하수 거동 방향은 대체로 서쪽으로 나타났으며 해당 결과를 제주도 지질 구조와 비교 분석한 결과, 조면 현무암질의 지질 분포와 밀접한 상관성을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 2016년부터 지하수 개발 및 이용을 시작한 영어교육도시 근집형 이용 관정이 타 근집형 이용 관정에 비하여 급격한 지하수위 저하 및 느린 회복 양상을 보이는 시기와 상대적으로 높은 상관성을 가지는 것으로 확인되었다. 이와 같은 결과는 대정-한경 유역의 지속 가능한 지하수 개발을 위한 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 해당 결과는 대정-한경 유역 지하수 함양 지역의 두터운 불포화대로 인한 함양 지연 현상을 반영하지 않은 결과로 보다 정밀한 분석을 위하여 추후 이에 대한 고려가 추가되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 지하수량 보존을 위한 보다 정밀한 정보를 획득하기 위하여 각 관측공에 상대적으로 우세한 영향을 주는 근집형 이용 관정 정보 도출을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

포스터 15-5

Sensitivity analysis for a groundwater flow simulation with simultaneous changes of hydraulic parameters and domain resolution

Jaegun Jung^{1,*}, Hyoun-Tae Hwang^{2,3}, Sung-Wook Jeon^{1,4}

¹Department of Earth and Environmental Sciences, Jeonbuk National University, rhwlffk951@naver.com

²Aquanty, Inc.

³University of Waterloo

⁴Department of Environment and Energy, Jeonbuk National University

Hydraulic parameters such as hydraulic conductivity (K), porosity, and specific storage (S_s) are the determining factors for groundwater flow simulation. On the other hand, heterogeneity of the hydraulic parameters may be different with respect to the resolution of a numerical model. In this study, we conducted a series of sensitivity analyses for a flow simulation with simultaneous changes of hydraulic parameters and model domain to determine which hydraulic parameters affect mostly the flow simulation and to what extent model resolution should be considered. Groundwater flow simulation was conducted for pumping tests, which were conducted at the Environmental Impact evaluation Test (EIT) facility site of the Korea-CO₂ Storage Environmental Management (K-COSEM) research center in Korea. Modeling was carried out using HydroGeoSphere (HGS), a three-dimensional groundwater-surface water integrated simulation model. The hydraulic parameters including K, porosity, and S_s , were changed systematically, and the coordinate of the simulation domain was divided into 1 (1 block), 2 (8 blocks), and 3 zones (27 blocks) in series. The sensitivity analysis was conducted by changing only one hydraulic parameter in each zone of x, y, and z coordinates for each resolution from a base case condition. The results showed that in the cases of changing K or S_s with simultaneous change of the resolution, the matches between the simulated heads and those observed from the actual pumping tests were much improved for the particular cases that hydraulic parameters were changed in certain zones. These improvements were amplified when the resolution was increased from lower resolution to higher resolution. However, there was little improvement for the matches between the simulated heads and those observed from the actual pumping tests, when porosity was changed simultaneously with the model resolution. This study suggests that numerical simulation with simultaneous changes of hydraulic parameters and model resolution can help understanding the hydraulic characteristics of subsurface area.

Acknowledgment: This research was supported by the “R&D Project on Environmental Management of Geologic CO₂ Storage” from the KEITI (Project Number: 2018001810002).

포스터 15-6

무산소 환경에서의 화강암과 녹니석에 의한 세슘의 수착 특성

Characteristics of cesium sorption on granite and chlorite in an anoxic environment

조수빈^{1,2,*}, 현성필¹, 권기덕²Subin Cho^{1,2,*}, Sung Pil Hyun¹, Kideok D. Kwon²¹한국지질자원연구원 국토지질연구본부, subin@kigam.re.kr²강원대학교 지질학과

지하 심부 무산소 조건의 고준위폐기물 처분장으로부터 유출된 방사성 핵종들은 주로 지하수에 용해되어 이동할 것으로 예측된다. 결정질 모암 내에서 지하수는 주로 단열을 따라 유동하며, 핵종들은 단열을 충전하는 광물들과 반응하여 이동이 지연되는 것으로 알려져 있다. 주요 핵분열 생성물 중 하나인 세슘(¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs)은 비교적 긴 반감기와 높은 방사능으로 방사성폐기물의 처분 안전성을 평가하는 데에 있어서 매우 중요한 핵종이다. 알칼리 금속인 세슘은 높은 이온교환능을 가지는 점토광물들과 비교적 반응성이 큰 것으로 알려져 있다. 또한 결정질암의 단열을 채우는 이차광물들의 표면자리(≡SOH) 혹은 층간자리(XO)에서 일어나는 수착(sorption)은 처분장에서 세슘의 이동을 지연시키는 주요 메커니즘으로 평가된다. 이 연구에서는 혐기성 챔버(anaerobic chamber) 내에서 비방사성 세슘(¹³³Cs)을 이용하여 처분 모암(host rock)으로 가능성이 높은 화강암과 대표적인 단열 충전광물인 녹니석과의 수착 특성을 연구하였다. 대전화강암과 표준녹니석(CCa-2) 시료를 수착 매질로 사용하였으며 산-염기 적정 실험을 통해 각 매질의 표면 산-염기 특성을 연구하였다. 초기 세슘의 농도(10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} mol L⁻¹)와 pH (4-10), 배경전해질인 염화나트륨 수용액의 농도 (0.01, 0.05, 0.1 mol L⁻¹)를 변수로 반응 시간(1h, 4h, 48h)을 달리하여 세슘의 수착량을 측정하였다. 실험 결과 세슘-수착매질의 반응에서 수용액의 pH는 48시간 내에 안정되었으며 pH 안정화에 걸리는 시간은 초기 pH에 따라 달라졌다. 이에 따라 세슘의 수착량 역시 pH별로 반응 시간에 따른 거동이 달라졌다. 본 연구는 서로 다른 농도의 염화나트륨 용액에서 pH에 따른 세슘의 수착 거동을 비교하고 반응메커니즘 모델을 제시함으로써 기본적인 수리화학 변수들인 pH와 이온강도가 모암과 단열을 통한 세슘의 이동 지연에 미치는 영향을 평가하였다.

포스터 15-7

지하수위 변동 패턴을 이용한 대수층 수리특성 예측 모델 개발

Development of an efficient data-driven method to estimate the hydraulic properties of aquifers from groundwater level fluctuation pattern features

정지호*, 정진아

Jiho Jeong*, Jina Jeong

경북대학교 지질학과, iamwlg@naver.com

본 연구에서는 지하수위 변동 패턴을 기반으로 대수층의 수리학적 물성치를 예측할 수 있는 자료 기반 모델이 개발되었다. 특히, 자료 전처리 과정에서 DAE (Denoising Autoencoder)를 이용함으로써 예측 모델의 성능을 향상시켰다. DAE는 고차원의 지하수위 변동 자료의 저차원 특징을 추출해 예측 모델의 입력 변수를 구성하는데 이용되었다. 해당 기법을 연구에 적용하기에 앞서 성능 검증을 실시한 결과, 지하수위 변동 자료에 포함된 노이즈를 평균 71% 감소시켰으며, 추출된 저차원 특징 자료들이 각각의 고차원 지하수위 자료의 변동 특성과 대응되는 것을 확인할 수 있었다. 대수층 수리특성 예측 모델의 입력 변수를 구성하기 위해 가상 및 실제 지하수위 자료가 이용되었으며, 실제 자료는 전국에 걸쳐 분포하는 총 59개의 농어촌 지하수관측소로부터 획득되었다. DAE를 이용해 검증을 마친 저차원 특징 자료를 기반으로 두 가지 유형의 수리 특성 값을 예측하는 모델이 구성되었고, 모델의 성능은 실제 값과 예측 값의 상관 계수를 이용해 정량적으로 평가되었다. 예측 모델에 대한 평가 결과, 구성된 모델은 실제 값과 예측 값 사이의 높은 상관계수를 나타냈다. 하지만 대수층의 수리학적 특성을 예측하기 위해 이용된 지하수위 변동 자료의 경우, 지역별로 다양한 강수 특성에 따른 영향을 배제할 수 없다. 강수의 시작 시간, 지속 기간 및 강수 빈도 등에 따라 지하수위 변동 특성이 다양하게 나타나고 예측 모델의 경우 지하수위 변동 자료를 기반으로 대수층의 수리 특성을 유추하기 때문에, 보다 정확한 예측을 수행하기 위해서는 강수 조건을 동일하게 설정할 필요가 있다. 이러한 목표로, 지역별 강수 조건을 동일하게 설정하기 위해 CVAE (Conditional Variational Autoencoder) 기법이 적용되었다. CVAE를 이용해 동일한 강수조건 하에서 생성되는 지하수위 변동 패턴을 획득하고, 실제 지하수위 자료와 비교를 통한 검증이 실시되었다. CVAE를 이용해 생성된 지하수위 변동 자료들은 90% 이상의 정확도로 실제 자료를 재현해 냈으며 해당 자료들의 저차원 특징을 추출한 결과, 각 지역 연 단위 지하수위 변동 자료에 대응되는 저차원 특징 좌표들의 분산이 평균 61% 감소했다. 이에 따라 각각의 관측공에 대해 보다 대표성 있는 입력 자료(지하수위 변동 자료의 저차원 특징)를 얻을 수 있었고, 최종적으로 이를 이용한 대수층 수리 특성 예측 모델이 구성되었다. 따라서 제안된 모델을 이용할 경우, 현장 시험을 수행하지 않고도 지하수위 변동 자료를 이용해 사전 정보가 없는 대수층의 수리학적 특성을 효율적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

포스터 15-8

산불의 온도 조건에 따른 토양 지하수 환경 블랙카본의 특성 변화

Effects of Wildfires on Black Carbon Materials in the Soil and Groundwater Environments

전소담¹, 서 란², 정성욱^{2,*}, 장경순³, 한원식⁴

Sodam Jeon¹, Ran Seo², Sungwook Choung^{2,*}, Kyoung-Soon Jang³, Won Shik Han⁴

¹KOTITI시험연구원, schoung@kbsi.re.kr

²한국기초과학지원연구원 환경분석연구부

³한국기초과학지원연구원 연구장비운영부

⁴연세대학교 지구시스템학과

원전 사고 시 누출되는 방사성 세슘과 아이오딘은 휘발성 물질로서 낙진과 강우 등을 통해 환경계로 유입되어 토양과 지하수를 오염시킨다. 원자력 발전소 근처에는 주로 농경지와 산악지대가 분포하며, 이 주변의 토양 지하수 환경은 산불과 같이 바이오매스의 불완전 연소를 통해 생성되는 블랙카본(BC)이 흔히 존재한다. 토양 지하수 환경에 퇴적된 BC는 하나의 지질 매체로 작용하며 방사성 핵종과 지화학적 반응이 필수적으로 일어나지만 이에 대한 연구는 미비하다. 특히, BC의 생성 온도 변화에 따른 물리화학적 특성 변화와 환경학적 영향은 명확하게 규명되어 있지 않다. 본 연구는 BC의 열분해 정도에 따른 물리화학적 구조의 변화를 살펴보고, 온도 조건을 달리하여 생성한 BC의 세슘과 아이오딘에 대한 흡착 특성을 파악하고자 한다.

포스터 15-9

지하수 인공함양 지역의 클로킹 평가 인자 특성 분석

Analysis of the characteristics of clogging evaluation factors in groundwater artificial recharge area

황찬익^{1,*}, 최명락², 손장호³, 김규범³
 Chan-Ik Hwang^{1,*}, Myoung-Rak Choi², Jang-Ho Son³, Gyoo-Bum Kim³

¹대전대학교 산학협력단, loveu2u@hanmail.net

²대전대학교 일반대학원 방재학과

³대전대학교 건설안전방재공학과

지하수 클로킹은 대수층의 투수계수 및 침투율 감소를 초래하며 취수정의 취수량 감소 요인으로 작용한다. 따라서, 본 연구에서는 클로킹과 밀접한 관련이 있는 인자인 MFI, SDI, 철, 망간, 탁도, UV254, DOC를 이용하여 지하수 인공함양시 함양지역의 대수층 내 클로킹 평가 인자들간의 상관 관계를 분석하였다. 기존 문헌에 따르면 일반적으로 SDI가 5, MFI가 10이 초과되면 클로킹 우려가 있다고 평가된다. 인공함양지역 내 10개 지점의 지하수를 샘플링하여 분석한 결과 SDI가 5보다 낮은 샘플은 3개, MFI가 10보다 낮은 샘플은 없는 것으로 나타나 클로킹 가능성이 있는 것으로 보인다. 클로킹에 영향을 미칠 수 있는 수질항목과 MFI의 관계를 분석한 결과, SDI가 높을수록 MFI가 높은 경향이 나타나며, 탁도의 경우 클로킹 위험도가 낮은 샘플이 탁도가 낮게 나타났다. 또한 유기물 농도의 지표인 UV254는 MFI와 매우 높은 상관성을 보이며, DOC의 경우 상관성이 거의 없는 것으로 분석되었다. 철과 망간의 경우 지하수 내 환원상태로 존재하는 용존 철, 망간이 MFI 값에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났지만 장기간 인공함양시 클로킹에 영향을 줄 가능성이 높은 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구지역에서 지하수를 이용한 인공함양시 철, 망간 저감 및 탁도 저감 등 전처리를 통하여 인공함양 시키는 것이 바람직한 것으로 보인다.

감사의 글: 본 연구는 환경부(한국환경산업기술원)의 수요대응형 물공급서비스 사업(상시 가뭄지역의 지하수 최적공급 관리를 위한 IoT 기반 인공함양 및 Well network 기술 개발, #146523)의 지원으로 수행되었습니다.

포스터 15-10

고속도로 성토공사가 주변 양식농장의 지하수에 미치는 영향 연구

Impact of highway embankment construction on groundwater of the nearby farm

차범근*, 여인옥

Beom Geun Cha*, In Wook Yeo

전남대학교 지질환경과학과, o898k@naver.com

연약지반에 고속도로를 건설하기 위해서는 성토를 쌓아서 지반을 견고하게 만든다. 그러나 성토는 대수층에 하중을 가하여 지하수 흐름에 영향을 끼칠 수도 있음에도 불구하고, 이에 대한 실측자료에 기반한 연구는 거의 없다. 연구지역은 전라남도 장성군 고속도로 건설 현장으로서 농장주변의 성토공사는 2017년 11월~12월, 2019년 6월~20년 1월 이루어졌으며, 지하수위는 2017년 3월 17일부터 2020년 3월 10일까지 측정하였다. 성토에 인접한 관정에서 성토공사 단계 별 순간충격시험을 실시하여 대수층의 특성 및 변화를 측정하였다. 또한 성토의 영향을 분석하기 위하여 성토의 영향이 없을 경우(Case 1), 성토 직하부의 충적층 대수층만 영향을 받아 수리전도도가 90%, 99% 감소했을 경우(Case 2, 3), 충적층과 풍화암 대수층 모두 수리전도도가 90%, 99% 감소했을 경우(Case 4, 5)로 총 다섯 가지 조건에 대해서 지하수 모델링을 수행하였다. 순간충격시험 결과 대수층의 수리전도도는 평균 3.5 m/day로 산출되었으며, 성토공사 단계 별 세 번의 순간충격시험에도 수리전도도 변화는 매우 미미하여 성토공사로 인한 주변 대수층의 특성변화는 없었다. 수위자료의 추세 분석 결과, 연구지역의 수위는 매년 약 0.25 m ~ 0.84 m씩 수위가 감소하는 추세를 보였으며, 성토공사 단계와 연관된 지하수위의 특이한 변화는 보이지 않았다. 성토공사의 영향이 배제된 Case 1과 비교한 모델링 결과, Case 4의 농장의 한 개 관측정에서만 수위가 8 cm 하강하는 것을 제외하고 모든 경우에서 성토가 지하의 댐처럼 작용하여 오히려 수위가 상승하는 것으로 분석되었다. 따라서 성토공사가 주변 민원 농장의 지하수 사용에 미치는 영향은 크지 않으며, 농장의 지속적인 지하수위 하강은 비교적 좁은 면적에서 지하수를 과도하게 이용하여 발생한 것으로 분석된다.

포스터 15-11

지하수위 변동 자료를 이용한 제주지역 불포화대의 수리지질학적 특성화 연구

A Study on the Hydrological Characteristics of Unsaturated Aquifer in Jeju Using the Variation Data of Underground Water Level

조수환, 김민수*, 정진아, 박은규

Suhwan Cho, Minsu Kim*, Jina Jeong, Eungyu Park

경북대학교 지구시스템과학부, alstn950@gmail.com

불포화대는 물로 완전히 포화되지 않은 지표 아래의 구간으로, 강수에 의한 물은 불포화대를 거쳐 침투되고 지하수에 함양된다. 따라서 불포화대의 수리적 특성에 따른 침투수의 체류와 대수층의 오염은 밀접한 연관성을 가진다. 화산활동으로 형성된 제주 지역은 수리지질학에 있어 매우 중요한 지역으로, 대부분이 투수성이 좋은 다공질 화산암으로 이루어져 있다. 강수에 따른 평균 지하수 함양율을 제주도와 국내 내륙 지역과 비교했을 때 제주도는 대략 3배 높은 값을 갖는 것으로 보고되고 있다.

이러한 제주도의 지질학적 특성으로 인해 제주도는 가축분뇨나 농약 사용에 따른 지하수 오염 문제에 취약하다. 실제로, 최근 제주 서부 지역은 가축분뇨 무단 방출로 인한 지하수 오염문제가 심각한 것으로 알려져 있다. 제주도의 지하수가 오염되면 오염 범위를 추정하기 어렵고 넓은 지역에 걸쳐 오염된다. 따라서 인위적인 정화가 불가능해 상당한 기간의 자연정화에 의한 수질 회복이 필요하다.

한편, 불포화대를 통한 자연정화 과정에 있어 침투수의 분산적인 흐름은 유입된 오염물질 농도의 저감에 중요한 역할을 한다. 따라서 불포화대 내에서 침투수가 장기적으로 체류할수록 오염물질 농도가 저감될 것으로 기대된다. 국내 내륙 지역에 비해 두꺼운 불포화대를 가지는 제주 지역은 불포화대의 수리적 특성과 지하수위 변동 사이에 밀접한 관련이 있을 것으로 판단하여 축산분뇨 오염을 조기에 인지하고 방지하기 위한 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 지하수위 변동과 불포화대 수리적 특성의 프로세스를 분석하기 위해 제주 지역의 지하수위 및 불포화대 자료에 대한 분석을 실시하였다. 연구지역으로는 제주도 30개 지역의 국가 지하수 관측소를 선정하였으며, 국가 지하수 관측망 수위자료와 기상청 강우자료는 총 6개년(2013년~2018년)의 자료를 활용하였다. 본 연구에서 지하수위 변동을 추정하기 위해 지하수위 변동 방정식에 기반하여 개발된 지하수위 변동 모델을 사용하였다. 모델을 통해 도출된 지하수위 변동에 대한 파라미터 값으로는 지하수 함양률, 저수단극, 수위 후퇴율 계수, 지하수 유출 상수가 있다. 파라미터 값을 기반으로 불포화대 내에서 침투수의 거동에 영향을 주는 인자인 지하수 함양까지의 체류 시간, 불포화대의 두께, 토양 및 암질, 수리전도도 등에 대한 분석을 실시하였다. 이러한 분석을 바탕으로 지하수위 변동에 대한 패턴을 분석하고 불포화대의 수리적 특성을 파악하여 불포화대의 오염물질 자연저감 능력을 유추하였다. 이는 향후 제주지역의 지하수 오염 문제에 있어 불포화대를 통한 오염 물질 자연저감 능력의 공간적 분포를 파악하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

포스터 15-12

확산 농도분포의 추정을 위한 다색상 이미지 분석법의 적용성 연구

Multi-channel image analysis for estimating solute concentration profiles

김창민^{1,*}, 양민준²Changmin Kim^{1,*}, Minjune Yang²¹부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공, changmin_kim@pukyong.ac.kr²부경대학교 지구환경과학과

본 연구에서는 점토 종류에 따른 저투수성 매체 내 용질의 농도분포를 측정하기 위하여 확산 챔버 실험과 다색상 이미지 분석을 실시하였다. 확산 챔버는 하부에 glass bead로 구성된 대수층과 그 상부에 다른 종류의 점토(kaolinite, montmorillonite, bentonite)로 각각 구성되어 있으며 2 g/L의 sodium fluorescein을 0.17 mL/min의 유속으로 약 27.3 PVs 동안 주입하였다. 유입된 용질은 실험이 진행됨에 따라 점차 하부 대수층에서 상부 점토층으로 확산을 통하여 이동하게 되며, 확산기간 동안 챔버의 사진을 촬영하여 점토층 내 용질의 RGB-channel의 세기를 측정하였다. 측정된 각 색상의 세기는 사전 실험을 통하여 획득한 색상 강도와 용질 농도간 관계식을 통하여 농도로 계산하였으며, 이를 1차원 확산 해석해와 Nash-sutcliffe 유효계수로 비교하여 다색상 이미지 분석방법의 적용 가능성을 평가하였다. 실험 결과, kaolinite의 경우 B-channel을 적용한 점토층 내 용질의 농도분포가 확산 초기(8.2 PVs)와 후기(25.4 PVs)에서 모두 확산 해석해 결과와 각각 높은 일치도를 보였다($E=0.96, 0.94$). Montmorillonite는 G-channel을 활용한 농도분포가 확산 초기(7.5 PVs)와 후기(25.9 PVs)에서 확산 해석해 결과와 각각 높은 일치도를 보였다($E=0.99, 0.91$). 반면 bentonite는 B-channel을 활용하였을 때, 확산 초기(1.85, 8.2 PVs)에 높은 일치도($E=0.98, 0.98$)를 보였으나 확산 후기(18.1 PVs)에는 약 420 mg/L 이하의 용질 농도 범위에서 일치도가 다소 감소하였다($E=0.86$). 또한 그 이상의 농도 범위에서는 농도 분포추정이 거의 불가능하였는데($E=-7.1$), 이는 용질의 농도가 약 420 mg/L이상의 범위에서는 농도 증가에 따른 B-channel의 색상강도 변화가 거의 없기 때문으로 판단되었다. 해당 농도 범위에서는 용질 농도의 증가에 따라 색상강도 변화가 있는 G-channel을 부분적으로 적용하였으며, 동시에 두 개의 색상을 사용하여 농도를 추정한 결과 농도 분포와 확산 해석해가 서로 높은 일치도를 보였다($E_{B+G}=0.96$). 결론적으로, kaolinite와 montmorillonite는 각각 단일 색상을 활용한 저투수성 매체 내 농도 분포 추정이 가능하였으며, bentonite의 경우는 확산 기간에 따라 단일 또는 두 가지 channel을 동시에 적용하는 분석 방법이 필요할 것으로 판단되었다.

