

표 지(주요사업)

(뒷면)	(측면)	(앞면)
↑ 15cm ↓ ↑ 3cm ↓ 주 의 (편집순서9) (16 포인트 고딕체)	BSPE25050-145-12 남극권 맨틀활동과 지체구조진화 연구 한국해양연구원 부설극지연구소	BSPE25050-145-12 (14포인트 중고딕체) ↑ 5cm ↓ 남극권 맨틀활동과 지체구조진화 연구 (20 포인트 중고딕체) Mantle dynamics and tectonic evolutions of Zealandia-Antarctic domain (16 포인트 신명조체) ↑ 5cm ↓ 2026. 02. 27. (16 포인트 신명조체) 한국해양과학기술원 부설극지연구소 (17 포인트 명조계열) ↑ 4cm ↓

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “남극권 맨틀활동과 지체구조진화 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2026. 02.

연구책임자: 박 승 현

참 여 연 구 원:

이미정, 박창근, 최학겸, 박태윤, 강승구, 김대영,
김보미, 이미리내, 진영근, 최문영, 이종익, 홍종국,
박용철, 서원상, 김화영, 박상범, 김형준, 강필모,
한승희, 박시원, 김지훈, 최연진, 정진훈, 박광규,
정직한, 김소윤, 박규리, 유인성, 서우석, 김지애,
황지원, Nilanjana Sorcar, 김지연, 원종필, 김보근,
백종민, 정성현, 엄지원, 변진영, 양윤석, 정지웅,
김태환, 김도현, 김이정, 최산희, 최영일, 이동하,
정은진, 김수민, 강나루, 황유나, 송세영, 박원빈,
송영승, 김지혁, 김동환, 김소연, 신범수, 이재석,
문홍수, 송교찬, 최선웅, 이원영, 황지섭, 박정우,
박규찬, 전예찬, 고수경, 이정모, 이춘기, 이주한,
이원상, 진 경, 김낙규, 윤숙영, 김수관, 김진석,
윤승태, 이현주, 이상봉, 이지연, 이인에, 박미은,
나지성, 최지수, 김병훈, 권조아, 강동혁, 권기백,
김태신, 정은희, 최 린, 최연경, 신재현, 이지영,
김윤수, 김서정, 이민규, 김관수, 주현태, 하승아,
서명호, 박지현, 이승현, 장우근, 박인우, 손우주,
박문재, 안병석, 임지수

위탁연구기관명: 서울대학교, 충남대학교,
부산대학교, (주)레드원테크놀러지

위탁연구책임자: 이현우, 김승섭, 김기범, 문용선

보고서 초록

과제관리번호	PE25050	해당단계 연구기간	2020.01.01.~2025.12.31.	단계 구분	2단