포스터 15-13

수리학적 흐름제어를 위한 지하수 양수-주입 운영장치 개발

Pumping-injection device for hydraulic flow control and plume containment

이종화*, 박창희, 전성천, 이명재

Jonghwa Yi*, Chang-Hui Park, Seong-Chun Jun, Myeong Jae Yi

(주)지오그린21 기업부설연구소, antaresz@geogreen21.com

오염 지하수의 확산방지를 위한 효과적인 방법은 양수-주입을 통하여 지하수 흐름의 포획구간을 형성시키는 것이며, 일반적으로 양수량/주입량과 수두구배에 따라 포획구간의 범위가 달라진다. 많은 오염부지에서는 부지활용의 제약, 대수층 매질의 불균질성 등으로 인하여 효과적인 오염지하수 포획을 위해서는 양수-주입의 최적화 과정이 필수적이며, 최적화된 지하수 양수 및 주입 시나리오를 현장에서 구현하기 위한 효율적인 양수-주입 운영장치의 개발이 필요하다. 지하수 양수-주입에 따른 지하수위 변화는 동일한 펌프 가동조건에서 양수량 또는 주입량을 변화시키므로 양수-주입 운영장치는 계획된 양수량/주입량 또는 일정 수위를 유지할 수 있도록 운영상태를 모니터링하여 펌프가동 조건이 변경되도록 설계하였다. 이를 위해 펌프의 인버터 제어를 위한 PID 알고리즘을 개발하였으며, 디지털 유량계, 압력센서 및 디지털 밸브를 통한 제어가 가능하도록 하였다. 개발중인 양수-주입 운영장치의 성능 평가를 위해 충전 및 암반 대수층을 대상으로 양수시험 및 주입 시험을 수행하였다. 양수시험은 지하수위 하강에도 계획된 양수량이 안정적으로 유지되는지 여부를 파악하기 위해 일정 양수량시험, 양수량 변화를 잘 구현하는지 파악하기 위한 단계양수시험을 수행하였으며, 한계 수위 하강량을 고려한 일정수위 유지 양수시험도 수행하였다. 주입시험은 일정 유량 또는 압력조건에서 주입조건이 잘 유지되는지 파악하기 위해 수행하였다. 각 시험을 통하여 운영조건의 실시간 모니터링 및 각 장치의 제어가 가능한지 확인하였으며, 문제점은 개선중에 있다. 향후 양수-주입 운영장치는 원격제어가 가능하도록 업그레이드 할 예정이며, 지하수 오염원의 이동-확산을 수리학적 흐름제어 방식으로 억제 및 차단하기 위한 GIS 기반 지하수 양수-주입 통합운영 시스템의 핵심 모듈로 활용할 계획이다.

감사의 글: 본 연구는 환경부 “지중환경오염-위해관리기술개발사업; 2020002470001”으로 지원받은 과제임.

A study on the sorption and stabilization of strontium using natural and synthetic zeolite

Soo Kyung Kim*, Seo Ha Kim, Minji Park, Hoon Young Jeong

Dept. of Geological Sciences, Pusan National University, sukyong0421@naver.com

This study examined Sr^{2+} sorption by natural and synthetic zeolites and stabilization of Sr^{2+} -exchanged zeolites by thermal treatment. Sr^{2+} sorption experiments were conducted to obtain pH sorption edges and sorption isotherms to evaluate the effects of pH, ionic strength and initial Sr^{2+} concentration. Also, Sr^{2+} -exchanged zeolites were thermally treated at 800-1,200°C for 2 hours, and they were subsequently analyzed using X-ray diffraction (XRD) to examine mineralogical changes. Sr^{2+} removal efficiency by clinoptilolite remained nearly constant over the pH range examined (e.g., 4-10.5), but the removal was strongly dependent on ionic strength, with the greater Sr^{2+} removal with the decreasing ionic strength. At pH 6-10.5, a synthetic zeolite 13X, which has a high selectivity for Sr^{2+} , showed a great removal of Sr^{2+} regardless of ionic strength. In contrast, at $\text{pH} \leq 6$, the removal efficiency decreased significantly likely due to the dissolution of 13X under acidic conditions. These features were also reflected in sorption isotherms. By XRD analysis, thermal transformation of Sr^{2+} -exchanged zeolites to non-exchangeable forms was noted. In case of clinoptilolite, the zeolite framework was maintained at $\leq 800^\circ\text{C}$, but it collapsed to form cristobalite (SiO_2) and Sr-feldspar ($\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, monoclinic) at $\geq 1,100^\circ\text{C}$. For 13X, the zeolite structure was retained up to 800°C , but it recrystallized to Sr-feldspar ($\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, hexagonal) at 900°C and then Sr-feldspar ($\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, monoclinic) at $\geq 1,000^\circ\text{C}$.

포스터 15-15

대수층 및 저투수층의 다층구조에 관한 용질 확산 모델링

A modeling study of solute diffusion in a multi layered aquifer - aquitard system

장성간^{1,*}, 양민준²Seonggan Jang^{1,*}, Minjune Yang²¹부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공, seonggan@pukyong.ac.kr²부경대학교 지구환경과학과

저투수층이 존재하는 지하 시스템의 경우, 오염 물질은 저투수층 내부로 정확산을 통해 관통하여 피압 대수층을 오염시키며, 대수층의 정화 이후에도 저투수층에 저장된 오염물질은 제 2의 오염원이 되어 역확산을 통해 인접한 대수층을 계속해서 오염시키게 된다. 본 연구는 이러한 오염 과정을 가상의 지하 시스템을 구축하여 1차원 확산 해석해로 규명하고자 한다. 확산 모델링을 위한 가상의 유동 챔버는 최하부 대수층(4 cm)-하부 저투수층(2 cm)-상부 대수층(2 cm)-상부 저투수층(2 cm)으로 구성하였다. 확산 시나리오는 정확산 단계에서 500 mg/L의 New Coccine을 일정한 유량(0.02 mL/min)으로 상부 대수층에 약 20일 동안 주입하였으며, 역확산 단계에서는 20일 동안 증류수를 주입하여 상부 대수층이 완전히 정화되었다고 가정하였다. 하부 대수층은 상부 대수층과 동일한 유량으로 증류수를 주입하여 저투수층을 통해 확산된 New Coccine 농도를 모니터링하였다. 본 연구에서 사용된 확산 해석해는 상부 저투수층의 경우 유한 경계조건(no-flux boundary)을, 하부 저투수층의 경우 관통확산조건(flux boundary)을 사용하였다. 모델링 결과, 정확산 단계가 20일 동안 지속될 경우 상부 저투수층의 New Coccine 농도 분포는 경계면(0 cm)에서 2 cm 깊이로 갈수록 500 mg/L에서 40 mg/L로 전형적인 정확산 농도 패턴을 보였으며, 하부 저투수층의 New Coccine 농도 분포는 최하부 대수층의 영향으로 500 mg/L에서 0 mg/L로 수렴하는 선형적 감소 패턴을 보였다. 정확산 이후 역확산 단계가 5일 동안 지속될 경우 상, 하부 저투수층의 New Coccine 농도 분포는 경계면에서 0.6 cm 깊이까지 0 mg/L에서 185 mg/L로 증가하는 농도 패턴을 보였다. 하지만, 0.6 cm에서 2 cm의 농도 분포는 상부 저투수층의 경우 66 mg/L로, 하부 저투수층의 경우 0 mg/L로 수렴하면서 감소하는 농도 패턴을 보였다. 상부 대수층의 New Coccine 농도는 정확산 동안 500 mg/L로 유지되었으며, 역확산이 시작되는 즉시 감소하였다. 역확산의 영향으로 인접한 상, 하부 저투수층에 저장된 New Coccine이 대수층으로 이동하면서 지속적으로 New Coccine이 검출 되었으며, 역확산이 10일 동안 지속 되었을 때 상부 대수층의 New Coccine 농도는 약 2.4 mg/L로 나타났다. 정확산과 역확산이 시작되는 시기와 동일하게 농도 변화가 발생하는 상부 대수층과는 달리 최하부 대수층은 하부 저투수층의 존재로 New Coccine의 농도가 검출 및 감소되는 시점이 다르게 나타난다. 최하부 대수층에서 New Coccine은 정확산 단계 5일부터 검출되기 시작하였으며, 역확산 시작 후 8일 시점에서 New Coccine 농도가 최대 0.7 mg/L를 보인 이후 지속적으로 감소하였다. 본 모델링을 통해 오염된 피압 대수층이 저투수층을 통과하여 다른 인접한 대수층의 오염 가능성과 정화된 대수층의 추가적인 오염을 확인할 수 있었다.

포스터 15-16

DNAPL 오염부지내 장기 모니터링 데이터를 활용한 오염정화 영향 평가 및 오염 초기 정보 유추

Estimating the initial contaminant source information using long-term monitoring data in DNAPL contaminated site, Wonju, Korea

이성순^{1,*}, 전성천², 이종화², 하승욱¹, 이상훈¹, 전원탁¹, 이강근¹

Seong-Sun Lee^{1,*}, Sung-Chun Jun², Jong-Hwa Lee², Seung-Wook Ha¹, Sang-Hoon Lee¹, Won-Tak Joun¹, Kang-Kun Lee¹

¹서울대학교 지구환경과학부, soon3311@snu.ac.kr

²㈜지오그린21

본 연구는 DNAPL 오염부지에서 오염정화의 영향과 알려지지 않은 초기 오염물 정보를 장기간 축적된 모니터링 데이터를 활용하여 유추하는 것이다. 이와 관련하여 원주 산업단지에서 trichloroethylene(TCE)와 같은 염화에텐의 오염에 대한 연구가 2009년부터 2020년까지 총 22회의 지하수 샘플링을 통해 얻어진 데이터를 기반으로 수행되었다. 오염부지에는 토양증기추출법, 토양세척법, biostimulation 그리고 양수처리공법과 같이 다양한 정화기술들이 TCE의 오염원을 제거하고 정화지점으로부터 TCE 오염운의 하류 방향으로의 거동을 방지하고자 적용되었다. 정화이전에는 시공간적 모니터링 결과에 의하면 오염운이 하류지점에 위치한 하천까지 방류되고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 집중정화활동의 종료시점으로 2년 후에는 TCE 오염운의 용해상 농도가 주 오염원 지역과 그 주변으로 눈에 띄게 감소한 것으로 조사되었다. 연구 현장은 초기 오염물 사용에 대한 정보가 없기 때문에 이를 유추해보는 연구도 수행되었다. 초기 오염농도 정보는 오염원 지역 장기 모니터링 데이터 및 해석해를 활용하여 대략적인 초기 용해상 농도와 잔류상 TCE 양을 유추해 볼 수 있었다. 주 오염지역의 1980년대 후반 초기 용해상 농도는 150 mg/L 잔류상 질량은 1000 kg로 예측되었다. 이러한 값은 집중 정화가 수행된 이후에 0.45 mg/L 및 33.07 kg까지 감소하였다. 정화직전 농도 대비 집중정화에 의한 영향은 오염원 지역에서 약 70%의 농도 감소 효과가 나타난 것으로 조사되었다.

Acknowledgment: This research has supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(NRF-2018R1C1B6007390) and Korea Ministry of Environment as "The SEM projects; RE2020002470001".

포스터 15-17

Incorporation of cesium in zeolite-structure using thermal treatment

Minji Park*, Su Kyoung Kim, Seo Ha Kim, Hoon young Jeong

Department of Geological Science, Pusan National University, untilmion@naver.com

A Na⁺-exchanged form of 13X (NaX), an Al-rich synthetic zeolite, was employed to isolate Cs⁺ ions in its structure in order to exclude radioactive ¹³⁷Cs⁺ ions, which are discharged from low-to-intermediate level liquid radioactive wastes (LILLW), from ecosystem. The sorption properties of NaX toward Cs⁺ were investigated. Since the sequestration of Cs⁺ ions by NaX is typically controlled by ion exchange, all batch experiments were carried out at a fixed ionic strength (0.05 or 0.2 M) at the loading of 100 g/L. While pH sorption edge curves were obtained over a wide range of pH (4.0-10.5) at 0.002 or 0.2 mM of initial Cs⁺ concentrations, isotherm curves were sought at pH 5, 7, and 9 by varying the initial Cs⁺ concentration (0.001-5 mM). Before storing spent zeolites at disposal sites, their phase conversion into non-exchangeable forms (e.g., pollucite and cesium aluminum silicate) by thermal treatment is of environmental importance to prevent once sequestered Cs⁺ from being re-exchanged by other cations in groundwater. For this, a partially Cs⁺-exchanged 13X (CsX) was subjected to thermal gravimetric-differential scanning calorimeter (TG-DSC) analysis from 400 to 1,200°C at a heating rate of 10°C/min under the atmosphere to determine thermal treatment temperatures. Subsequently, CsX was thermally treated at 600, 800, 900, 1,000, and 1,100°C for 2 hours and the physicochemical properties of the resultant products such as surface area, particle morphology, mineralogy, and local coordination environment around Cs⁺ were examined using a surface area analyzer, scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), and Cs-LIII edge X-ray absorption spectroscopy (XAS), respectively. Furthermore, to assess the stability of Cs⁺ in thermally treated products, desorption experiments were conducted at either 5 or 55°C for 180 days using 0.2 M MOPS buffer solutions (pH 7.0) containing 0.2 M NaCl and 0.1 M CaCl₂.

포스터 15-18

Spectral Characteristics of Soils Contaminated by Diesel Oil

Jihee Seo^{1,*}, Jaehyung Yu², Jieun Kim¹¹Chungnam National University, Department of Astronomy, Space Science, & Geology, 1009sjh@naver.com²Chungnam National University, Department of Geological Sciences

Petroleum hydrocarbons contain toxic components such as benzene and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and, thus, soils contaminated by petroleum hydrocarbons are hazardous to the environment. Soils contaminated by petroleum hydrocarbons have been critical community issues as they cannot be thoroughly restored even if they go through purification process. Soil contamination by petroleum hydrocarbons is mainly caused by the leakage of storage tanks that store a series of petroleum due to careless handling or the outdated equipment. The traditional soil survey methods take sophisticated procedures including field sampling, preprocessing, analysis, and interpretation requiring highly intensive labor and money investment. Detection method for soil contamination using satellite data may substitute the traditional methods as preliminary survey options. Detecting pollution using spectral characteristics of soil can be substituted for traditional field methods as it costs low and have a high efficiency. Furthermore, it lays the groundwork for remote sensing. This study investigated spectral variation of soil by saturation level of diesel oil based on spectral analysis and moisture content analysis from fully saturated to completely dry condition. As a result, variations of spectral characteristics were mostly found in visible and near-infrared regions. It is expected that this method can contribute to detecting soils contaminated by diesel in various circumstances using remote sensing.

Withdrawal

포스터 15-19

상추의 비소 오염에 따른 분광특성 변이 연구

Investigation of Spectral Variation associated with Arsenic contamination in Lettuce

조성경*, 김서연, 김송희, 유재형
Seongkyeong Cho*, Seoyeon Kim, Songhee Kim, Jaehyung Yu

충남대학교 지질환경과학과, hyzzaueng@naver.com

환경부 폐금속 광산 주변 오염조사 결과를 통해 강원도, 충청북도, 경상북도의 폐석탄광산 주변 토양 및 수질의 중금속 오염이 심각하게 대두된 바 있다. 특히 강원지역의 폐석탄광산 주변 토양과 수계오염에 따른 하류 농토의 중금속 오염은 그 문제가 심각하여 환경부령 토양환경 대책 기준을 초과한 함량이 보고된 바 있다. 특히, 중금속 원소 중 비소는 인체 내 축적 시 발달 장애, 신경독성, 당뇨, 폐 질환, 심장질환, 혈액질환뿐만 아니라 각종 암을 유발한다. 농토의 중금속 오염은 농작물의 중금속 오염을 야기하며, 궁극적으로 인체에 해로운 영향을 미친다. 그러나 농작물의 중금속 오염을 검출하기 위한 방법은 무작위적 추출에 따른 화학분석법만이 활용되고 있다. 분광학적 특성은 물질과 전자기파의 에너지 반응 강이를 분석하는 기법으로 원격탐사적 접근과 영상화 기법에 활용되는 기초자료로 활용된다. 이번 연구는 농토를 대상으로 중금속 종류 중 하나인 비소를 주입함에 따라 발생하는 분광학적 특성의 변이를 고찰하였다. 이를 위해 본 연구는 중금속에 오염되지 않은 대조군과 비소의 양을 다르게 주입한 각각의 실험군을 수경재배하였다. 단계별 중금속 함량에 따른 분광특성의 변이를 파악하기 위해 대표 시료를 대상으로 화학분석을 실시하여 비소함량을 분석하였고 해당 상추에 대해 초분광 영상을 취득하여, 비소함량에 따른 분광특성 변이를 비교분석 하였다. 그 결과 식생의 반응에 민감한 영역인 Red-edge와 근적외선 영역에서 비소함량에 따라 분광특성 변이가 발생함을 인지하였다. 본 연구는 토양중금속 오염에 따른 오염된 농작물을 탐지하는 데 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

포스터 15-20

영주댐 유입 유기물의 질소와 탄소의 동위원소 특성

Isotope Characteristics of Nitrogen and Carbon of Organic Matter Inflow of Yeongju Dam

김재민^{1,*}, 김영훈², 김정진¹Jae Min Kim^{1,*}, Young Hun Kim², Jeong Jin Kim¹¹안동대학교 지구환경과학과, jkim@anu.ac.kr²안동대학교 환경공학과

영주댐 내 수환경에서 나타나는 부영화는 물의 효율적 이용과 생태계의 건전한 기능수행을 저해하는 조류의 번식, 산소의 고갈 등에 의한 피해가 나타날 수 있다. 영주댐 내로 유입되는 생활하수, 축산 폐수 등에 포함된 인 및 질소 성분은 부영양화 및 조류 발생의 원인이 될 수 있다. 국내에서 지금까지 부영양화에 대한 관리는 인을 주된 항목으로 진행하였으며 부영양화의 원인 물질로서 질소의 유입, 이동, 변환(transformation) 특성에 대한 연구가 필요하다. 영주댐으로 유입되는 유기물의 기원은 내성천이나 주변 지류로부터 유입되는 자연 기원 유기물, 가축분뇨, 농경지에 뿌려지는 퇴비나 비료 등이다. 이들이 영주댐 유역으로 유입 가능성은 매우 높지만 유기물을 부가하는 측면에서 각각의 중요성이나 기여도에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구의 목적은 질소 동위원소를 이용하여 영주댐 유역으로 유입되는 유기물의 특성에 대해 조사하고 탄소와 질소의 동위원소비를 분석하여 영주댐 유입 유기물 기원을 밝히는 것이다. 이를 위해 영주댐 상류 내성천 지류인 토일천과 주변의 퇴적물, 산토양, 우분 등의 시료를 채취하여 분석을 수행하였다. 부유물질의 탄소 동위원소비 $\delta^{13}\text{C}$ 는 하천 퇴적물 $-23.869 \sim -26.726\%$ 이고, 계곡 퇴적물은 -27.638% , 우분은 $-19.902 \sim -26.511\%$, 산토양은 $-25.557 \sim -27.072\%$ 범위를 나타낸다. 부유물질에 대한 탄소동위원소비는 가장 높은 값인 -19.902% 는 우분, 가장 낮은 값은 -27.638% 의 산토양이다. 부유물질의 질소동위원소비 $\delta^{15}\text{N}$ (‰)는 하천 퇴적물 $7.604 \sim 11.904\%$ 이고, 계곡 퇴적물은 9.145% , 우분은 $15.027 \sim 24.281\%$, 산토양은 $-2.063 \sim 5.770\%$ 범위를 나타낸다. 부유물질에 대한 질소동위원소비는 가장 높은 값인 24.281% 는 우분, 가장 낮은 값은 -2.063% 의 산토양이다. 부유물질에 대한 질소동위원소비는 탄소동위원소비와 마찬가지로 산토양을 제외하고 시료의 종류에 따라 뚜렷한 차이를 나타내지 않는다.

포스터 15-21

이온강도에 따른 대수층 내 우라늄 거동 특성 연구

Ionic strength effects on uranium transport behavior in a multi layered aquitard-aquifer system

김수빈^{1,*}, 양민준²Subeen Kim^{1,*}, Minjune Yang²¹부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공, subin_kim@pukyong.ac.kr²부경대학교 지구환경과학과

본 연구에서는 임의의 지하환경에 대해 1차원 확산 해석해를 이용하여 지하수의 이온강도(Ionic strength)에 따른 우라늄의 거동 모델링을 수행하였다. 오염 시나리오는 2개의 저투수층(몬모틸로나이트, 15 m × 5 m × 10 cm) 사이에 대수층(15 m × 5 m × 5 m)이 있는 시스템을 대상으로, 500 mg/L의 우라늄이 20년간 누출된 후 대수층이 정화되었다고 가정하였다. 해석해에 적용된 유효확산계수는 Samer (2011)에 제시된 이온 강도별(0.001, 0.01, 0.25 M, pH 9) 우라늄 흡착실험 결과를 이용하여 산출하였으며, 이온강도 0.5 M (해수 침투 지하수 조건)일 때 유효확산계수는 이온강도에 따라 유효확산계수가 선형적으로 증가한다고 가정하여 산출하였다. 우라늄의 유효확산계수는 이온강도가 가장 낮은 0.001 M일 때 $3.85 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{yr}$, 이온강도가 가장 높은 0.5 M일 때 $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{yr}$ 로 산출되었다. 모델링 결과, 우라늄이 20년 동안 대수층에 오염되었을 때 저투수층 깊이 2 cm에서 이온강도 0.5 M의 우라늄 상대 농도는 0.7, 이온강도 0.001 M의 상대 농도는 0.1로 같은 깊이에서 약 7배의 농도차를 보였다. 대수층의 정화 활동으로 대수층과 저투수층의 농도구배가 역전되면 저투수층에 저장되었던 우라늄은 대수층으로 역확산한다. 정화된 직후, 대수층에서 우라늄의 농도는 이온강도 0.001 M에서 약 $28 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 우라늄 음용수 기준($30 \mu\text{g}/\text{L}$)보다 낮게 나타난다. 반면, 이온강도 0.5 M일 때 역확산으로 인한 대수층의 우라늄의 농도는 $142 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 음용수 기준보다 약 4.7배 높았으며, 음용수 기준이상의 농도가 약 1년 4개월간 지속되었다. 본 연구를 통해 대수층 내 우라늄의 거동은 이온강도에 따라 상이하며, 이온강도가 클수록 우라늄의 이동성이 증가하여 오염 정화 이후에도 오염이 지속될 수 있음을 확인하였다. 이는 대수층 내 해수 침투 조건에서 우라늄의 거동 변화를 예측하는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

포스터 15-22

충청 중앙지역 주요 탄산수의 질산성 질소 및 미생물 오염의 시기적 변동 특성 분석

Seasonal variation of nitrate and microbial contaminants in CO₂-rich springs in the central Chungcheong area

김원빈^{1,2,*}, 고동찬¹, 채기탁¹, 고경석¹, 진성욱²

Won-Bin Kim^{1,2,*}, Dong-Chan Koh¹, Gitak Chae¹, Kyung-Seok Ko¹, Sung-Wook Jeen²

¹한국지질자원연구원, onebean@kigam.re.kr

²전북대학교 지구환경과학과

샘물은 지하수가 지표면으로 노출되어 흐르는 곳으로 지형, 지질 및 수리지질특성에 따라 고유한 특징을 가지고 있다. 샘물의 유량은 강수와 밀접한 관계를 보이며 국내에서도 유명 샘물들은 오래전부터 많은 사람들에게 이용되어 왔다. 하지만 현재 상당수 샘들이 농업, 목축업이나 도로, 건물의 건설 등으로 오염되거나 사라지고 있는 실정이다. 샘물을 잘 이용하고 보존하기 위해서는 샘물의 수리지질학적 특성과 오염물질의 유입 특성을 파악하는 것이 필요하다. 이번 연구에서는 충청 중앙지역에 분포하는 주요 탄산수 산출 지점에 대하여 오염 변동 특성을 파악하고 효과적인 샘물의 관리를 위해 질산성 질소와 분변 기원 미생물을 시기적으로 조사하였다. 심부 기원의 고미네랄 탄산수 특성을 보이는 청주지역의 부강약수, 천부 기원의 수질특성을 보이는 세종지역의 비탄산수인 참샘약수, 그리고 용출지점이 노출된 저미네랄 탄산수인 큰샘에 대해 2019년부터 약 1년간 월 1회 또는 2회 채수하고 질산성질소를 포함한 주요 용존이온의 화학분석을 수행하였고 분변 기원의 미생물 오염 특성 조사를 위해 분원성연쇄상구균, 분원성대장균군, 총대장균군에 대하여 분석을 수행하였다. 조사대상 샘물 주변지역의 토지이용은 대부분 논, 임목지, 주거지 등 이었으며, 경작지, 정화조, 생활하수 배출 시설 등의 잠재오염원이 확인되었다. 용존 성분들은 강수량 변화와 상관성을 보였는데 질산성 질소 농도는 강수가 집중된 시기에 증가하는 경향을 보였으며 특히 강수 이후 유량의 변화가 즉각적으로 나타나는 참샘약수에서 높은 농도가 나타났다. 분변 오염의 지표인 분원성대장균군의 오염도 역시 강우가 많은 시기에 가장 높게 나타났고, 특히 용출지점이 노출된 큰샘에서 미생물 오염 빈도가 가장 높게 나타났는데 이러한 미생물 오염의 시기적 변동특성을 제대로 파악하기 위해서는 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 반면, 심부 기원의 부강약수는 질산성 질소 농도가 낮고 미생물 오염이 확인되지 않아 샘물 주변의 환경이나 지하수 유동 경로에 따라 지표환경의 오염물질 유입에 대한 취약성이 다른 것으로 확인되었다.

포스터 15-23

머신러닝 기술을 활용한 지하수 산출성 평가

Groundwater yield evaluation using machine learning technology

이재경*, 박재현

Jae Kyoung lee*, Jae hyun Park

K-water, ljksmail@kwater.or.kr

지하수 기초조사를 '97년부터 시행해 오고 있으며 현재 167개 시·군중 143개 시·군(86%)을 완료하였다. 또한, 지하수 기초조사를 완료한 지역은 10년 주기로 보완조사를 시행 중이다.

그동안 축적된 지하수 조사자료에 최근에 빠르게 발전하고 있는 머신러닝 기술을 활용하여 문경지역과 함안지역의 지하수 산출성 도면을 작성하였다.

지하수 산출에 영향을 줄 수 있을 것으로 추정되는 인자(토양분포, 토지이용, 단위경사, 고도, 선구조밀도, 지질)와 지하수 산출성(비양수량)의 관계를 머신러닝(랜덤포레스트) 분석으로 회귀모형을 생성하였다. 생성한 회귀모형에 행정구역별 지하수산출에 영향이 있을 것으로 추정되는 인자를 입력하여 비양수량 예측값을 산출하고 도면화하였다.

랜덤포레스트 모형의 평균제곱근오차(RMSE)는 $7.62 \text{ m}^3/\text{day}\cdot\text{m}$ 로 분석되었다. 랜덤포레스트 모형으로 상대적으로 지하수산출성에 더 큰 영향을 줄 수 있는 인자를 산출한 결과 공간적인 요소, 단위경사, 토지이용, 고도 순으로 분석되었다.

지하수 산출성 지도는 지하수 개발시 지하수 산출성이 높은 지역을 예측하여 지하수의 효율적인 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

포스터 18-1

중기 마이오세 포항분지 북동부 지역에 분포하는 역암/사암체의 분포 특성과 그 지구조적 의의

Distribution pattern of the conglomerate-sandstone sequences in the northeastern Pohang Basin (Middle Miocene), SE Korea and its tectonic implications

박진오^{1,2,*}, 이정현³Jino Park^{1,2,*}, Jeong-Hyun Lee³¹한동대학교 건설환경연구소, jinopark@handong.edu²11.15 지진지열발전 공동연구단 연구지원팀³충남대학교 지질환경과학과

마이오세 동안 동해가 확장되는 과정에 수반하여 형성된 당겨열림형 포항분지는 그 동안 주로 분지 서쪽 및 중남부 부분에 집중하여 퇴적학 및 구조지질학적 연구가 이루어져 왔다. 기존 모델에서는 포항분지 서편에 분지 경계 단층이 존재하며, 동쪽은 분지가 깊게 침강한 결과 심해저에서 퇴적된 이암층(이동층/두호층/여남층)이 분포한다고 알려져 왔다. 이 연구에서는 포항분지의 북동부에 해당하는 경상북도 포항시 흥해읍 칠포리 및 청하면 신흥리 일대에 분포하는 기반암과 그 상부에 놓이는 역암/사암체를 소개하고 그 지구조적인 의의에 대해 논하고자 한다. 연구 지역에는 팔레오세 말~에오세 초에 분출한 유문암질 화산암이 주로 기반암으로 존재하며, 북쪽과 동쪽 해안가를 따라서 일부 경상누층군과 유사한 퇴적층도 기반암으로 나타난다. 이러한 기반암 내에는 북동-남서 주향/남동 경사의 단층대 및 습곡을 포함한 변형 구조들이 흔하게 관찰되며, 일부 단층을 따라서 화산암맥들이 관입해 있다. 기반암 위에는 변형을 받지 않은 십수 미터 두께의 역암 및 사암이 부정합적으로 놓이며, 이는 점이적으로 상부의 이암으로 전이하는 양상을 보인다. 이 역암 및 사암은 주로 기반암인 유문암질 화산암을 역과 기질로 가지며, 층리 및 하도 형태도 일부 관찰된다. 역암 및 사암체의 공간적 분포 패턴은 이 지역에 기존 지구조 운동을 따라 지구(graven) 혹은 반지구(half graven) 형태의 소분지들이 형성되었음을 지시한다. 본 연구 결과는 다음과 같은 지구조적 함의를 갖는다: (1) 연구지역에서 조립질 퇴적체의 분포와 소분지 형성은 퇴적 동시성 단층 운동에 대한 실마리를 제공하여 포항분지의 초기 발달사에 대한 추가 정보를 제공한다; (2) 포항분지 북동부에는 퇴적층이 대체로 얇고 초기 해침 기록이 나타나며, 이는 기존에 알려진 서편 경계를 따르는 지역들보다 전체적으로 침강이 덜 이루어졌거나 대규모로 융기한 결과로 판단된다; (3) 본 연구결과와 최근 중동부 지역에 굴착된 시추공 기록을 비교하면 기존에 물리탐사 및 시추공 대비를 통해 제안되었던 포항분지 내 주요 대규모 퇴적동시성 정단층 중 일부(흥해 및 곡강단층)는 분지 형성 이전의 기반암 구조를 반영하거나 퇴적 동시성 소규모 단층들이 기반암 구조와 결합되어 하나의 큰 단층으로 과대평가되었을 가능성이 있다.

포스터 18-2

지하투과레이더를 활용한 울산 양산단층 미고결 퇴적층 피복구간 영상화

Imaging Yangsan fault segments covered by unconsolidated sediments using ground-penetrating radar

이학민^{1,*}, 김승섭^{1,2}Hak-Min Lee^{1,*}, Seung-Sep Kim^{1,2}¹충남대학교 우주지질학과, hakmin2379@cnu.ac.kr²충남대학교 지질환경과학과

국내에서 발생한 2016년 규모 5.8의 경주지진과 2017년 규모 5.4의 포항지진으로 인해 2017년부터 한반도 활성단층 조사 및 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 물리탐사 방법 중 하나인 지하투과레이더를 적용하여 지질조사로 확인된 단층 지역의 천부를 영상화하였다. 지하투과레이더 탐사는 지구 내부로 레이더파를 투과하여 내부에서 물리적 특성이 다른 경계면에서 발생하는 반사 신호를 기록하며 이루어진다. 지하투과레이더는 일반적으로 높은 진동수를 가지는 전자기파를 사용하기 때문에 탐사 대상 내부에 대한 고해상도 영상을 취득할 수 있지만 탐사 심도는 5 m 내외로 상대적으로 얕다. 본 연구는 미고결 퇴적층 내부에 존재하는 피복단층의 연장성 규명을 위하여 지하투과레이더 탐사 기법을 적용하였다. 탐사는 2020년 5월 27일부터 2020년 5월 28일 사이에 울산 인보리에서 수행하였다. 장비는 Sensors & Software 사의 PulseEKKO Pro GPR system을 사용하였으며, 그 중 일반 수신기(receiver)에 비해 반사 신호의 중첩 갯수를 비약적으로 증가시킬 수 있는 Ultrareceiver 장비를 사용하여 신호 대 잡음비를 개선하였다. 탐사에는 50 MHz 주파수의 안테나가 사용되었다. 원시 자료는 지상의 전신주, 전선, 구조물 등에 의한 간접 신호 및 고주파 신호의 감쇠 효과를 그대로 보여주기 때문에 지하 내부 구조를 해석하는 데 어려움이 있다. Ultrareceiver 장비를 사용하여 데이터의 품질이 향상되었지만, 탐사 주변환경에 의한 잡음이 제거되지는 않는다. 측정 자료의 신호 대 잡음비 비율을 개선하고 감쇠 효과를 보상하기 위하여 Sensors & Software 사의 EKKO Project 프로그램을 활용하여 후처리 보정을 수행하였다. 이렇게 보정된 지하 영상은 지표 지질조사 결과를 바탕으로 추정된 단층의 연장선 위치 부근에서 지층 반사 신호가 가지는 연결성이 끊어짐을 발견하였다. 이는 과거 단층 운동에 의한 퇴적층의 수직 변이를 반영한 것으로 보이며 기존에 보고된 유사 연구 사례와도 일치한다. 또한 이 현상은 같은 연구 지역에서 실시된 전기비저항 탐사 결과와도 높은 유사성을 보였다. 이와 같이 피복단층이 확인된 미고결 퇴적층에서 취득한 데이터를 영상화하여 단층으로 인한 반사 신호의 변화를 특정함으로써 그 연장성을 확인할 수 있었고, 단층과 같은 지하 구조를 규명하고자 할 때 지하투과레이더가 효과적인 탐사 방법임을 확인하였다.

포스터 18-3

비접지식 전기비저항 탐사를 이용한 천부 미고결층 활성 단층 영상화 연구

Geophysical imaging of active faults in unconsolidated sediments using capacitively-coupled resistivity data

최정열*, 김승섭, 이학민, 이병우

Jeong-Ryul Choi*, Seung-Sep Kim, Hak-Min Lee, Byung-Woo Lee

충남대학교 우주지질학과, ddolbong@cnu.ac.kr

최근에 활동을 했던 중규모 이상의 지진이 대부분 활성단층을 따라 발생함에 따라 활성단층 분포 및 활동성 평가가 매우 중요하다. 한국에서도 2016년 경주지진, 2017년 포항지진이 발생하면서 한반도 활성 단층의 분포 및 활동성 연구에 국민적 관심이 높아지고 있다. 또한 한국과 같이 큰 규모의 지진 재발주기가 상대적으로 긴 지역에서는 역사 지진이나 계기 지진만을 이용한 연구에는 한계가 있기 때문에 활성단층에 대한 연구가 더욱 중요할 수 있다. 활성단층을 발견하고 정의하는데 사용되는 일반적인 연구방법은 원격탐사, 지구물리탐사, 트렌치 조사, 연대측정 등의 조사방법이 종합적으로 적용된다. 이 중 트렌치 조사를 활용하여 활성단층의 지진활동성을 정의하고 평가하는 것은 매우 중요하다. 그러나 단층의 공간적 연결성 정보를 결정하는 데에는 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하고 트렌치 조사에 의한 활성 단층의 연장성 추적에 대한 불확실성을 낮추기 위해서 단층 위치를 정밀하게 결정하는 천부지층 탐사기술을 이용할 필요가 있다. 지구물리탐사는 단층대 지하의 지질 및 지질구조를 이해할 수 있는 정보 제공, 지표에 노출되지 않은 단층을 인지하는데 필요한 정보를 제공할 수 있다. 특히 지질구조 및 단층 파쇄대를 조사하기 위한 지구물리탐사 중에 전기비저항 탐사가 효과적인 경우가 많다. 이는 지층의 풍화 상태와 단층 파쇄대를 따라 전기비저항이 감소하기 때문이다. 본 연구에서는 활성 단층 추적을 위해 항공 원격탐사 자료에서 추출된 선 구조 지역과 트렌치 조사 주변을 중심으로 전기비저항 탐사를 수행하여 2차원 및 3차원의 전기비저항 구조를 영상화하여 단층의 수평 및 수직 공간에서의 지표 연장성을 확인하고자 하였다. 이 연구에서는 울산 울주군 두서면 인보리에서 수행된 트렌치 조사된 지점을 기준으로 활성 단층 추적을 위한 전기비저항 탐사를 수행하였다. 탐사 장비는 미국 Geometrics사의 Ohm-Mapper를 이용하였다. Ohm-Mapper는 기존의 전기비저항 탐사와 달리 전극봉을 사용하지 않고 낮은 주파수를 흘려준 후 전위차를 측정하는 방법을 사용한다. 이 방법은 전극봉의 설치가 어렵거나 접지저항이 매우 높아져 일반적인 전기비저항 탐사 수행이 어려울 때 사용된다. 연구지역인 울산 울주군 인보리 일대도 도시화의 영향으로 포장된 도로가 주요 농경지를 분리하며 분포하고 있어 Ohm-Mapper를 사용하기에 적합하였다. 선행 조사된 원격탐사를 통한 선 구조 분석결과와 트렌치 조사를 바탕으로 사전답사를 통해 탐사구역 측선을 선정하였고, 비접지식 전기비저항 탐사결과의 해상도를 높이기 위해 2개 수신 장비와 GPS를 연결하여 연속 측정을 하였다. 터널과 같이 GPS 수신이 어려운 지역에서는 출자를 이용하여 등간격 측정을 수행하였다. 획득한 자료는 Res2Dinv와 Res3Dinv 프로그램을 통해 역산 결과를 도출하는 데 사용되었다. 트렌치 조사 지점을 중심으로 수행된 전기비저항 2D, 3D 탐사결과를 바탕으로 저비저항대 가탐심도 5 m 부근에서 하부로 이어지는 저비저항대를 단층으로 추정할 수 있었다. 또한 탐사 측선마다 단층으로 추정되는 저비저항을 연결하면 선행 조사된 선 구조 분석결과 단층 추정선과의 연장성이 일치함을 확인할 수 있었다. 더욱이 항공 라이다 자료 등에서 나타나지 않았던 지역에서 단층 연장성을 추가적으로 확인할 수 있었다. 그러므로 이 연구는 천부지층 물리탐사 자료와 활성단층 지표 조사 결과를 종합적으로 활용하면 활성단층 연장성 추적의 불확정성을 개선할 수 있음을 보여준다.

포스터 18-4

소규모 맨틀 가장자리대류와 부분용융: 제주도의 성인에 관한 고찰

Small-scale mantle edge-driven convection and partial melts: implications for the origin of Jeju Island

소병달*, 박상진
Byung-Dal So*, Sangjin Park

강원대학교 지구물리학과, bdso@kangwon.ac.kr

대부분의 화산 활동은 판의 경계에 집중되지만, 일부는 판 경계에서 멀리 떨어진 판 내부에서 발생한다. 판 구조론 관점에서 이해하기 어려운 판내부화산을 설명하기 위해 핵-맨틀 경계로부터 용승하는 플룸, 섭입 작용에 의한 거대 맨틀 썩기, 가장자리대류(edge-driven convection) 등 다양한 역학적 기작이 제시되었다. 특히, 가장자리대류는 작은 공간 규모(수 백 km 이하)의 맨틀 대류만을 이용해 판내부화산을 설명할 수 있다. 반면, 플룸이나 맨틀 썩기는 판 규모(1000 km 이상 단위)의 맨틀 대류를 고려해야만 한다. 한반도의 남쪽에 존재하는 제주도는 대한민국의 대표적인 화산체로 가까운 판 경계인 류쿠 해구와 일본 해구에서 수백 km 떨어져 있어 판내부화산으로 분류된다. 제주도의 존재 위치는 태평양판의 섭입과 그 결과물인 스테그넌트 슬랩(stagnant slab)과 공간적 연관성이 부족한 것으로 판단된다. 최근 지진과 단층촬영 연구에서는 제주도의 남쪽과 북쪽 하부 암석권에 두께 차이가 존재함을 주장했다. 가장자리대류는 암석권의 두께 차이와 그에 따라 유도된 열적 부력의 수평 기울기 차에 의해 구동되는 소규모 맨틀 대류로, 호주 남서부나 수동형 대륙주변부의 화산활동과 고도 이상을 설명하기 위해 널리 도입되었다. 제주도 하부에 암석권 두께에 급격한 차이가 있다면 가장자리대류를 성인으로 제시할 수 있다. 하지만, 가장자리대류가 구동된다고 해도 부분용융이 생성되지 않는다면 화산활동으로 이어질 수 없다. 본 연구에서는 이차원 유한요소법을 이용한 수치 모사를 통해 가장자리대류가 시작되는 조건을 정량화하고 부분용융의 생성 위치와 생성량을 추정했다. 그 결과, 우리는 두께 차이가 발생하는 곳에서 매우 가까운 위치에 충분한 양의 부분용융이 생성되기 위해서는 엄격한 맨틀 유동학적 성질과 맨틀 온도 이질성이 필요함을 발견했다. 이러한 관점에서 제주도 하부의 가장자리대류와 부분용융의 발생 가능성에 대해 토론했다.

포스터 19-1

독도 연안의 해저지형자료를 활용한 해저면 변동 분석 및 모니터링

Seabottom Change monitoring based on bathymetry of the nearshore of Dongdo and Seodo

이명훈*, 김창환, 김원혁, 최순영, 박찬홍

Myoung Hoon Lee*, Chang Hwan Kim, Won Hyuck Kim, Soon Young Choi, Chan Hong Park

한국해양과학기술원 동해연구소 독도전문연구센터, leemh@kiost.ac.kr

독도 연안은 동도 선착장이나 서도 주민숙소 등의 시설이 설치되어 인간활동이 발생하고 있으며 독도 관광이나 관리 등 여러 목적에 의해 방문 또는 입도 등의 외부적 영향을 점점 많이 받고 있는 해역이다. 또한 독도 화산체 주변의 깊은 수심대가 형성되어 있는 해역에 비해 파도나 조류, 바람 등으로부터의 직접적인 영향도 받고 있어서 환경 변화가 많이 발생하는 것으로 생각되고 있다. 본 연구는 이러한 인간의 활동 및 외부 영향이 지속적으로 발생하고 있는 동도와 서도 사이 및 주변 연안 해역에 대해서 해저지형 변동 모니터링 분석을 수행하였다. 다중빔 음향측심기를 활용하여 획득한 정밀한 해저지형자료를 기반으로 독도 연안의 약 500 m x 500 m 범위 해역을 선정하여 해저지형 분석과 해저면 변동을 분석하고자 하였다. 동일한 해역 범위에서 2018년과 2019년 각각 획득하고 분석한 해저지형자료를 활용하였으며, 해저면 변화가 많을 것으로 생각되는 동도 선착장(여객선 및 기타 선박의 입출항 경로)과 동도 섬 육지부와 바로 인접한 해역에 잘 발달해 있는 테일러스(Talus) 구간, 그리고 수중암반이 나타나는 주변을 중심으로 단면 분석을 수행하였다. 동도와 서도 사이의 수심 약 20 m ~ 25 m 이내 범위의 테일러스 지형이 발달한 구간은 2018년에 비해 2019년 지형자료에서 전반적으로 퇴적이 진행된 경향을 나타내고 있다. 이는 비교적 이동이 쉬운 자갈이나 소규모의 수중암반 또는 퇴적물들이 이동한 결과로 보이며 동도 선착장에서의 입출항에 의한 선박의 활동이나 변동이 나타난 구간은 동-서도 사이 수로 역할을 하는 해역으로 주변보다 강한 해류의 영향에 의한 것으로도 판단된다. 수심 약 25 m 보다 깊은 해역 범위에서는 퇴적층으로 덮힌 평탄한 해저면이 나타나며 지형의 변동도 거의 없는 것으로 나타난다. 본 분석은 2018년과 2019년의 해저지형자료만을 기반으로 수행한 것으로 실제 퇴적 또는 침식 등에 의한 해저면 변동의 정확한 경향을 판단할 수는 없으나, 향후 지속적인 자료의 축적과 분석을 통해 독도 연안 해역에 대한 해저면 변동 경향을 파악하고 모니터링을 수행할 예정이다.

포스터 19-2

독도 및 울릉도 해저 조면암 멜트포유물의 지화학적 특성 연구

Melt inclusions in trachytic rocks from the Dokdo and Ulleung Islands, South Korea: Evidences for hydrous and oxidized magmatism

문인경^{1,*}, 이현우², 김종욱¹, 오지혜¹, 성동훈³, 김창환⁴, 박찬홍⁴, 이인성²
 Inkyeong Moon^{1,*}, Hyunwoo Lee², Jonguk Kim¹, Jihye Oh¹, Donghoon Seoung³, Chang Hwan Kim⁴,
 Chan Hong Park⁴, Insung Lee²

¹한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터, moonik@kiost.ac.kr

²서울대학교 지구환경과학부

³전남대학교 지구환경과학부

⁴한국해양과학기술원 동해연구소

멜트포유물은 광물 결정화 과정에서 포획된 작은 용융물로 마그마 기원과 진화를 추적하기 위한 지구화학적 지시자로 사용된다. 우리나라 동해에 위치한 화산섬인 독도와 울릉도는 신생대 판내부 화산활동에 의해 형성되었다. 독도와 울릉도의 화산암에 대한 연구는 최근까지 활발하게 진행되어 왔지만 마그마의 기원과 진화에 대해서는 여전히 논란의 여지가 있다. 본 연구는 2018년 한국해양과학기술원의 동해탐사를 통해서 독도와 울릉도 해저 1,000 m에서 채취한 조면암질 암석(조면암, 조면안삼암, 조면현무암)에 포함된 휘석 반정의 멜트포유물을 이용해 마그마 진화에 있어서 유체의 역할에 대해서 논의하고자 한다. 휘석 반정 내에 분포되어있는 멜트포유물의 크기는 10-100 μm 크기로 다양하게 나타나고, 일부에서 완전하게 결정화된 자철석이 이차 광물로 관찰되었다. 멜트포유물 내의 자철석은 고온에서 $2\text{H}_2\text{O}_{\text{melt}} + 6\text{FeO}_{\text{melt}} = 2\text{H}_2 \uparrow + 2\text{Fe}_3\text{O}_4$ 반응에 의해 침전된다고 알려져 있으며, 이는 마그마 내 존재하던 물의 해리작용과 수소의 확산과 연관되어 있음을 나타낸다. 원소 분석 결과 자철석은 상대적으로 높은 TiO_2 함량(평균 8.04 wt.%)을 가지며, TiO_2 와 Cr_2O_3 의 함량은 양의 상관관계를 보인다. 멜트포유물 내의 자철석의 존재와 높은 TiO_2 함량은 독도와 울릉도의 마그마가 Fe-Ti가 부화된 직접적인 증거가 된다. 자철석의 TiO_2 함량은 마그마의 산화 환경 조건에 의해 통제되는데, 산화 환경에서 자철석 내의 Fe^{3+} 는 팔면체 구조단위(octahedral site)에 들어갈 수 있고, Ti의 유입을 억제할 수 있다. 본 연구의 분석결과를 종합적으로 고려해보면, 독도와 울릉도는 물의 함량이 높고 산소분압이 높은 조건에서 Fe-Ti가 부화된 모마그마로부터 형성되었고, 이는 신생대 동유라시아판의 마그마 진화과정에서 물의 역할이 중요했음을 지시한다.

포스터 21-1

경주 삼릉 문화재 보호 구역에서의 피복된 양산단층 추적 연구

A study on the tracking of the covered Yangsan Fault in the Samreung Cultural Heritage in Gyeongju

이호일*, 최이레, 최진혁, 이태호, 천영범

Hoil Lee*, Iyre Choi, Jin-Hyuck Choi, Tae-Ho Lee, Yongbeom Chun

한국지질자원연구원 국토지질연구본부, hoillee@kigam.re.kr

경상북도 경주시는 과거 신라의 수도로 다양한 문화재가 넓게 분포하는 지역으로 단층추적 조사 측면에서는 매우 제약이 많은 지역이다. 이번 연구는 이러한 제한을 극복하고자 한국지질자원연구원과 국립문화재연구원 공동으로 문화재 보호구역인 경주 삼릉지역에 LiDAR 영상 분석, 시추조사, 전기비저항탐사를 통해 피복 단층으로 추적 조사를 수행하였다. LiDAR 영상을 통해 수행된 지형분석 결과, 선상지 고위면과 저위면의 경계를 확인하였으며, 이 경계의 수직방향으로의 전기비저항탐사를 통해 단층추정구간을 확인하였다. 보다 정밀한 추적을 위해 고위면에서 1공(SR02), 저위면에서 2공(SR01, SR03)의 시추조사가 수행되었다. 기반암 상위를 피복하고 있는 제4기 퇴적층은 SR01 지점에서 약 8 m, SR02 지점에서 약 13 m, 그리고 SR03 지점에서 약 12 m가 확인되었으며 세 시추공은 주로 선상지 퇴적환경이 우세한 가운데 하부에 원마도가 양호한 하천성 퇴적층 및 실트 내지 점토로 구성되는 습지환경의 퇴적층이 공통적으로 나타났다. 또한 저위면 시추공(SR01, SR03)에서 공통적으로 습지 퇴적층 내에 선상지 퇴적층이 발달하는 특징을 보인다. SR01과 SR02 지점간 습지퇴적층 상하에서의 고도 차이는 3.95 m로 산출되며, 저위면 퇴적층(SR01, SR03)에서 습지환경 내 선상지 퇴적층의 협재가 고위면 퇴적층(SR02)에서 확인되지 않는 것은 당시 SR02 지점이 상대적으로 SR01 및 SR03보다 높았던 것으로 추정된다. 저위면에 위치한 SR01과 SR03 지점의 습지퇴적층 직하위에는 하천퇴적층이 발달하고 고위면에 위치한 SR02 지점은 습지퇴적층 하하으로부터 약 1.1 m 하위에 위치하고 있어 당시의 SR01과 SR02 지점간 고도 차이는 약 1.1 m가 있었던 것으로 추정된다. 따라서 단층추정 구간을 기준으로 단층의 최대 수직 변위는 3.95 m 보다 적었으며 하천퇴적층간 고도차이를 고려하면 약 2.85 m로 산출된다. 한편, 세 시추공들의 습지퇴적층 최상부 구간으로부터 채취한 시료들을 대상으로 OSL 연대분석을 수행한 결과 OSL 연대(4-11 um)는 모두 포화된 것으로 확인되었다. 따라서 특성선량 값의 두 배를 이용한 OSL 연대결과는 각각 50.1 ± 3.3 ka, 35.3 ± 2.4 ka 그리고 38.1 ± 2.7 ka의 최소연대가 산출되었다. 또한, 우주선 발생기원 동위원소인 ^{10}Be 을 이용하여 선상지에 노출되어있는 표석의 표면 노출 연대를 측정하여 얻은 최소연대는 63.4 ± 7.4 ka 및 81.2 ± 9.1 ka로 확인되었다. 이를 통해 습지 퇴적층의 형성 시기 및 단층운동 시기는 적어도 81.2 ± 9.1 ka 이전으로 판단된다.

포스터 21-2

대자율이방성(AMS) 연구를 통한 한반도 남동부 활성단층의 운동학적 특성 해석

Characteristics of active faults in SE Korea based on AMS (anisotropy of magnetic susceptibility) method

조형성^{1,*}, 이지수¹, 이성준², 손 문²
Hyeongseong Cho^{1,*}, Jisu Lee¹, Seongjun Lee², Moon Son²

¹경상대학교 지질학과, choh@gnu.ac.kr

²부산대학교 지질환경과학과

최근 경주지진(2016년 9월, 규모=5.8), 포항지진(2017년 11월 15일, 규모=5.4) 등의 강한 지진들이 한반도 남동부 지역을 중심으로 연속적으로 발생함에 따라, 앞으로 지진을 발생시킬 가능성이 높은 활성단층 지도 제작 등 다양한 지질학 분야의 연구들이 수행되고 있다. 이번 발표에서는 최근에 발견된 활성단층들을 대상으로 수행된 대자율이방성(AMS, anisotropy of magnetic susceptibility) 분야의 대표적 연구결과들을 소개하고, 이들을 종합하여 한반도 남동부 활성단층의 운동학적 특성을 논의하고자 한다. 대자율이방성 연구는 암석의 구성하는 입자들의 방향성과 배열상태, 즉 암석미세구조(rock fabric)을 규명하는 것으로, 단층암에 대한 대자율이방성 측정은 단층운동에 의한 변형작용으로 생성된 물질의 미세구조를 규명할 수 있으며, 이들의 방향성과 형태로부터 단층의 운동감각을 포함한 운동학적 특징, 고지진특성 그리고 고응력장을 해석할 수 있다. 기존에 보고된 활성단층(왕산, 모화, 진터 등)과 최근 사업과정에서 새롭게 발견된 활성단층(벽계, 냉수리, 인보리 등)의 대자율이방성 분석결과를 취합 분석한 핵심 결론들은 다음과 같다. 단층암의 미세구조 방향성은 단층의 자세와 운동감각에 의해 좌우되며, 활성단층들은 대부분 역단층성 운동감각이 압도적으로 우세하게 나타난다. 단층의 자세에 따라 북북동~북동 방향의 활성단층들은 우수향역이동성, 북서~서북서 방향의 활성단층들은 좌수향역이동성 운동감각이 각각 우세하며, 이는 현재 한반도에 작용하는 동북동-서남서 방향의 수평압축응력임을 지시하는 것이다. 또한, 단층암 미세구조의 방향성은 단층의 변위, 점진변형(progressive deformation)과 다중변형, 기존 단층의 재활, 모암의 조성 등 복합적인 요인이 영향을 미치는 것으로 해석된다. 미세구조의 모양은 역단층성 활성단층의 경우는 편평형(oblate shape)이 전체적으로 우세하며, 주향이동성의 경우는 삼축형(tri-axial shape)이 우세한 경향을 보인다. 마지막으로 인보리 트렌치의 활성단층과 같이, 활성단층과 인접한 퇴적층의 대자율이방성 분석 또한 단층의 운동특성에 대한 다양한 정보들을 제공할 수 있다.

포스터 21-3

주향이동지진 지표변형의 복잡성: 고지진 자료 분석 및 해석에 대한 제언

Complexity of surface deformation associated strike-slip earthquakes: proposal for analysis and interpretation of paleoseismic data

배한경^{1,2,*}, 김남권^{1,3}, 최진혁¹

Han-Kyung Bae^{1,2,*}, Namgwon Kim^{1,3}, Jin-Hyuck Choi¹

¹한국지질자원연구원 국토지질연구본부, bhk1990@kigam.re.kr

²강원대학교 지질학과

³경북대학교 지구시스템과학부

일반적으로 규모 6이상의 대형지진은 지표변형을 수반한다. 고지진 연구는 과거 대형지진에 수반된 지표 변형을 조사하는 것으로, 주로 지형 및 천부지표에 기록된 고지진 정보를 분석한다. 국내 고지진 연구는 2016년 경주지진 이후 한반도 남동부의 대단층계를 중심으로 활발하게 수행되고 있으며 최근 활성단층 분포와 제 4기 지표변위, 최후기 운동시기 등 다양한 연구결과들이 발표되고 있다. 이번 발표에서는 단층노두 분석, 위성영상을 활용한 지진 지표파열 분석, 천부지표 층서를 이용한 변위분석 등의 사례연구를 통해 주향이동지진에 수반된 지표변형의 복잡성을 토의하고자 한다. 대구 달성군 일대 진동층에 발달하는 소규모 주향이동단층 분석 결과, 단층핵 기준 양측의 단층손상대는 폭 및 변형양상에서 차이를 보이며 손상대 내에는 여러 차수(deformation order)의 변형구조들이 복잡하게 발달한 양상을 보인다. 고해상도 위성영상을 이용해 1967년 몽골 모고드 주향이동지진에 수반된 지표파열을 분석한 결과, 변형대 내 다양한 방향 및 운동감각의 지표파열이 관찰되며 이들의 기하 및 운동특성은 피복된 주단층의 우수향 주향이동 운동을 일관되게 지시한다. 울산 두서면 일대에서 천부지표에 대한 시추 및 트렌치 조사를 기반으로 고지진 지표파열이 확인된 바, 변위 열쇠층인 실트층의 3차원 기하분석을 통해 변위를 분석하였다. 그 결과, 이 단층구간은 약 7.5 ± 1.5 m의 변위를 보이며 열쇠층의 형성시기(약 70 ka) 이후 변위률은 최소 0.11 ± 0.02 mm/yr에 달한다. 이번 사례연구 결과를 종합해볼 때, 주향이동단층에 의한 변형구조는 비교적 복잡한 양상을 보인다. 따라서 주향이동지진과 관련된 고지진 정보를 분석함에 있어 3차원 기하 및 운동특성을 고려해야 할 것으로 판단된다.

포스터 22-1

9·12지진(M_L 5.8)의 지진원 규명을 위한 경주일원 고밀도 임시 지진관측망 운영

Operation of high-density temporary seismic network system to investigate seismic source of 9·12 earthquake (M_L 5.8) in Gyeongju area

김민욱*, 민기훈, 우현동, 조호현

Minook Kim*, Kihun Min, Hyeon Dong Woo, Hohyun Cho

한국원자력안전기술원 구조부지평가실, kimmw0419@kins.re.kr

2016년 9월 12일 한반도의 현대적 지진관측 이래 가장 큰 규모(M_L 5.8)의 지진이 경주지역에서 발생하였으며, 이로 인해 월성 원자력발전소의 지진안전성에 대한 국민들의 불안이 발생하였다. 월성 원자력발전소 부지의 최대지반가속도(PGA) 값은 OBE (Operating Basis Earthquake) 수준인 약 0.1 g로 관측되었다. 이에 따라 '17년 원자력안전위원회에서는 월성 원자력발전소 부지의 장기적인 지진안전성 재평가를 위해 고밀도 임시 지진관측망을 활용하여 9·12지진의 지진원에서 발생할 수 있는 최대 규모의 지진을 평가하고 원전 설계 지진의 타당성을 검증하기 위한 5개년 중장기 연구과제를 수립하였다. 이 연구과제는 지진원 주변 60 × 60 km 지역에 200개소의 지진관측소로 구성된 임시 지진관측망을 설치하고, 9·12지진의 지진원에서 관측된 미소지진들을 이용하여 9·12지진을 발생시킨 원인단층에서 최대잠재지진의 규모 산정 및 원전 부지에서의 최대 지진동을 평가하는 것을 그 목적으로 한다. '17년 고려대학교 주관으로 7개의 지진관측소가 설치되었으며, '18년 이후 한국원자력안전기술원(KINS)이 주관하여 118개, '19년 75개의 지진관측소 구축을 완료하였다. KINS에서는 '18년과 '19년에 설치된 지진관측소 193개의 운영 관리를 담당하고 있으며, 지진관측자료는 서울대, 부경대, KINS 서버로 실시간 전송과 분기별 현장 백업을 통하여 최종적으로 획득된다. '20년 193개소의 지진관측자료는 각종 장애로 인한 결손을 포함하더라도 약 95% 이상을 기록했다.

포스터 27-1

디셉션 섬 현무암의 감람석과 사장석 내의 멜트포유물 Pb 동위원소 연구

Pb isotope of olivine- and plagioclase-hosted melt inclusion in basalt from Deception Island

양윤석^{1,2,*}, 서정훈¹, 박승현², 이신애³

Yun-Seok Yang^{1,2,*}, Jung Hun Seo¹, Sung-Hyun Park², Shinae Lee³

¹인하대학교 에너지자원공학과, zinid@kopri.re.kr

²한국해양과학기술원 부설 극지연구소 극지지구시스템연구부

³한국기초과학지원연구원 연구장비운영부

멜트포유물은 마그마 진화함에 따라 결정이 정출시에 결정 내에 마그마가 포획되어 만들어지는 것으로 이는 근원마그마 조성에 대한 연구가 용이하다(e.g., Roedder, 1979, 1984). 동위원소는 주원소나 미량원소에 비해 마그마 진화시 변화가 적음으로 마그마 초기의 성질을 잘 나타낸다. 그렇지만, 멜트포유물에 대한 Pb 동위원소 연구는 분석 방법에 어려움 등으로 국내외적으로 많지는 않은 실정이다. 우리는 디셉션섬의 화산암에서 획득한 감람석과 사장석 내의 멜트포유물 Pb 동위원소 연구를 진행함에 따라 우리는 디셉션섬의 근원마그마 조성에 대한 연구를 진행하였다.

감람석과 사장석 내의 멜트포유물은 에폭시 마운트를 이용하여 각 결정내의 멜트포유물이 가장 많이 노출되는 깊이에서 폴리싱 후에 골드 코팅을 하였다. 오창 한국기초과학지원연구원에 설치된 SHRIMP를 이용하여 결정 내의 멜트포유물의 Pb 동위원소를 분석하였다. Pb 동위원소인 ²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb를 측정하였다. Pb 동위원소 값이 알려져 있는 NIST614와 TIMS로 분석한 KRR2-RC08를 표준물질로 이용하여 분석하였다.

감람석 내의 멜트포유물은 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb는 각 20.27, 16.86, 41.58로 나타났다. 기존의 알려진 암석 값보다 매우 높은 값으로 이는 ²⁰⁴Pb 분석의 ²⁰⁴Hg isobaric overlap correlation 문제 또는 시료의 ²⁰⁴Pb 양, 그리고 시료의 특이한 특징으로 생각하고 있다. 이에 대한 추가적인 분석 및 확인이 필요하다. ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb과 ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb는 각각 0.82-0.84와 2.03-2.22로 전암분석 결과 및 브랜스필드 해협 시료와 비슷한 영역에 도시된다. 사장석 내의 멜트포유물은 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb과 ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb는 각각 0.81-0.85와 1.83-2.09로 감람석 내의 멜트포유물 및 전암보다 EM2에 가까운 영역에 분산되어 나타난다. 정출시기가 늦은 사장석 내의 멜트포유물에 arc-like 또는 continent 성분이 동화되었을 가능성이 크다.

포스터 27-2

남극중앙해령 KR1 주변 해저화산에 대한 지자기 연령 추산 Estimation of geomagnetic age for near-ridge seamounts around the KR1 in the Australian-Antarctic Ridge

최학겸^{1,*}, 김승섭², 박승현¹Hakkyum Choi^{1,*}, Seung-Sep Kim², Sung-Hyun Park¹¹극지연구소 극지지구시스템연구부, hkchoi@kopri.re.kr²충남대학교 지질환경과학과

호주-남극 중앙해령은 60~70 mm/yr의 확장속도를 가지는 중간속도 중앙해령으로써, 호주판 및 남극판, 태평양판이 만나는 맥쿼리 삼중점으로부터 동남인도양 중앙해령에 이르는 구간을 일컫는다. 그 중 맥쿼리 삼중점과 맞닿아 있고 가장 남쪽에 위치하고 있는 중앙해령 KR1은 극지연구소 주도의 다양한 탐사들이 세계 최초로 수행된 곳으로써, 중앙해령의 확장 중심축 주변에서 중앙해령의 확장방향과 평행하게 분포하고 있는 3개의 해저화산맥이 정밀 해저지형탐사와 해양 자력탐사를 통해서 조사되었다. 일반적으로 중앙해령 중심축 주변의 해저화산은 충분한 마그마의 공급이 가능한 중간속도 이상의 중앙해령에서 관측된다. 해저화산의 지질학적 연대 측정은 해저화산에서 직접 채취한 암석의 지화학적 원소 분석이 가장 직접적이며 전통적인 방법일 수 있지만, 지화학적 방법에 의해 측정된 연대는 가장 최근의 화산활동에 의해 생성된 암석의 연대를 나타낸다는 한계도 가진다. 중앙해령 주변에 선형적으로 분포하는 소규모의 해저화산에 대한 지자기 분석은 해저화산과 해저화산 아래에 먼저 생성되어 있는 해저면 간의 지자기 이상을 비교하는 방법을 통해 해저화산 전체의 생성시기를 추정할 수 있다. 이러한 지자기적 분석은 해저화산이 수직적으로 균일한 자화를 이루며, 수평적으로는 해저면의 확산과 함께 선형적인 연령 분포를 가진다는 가정에 기초한다. 또한 해저화산에서 나타나는 지자기 이상의 진폭은 크게 고려하지 않고 지자기 극성의 시간에 따른 변화와 그에 따른 지자기 패턴만 고려하기 때문에 어느 정도의 불확실성은 있을 수 있다. 하지만 이러한 우리의 접근법은 중앙해령의 확장 중심축으로부터 크게 멀지 않은 지역이라는 점에서 해저화산이 가질 수 있는 지자기 극성의 가능성이 극히 제한적이기 때문에 해저화산의 연령 추정에 매우 유리하며, 또한 지자기 이상의 극성 및 패턴 변화가 명확하게 드러날 수 있도록 자력탐사 측선을 해저화산의 중심을 지나도록 디자인하였기 때문에 더욱 효과적일 수 있다. 지자기 분석에 따르면, KR1 주변에 분포하는 3개의 해저화산맥은 모두 최근 3백만년 내에 형성되었으며, 보통 60만년의 시간에 걸쳐 형성된 것으로 추정된다. 또한 해저화산맥을 구성하는 모든 개별 해저화산체들은 0.16-1.14 Ma와 1.58-2.69 Ma 시기에 형성된 것으로 보인다. 즉 KR1 시스템 내의 해저화산들은 약 1백만년 간 지속된 마그마 공급이 활발했던 시기에 생성된 것으로 보이며, 1.14-1.58 Ma, 약 40만년 동안에는 마그마 과잉공급에 의한 해저화산 생성활동이 소강상태에 있었던 것으로 판단된다. 또한 해저화산과 그 아래 놓인 해저면의 생성시기 간에는 보통 20-65만년의 시간적인 차이가 있는 것으로 보이며, 이에 따라 각각의 개별 화산체들은 중앙해령 중심축으로부터 약 10-20 km 떨어진 거리에서 생성된 것으로 추정된다.

포스터 27-3

피지 삼중합점의 맨틀 유동 구조와 헬륨의 수평 변위

Lateral helium displacement associated with mantle dynamics in the Fiji Triple Junction

오지혜^{1,2,*}, 김종욱¹, Finlay M. Stuart³, 박문재², 이인성²
 Jihye Oh^{1,2,*}, Jonguk Kim¹, Finlay M. Stuart³, Munjae Park², Insung Lee²

¹한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터, glauxo@kiost.ac.kr

²서울대학교 지구환경과학부

³Scottish Universities Environmental Research Centre

북피지분지 중심부에 위치한 피지 삼중합점(Fiji Triple Junction)은 주변부로부터 500-1,500 m 가량 용기된 지형적 특성과 함께 해양섬 현무암과 유사한 기반암 조성을 보이므로, 부화 조성의 용승 맨틀이 존재하는 것으로 추정된다. 이 연구에서는 삼중합점의 확장축을 따라 체계적으로 채취한 유리질 화산암의 지화학 조성을 통해 용승 맨틀의 유동 구조를 규명하고자 한다. 맨틀의 부화도를 지시하는 Sr-Nd-Pb 동위원소와 $(La/Sm)_N$ 의 위도상 변화는 수심의 변화와 일치하며 삼중합점의 중심에서 모두 최대치를 보이므로, 이 지역의 암석권 하부에 맨틀용융이 집중되어 있음을 의미한다. 반면, 헬륨 동위원소비는 다른 맨틀부화 지시자와 유사하게 삼중합점 용기대 내에서 높은 이상치($^3He/^4He = 9-13 R/R_A$)를 보이지만 최댓값은 삼중합점 중심에서 남쪽으로 치우친 지점에서 확인된다. 이러한 헬륨의 수평적 변위는 갈라파고스와 아이슬란드, 하와이 등지에서 확인되었으며, 맨틀 플룸의 기울어짐(tilting)에 의해 맨틀 플룸이 암석권 하부를 따라 수평적으로 이동하면서 발생하는 단계별 용융의 결과로 받아들여지고 있다. 이 가설을 연구지역에 적용하면, 용승 맨틀이 연약권-암석권 경계부에 도달하는 과정에서 심부 용융에 의해 헬륨이 풍부한 용융체가 우선적으로 형성되어 삼중합점 남쪽의 높은 헬륨 이상치를 발생시키고, 이후 암석권 하부를 따라 북쪽으로 이동한 부화 맨틀에 의해 헬륨이 탈기된 규산염 용융체가 낮은 심도에서 형성되어 삼중합점의 용기대와 Sr-Nd-Pb 동위원소 시스템의 급격한 변화를 유발한 것으로 제시된다.

포스터 27-4

중앙 인도양 해령 하부지각에서 산출하는 마그마 기원 황화물의 산상과 생성기작

Distributions and Formation of Magmatic Sulfides in the Lower Crustal Rocks from Middle Central Indian Ridge

최성준^{1,*}, 박정우¹, 박창근²Seongjun Choi^{1,*}, Jung-Woo Park¹, Changkun Park²¹서울대학교 지구환경과학부, shfam@snu.ac.kr²극지연구소 극지지구시스템연구부

중앙해령현무암(MORB)의 황화물 포화 여부는 마그마가 생성된 맨틀의 산소 분압 등의 물리화학적 조건에 대한 단서를 줄 뿐만 아니라 해양지각의 평균 친동성 원소 조성을 유추하는 데도 중요한 정보를 제공한다. 하지만 MORB 멜트의 진화 과정 중 일어나는 황화물 포화의 기작과 시점은 아직 명확하지 않다. 본 연구는 중앙 인도양 해령(MCIR)의 해양 핵 복합체(OCC)에서 산출한 반려암질 암석들을 통하여 하부 해양지각에서 발생하는 황화물 포화의 시점과 기작을 밝히고자 한다. 모든 연구대상 암상(트록톨라이트, 감람석 반려암, 반려암, 티탄철석 반려암, 티탄철석 반려암노라이트)에서 마그마 기원 황화물이 관찰되었으며, 이 황화물들은 대부분이 단사휘석 내의 포유물로 나타나거나 규산염 광물 경계에서 간극상으로 산출한다. 마그마 기원 황화물들은 여러 광물 상이 얽힌 용리조직을 보이며, 이는 이 황화물들이 고온 조건에서 멜트로부터 분리된 불혼화 황화물 멜트로부터 기원했음을 지시한다. 황화물의 분포로 미루어 볼 때, 황화물 포화의 주된 시점은 단사휘석 연변부 형성시점 이후로 추정된다. 황화물을 포유하는 단사휘석 연변부에서는, 증가한 (Zr/Y)_N 비로 대표되는 불호정성 원소의 분별작용이 관찰된다. 여러 황화물 포화 기작 중 멜트-암석 반응으로 이러한 단사휘석의 화학 조성과 황화물의 분포가 가장 잘 설명되나, 분별정출작용의 영향 역시 완전히 배제할 수 없다. 복원된 황화물 포유물 조성과 시료 표면에 노출된 황화물의 이미지 분석 결과는 멜트-암석 반응에 의해 황화물 멜트의 니켈 함량이 증가하였음을 암시하며, 그 결과 트록톨라이트와 감람석 반려암에서 발견되는 황화물 포유물은 원시 MORB (primitive MORB)에서 관찰되는 황화물과 유사한 조성을 보인다. 반면, 분배계수와 황화물 미량원소 조성으로부터 계산된 황화물의 모 멜트(parental melt) 조성은 알려진 원시 MORB의 PGE 함량에 비하여 약 10~100배 낮은 백금족 원소(PGE) 함량을 보인다. 이는 황화물의 형성 당시 황화물 멜트가 많은 양의 규산염 멜트와 평형을 이루지 못하고, 제한된 양의 규산염 멜트와 평형을 이루었기 때문으로 사료된다.



IGC 2024
지질꿈나무 프로그램 -
차세대 지질과학자 학술대회

IGC 2024-001

강원도 춘천시 남산면 및 신동면 일대 경기육괴 연천계 의암층군의 변성암석학적 연구연구 : K-Metasomatism, Migmatite, Metamorphism

Study on the metamorphic rocks in Euiam group, Yeoncheon System, Gyeonggi massif : K-Metasomatism, Migmatite, Metamorphism

민준홍*, 김영인, 유재영

Jun Hong Min*, Young In Kim, Jae Young Yu

강원대학교 지질·지구물리학과 지질학전공, wnsghd1107@naver.com

강원도 춘천시 남산면 및 신동면 일대에서 연구한 경기육괴 중부 연천계 의암층군은 선캠브리아 퇴적기 원 변성암류로 구성되어 있다. 연구지역은 규암, 안구상 편마암, 그레놀라이트 편마암, 호상 편마암 그리고 제 4기 층적층으로 구성되어 있다. 안구상 편마암 지역에서는 집중적으로 교대변질작용(K-Metasomatism; metasomatized by K-feldspar)의 흔적이 확인된다. 호상 편마암에서는 미그마타이트(Migmatite) 조직이 다양한 형태로 관찰되며, 암상 및 조직의 변화가 심하다.

연구지역에서는 열수에 의한 변질을 지시하는 미르메카이트(Myrmekite) 조직, 퍼사이트(Perthite) 조직, 녹니석화작용, 견운모화작용으로 다양하게 확인되며, 연구지역의 편마암에서 쉽게 관찰된다. 이는 연구지역에 광범위한 유체의 발생과 후퇴변성작용이 있었음을 지시한다.

연구지역의 지질도 상 호상 편마암 지역에서 관찰된 미그마타이트 조직은 대부분 다이아텍사이트(Diatexite)로 확인되며, 관찰되는 구조는 맥(Vein)구조, 층상(Layer)구조, 망상(Net)구조, 쉘리렌(Schlieren)구조, 호모페노스(Homophanous) 구조로 확인된다. 이는 과거 넓은 범위에 걸쳐 지각물질이 용융되어 마그마를 형성하는 아나텍시스(Anatexis) 단계의 직전 혹은 초기 단계를 지시하며, 소규모의 부분용융과 변형작용이 여러 번 작은 규모로 발생했음을 나타낸다.

연구지역에서 확인되는 변성 지시광물의 산출과 조합에 따라 연구지역의 변성분대는 근청석-석류석-K-장석대에 해당됨과 각섬암-백립암 전이상에 해당되는 것으로 확인되었다. 이는 연구지역이 과거 약 3.0~9.0 kbar의 압력 범위와 670~870℃의 온도 범위에 포함되는 저~중압·고온의 광역변성작용을 받았음을 의미한다. 추가로 연구지역의 넓은 범위에서 확인되는 녹니석과 백운모는 연구지역에 후퇴변성작용이 발생하였으며, 이에 따라 연구지역의 넓은 범위에 변질이 발생한 것으로 추론된다. 이는 앞서 서술한 연구지역의 교대변질작용 및 미그마타이트 조직과 상호연관적인 증거가 될 수 있다.

선캠브리아기 연천계는 한반도의 최고기층층으로써 지구조사 규명에 가장 중요한 위치에 있지만, 복잡하게 발생한 조구조 운동과 수차례의 변성·변형작용으로 인해 층서와 경계를 구분함에 시공간적으로 많은 어려움이 있어 장기적으로 자세한 연구가 수행되어야 한다고 생각한다.

IGC 2024-002

탄산염 단층의 구성광물이 단층의 미끌림 거동에 미치는 영향: 방해석과 백운석의 탈이산화탄소 반응 차이 연구

Effects of minerals on the slip behavior of the carbonate fault: A comparison study between decarbonations of calcite and dolomite

이유나^{1,*}, 김수연¹, 김민식^{1,2}, 김현나¹

Yuna Lee^{1,*}, Sooyeon Kim¹, Minsik Kim^{1,2}, Hyunna Kim¹

¹공주대학교 지질환경과학과, sharon1224@naver.com

²한국수자원공사

중부 이탈리아를 포함하여 전 세계에 널리 분포하고 있는 탄산염 단층대의 미끌림 거동은 백운석과 방해석과 같은 탄산염 광물의 탈이산화탄소 반응에 의해 영향을 받는다. 탄산염 광물의 탄산이온이 이산화탄소 기체로 발생하는 경우, 공극압을 상승시킴으로써 단층면의 전단저항력을 감소시킬 수 있어 탄산염 단층의 주된 약화 원인의 하나로 알려져 왔다(thermal pressurization). 따라서 탄산염 단층의 미끌림 거동을 이해하기 위해서는 탄산염광물의 탈이산화탄소 반응에 대한 체계적인 연구가 필요하지만, 단층비지에 존재하는 탄산염 광물의 탈이산화탄소 반응에 대한 연구는 아직 미진하다. 본 연구에서는 볼 밀을 이용하여 백운석과 방해석 단층비지의 형성을 실험실에서 인공적으로 모사하여 결정도 및 입도의 감소가 탈이산화탄소 반응에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 또한 탄산염 광물의 종류에 따른 탈이산화탄소 반응의 차이를 통해 단층의 미끌림 거동에 미치는 영향을 이해하고자 하였다.

XRD 및 SEM 분석 결과, 분쇄과정을 통해 입자크기가 감소하고 비정질화가 발생하였다. 이는 실제 단층대의 단층비지의 특성과 유사하여, 분쇄된 두 탄산염 광물이 단층비지의 특성을 재현할 수 있음을 지시한다. 열 분석 결과, 분쇄가 진행됨에 따라 백운석은 열적 탈이산화탄소 반응온도가 감소하여 400~800°C까지 넓은 온도영역에서 중량감소가 관찰되는 반면, 방해석은 분쇄에 따른 변화가 거의 나타나지 않았다. 또한, 백운석에서는 기계적 탈이산화탄소 반응이 뚜렷하게 관찰되는 반면, 방해석은 분쇄시간에 따른 기계적 탈이산화탄소 반응의 변화가 적었다. 이는 백운석 내 마그네슘 이온에 의한 영향으로 생각된다. 이와 같은 결과는 단층 미끌림이 발생할 때 방해석 단층대보다 백운석 단층대에서 단층약화 현상이 더 잘 일어나 미끌림이 반복되어 지진으로 발전될 수 있다는 것을 의미한다.

본 연구 결과, 방해석과 백운석의 분쇄과정에 따른 열적-기계적 탈이산화탄소 반응에 뚜렷한 차이가 발생한다는 것을 알 수 있다. 이는 방해석이 백운석보다 열에 의한 공극압 상승효과가 더 적으며, 단층 미끌림이 발생할 때 방해석 단층대 보다 백운석 단층대에서 단층약화 현상이 더 잘 일어남을 지시한다. 본 연구 결과는 탄산염 단층대의 구성 광물이 단층 거동에 중요한 역할을 하며, 단층의 미끌림 거동에 각 광물이 미치는 영향에 대한 체계적인 연구가 필요함을 지시한다.

IGC 2024-003

장기 칼럼 실험을 통한 수동적 처리 시스템을 이용한 지하수 내 질산염 제거 효율성 평가

Evaluation of removal efficiency of nitrate in groundwater using passive treatment systems through a long-term column experiment

고혜나*, 진성욱

Hye-Na Ko*, Sung-Wook Jeon

전북대학교 지구환경과학과, 201720015@jbnu.ac.kr

지하수는 담수 형태로 존재하는 중요한 수자원이지만, 비료, 가축 폐기물 등과 같은 오염원으로부터 질산성 질소 등의 물질이 유입되어 오염이 발생할 수 있다. 질산성 질소가 지하수를 따라 지표수로 유입되면 부영양화와 같은 지표수질 문제를 유발할 수 있기 때문에 지하수내 질산성 질소의 관리는 매우 중요하다. 본 연구에서는 미생물의 탈질과정을 이용하여 질산성 질소를 제거하기 위한 칼럼을 구성하고 약 5년간의 장기간 칼럼 운용 시의 질산염의 제거속도와 효율을 평가하였다. 투과성 반응벽(permeable reactive barrier; PRB)과 같은 수동적 처리 시스템을 모사하기 위해서 길이 40 cm의 아크릴 칼럼을 제작하고 반응물질로 우드칩과 자갈을 사용하였다. 칼럼에 연동펌프를 이용해 질산염 용액($\text{NO}_3\text{-N } 10 \text{ mgL}^{-1}$)을 주입하였다. 또한 2.5 cm 또는 5 cm 간격으로 칼럼의 길이에 따른 샘플링을 통해 질산염이 제거되는 공간적인 변화를 관찰하였다. 최초 가동 후 약 600일간 8차례, 그리고 이후 1012일간 4차례의 샘플링을 통해 질산염의 제거속도를 확인하였다. 칼럼의 총 운용 기간은 1759일이었다. 칼럼의 1 pore volume (PV)은 750 mL이며, 마지막 분석까지 364.2 PVs의 누적 부피 값을 보여주었다. 칼럼 내 유속은 최저 226.3 mLday^{-1} 이며 최고 411.0 mLday^{-1} 이었다. 질산염 제거속도는 칼럼 운용 후 41일간은 $0.14 \text{ mmolL}^{-1}\text{day}^{-1}$ 이었으며, 69일째는 2배 늦어진 $0.06 \text{ mmolL}^{-1}\text{day}^{-1}$ 의 속도를 보여주었다. 이후 1720일까지 $0.02\sim 0.03 \text{ mmolL}^{-1}\text{day}^{-1}$ 의 속도를 유지하였다. 초반 2개월간 보여준 속도는 일반적으로 많이 이용되는 톱밥의 질산염 제거 속도인 $0.074 \text{ mmolL}^{-1}\text{day}^{-1}$ 와 비교하면 약 2배 빠른 속도이다. 연질 목재의 경우는 150일 운용했을 때 $0.0005 \text{ mmolL}^{-1}\text{day}^{-1}$ 의 속도를 보여주는데 본 연구에서 비슷한 기간 운용했을 때의 제거속도는 $0.03\sim 0.04 \text{ mmolL}^{-1}\text{day}^{-1}$ 로 훨씬 빠른 속도를 나타낸다. 즉 우드칩은 칼럼 운용 약 2개월 간 톱밥, 연질목재와 같은 탄소 공급체를 PRB로 활용했을 때 보다 더 빠른 속도로 질산염을 제거한다는 사실을 알 수 있다. 제거 속도는 칼럼 최초 운용 2개월 후엔 2배 이상 급격하게 느려지지만 그 속도가 6개월 이상 유지되는 것을 확인하였다. 1720일째의 분석에서의 암모니아성 질소 유출구 검출농도는 0.0008 mgL^{-1} 로 먹는 물 기준과 비교하면 한참 낮은 수치이다. 이러한 사실로 보아 제거 속도는 실험 초반에 비해 현저히 떨어졌지만 질산염이 4~5년이 지난 후에도 정상적으로 제거되고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서의 칼럼 내부 유속은 $44 \text{ myear}^{-1} \sim 80 \text{ myear}^{-1}$ 로, 일반적인 실제 지하수 속도 조건을 감안 한다면 훨씬 더 긴 시간 동안 제거속도가 유지 될 수 있음을 유추해 볼 수 있다. 본 연구 결과는 수동적 처리 시스템의 다른 물질과 비교하였을 때 반응물질로서의 우드칩의 효율성을 보여주며, 현장 적용 가능성에 대한 지표를 제시 할 수 있을 것으로 생각된다.

IGC 2024-004

An experimental study on constant water flow for isotopic evolution of meltwater from ice

Dayun Min*, Yalalt Nyamgerel, Hyejung Jung, Jeonghoon Lee

Department of Science Education, Ewha Womans University, ekdbs5545@naver.com

Isotopic evolution of snowmelt from a seasonal snowpack is an important component for both hydrological and climate studies. Numerous studies have investigated the isotopic variation of isotopically homogeneous snowpack or ice, however there are less studies focused on the isotopic heterogeneity of the snowpack or ice. In this study, cold room experiments conducted in four different melt rates with isotopically varied two-layered ice (distilled water and deep sea water) in order to see how the tendency of isotope exchange between ice and water depends on the melting rate and isotopic heterogeneity of the ice. The main objectives of this work is to keep the water flow constant during the whole experiments. Top and bottom layers of the column changed with each melt rate thus, total eight experiments were performed. The column filled by ice with equal thickness (~2 kg) and begins to melt from the top by heat source (50 or 75W infrared lamp). A melting rate was secured as constant for the each experiment by maintaining the same distance between lamp and ice surface. The ice heights of the experiments were ranged between 37.5 and 40 cm with a bulk density of 0.55 to 0.56 g cm⁻³. The melt water discharged from the bottom of the column and the mass balance were >96%. The mean (weighted) specific discharges of four melting conditions were 0.32 (0.37), 0.37 (0.42), 0.83 (0.84), and 1.09 (1.17) cm h⁻¹ respectively. This experimental result will be used to estimate the rate constant of ice-water isotopic exchange and quantitative description of isotopic exchange between ice and water by fitting with 1-D model developed by Feng *et al.* (2002, Water Resources Research) and Lee *et al.* (2010, Chemical Geology).

IGC 2024-005

LDA 모델을 이용한 학술지 자원환경지질의 연구 동향 분석

Analysis of research trends in the Journal of Economic and Environmental Geology using LDA model

허준용^{1,*}, 김태용², 양민준¹Junyong Heo^{1,*}, Taeyong Kim², Minjune Yang¹¹부경대학교 지구환경과학과, junyong_heo@pukyong.ac.kr²부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공

과거부터 국내 지질학술지의 연구 동향을 분석하기 위한 다양한 시도가 이루어졌으나 연구주제의 분류체계 기준을 제시하는 것은 연구자마다 다른 관점으로 인해 어려운 실정이다. 따라서, 본 연구는 학술지 『자원환경지질』에 게재된 논문을 LDA (Latent Dirichlet Allocation) 모델로 분석함으로써 지질학술지 분류체계 기준 설정의 새로운 방법을 제시하고자 하였다. 분석 대상은 1964년부터 2018년까지 『자원환경지질』에 게재된 2571개의 논문이며 LDA 모델링 수행을 위해 영문으로 게재된 논문 제목, 다국어 초록, 주제어를 발행연도 기준으로 수집하였다. 수집된 자료를 바탕으로 토픽 모델링을 이용하여 9개의 연구주제를 선정하였으며 연도별로 연구주제가 전체 논문에서 차지하는 비율을 통해 시간에 따른 연구주제의 동향을 분석하였다. 연구결과, 학술지 창간 이후 현재까지 ‘지구물리 및 물리탐사’ 분야가 14.4%로 가장 높은 비중을 차지했으며 다음으로 ‘수리지질학’, ‘비금속광상’ 분야가 각각 13.7%, 12.6%로 높은 분포를 보였다. 『광산지질』에서 『자원환경지질』로 학술지명이 변경된 1993년을 기준으로 이전의 연구주제들은 ‘비금속 광상’, ‘화산학’, ‘금속광상’ 분야의 논문 비율이 각각 18.6%, 14.9%, 14.6%로 국내 부존자원과 기초 지질 분야 연구들이 활발히 이루어졌다. 1993년 이후로는 ‘수리지질학’, ‘지구물리 및 물리탐사’, ‘토양 오염정화’ 분야의 논문이 각각 20.2%, 15.6%, 15.3%로 응용지질 분야 연구의 관심이 높아졌다. 특히 ‘수리지질학’ 분야의 경우 1993년 이전에 게재된 논문은 34편(3.8%)이었지만 1993년 이후 275편(20.2%)으로 가장 크게 증가하였다. 본 연구 결과를 통해 학술지 『자원환경지질』 게재논문의 분류체계를 제시하고 연구 동향을 바탕으로 『자원환경지질』의 역사와 발전에 대한 지표로 활용될 수 있을 것이다.

IGC 2024-006

울산 인보리 활성단층의 대자율이방성(AMS): 단층의 운동감각과 고응력장 해석

Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) of active fault in the Inbo-ri trench,
Ulsan: interpretation to paleo-stress field and shear sense of the fault

이승보*, 추승비, 이지수, 조형성

Seungbo Lee*, Seoungbi Choo, Jisu Lee, Hyeongseong Cho

경상대학교 지질과학과, seungbolelee@gnu.ac.kr

최근 한반도 남동부 지역을 중심으로 경주지진(2016년 9월), 포항지진(2017년 11월) 등의 강한 지진들이 연속적으로 발생함에 따라, 앞으로 지진을 발생시킬 가능성이 높은 활성단층에 대한 연구가 광범위하게 수행되고 있다. 이번 연구에서는 한반도 남동부 양산단층 주변 인보리 트렌치를 통해 발견된 활성단층을 대상으로 대자율이방성(AMS, anisotropy of magnetic susceptibility) 방법을 적용하여 단층암과 주변 퇴적층의 미세구조를 해석하고, 이를 바탕으로 활성단층의 운동감각을 해석함과 동시에 한반도 남동부의 제4기 응력장에 대해 논의하였다.

인보리 트렌치의 단면에서 관찰되는 단층은 북북동 주향에 남동방향으로 경사져 있으며, 제4기들을 역이동성으로 절단하고 있는 활성단층이다. 대자율이방성 연구를 위해, 활성단층의 단층암과 단층활동에 의한 역이동성 끌림습곡(dragging fold)이 발달된 흑색 퇴적층을 대상으로 11지점, 104개의 시료를 채취하였다. 대자율이방성 측정 결과, 단층암과 주변 흑색 퇴적층 모두 대자율이방성 주축방향들이 잘 균집되어 있어, 자기 미세구조가 효과적으로 정의되었다. 먼저 단층가우지에서는 입자들의 장축방향을 지시하는 k_1 은 대부분 남북 및 북북서-남남동 주향에 저각으로 경사져 있으며, 입자들의 단축방향을 지시하는 k_3 은 동-서 및 동북동-서남서 방향을 향해 저각으로 경사져 있어 일관된 방향성을 보인다. 인보리 활성단층의 단층면 자세가 북북동 주향의 남동방향으로 경사진 점을 고려했을 때 대자율이방성 결과로 밝혀진 미세구조들은 단층의 우수향 주향이동단층 운동감각을 지시한다. 흑색 퇴적층의 경우 단층면과 인접하여 끌림습곡이 크게 발달한 지점에서는 k_1 이 남-북 및 북북서-남남동 주향에 저각으로 경사져 있고, k_3 은 동-서 및 동북동-서남서 방향을 향해 경사져 있다. 반면, 단층가우지와 멀어질수록 k_1 은 저각의 경사를 유지하며 일관되지 않은 입자배열 방향 가졌고, k_3 은 거의 수직의 경사를 가지면서 점이적으로 변화하는 양상을 보인다. 이러한 결과는 흑색 퇴적층에 발달한 끌림습곡의 미세구조는 단순한 역단층이 아닌 우수향 주향이동단층에 의한 발달한 것임을 지시한다. 따라서 인보리 트렌치의 활성단층은 우수향 주향이동단층의 운동감각이 압도적으로 우세한 것으로 해석된다. 또한, 기존의 한반도 남동부 제4기 단층들의 운동특성을 종합하여 구해진 응력장(동-서 내지 동북동-서남서 압축력)하에서 북북동 주향을 가지는 인보리 활성단층이 우수향주향이동 운동한 것으로 해석되어 기존의 연구결과들과 잘 부합한다.

IGC 2024-007

한국 지질유산 가치평가 D/B 분석

Analysis of assessment of geological heritages D/B in Korea

류희경*, 김지웅, 김동주, 이지수, 조형성

Huigyeong Ryu*, Jiwoong Kim, Dongju Kim, Jisu Lee, Hyeongseong Cho

경상대학교 지질학과, heemas1325@gnu.ac.kr

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, 가치 평가, 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 수행되어, 수도권 110개, 충청권 126개, 전라권 152개, 경북권 157개, 경남권 166개, 강원권 173개의 지질유산 발굴 및 가치평가가 이루어졌으며, 총 884개에 지질유산 가치평가 D/B가 구축되어 있다. 이번 연구에서는 구축된 884개 지질유산 D/B 데이터를 종합·분석하고, 통계학적 특성(특히, bias)에 근거하여 가치평가의 객관성 및 타당성을 논의하였다.

지질유산 D/B의 특징에 따른 경향을 분석하기 위해, 지질유산을 유형별, 암종별, 지질시대별, 지체구조별로 분류하여, 지질유산의 본질적 가치 항목(대표성, 희소성, 다양성, 전형성, 재현성, 규모, 자연성, 심미성, 기타) 및 등급을 비교하였다. 먼저 분석된 지질유산의 특성과 등급의 대표적 결과를 몇 가지 소개하면 다음과 같다. 지질유산의 유형(지질, 지형, 복합)에 따른 등급의 분석 결과, 지질 및 지형적 요소가 동시에 나타나는 복합 지질유산이 전반적으로 우수한 등급을 가지고 있다. 암종에 따른 등급 분석결과, 화성암으로 이루어진 지질유산이 전체적으로 우수한 등급을 가지고 있으며, 변성암으로 이루어진 지질유산이 상대적으로 낮은 등급을 가진 것으로 분석되었다. 또한, 지체구조별로는 마이오세 퇴적분지에 분포하는 지질유산이 전체적으로 우수한 등급을 가지고 있으며, 지질시대별로는 신생대 지질유산들의 등급이 고생대 및 중생대 지질유산들에 비해 상대적으로 우수한 것으로 분석되었다. 다음으로 지질유산의 특성과 본질적 가치의 점수항목과의 대표적 분석 결과를 소개하면 다음과 같다. 지질유산의 유형에 따라, 지형 특성을 가진 지질유산은 재현성과 다양성 항목의 점수가 낮은 경향을 보이는 반면, 지질의 특성을 가진 지질유산은 자연성과 심미성 항목의 점수가 낮은 경향이 뚜렷하게 인지된다. 암종별로는 화성암 지질유산은 심미성의 점수가 높고 희소성의 점수가 낮은 경향이 인지되며, 지질시대별로는 고생대 지질유산의 자연성 항목이 현저히 낮고, 신생대 지질유산의 재현성이 낮은 경향을 보인다. 마지막으로 지체구조별로는 희소성 항목에서, 마이오세 퇴적분지 지질유산들이 높은 반면, 영남육괴 지질유산들은 낮은 경향이 인지된다. 이상의 분석결과는 현행 지질유산의 가치평가 방법의 객관성과 타당성을 개선하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

IGC 2024-008

함양 농월정 지역에서 나타나는 지질구조 분석 및 단열 발달사 해석 Analysis of geological structures and developing history of fractures in Nongwoljeong area, Ham-Yang, Korea

배상열^{1,*}, 전초희¹, 최호석¹, 김영석^{1,2}Sang-Yeol Bae^{1,*}, Cho-Hee Jeon¹, Ho-Seok Choi¹, Young-Seog Kim^{1,2}¹부경대학교 지구환경과학과 지질구조재해연구실, teriousbae8@gmail.com²활성단층 및 지질재해저감연구소

함양 농월정 지역은 지리산지구의 북쪽에 위치하며, Yanai *et al.* (1985)에 의해 처음으로 정의된 호남전 단대의 연장선상에 위치하는 것으로 보이며, 선캠브리아기 변성암체가 연성변형작용을 겪은 것으로 해석된다. 그러나 이 지역의 취성변형작용과 관련된 연구는 미흡한 실정이다. 연구지역으로 선정된 농월정은 경상남도 함양군 안의면에 위치하며, 넓게 발달한 노두에서는 연성변형구조부터 취성변형구조까지 다양한 지질구조가 잘 보존되어 있어 한반도 남중부의 변형사를 연구하는데 가치가 높을 것으로 판단된다. 농월정 주변 지질은 엽리상 반상 화강암으로 구성되며 변형되지 않은 암석과 높은 변형을 받은 압쇄암대가 교호하는 양상을 보인다. 이번 연구에서는 먼저 취성환경에서 발달한 단열들의 상대적인 발달사를 해석하기 위해 단열들의 기하학적 특성, 절단관계, 변위지시자, 그리고 세맥의 존재여부 등을 근거로 상대적 발달 시기를 해석하였으며, 이를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다. 1) 서북서-동남동 방향의 우수향 전단단열들이 북북서-남남동 방향의 압축력 조건하에서 생성되었다. 2) 서북서-동남동 방향의 우수향 전단단열들은 일부 지점에서 좌수향 전단 단열로 역전재활이 인지되었으며, 이들은 동북동-서남서 방향 압축력으로의 응력변화를 지시한다. 3) 서북서-동남동 방향의 전단단열들을 절단하는 북북서-남남동 전단단열들은 서북서-동남동 방향 압축력으로의 응력변화를 지시한다. 이러한 취성변형구조들의 분석을 통해 이 지역은 최소 3회의 취성 응력변화를 겪은 것으로 해석되었다. 농월정에서 관찰되는 연성변형구조는 비대칭 습곡을 포함한 다양한 운동학적 지시자들이 있으며, 이를 구조들의 분석을 통해 연성변형구조들 간의 상대적인 형성 시기를 규명하기 위한 추가조사를 실시할 예정이다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 '한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발 사업' (2017-MOIS31-006) 및 LINC+ 사업단 '캡스톤디자인2'의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

IGC 2024-009

거제도 신선대 지역의 단열분석을 통해 도출된 고응력장의 변화 Paleostress changes based on analysis of fractures in Sinseondae, Geo-je, SE Korea

소진현^{1,*}, 오유비¹, 김영석^{1,2}
Jin-Hyeon So^{1,*}, Yubi Oh¹, Young-Seog Kim^{1,2}

¹부경대학교 지구환경과학과 지질구조해연구실, so1005kr@gmail.com

²활성단층 및 지질재해저감연구소

거제도는 한반도 남해안의 섬으로 밀양단층 및 모량단층의 연장선상에 위치하고 있으며, 최근 거제도 동측의 대륙붕에서 양산단층의 연장이 확인된 바 있다(Kim *et al.*, 2016). 거제도에는 인구 20만이 거주하고 있으며 석유 저장고와 군사시설 등이 위치하고 있지만 거제도 지역의 지질 및 단층활동 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 우리가 선정한 연구지역은 거제도 신선대 지역으로 해안을 따라 노두가 넓게 발달하고 있고 다양한 방향의 단열들이 발달하고 있어 단열 분석이 용이하다. 단열의 발달 양상을 파악하기 위해서 우선 해안가의 노두에서 야외조사를 통해 단열들의 특성을 기재하고 분석하였다. 이후 이들 단열들을 특성에 따라 분류하고 상호 절단관계를 통해 선후 관계를 파악했다. 또한 단열들의 방향과 기하를 이용해 고응력장을 분석하고자 하였다. 그 결과 N40°W 방향의 방해적으로 충전된 2차단열이 나타나는 좌수향 단층(set A), N50°E 방향의 모암탈색이 나타나는 전단단열(set B), N28°E 방향의 우수향의 운동감각을 보이는 방해석 세맥(set C), N40°W 방향의 왼쪽으로 계단연결 되는 안행상 배열이 나타나는 석영 세맥(set D) 등 4개의 단열군으로 분류하였다. 이후 단열의 절단관계를 통해 단열군의 발달 순서를 C → B → A → D 로 해석했다. 물론 추가적인 분석이 필요하겠지만 이에 기초하면 최대 수평주응력 방향이 북동 → 동북동 → 서북서 → 북북서 순으로 변화했음을 시사하며, 이는 Yang *et al.* (2008)에 의해 실시된 거제도 동측 일원에서의 고응력장 연구 결과와 비교적 잘 일치하였다. 본 연구결과는 양산단층 주변 다른 지역들과의 비교연구를 통해 양산단층의 활동에 따른 단층 주변지역의 응력 변화를 연구하는데 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글: 본 연구는 행정안전부 '한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발 사업' (2017-MOIS31-006) 및 LINC+ 사업단 '캡스톤디자인1'의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

IGC 2024-010

Li 동위원소 분석법 개발 및 활용 Development and Utilization of Li Isotope Analysis Method

김민우*, 박호진, 추민균, 이지영, 류종식
MinWoo Kim*, Hojin Park, Minkyun Chu, Jiyeong Lee, Jongsik Ryu

부경대학교 지구환경과학과, jjwk1114@naver.com

리튬(Li)의 두 동위원소, ${}^6\text{Li}$ 와 ${}^7\text{Li}$, 간의 질량 차이는 약 16%이며 ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ 의 비율은 지각물질 및 맨틀 물질 간 상대적으로 큰 질량 차이를 가지고 있어 지구화학적 과정을 밝히는 지시자로의 역할을 할 수 있다. 최근 전세계적으로 리튬 동위원소를 이용한 많은 연구에도 불구하고 국내 지질 및 환경 시료에 대한 리튬 동위원소 조성에 대해 자료가 부족하여 이번 연구에서는 리튬 동위원소 분석을 위한 간단하고 효율적인 분석법을 개발하고자하였다. 이를 위하여 다중원소 표준용액에 대해 리튬 원소의 분리 및 회수가 잘 일어나는지 양이온 교환수지(Bio-Rad AG[®]50W-X12 200~400 mesh cation exchange resin)를 이용한 Column 기법을 이용하였다. 첫 번째로 표준용액 10 ppm을 사용해 1M HCl 2 mL씩 7회, 6M HCl 5 mL 1회를 Column에 통과시켰고 두 번째는 해수 시료 1 mL를 증발시켜 1M HCl 1 mL로 산 처리하여 1M HCl 2mL씩 7회, 6M HCl 5 mL 1회를 Column에 통과시켜 4~7 구간(6 mL ~ 14 mL)을 받고 다시 증발시켜 1M HCl 1 mL로 산 처리하여 1M HCl 2mL씩 7회, 6M HCl 5 mL 1회를 Column에 통과시켰다(Fig.1). 이를 통해 분리된 리튬을 유도결합 플라즈마 질량분석기(Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer: ICP-MS)와 고분해능 방출분광분석기(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer: ICP-OES)를 이용하여 다른 원소들과 Li 동위원소가 성공적으로 분리되는지 확인하였다. 첫 번째 결과로는 리튬이 4~7 구간(6 mL ~ 14 mL)에서 10.06115 ppm으로 대부분이 검출되었고 같은 구간에서 나트륨은 0.365229 ppm으로 거의 검출되지 않았다. 첫 번째 결과를 토대로 구간을 줄여 두 번째 실험은 구간을 줄였으며 그 결과로는 리튬이 4~7 구간(6 mL ~ 14 mL)에서 0.0190969 ppm 검출되었고 같은 구간에서 나트륨은 134.324989 ppm이 검출되었다. 따라서, 이번 연구를 통해 개발된 리튬 분리법을 이용할 경우, 기존 메탄올을 이용한 리튬 분리법에서 흔히 나타나는 리튬 동위원소 분석 시 분석 불안정성을 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

IGC 2024-011

봄·여름철 강우에 따른 미세먼지 저감효과와 강우수질 비교 분석

A Comparison of Rainwater Quality by the Washing Effect of Spring and Summer Rainfall on Particulate Matter

하태정^{1,*}, 박혜민², 양민준¹TaeJung Ha^{1,*}, Hyemin Park², Minjune Yang¹¹부경대학교 지구환경과학과, taejung_ha@pukyong.ac.kr²부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공

본 연구는 봄·여름철 강우에 의한 미세먼지(Particulate Matter, PM₁₀) 농도 저감효과와 강우 수질을 비교 분석하여 미세먼지가 강우 수질에 미치는 영향을 파악하였다. 2020년 봄철(3-5월)과 여름철(6-8월)의 총 13회의 강우를 대상으로 50 ml 시료를 연속적으로 수집하였으며 대기 중 PM₁₀ 농도는 미세먼지 센서를 이용하여 실시간으로 측정하였다. 수집된 강우 시료의 pH와 전기전도도(EC)는 현장에서 즉시 측정하고 수용성 양이온(NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)과 음이온(Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻)의 농도는 이온크로마토그래피를 이용하여 분석하였다. 연구 결과, 봄철 강우의 pH와 EC는 초기 평균 4.1과 117.63 μS/cm로 나타났고 여름철 강우의 pH와 EC는 초기 평균 4.4와 78.04 μS/cm로 측정되었다. 강우 지속에 따른 봄철과 여름철 대기 중 PM₁₀ 농도의 평균 저감효율은 40.6%와 64.9%로 나타났다. 봄철 초기 낮은 강도의 강우는 높은 산성도와 이온함량을 발생시킬 수 있으며 여름철 높은 강도의 초기 강우에 의해 대기 중 PM₁₀ 농도의 저감효율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 봄철 첫 강우 내 양이온, 음이온농도는 여름철보다 약 2배 높게 나타났고 봄·여름철 모두 강우 내 음이온 분석 결과 NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ 순으로 검출되었다. 봄철 강우 내 양이온 분석 결과 Ca²⁺ > Na⁺ > NH₄⁺ > Mg²⁺ > K⁺ 순으로 검출되었으나 여름철 강우 내 양이온은 Ca²⁺ > K⁺ > NH₄⁺ > Na⁺ > Mg²⁺ 순으로 검출되어 다른 구성 비율을 보였다. K⁺는 석탄과 바이오매스 연소로부터 발생되며 NO₃⁻, NH₄⁺는 자동차 매연 배출과 인위적 활동의 영향에 의해 발생 될 수 있다. COVID-19의 여파로 인해 화력발전소 등 산업활동의 위축에 따라 예년과 다르게 봄철 비교적 낮은 PM₁₀ 농도를 보였다. 이에 따라 봄철 강우 내 K⁺와 NH₄⁺ 농도가 비교적 낮게 검출되었으며 봄철과 여름철 양이온 구성 비율이 다른 것으로 추측된다.



Index

ㄱ					
강가은	101	공민경	234	김나원	232
강나연	185	곽다현	46	김낙규	30
강무희	179	곽병문	65	김낙규	95
강선아	67	구효진	186	김낙규	241
강승구	73	구효진	201	김남권	120
강승구	179	권기덕	7	김남권	301
강정옥	5	권기덕	8	김도현	35
강정옥	173	권기덕	10	김동주	315
강태섭	51	권기덕	11	김동환	37
강태섭	52	권기덕	12	김동환	104
강태섭	57	권기덕	152	김락현	148
강태섭	233	권기덕	154	김린희	42
강혜진	24	권기덕	156	김만재	208
강희철	24	권기덕	157	김미지	52
강희철	118	권기덕	275	김민경	229
강희철	207	권기정	253	김민기	197
고경석	149	권미진	253	김민수	231
고경석	291	권오상	116	김민수	232
고나연	214	권오상	117	김민수	280
고낙열	129	권진중	14	김민식	141
고동찬	145	권창우	268	김민식	310
고동찬	146	권홍일	150	김민우	318
고동찬	149	권홍일	151	김민욱	57
고동찬	150	권효상	263	김민욱	302
고동찬	151	금재운	236	김민철	24
고동찬	244	길동우	50	김민철	118
고동찬	291	김경수	252	김민철	207
고명수	171	김경수	260	김민철	273
고선영	71	김광식	148	김병우	45
고영탁	163	김광현	131	김병한	267
고영탁	166	김광희	51	김상윤	3
고용규	197	김규범	133	김상희	258
고태경	246	김규범	278	김서진	65
고혜나	311	김기범	212	김석진	115
		김기태	213	김선경	112
		김길영	121	김선규	28
		김나원	231	김성룡	227

김성룡	228	김용철	145	김진경	185
김성룡	229	김용철	146	김진만	40
김성룡	230	김용철	151	김진영	258
김성룡	235	김우열	33	김진우	141
김성실	206	김우한	53	김창민	281
김성원	69	김우한	225	김창성	213
김성일	131	김원빈	291	김창성	272
김소라	121	김원혁	100	김창환	100
김수관	73	김원혁	297	김창환	101
김수관	179	김유한	253	김창환	104
김수빈	290	김유홍	69	김창환	105
김수연	310	김윤석	174	김창환	106
김수진	128	김의준	203	김창환	297
김승섭	96	김일구	43	김창환	298
김승섭	98	김재민	289	김태용	257
김승섭	163	김재영	256	김태용	313
김승섭	164	김재용	14	김태욱	258
김승섭	166	김재훈	18	김태현	160
김승섭	220	김재훈	19	김태환	199
김승섭	294	김정민	220	김표상	103
김승섭	295	김정진	289	김표상	200
김승섭	304	김종선	260	김한솔	8
김영균	73	김종욱	37	김현나	141
김영균	179	김종욱	104	김현나	196
김영균	212	김종욱	105	김현나	310
김영민	243	김종욱	163	김현섭	231
김영석	23	김종욱	298	김현섭	232
김영석	116	김종욱	305	김현수	103
김영석	117	김주혁	11	김현수	200
김영석	141	김준하	22	김현수	258
김영석	209	김준하	217	김현주	261
김영석	269	김지웅	315	김현주	262
김영석	316	김지인	29	김형수	34
김영석	317	김지인	95	김형준	73
김영인	309	김지혁	30	김형찬	145
김영훈	289	김지혁	39	김혜리	63
김영희	51	김지훈	179	김효임	14

김희정	152
김희정	153
김희정	154
김희정	155
김희정	157
김희정	213
김희정	270
김희정	272
김희준	61
김희준	62

ㄴ

노명현	123
-----	-----

ㄷ

도석현	212
-----	-----

ㄹ

류나형	186
류종식	179
류종식	242
류종식	246
류종식	318
류희경	315

ㅁ

명현아	156
목종구	270
문병전	237
문상호	145
문상호	151
문인경	298
문중한	173
문치국	256
민기훈	127
민기훈	302
민수영	186
민준홍	309

ㅂ

박경우	129
박경우	249
박경태	255
박경필	66
박기웅	116
박기웅	117
박명호	179
박문재	305
박범성	174
박병준	34
박병학	129
박병학	249
박상욱	272
박상준	163
박상진	240
박상진	296

박상희	179
박선영	131
박선영	197
박선정	124
박성재	108
박성준	53
박성준	225
박수빈	246
박수정	7
박승현	164
박승현	304
박 용	31
박 용	36
박 용	160
박원배	273
박윤경	56
박은규	253
박은규	280
박은아	224
박은영	269
박장준	101
박장준	166
박재성	254
박재현	144
박재현	292
박정규	262
박정우	39
박정우	86
박정우	306
박제찬	234
박진오	265
박진오	293
박찬홍	100
박찬홍	101
박찬홍	104
박찬홍	105
박찬홍	106

박찬홍	297
박찬홍	298
박창근	241
박창근	306
박창용	160
박창희	125
박창희	136
박창희	145
박창희	147
박창희	253
박창희	282
박초원	19
박태윤	139
박하영	235
박혜민	248
박혜민	319
박호진	318
박희정	253
방선화	5
방선화	263
방윤아	36
방윤아	160
배상열	316
배한경	119
배한경	120
배한경	301
배효진	273
배희철	101
백소영	6
백인성	261
백인성	262

入

서 란	277
서정훈	159
성동훈	103
성동훈	200
성동훈	298
성영배	118
성영배	207
소병달	73
소병달	141
소병달	167
소병달	212
소병달	231
소병달	232
소병달	236
소병달	237
소병달	239
소병달	240
소병달	250
소병달	296
소진현	317
손 문	24
손 문	40
손 문	118
손 문	207
손 문	268
손 문	300
손민경	56
손병국	131
손상보	10
손승규	163
손영관	71
손장호	278
손효록	209
송석구	49

송성호	270
송정훈	55
송정훈	229
송지현	166
송철우	40
송치현	200
신동복	65
신동복	203
신동복	204
신동훈	44
신동훈	46
신동훈	47
신승욱	203
신영홍	119
신우진	244
신우진	245
신은주	201
신현조	116
신현조	117
신현채	160
신형선	245
심규성	256
심민섭	173
심민섭	180
심민섭	263
심병완	140
심택모	124
심택모	127

○

안병석	233
안수정	240
안수정	250

안재광	224	우경식	68	이동헌	73
안재훈	40	우남철	61	이동헌	179
안진성	152	우정웅	57	이명성	251
안진성	154	우현동	124	이명재	282
안진성	157	우현동	127	이명훈	100
안진호	94	우현동	302	이명훈	297
안진호	214	원영훈	26	이미리내	139
양동진	178	원효정	115	이미정	30
양민준	218	유규철	90	이미정	39
양민준	248	유동근	121	이병우	98
양민준	257	유병용	65	이병우	295
양민준	281	유병운	205	이병춘	80
양민준	284	유완상	66	이상선	234
양민준	290	유인창	267	이상용	204
양민준	313	유재영	309	이상준	227
양민준	319	유재형	205	이상준	228
양석준	203	유지수	174	이상준	229
양수민	220	유한선	154	이상준	230
양윤석	164	유한선	155	이상준	235
양준모	124	유한선	272	이상철	147
양지웅	214	유현민	204	이상호	40
여영도	148	유현재	233	이상화	14
여은영	251	유현재	234	이상훈	285
여인옥	279	유혜진	201	이서영	13
연영광	69	윤성호	63	이선갑	24
염경훈	65	윤성호	111	이선무	48
오상훈	40	윤성호	112	이성근	13
오솔비	196	윤충식	197	이성근	14
오용화	244	이강근	285	이성근	15
오유비	317	이경복	131	이성근	202
오지혜	37	이광수	121	이성빈	271
오지혜	104	이광식	244	이성순	285
오지혜	105	이광식	245	이성준	24
오지혜	298	이규상	270	이성준	118
오지혜	305	이기현	26	이성준	207
오창환	80	이덕기	226	이성준	300
우경식	67	이동진	265	이성호	55

이소연	273	이정현	293	이창용	129
이수재	66	이정훈	174	이창용	249
이수형	200	이종익	30	이창욱	108
이승구	52	이종화	282	이창현	119
이승렬	119	이종화	285	이충모	146
이승렬	268	이주연	218	이태호	120
이승보	314	이준기	51	이태호	299
이승수	60	이준기	55	이학민	294
이시현	200	이준기	57	이학민	295
이영미	73	이준형	43	이현석	197
이영미	179	이준형	225	이현승	200
이용문	103	이지민	224	이현아	61
이용문	200	이지민	226	이현우	37
이용재	36	이지수	26	이현우	61
이용재	160	이지수	268	이현우	62
이원희	37	이지수	300	이현우	104
이원희	104	이지수	314	이현우	298
이유나	310	이지수	315	이현주	159
이윤수	61	이지연	228	이혜지	44
이윤수	106	이지영	246	이호일	119
이은지	95	이지영	318	이호일	120
이인성	298	이지현	203	이호일	299
이인성	305	이진용	152	이희권	187
이재경	144	이진용	153	이희권	208
이재경	151	이진용	154	임도윤	226
이재경	292	이진용	155	임성균	242
이재민	61	이진용	157	임성균	243
이재민	149	이진용	213	임성환	39
이재훈	187	이진용	270	임성환	86
이 정	208	이진용	271	임연주	227
이정인	54	이진용	272	임헌경	65
이정재	202	이진한	18	임헌경	204
이정진	32	이진한	19	임현수	115
이정진	35	이진한	51	임현수	252
이정진	199	이진현	23	임현수	260
이정현	63	이진현	116	임현지	40
이정현	95	이진현	117	임혜원	118

임호진 186

스

장경순 277
 장민석 237
 장성간 284
 장성윤 251
 장성준 42
 장성준 48
 장윤득 33
 장종근 148
 장지욱 271
 장진수 239
 장철우 63
 장철우 111
 장철우 112
 전성천 282
 전성천 285
 전소담 277
 전우현 213
 전원택 285
 전정수 56
 전주완 265
 전찬혁 270
 전찬혁 272
 전초희 316
 전태열 36
 정기영 242
 정기영 260
 정동찬 225
 정민지 242
 정민지 243
 정 석 246

정성욱 277
 정세진 20
 정세진 31
 정연중 242
 정연중 243
 정윤영 244
 정은주 152
 정은주 153
 정일문 136
 정재열 128
 정재학 158
 정지호 273
 정지호 276
 정진아 253
 정진아 254
 정진아 255
 정진아 273
 정진아 276
 정진아 280
 정창식 242
 정창식 243
 정해명 20
 정해명 21
 정해명 22
 정해명 31
 정해명 32
 정해명 35
 정해명 36
 정해명 160
 정해명 199
 정해명 210
 정해명 211
 정해명 217
 정혜정 174
 조경남 3
 조경남 6
 조경준 230

조석주 265
 조성일 130
 조성준 203
 조수빈 275
 조수환 280
 조은혜 178
 조재국 65
 조재국 204
 조창수 56
 조현구 186
 조현구 201
 조현진 128
 조형성 268
 조형성 300
 조형성 314
 조형성 315
 조호현 302
 주병찬 126
 주영지 173
 주영지 180
 지성훈 129
 지성훈 249
 진성욱 249
 진성욱 291
 진성욱 311
 진소범 127
 진영근 73
 진영근 179
 진홍주 251

스

차범근 279
 채기탁 291

채복남	36
채성민	200
채용운	260
천영범	119
천영범	120
천영범	299
최강룡	127
최명락	133
최명락	278
최선규	39
최성준	306
최성희	28
최성희	29
최성희	95
최성희	96
최성희	107
최순영	100
최순영	297
최승순	211
최은서	55
최이레	120
최이레	299
최정열	295
최정현	115
최정현	118
최정현	207
최정현	251
최종문	66
최지영	197
최진혁	36
최진혁	56
최진혁	119
최진혁	120
최진혁	299
최진혁	301
최학겸	164
최학겸	304

최한나	140
최한나	150
최한진	167
최현옥	96
최현옥	107
최형준	157
최호석	316
최호선	124
추민균	318
추승비	314

응

하규철	145
하상민	24
하상민	118
하상민	207
하수진	252
하수진	260
하승욱	285
하윤해	210
하창수	206
하태정	319
한석영	21
한수연	12
한원식	277
한재문	125
한종원	24
한종원	207
한향선	258
허다빈	51
허영숙	5
허영숙	60
허준용	313

허진	179
현상민	185
현성필	275
현승규	127
홍석희	121
홍슬기	126
홍운서	237
홍정표	62
홍중선	265
홍지훈	258
홍진경	178
홍태경	43
홍태경	45
홍태경	50
홍태경	53
홍태경	54
홍태경	225
황규하	163
황길찬	36
황중선	125
황지훈	245
황찬익	133
황찬익	278
황희정	36
황희정	160

A

Ahn, Byeong Seok	233
Ahn, Jaehun	40
Ahn, Jea-Kwang	224
Ahn, Jinho	91
Ahn, Jinho	92
Ahn, Jinho	93

Ahn, Jinho	94
Ahn, Jinho	214
Ahn, Jinho	247
Ahn, Youngkyu	27
Alexander Fedorov	214
Alysse BEBIN	165
Andrei G. Shepelev	214
An, Jinsung	152
An, Jinsung	154
An, Jinsung	157
An, Soojung	240
An, Soojung	250
Arief Rizqiyanto Achmad	110
Arushi Saxena	55
Austin Arias	219

B

Bae, Hankyung	120
Bae, Han-Kyung	119
Bae, Han-Kyung	301
Bae, Hyojin	273
Baek, Soyoung	6
Bae, Sang-Yeol	316
Bahk, Jang-Jun	101
Bahk, Jang-Jun	166
Bang, Sunhwa	5
Bang, Sunhwa	263
Bang, Yoonah	36
Bang, Yoonah	160

C

Cha, Beom Geun	279
Chae, Boknam	36
Chae, Gitak	291
Chae, Sungmin	200
Chae, Yong-Un	260
Chang, Chaewon	27
Chang, Cheolwoo	63
Chang, Cheolwoo	109
Chang, Cheolwoo	111
Chang, Cheolwoo	112
Chang, Sung-Joon	42
Chang, Sung-Joon	48
Chao Qi	162
Charles Langmuir	164
Cheol, Bae Hui	101
Cheong, Chang-sik	242
Cheong, Chang-sik	243
Cheong, Jae-Yeol	128
Cheon, Hwasung	64
Cheon, Youngbeom	119
Cheon, Youngbeom	120
Cho, Chang Soo	56
Cho, Deung-Lyong	83
Choe, Hanjin	167
Cho, Eunhyun	264
Cho, Hohyun	302
Choh, Suk-Joo	70
Choh, Suk-Joo	265
Cho, Hyengoo	186
Cho, Hyengoo	201
Cho, Hyeongseong	268
Cho, Hyeongseong	300
Cho, Hyeongseong	314
Cho, Hyeongseong	315

Cho, Hyun-Jin	128
Choi, Byeon-Gak	59
Choi, Eun-Hye	191
Choi, Eunseo	55
Choi, Hakkyum	164
Choi, Hakkyum	304
Choi, Hanna	140
Choi, Hanna	150
Choi, Ho-Seok	316
Choi, Hoseon	124
Choi, Hyung-Jun	157
Choi, Hyun-Ok	96
Choi, Hyun-Ok	107
Choi, lyre	120
Choi, lyre	299
Choi, Jeong-Heon	115
Choi, Jeong-Heon	118
Choi, Jeong-Heon	207
Choi, Jeong-Heon	251
Choi, Jeong-Ryul	295
Choi, Jin-Hyuck	56
Choi, Jin-Hyuck	119
Choi, Jin-Hyuck	120
Choi, Jin-Hyuck	299
Choi, Jin-Hyuck	301
Choi, Jinyuk	36
Choi, Jiyoung	197
Choi, Jongmun	66
Choi, K.R.	127
Choi, Myoung-Rak	133
Choi, Myoung-Rak	278
Choi, Seongjun	306
Choi, Seongyu	84
Choi, Seon-Gyu	39
Choi, Seungsoon	211
Choi, Soon Young	100
Choi, Soon Young	297

Choi, Sung Hi	28
Choi, Sung Hi	29
Choi, Sung Hi	95
Choi, Sung Hi	96
Choi, Sung Hi	97
Choi, Sung Hi	99
Choi, Sung Hi	107
Choi, Sun Ki	161
Choi, Taejin	97
Chon, Chul-Min	169
Choo, Seoungbi	314
Cho, Se Hyun	70
Cho, Seongjun	203
Cho, Subin	275
Cho, Suhwan	280
Cho, Sung-Il	130
Choung, Sungwook	277
Chu, Minkyun	318
Chung, Dongchan	225
Chung, Il-Moon	136
Chung, Sang Yong	74
Chun, Seung Soo	138
Chun, Yongbeom	299
Claus-Dieter Hillenbrand	89
Cynn, Hyunchaе	160

D

Dmitry Konopelko	32
Dmitry Popov	160
Do, Seok-Hyeon	212

E

Ed Brook	92
Emmanuel Habimana	205
Eom, Jinah	110
Erik Wolfgring	138

F

Fan-Chi Lin	223
Finlay M. Stuart	37
Finlay M. Stuart	104
Finlay M. Stuart	305
Florian Ritterbusch	93
Fumio Inagaki	176

G

Gang, Ga Eun	101
Goeffrey Ely	49
Goh, Soogyoung	59
Go Iwahana	214
Go, Sun Young	71
Go, Taegyeong	246
Greg Balco	4
Gwon, Gi-Jeong	253
Gwon, Ohsang	116
Gwon, Ohsang	117

H

Ha, Chang Su	206
Hajime Shiobara	222
Ha, Kyucheol	145
Ham, Soo-Min	143
Han, Changhee	93
Han, Hyangsun	258
Han, Hyeop-Jo	175
Hani Zahran	42
Han, Jaemun	125
Han, Jong-Won	24
Han, Jong-Won	207
Hanns-Peter Liermann	160
Han, Sangyoung	93
Han, Seokyoung	21
Han, Suyeon	12
Han, Won Shik	277
Han, Yeongcheol	27
Han, Yeongcheol	93
Han, Young-Soo	169
Ha, Raegyung	194
Ha, Sangmin	24
Ha, Sangmin	113
Ha, Sangmin	118
Ha, Sangmin	207
Ha, Seung-Wook	285
Ha, Sujin	252
Ha, Sujin	260
Ha, TaeJung	319
Ha, Yoonhae	210
Heo, Dabeen	51
Heo, Junyong	313
Heo, Suyeon	188
Hiroko Sugioka	222
Hisashi Utada	222

Jo, Kyoung-Nam	3
Jo, Kyoung-Nam	6
Joo, Byungchan	126
Joo, Hyeontae	93
Joo, Young Ji	173
Joo, Young Ji	180
Joun, Won-Tak	285
Jung, Haemyeong	20
Jung, Haemyeong	21
Jung, Haemyeong	22
Jung, Haemyeong	31
Jung, Haemyeong	32
Jung, Haemyeong	35
Jung, Haemyeong	36
Jung, Haemyeong	160
Jung, Haemyeong	199
Jung, Haemyeong	210
Jung, Haemyeong	211
Jung, Haemyeong	215
Jung, Haemyeong	216
Jung, Haemyeong	217
Jung, Hyejung	174
Jung, Hyejung	312
Jung, Jaegeun	274
Jung, Jaehak	158
Jung, Ji-In	192
Jung, Min-Ji	242
Jung, Min-Ji	243
Jung, Saebom	172
Jung, Sejin	20
Jung, Sejin	31
Jung, Youn-Young	244
Jun, Seong-Chun	282
Jun, Sung-Chun	285

K

Kang, Donghyeok	72
Kang, Hee-Cheol	24
Kang, Hee-Cheol	118
Kang, Hee-Cheol	207
Kang, Hyejin	24
Kang, Jung Ok	5
Kang, Jung Ok	173
Kang, Moo-Hee	179
Kang, Nayeon	185
Kang, Nyeonkeon	122
Kang, Seung-Goo	73
Kang, Seung-Goo	179
Kang, Suna	67
Kang, Tae-Seob	51
Kang, Tae-Seob	52
Kang, Tae-Seob	57
Kang, Tae-Seob	233
Kaown, Dugin	134
Kaown, Dugin	135
Kaown, Dugin	181
Keehm, Young Seok	141
Keehm, Youngseuk	269
Kenji Kawamura	93
Kenneth Sims	164
Kenta Kawaguchi	87
Keum, Jae Yoon	236
Kihm, You Hong	69
Kil, Dongwoo	50
Kil, Youngwoo	216
Kim, Byeongwoo	45
Kim, Byoung-Han	267
Kim, Chang Hwan	100
Kim, Chang Hwan	101
Kim, Chang Hwan	102

Kim, Chang Hwan	105
Kim, Chang Hwan	106
Kim, Chang Hwan	297
Kim, Chang Hwan	298
Kim, Changmin	281
Kim, Chang-Seong	213
Kim, Chang-Seong	272
Kim, Cheolhong	17
Kim, Daeyeong	162
Kim, Dohyun	35
Kim, Dong-Eun	4
Kim, Dong-Eun	114
Kim, Donghwan	37
Kim, Donghwan	104
Kim, Dongju	315
Kim, Euijun	203
Kim, Gi-Bom	212
Kim, Gil-Young	121
Kim, Gyoo-Bum	133
Kim, Gyoo-Bum	278
Kim, Hansol	8
Kim, Hanul	189
Kim, Heejun	61
Kim, Heejun	62
Kim, Heejung	152
Kim, Heejung	153
Kim, Heejung	154
Kim, Heejung	155
Kim, Heejung	157
Kim, Heejung	181
Kim, Heejung	213
Kim, Heejung	270
Kim, Heejung	272
Kim, Hyeongsoo	34
Kim, Hyeongsoo	38
Kim, Hyeonseob	231
Kim, Hyeonseob	232

Kim, Hyeonsu	103	Kim, Jinyoung	258	Kim, MinWoo	318
Kim, Hyeonsu	200	Kim, Jiwoong	315	Kim, MoonSu	132
Kim, Hyeri	63	Kim, Jong-Sun	260	Kim, Nak Kyu	30
Kim, Hyo-Im	14	Kim, Jonguk	37	Kim, Nak Kyu	95
Kim, Hyoung Chan	145	Kim, Jonguk	104	Kim, Nak Kyu	241
Kim, Hyoung Jun	73	Kim, Jonguk	105	Kim, Namgwon	120
Kim, Hyun Joo	261	Kim, Jonguk	161	Kim, Namgwon	301
Kim, Hyun Joo	262	Kim, Jonguk	163	Kim, Nawon	231
Kim, Hyunkoo	132	Kim, Jonguk	168	Kim, Nawon	232
Kim, Hyunna	310	Kim, Jonguk	170	Kim, Ok-Sun	58
Kim, Hyun Na	141	Kim, Jonguk	298	Kim, Pyosang	103
Kim, Hyun Na	196	Kim, Jonguk	305	Kim, Pyosang	200
Kim, Hyunsoo	258	Kim, Juhyeok	11	Kim, Rak-Hyeon	148
Kim, Ilgoo	43	Kim, Junha	22	Kim, Rinhui	42
Kim, Jae Hoon	18	Kim, Junha	217	Kim, Sanghee	258
Kim, Jae-Hoon	19	Kim, Kitae	213	Kim, Sangyun	3
Kim, Jae Min	289	Kim, Kwang-Hee	51	Kim, Seo Ha	283
Kim, Jaewoo	221	Kim, Kwang-Hee	222	Kim, Seo Ha	286
Kim, Jaeyong	14	Kim, Kwang Hyun	131	Kim, Seojin	65
Kim, Jaeyoung	256	Kim, Kwang-Shik	148	Kim, Seok-Jin	115
Kim, Jeong Jin	289	Kim, Kyung Soo	252	Kim, Seongryong	64
Kim, Jeongmin	59	Kim, Kyung Soo	260	Kim, Seongryong	227
Kim, Jeongmin	220	Kim, Man-Jae	208	Kim, Seongryong	228
Kim, Ji-Hoon	58	Kim, Miji	52	Kim, Seongryong	229
Kim, Ji-Hoon	179	Kim, Mincheol	273	Kim, Seongryong	230
Kim, Jihyuk	30	Kim, Min-Cheol	24	Kim, Seongryong	235
Kim, Jihyuk	39	Kim, Min-Cheol	118	Kim, Seongryong	238
Kim, Ji-In	29	Kim, Min-Cheol	207	Kim, Seongyu	28
Kim, Ji-In	95	Kim, Min-Ki	197	Kim, Seung-Sep	96
Kim, Jin-Kyoung	185	Kim, Minkyong	229	Kim, Seung-Sep	98
Kim, Jinman	40	Kim, Minook	57	Kim, Seung-Sep	163
Kim, Jin Woo	141	Kim, Minook	302	Kim, Seung-Sep	164
Kim, Jinwook	89	Kim, Minsik	310	Kim, Seung-Sep	165
Kim, Jinwook	102	Kim, Min Sik	141	Kim, Seung-Sep	166
Kim, Jinwook	170	Kim, Minsu	231	Kim, Seung-Sep	294
Kim, Jinwook	182	Kim, Minsu	232	Kim, Seung-Sep	295
Kim, Jin-Wook	176	Kim, Minsu	280	Kim, Seung-Sep	304

Lee, Chang-Wook	110	Lee, Hyunwoo	298	Lee, Jin-Yong	270
Lee, Changyong	249	Lee, Insung	298	Lee, Jin-Yong	271
Lee, Chang-Yong	129	Lee, Insung	305	Lee, Jin-Yong	272
Lee, Cho-Hee	114	Lee, Jae-Hun	187	Lee, Jisu	25
Lee, Chung-Mo	146	Lee, Jaeil	89	Lee, Jisu	26
Lee, Daeha	135	Lee, Jae Kyoung	292	Lee, Jisu	268
Lee, Dong-Hun	73	Lee, Jae Kyoung	144	Lee, Jisu	300
Lee, Dong-Hun	179	Lee, Jae-Kyoung	151	Lee, Jisu	314
Lee, Dong-Jin	70	Lee, Jaemin	61	Lee, Jisu	315
Lee, Dong-Jin	265	Lee, Jae Min	149	Lee, Jiyeon	228
Lee, Dukkee	226	Lee, Jaeseok	215	Lee, Jiyeong	246
Lee, Eun Young	138	Lee, Jaeseok	238	Lee, Jiyeong	318
Lee, Giehyeon	25	Lee, Jeong	208	Lee, Jong-Hwa	285
Lee, Giehyeon	26	Lee, Jeonghoon	174	Lee, Jong Ik	30
Lee, Giyoon	93	Lee, Jeonghoon	312	Lee, Jong Ik	72
Lee, Giyoon	247	Lee, Jeonghyun	63	Lee, Jong-Un	175
Lee, Gwang-Soo	121	Lee, Jeonghyun	109	Lee, Joo Yong	142
Lee, Gyu-Sang	270	Lee, Jeong-Hyun	95	Lee, Jungjin	32
Lee, Hak-Min	294	Lee, Jeong-Hyun	97	Lee, Jungjin	35
Lee, Hak-Min	295	Lee, Jeong-Hyun	266	Lee, Jungjin	199
Lee, Hee-Kwon	187	Lee, Jeong-Hyun	293	Lee, Junhyung	43
Lee, Hee-Kwon	208	Lee, Jeongin	54	Lee, Junhyung	225
Lee, Hoil	119	Lee, Jeongjae	202	Lee, Juyeon	218
Lee, Hoil	120	Lee, Jeongmin	38	Lee, Kang-Kun	134
Lee, Hoil	299	Lee, Jihyun	203	Lee, Kang-Kun	135
Lee, Hyeji	44	Lee, Jimin	224	Lee, Kang-Kun	285
Lee, Hye-Lim	134	Lee, Jimin	226	Lee, Kee Hwan	102
Lee, Hye-Lim	135	Lee, Jinhyun	23	Lee, Kwang-Sik	244
Lee, Hyojong	97	Lee, Jinhyun	116	Lee, Kwang-Sik	245
Lee, Hyun A	61	Lee, Jinhyun	117	Lee, Kyungbook	131
Lee, Hyun Joo	159	Lee, Jinwoo	170	Lee, Mi Jung	30
Lee, Hyunseung	200	Lee, Jin-Yong	152	Lee, Mi Jung	39
Lee, Hyun Suk	197	Lee, Jin-Yong	153	Lee, Mi Jung	72
Lee, Hyunwoo	37	Lee, Jin-Yong	154	Lee, Mi Jung	219
Lee, Hyunwoo	61	Lee, Jin-Yong	155	Lee, Mirinae	139
Lee, Hyunwoo	62	Lee, Jin-Yong	157	Lee, Myeong Seong	251
Lee, Hyunwoo	104	Lee, Jin-Yong	213	Lee, Myoung Hoon	100

Lee, Myoung Hoon	297
Lee, Sangcheol	147
Lee, Sanghee	27
Lee, Sanghoon	134
Lee, Sanghoon	135
Lee, Sang Hoon	102
Lee, Sang-Hoon	285
Lee, Sang-Hwa	14
Lee, Sang-Jun	227
Lee, Sang-Jun	228
Lee, Sang-Jun	229
Lee, Sang-Jun	230
Lee, Sang-Jun	235
Lee, Sang-Mook	168
Lee, Sang-Mook	222
Lee, Sangsun	234
Lee, Sangyong	204
Lee, Seongjun	24
Lee, Seongjun	118
Lee, Seongjun	207
Lee, Seongjun	300
Lee, Seong-Sun	285
Lee, Seoyoung	13
Lee, Seulki	110
Lee, Seungbo	314
Lee, SeungHoon	266
Lee, Seung Hwan	85
Lee, Seung Ryeol	119
Lee, Seung Ryeol	268
Lee, Seungsoo	60
Lee, Shinae	303
Lee, Sihyun	200
Lee, Son Kap	24
Lee, Soojae	66
Lee, Soyeon	273
Lee, Suhyeong	200
Lee, Sungbeen	271

Lee, Sungho	55
Lee, Sung Keun	13
Lee, Sung Keun	14
Lee, Sung Keun	15
Lee, Sung Keun	202
Lee, Sun-Moo	48
Lee, Tae-Ho	120
Lee, Tae-Ho	299
Lee, Wonhee	37
Lee, Wonhee	104
Lee, Yongjae	36
Lee, Yongjae	160
Lee, Yong Mi	179
Lee, Yongmoon	103
Lee, Yongmoon	200
Lee, Young Jae	84
Lee, Youn Soo	106
Lee, Youn-Soo	61
Lee, Yuna	310
Lee, Yung Mi	73
Lim, Chungwan	16
Lim, Chungwan	17
Lim, DoYoon	226
Lim, Hobin	223
Lim, Hyewon	118
Lim, Hyojin	186
Lim, Hyoun Soo	58
Lim, Hyoun Soo	115
Lim, Hyoun Soo	252
Lim, Hyoun Soo	260
Lim, Hyunjee	40
Lim, Yeonjoo	227
Lindsay Schoenbohm	114
Lin Wang	160

M

Mainak Mookherjee	199
Maria Luisa G. Tejada	138
Marija Mustač	228
Martin Mai	42
Matthew Tarling	32
Michael Witek	42
Michael Witek	48
Min, Dayun	312
Min, Jun Hong	309
Min, K.H.	127
Min, Kihun	302
Minoru Kusakabe	241
Min, Suyeong	186
Mok, Jong-Koo	270
Moon, Byungjeon	237
Moon, ChiGook	256
Moon, Inkyeong	298
Moon, Jangil	27
Moon, Jonghan	173
Moon, Sang-Ho	145
Moon, Sang-Ho	151
Myeong, Hyeonah	156

N

Naing Aung Khant	16
Nam, In-Hyun	169
Naohiro Yoshida	91
Naoto Takahata5	61
Noh, Hyun-Jung	193
Noh, Myunghyun	123

Nozomu Takeuchi 222

O

Oh, Chang Whan 79

Oh, Chang Whan 80

Oh, Chang Whan 81

Oh, Chang Whan 82

Oh, Chang Whan 83

Oh, Chang Whan 85

Oh, Chang Whan 88

Oh, Jihye 37

Oh, Jihye 104

Oh, Jihye 105

Oh, Jihye 298

Oh, Jihye 305

Oh, Min-Kyu 97

Oh, Sang-Hoon 40

Oh, Sol Bi 196

Oh, Yong-Hwa 244

Oh, Yubi 317

P

Paik, In Sung 261

Paik, In Sung 262

Pak, Sang Joon 161

Pak, Sang-Joon 163

Pak, Sang-Joon 168

Park, Bumsung 174

Park, Byeong-Hak 75

Park, Byeong-Hak 129

Park, Byeong-Hak 249

Park, Byeongjun 34

Park, Changhui 125

Park, Changhui 136

Park, Changhui 145

Park, Changhui 147

Park, Changhui 253

Park, Chang-Hui 282

Park, Changkun 241

Park, Changkun 306

Park, Changyong 160

Park, Chan Hong 100

Park, Chan Hong 101

Park, Chan Hong 102

Park, Chan Hong 105

Park, Chan Hong 106

Park, Chan Hong 297

Park, Chan Hong 298

Park, Chanhyeok 259

Park, Chowon 19

Park, Euna 224

Park, Eungyu 132

Park, Eungyu 253

Park, Eungyu 280

Park, Eunyoung 269

Park, Gyeongtae 255

Park, Gyungpil 66

Park, Hanbeom 170

Park, Hanbeom 176

Park, Hayoung 235

Park, Hojin 318

Park, Hui Jeong 253

Park, Hyemin 248

Park, Hyemin 319

Park, Jae hyun 292

Park, Jae Hyun 144

Park, Jaesung 254

Park, Jechan 234

Park, Jino 265

Park, Jino 293

Park, Jung Gyu 262

Park, Jung-Woo 39

Park, Jung-Woo 85

Park, Jung-Woo 86

Park, Jung-Woo 161

Park, Jung-Woo 168

Park, Jung-Woo 219

Park, Jung-Woo 306

Park, Jun Yong 222

Park, Kiwoong 116

Park, Kiwoong 117

Park, Kyung-Woo 75

Park, Kyung-Woo 129

Park, Kyung-Woo 249

Park, Minji 283

Park, Minji 286

Park, Munjae 162

Park, Munjae 216

Park, Munjae 305

Park, Myong-Ho 179

Park, Sanghee 179

Park, Sangjin 240

Park, Sangjin 296

Park, Sangwook 272

Park, Seongjun 53

Park, Seongjun 225

Park, Seon Jeong 124

Park, Soobin 246

Park, Sujeong 7

Park, Sung-Hyun 162

Park, Sung-Hyun 164

Park, Sung-Hyun 303

Park, Sung-Hyun 304

Park, Sungjae	108
Park, Sungjae	110
Park, Sunyoung	131
Park, Sun Young	197
Park, Tae-Yoon	139
Park, Wonbae	273
Park, Yong	31
Park, Yong	36
Park, Yong	160
Park, Yongjoon	122
Park, Young Kyu	89
Park, Yun Kyung	56
Peter Michael3	164

R

Ree, Jin-Han	18
Ree, Jin-Han	19
Ree, Jin-Han	51
Reiner Klemm	32
Reiner Klemm	199
Rhee, Seunggu	52
Rhie, Junkee	51
Rhie, Junkee	55
Rhie, Junkee	57
Rhie, Junkee	64
Rhie, Junkee	238
Robert Clayton	41
Ro, Seokhyun	27
Ryan Crow	4
Ryu, Han-Sun	154
Ryu, Han-Sun	155
Ryu, Han-Sun	181
Ryu, Han-Sun	272

Ryu, Huigyeong	315
Ryu, In-Chang	267
Ryu, Jongsik	318
Ryu, Jong-Sik	58
Ryu, Jong-Sik	179
Ryu, Jong-Sik	242
Ryu, Jong-Sik	246
Ryu, Junggho	169
Ryu, Nahyeong	186
Ryu, Wansang	66
Ryu, Yeongjun	92

S

Sakae Toyoda	91
Sambit Ghosh	91
Sambit Ghosh	93
Sean Scott	164
Sebastian Wetterich	214
Seo, Jieun	84
Seo, Jung Hun	159
Seo, Jung Hun	303
Seo, Myeongho	72
Seong, Yeong Bae	4
Seong, Yeong Bae	113
Seong, Yeong Bae	114
Seong, Yeong Bae	118
Seong, Yeong Bae	207
Seo, Ran	277
Seoung, Donghoon	103
Seoung, Donghoon	200
Seoung, Donghoon	298
Sheen, Donghoon	44
Sheen, Donghoon	46

Sheen, Dong-Hoon	47
Shim, Byoung Ohan	140
Shim, Taek-Mo	124
Shim, T.M.	127
Shin, Dongbok	65
Shin, Dongbok	203
Shin, Dongbok	204
Shin, Eunju	201
Shin, Hyeon-Cho	117
Shin, Hyeonjo	116
Shin, Hyung Seon	245
Shin, Seungwook	203
Shin, Woo-Jin	244
Shin, Woo-Jin	245
Shin, Young Hong	119
Shin, Yu Kyung	195
Sim, Gyooseong	256
Sim, Min Sub	173
Sim, Min Sub	180
Sim, Min Sub	247
Sim, Min Sub	263
So, Byungdal	141
So, Byungdal	231
So, Byungdal	232
So, Byungdal	237
So, Byung-Dal	73
So, Byung-Dal	167
So, Byung-Dal	212
So, Byung-Dal	236
So, Byung-Dal	239
So, Byung-Dal	240
So, Byung-Dal	250
So, Byung-Dal	296
Sohn, Young Kwan	71
So, Jin-Hyeon	317
Son, Byeong -Kook	131
Song, Cheol Woo	40

Song, Chihyun	200
Song, Hyeongseok	58
Song, Je-Hyun	166
Song, Jung-Hun	55
Song, Jung-Hun	229
Song, Jung-Hun	238
Song, Seok Goo	49
Song, Seok Goo	238
Song, Sung-Ho	132
Song, Sung-Ho	270
Son, Hyorok	209
Son, Jang-Ho	278
Son, Minkyung	56
Son, Moon	24
Son, Moon	40
Son, Moon	113
Son, Moon	118
Son, Moon	207
Son, Moon	268
Son, Moon	300
Son, Sangbo	10
Son, Seungkyu	170
Son, Seung Kyu	163
Son, Seung-Kyu	161
Sunghwan Im	86
Suzan Van der Lee	48
Syed Azharuddin	92

T

Takanori Kagoshima	61
Takehi Isse	222
Tetsuo Irifune	160
Thi Minh Tran	175

Thomas Opel	214
-------------	-----

V

Vincent Clement	168
Vitali B. Prakapenka	160

W

Wei Jiang	93
Weon, Hyo-Jeong	115
Won, Younghoon	25
Won, Younghoon	26
Woo, H.D.	127
Woo, Hyeon Dong	302
Woo, Hyeon-Dong	124
Woo, Jeong-Ung	57
Woo, Jusun	72
Woo, Kyung Sik	67
Woo, Kyung Sik	68
Woo, Nam Chil	61

X

Xiaohan Wang	79
--------------	----

Y

Yalalt Nyamgerel	312
Yang, Dong Jin	178
Yang, Guomin	93
Yang, Jiwoong	214
Yang, Junmo	124
Yang, Minjune	218
Yang, Minjune	248
Yang, Minjune	257
Yang, Minjune	281
Yang, Minjune	284
Yang, Minjune	290
Yang, Minjune	313
Yang, Minjune	319
Yang, Seokjun	203
Yang, Sumin	220
Yang, Yun-Seok	164
Yang, Yun-Seok	303
Yee, Yoo Kyoung	190
Yeo, Eun-Young	251
Yeo, In Wook	279
Yeom, Kyeonghoon	65
Yeon, Yeon-Kwang	69
Yeo, Young-Do	148
Yi, Boyeon	122
Yi, Eun-Ji	95
Yi, Jonghwa	282
Yim, Sung-Gyun	242
Yim, Sung-Gyun	243
Yi, Myeong Jae	282
Yi, Sang-Bong	219
Yi, Sang-Ho	40
Yoo, Donggeun	122
Yoo, Dong-Geun	121
Yoo, Hyun Jae	233

Yoo, Hyun Jae	234
Yoo, Jisu	174
Yoo, Kyu-Cheul	89
Yoo, Kyu-Cheul	90
Yoon, Choong-Sik	197
You, ByoungWoon	205
Yu, Byeongyong	65
Yu, Byong-Yong	4
Yu, Byung Yong	114
Yu, Hyejin	201
Yu, Hyunmin	204
Yu, Jaehyung	205
Yu, Jaehyung	259
Yu, Jae Young	309
Yuji Sano	61
Yuki Morono	176
Yun, Jeena	41
Yun, Sung-Hyo	63
Yun, Sung-Hyo	109
Yun, Sung-Hyo	111
Yun, Sung-Hyo	112
Yu, Yongjae	188
Yu, Yongjae	189
Yu, Yongjae	190
Yu, Yongjae	191
Yu, Yongjae	192
Yu, Yongjae	193
Yu, Yongjae	194
Yu, Yongjae	195

Z

Zheng-Tian Lu	93
---------------	----

2020 추계지질과학연합학술대회 및 대한지질학회 제75차 정기총회

준비위원회

위원장 최성희
 위원 강태섭, 고동찬, 길영우, 김규범, 김성원, 김영석,
 류종식, 신영재, 안진호, 이기욱, 이진용, 최태진

운영위원회

위원 대한자원환경지질학회 이진수
 한국고생물학회 이승배
 한국광물학회 이성근
 한국암석학회 이승렬

학술분과위원회

일반세션
 고기후·고해양학 및 제4기지질학 남육현
 고생물학 이동찬
 광물학 권기덕
 광상학 및 자원지질학 신동복
 구조지질학 및 지체구조학 박승익
 방권과학 안진호
 암석학 길영우
 지구물리학 및 물리탐사 김승섭
 지구화학 류종식
 지질공학 및 응용지질학 최정해
 지질유산 임현수
 지질정보학(GIS 및 원격탐사) 홍상훈
 층서·퇴적학 및 석유지질학 최태진
 해양지질학 박장준
 환경지질학 및 지하수학 김희정
 일반지질학(자원정책 등) 김성용

특별세션
 고원생대에서 백악기까지의 한반도 지구조 진화와 한중일 지구조 대비 오창환
 기후변화와 극지환경변화 안진호
 대륙주변부의 지질 및 지각 구조: 한반도 동남부를 중심으로 김승섭
 독도 및 주변 해저화산의 성인 및 변동연구 박찬홍
 백두산 화산 윤성호
 영남지역 대단층계에 대한 육상 및 해양에서의 지진지질학 연구결과 토의 최진혁
 원자력 발전 전주기 지질학적 부지 안전성 평가 박동희
 인공신경망과 지질과학 김규범
 지구과학분야 여성과학기술인 연구교류 이주용
 지하수 특성화 인자 DB 구축 및 가시화 현황과 전망 문상호
 지하수내 미세플라스틱의 발현, 운명 및 거동 이진용
 해양지각 및 맨틀의 지구화학, 지구물리, 지구시스템 연구 김종욱
 환경 생지구화학 - 미생물, 광물, 동위원소 등 살아있는 지구에서의 물질순환 남인현

발행처

대한지질학회
 서울특별시 강남구 테헤란로7길 22
 한국과학기술회관 신관 813호 (06130)
 Tel. 02.3453.1550 / Fax. 02.3453.1824
 E-mail. office@gskorea.or.kr
 Web. www.gskorea.or.kr

발행일

2020년 10월 16일

인쇄처

바론 디자인랩
 서울특별시 종로구 자하문로33가길 4, 1층
 Tel. 070.4250.3500
 E-mail. baron@baronlab.co.kr

ISBN

979-11-953441-7-8 (95450)



| 결과보고서 공개 및 활용 |

제출된 학술대회 발표논문은 보고서 형태로
과총 학술활동지원시스템(<http://www.enest.or.kr>)을 통해
PDF 형식으로 공개할 수 있음

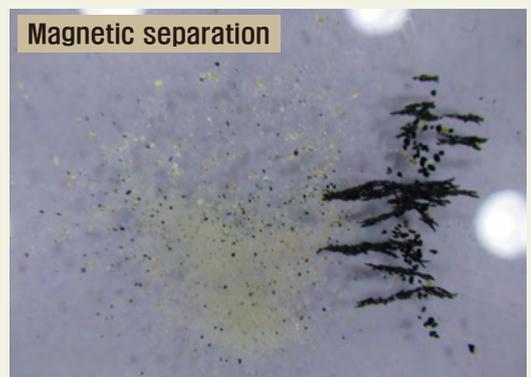
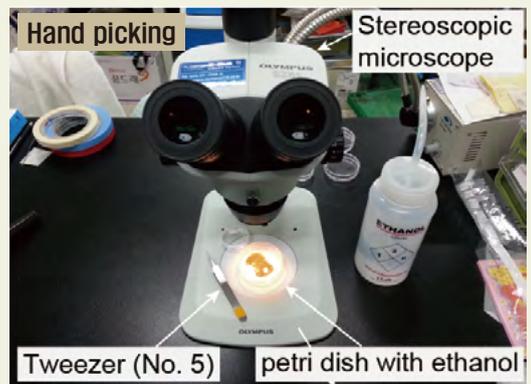
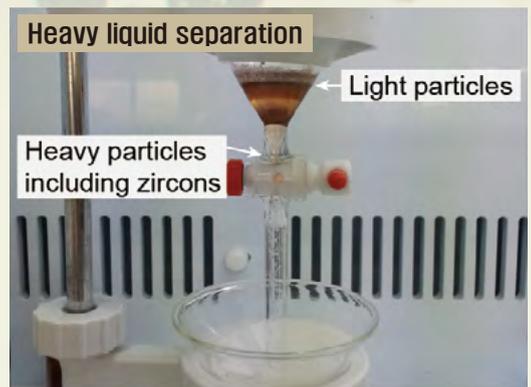
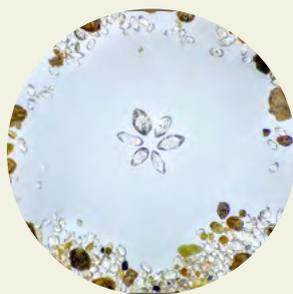
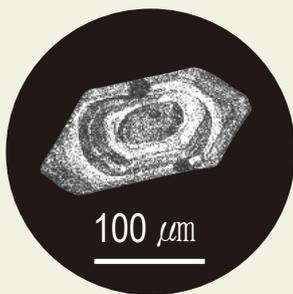
“이 발표논문집은
정부재원(과학기술진흥기금 및 복권기금)으로
한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음”

“This work was supported by the Korean Federation
of Science and Technology Societies (KOFST) grant funded
by the Korean government.”

OPTIMIZED MINERAL SEPARATION

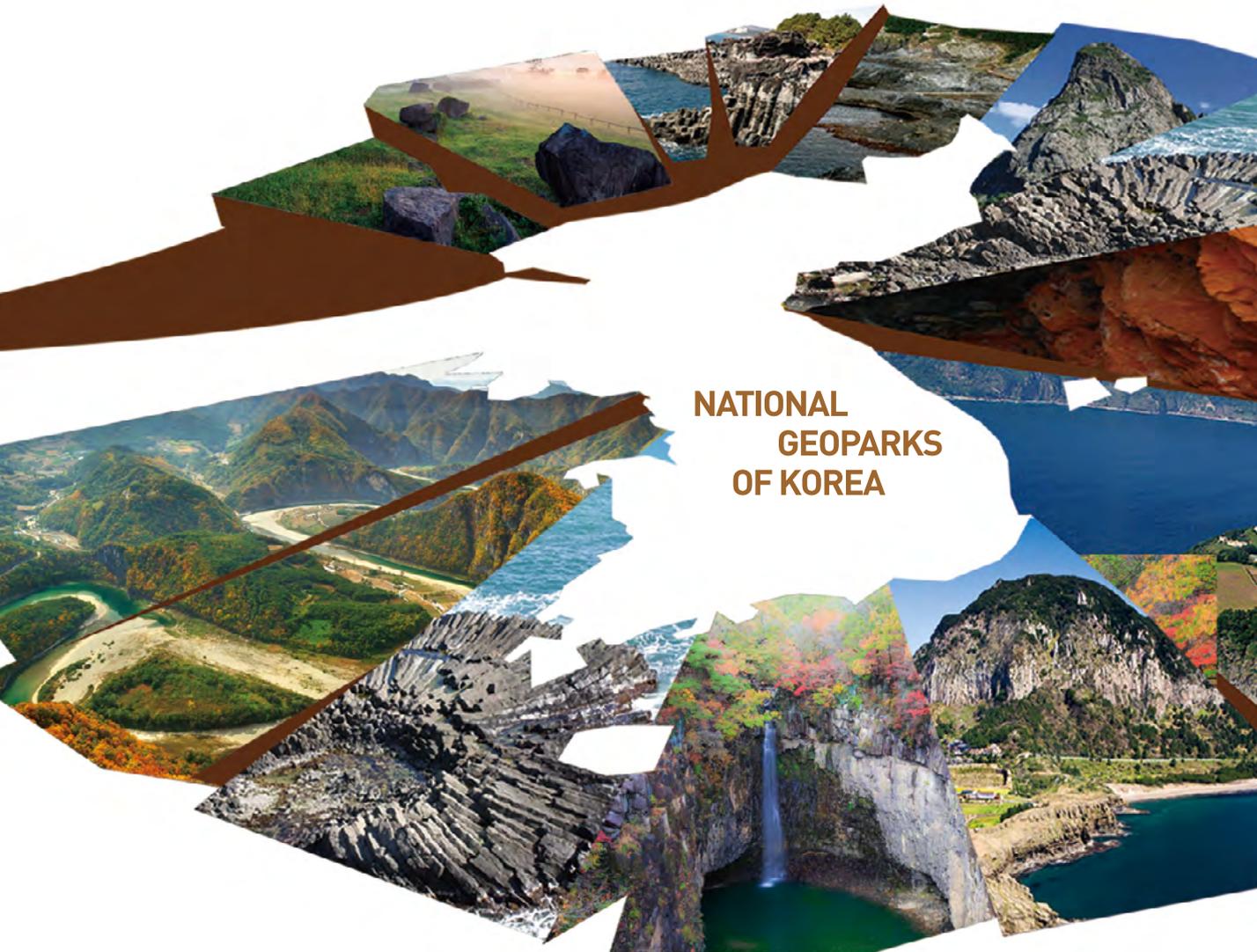
SEPARATION PROCESS

1. Crushing
2. Pulverizing
3. Sieving
4. Panning
5. Magnetic separation
6. Heavy liquid separation
7. Hand picking



GEOSCIENCE

Email: ahw0504@naver.com

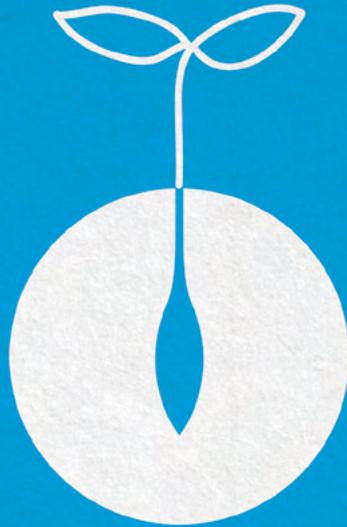


NATIONAL GEOPARKS OF KOREA

신비롭고 웅장한 대지의 길고 긴 이야기, 지질유산의 그 소중한 가치를 지켜가겠습니다

자연의 고귀한 유산이자, 수천 만년 시간의 기록인 지질유산은
사람과 조화를 이루며 우리 곁에 숨쉬고 있습니다.
오랜 시간이 흐른 후에도 이 땅의 이야기가
미래세대에게 전해질 수 있도록
국가지질공원은 우리 국토의 지질유산을 소중히 가꿔가겠습니다.

#힘내라_대한민국 #한국가스공사가_함께_응원합니다



이 새싹은
나중에 울창한 숲을
만들 겁니다

한국가스공사는
연소 시 공해물질이 거의 없는 무공해 청정에너지 천연가스로
건강한 지구를 만들어 갑니다.

세상의 끝에서 미래를 열어갑니다

인류가 직면한 기후변화에 대응하고
극지를 활용한 가치를 찾아내어
세계의 극지연구를 주도하는
연구기관이 되도록 최선을 다하겠습니다.

KOPRI 극지연구소
Korea Polar Research Institute



극지의 한국 미래의 도전

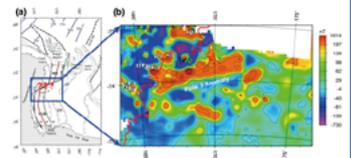
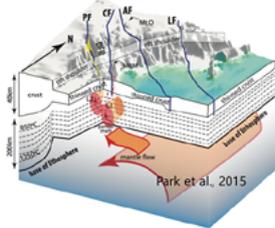


극지연구소 지구물리팀은

남극 대륙과 결빙해역에서 우리가 보지못하는 지구 내부를 연구하고 있습니다.

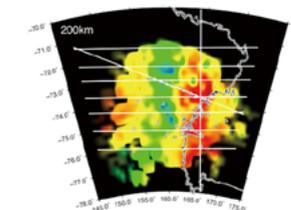
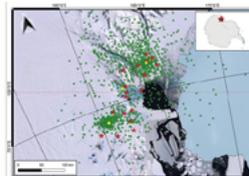
Polar 3 지자기 이상 형성 원인과 서남극 열개구조에 미치는 영향 규명

- Polar 3 하부 천부 지각/상부 맨틀 속도 구조 모델링
- Polar 3 지역 천부 지각 구조와 지자기 탐사
- Polar 3 지역 해저면 정밀 지형도 작성
- Polar 3 지역 화산암 표본 채취 및 분석



Polar 3 지자기 이상 지역

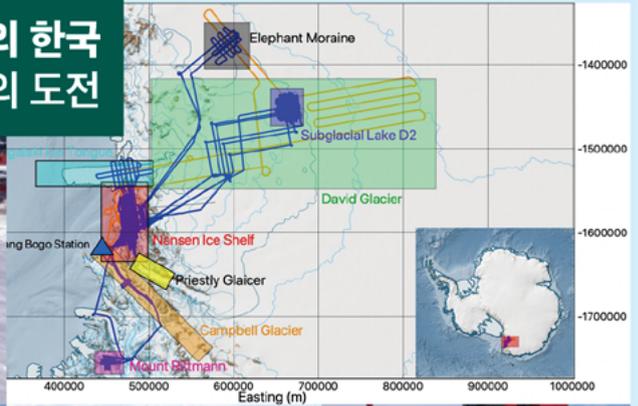
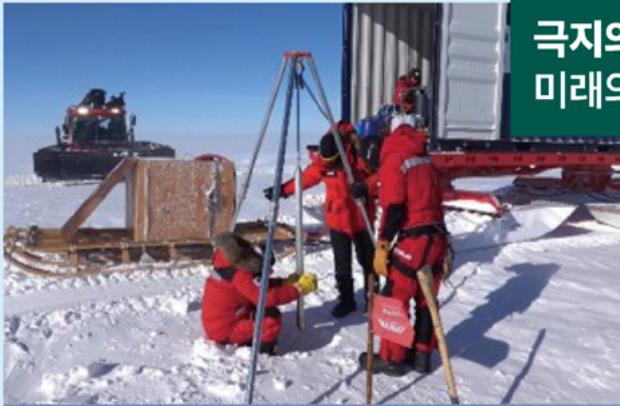
서남극 열개구조 중 남위 74도, 동경 165도부터 동쪽으로 200 km까지 선형으로 확장된 1,000nT이상의 자력이상 (magnetic anomaly) 지역으로 아직까지 형성원인 불명



서남극 열개구조

남극대륙을 동남극과 서남극으로 구분하는 거대한 지질구조이며, 여러 개의 크고 작은 열개구조들이 모여 구성된 열개시스템

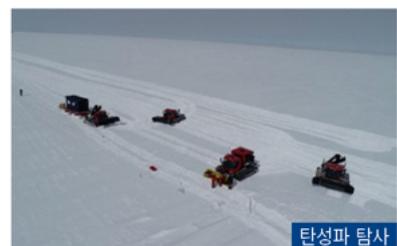
극지의 한국 미래의 도전



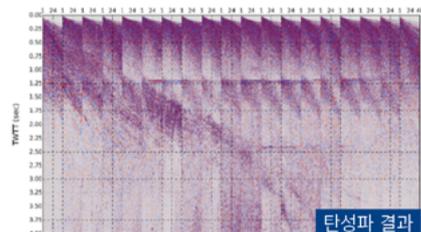
극지연구소는 지구환경변화의 **“고대 타임캡슐”**인
빙저호 연구를 위해 지구물리 탐사 및 열수시추 개발에 박차를 가하고 있습니다.

남극 David 빙하 빙저호 지구물리 탐사기술 및 열수시추 기술개발

- 남극 심부 빙저호 호수 청정 열수시추, 퇴적물 시추 시스템 개발 및 빙저호 시추 원천 기술 확보
- 세계 최초 남극 심부 빙저호 (2,000m 급) 청정열수시추를 위한 국제 공동 프로그램 개발
- 빙상 탄성파 탐사 시스템 구축 및 정밀 탄성파 탐사를 통한 빙저호 수심 및 지구물리학적 특성 규명



탄성파 탐사



탄성파 결과

빙저호

수백~수천 미터 두께의 남극 대륙 빙하 아래에 위치한 호수. 빙하의 하중에 의한 압력, 빙하 유동에 의한 빙하-기저면 사이의 마찰열, 지열 등의 복합적인 상호작용에 의해 빙하 하부에 얼지 않은 상태로 존재하는 호수

극지의 한국 미래의 도전

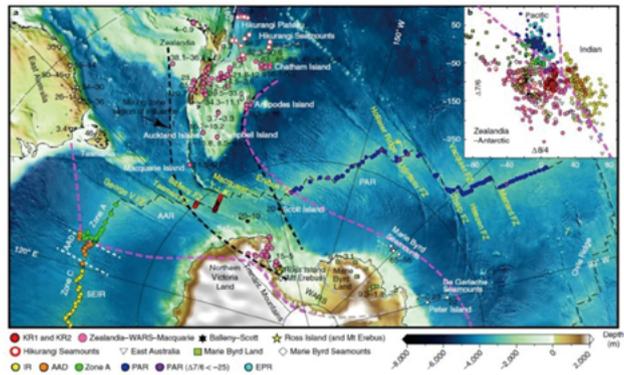
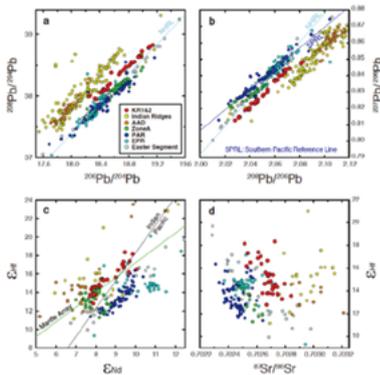


맨틀의 새로운 퍼즐, 남극 바다에서 찾아낸다!

남극 중앙해령 탐사에서 신규 맨틀(질란디아-남극 맨틀)의 존재 확인

질란디아-남극 맨틀 발견 및 특성 규명

- 질란디아-남극 맨틀의 동위원소적 특성 규명
- 질란디아-남극 맨틀의 분포 영역 추정



질란디아-남극 맨틀

기존의 연구에 따르면 맨틀은 기원을 달리하는 태평양형 맨틀과 인도양형 맨틀이 서로 섞이지 않은 상태로 대체로 독립적으로 대류하고 있다. 이 두 맨틀의 경계는 호주대륙과 남극 대륙 사이의 호주-남극 부정합에 위치하며 이 경계에서 태평양형 맨틀이 인도양형 맨틀로 밀려 들어가고 있다는 것이 30년 동안 통용되던 학설이었다. 그러나 극지연구소의 연구결과 태평양형과 인도양형 맨틀 사이에는 이 두 맨틀과 기원이 다른 '질란디아-남극 맨틀'이 존재한다는 것이 확인되었다. 새로운 맨틀의 발견으로 맨틀 진화 및 대류 모델은 수정될 수밖에 없게 되었으며 향후 맨틀에 대한 이해를 진전시킬 수 있는 활발한 연구가 기대된다.

극지의 한국 미래의 도전



극지연구소는 남극대륙에서 남극의 지질현상과 우주의 역사를 연구하고 있습니다.

장보고기지 기반 남극지질·운석연구: 빅토리아랜드 지각진화와 소행성 표면물질 특성규명

- 남극대륙 빅토리아랜드 종합지질탐사를 통한 지체구조 진화 규명
- 운석을 이용한 태양계의 형성과 진화 연구, 우주물질 극미량 정밀분석기술 선도



빅토리아랜드

남극을 가로지르는 남극중단산맥의 끝부분으로 남극대륙의 형성과 분리에 의한 다양한 지질구조가 보존되어있으며 중요한 남극대륙 운석탐사지 중 하나이다.

지구의 나이를 측정하는 특별한 방법

KBSI 지구연대측정 플랫폼은

SHRIMP, OSL, LA-MC-ICP-MS, SVMS, TIMS,
동위원소 현미경 이미징 시스템으로 이루어진
연대측정장비 클러스터로서
지구 45억년의 비밀을 풀어낼
국내유일의 초정밀 연구시설입니다

국내외 모든 연구자들에게
지구연대측정 연구수행을 위한
다양한 연구장비와 분석기술을
제공하고 있습니다

* 공동연구 및 분석지원 의뢰
shrimp@kbsi.re.kr

세계일류의 기초연구 플랫폼

한국기초과학지원연구원은

세계적 첨단선도연구장비를 활용한
지질연대측정, 동위원소 빅데이터 및 활용연구 등
지구환경 정밀분석을 통한 다양한 연구를
수행하고 있습니다

* 공동연구 및 분석지원 의뢰
shrimp@kbsi.re.kr



* 1956년 발간된 우리나라 최초의 1:100만 대한지질도(등록문화재 제604호)

국가와 국민에게 대답하는 연구원

KIGAM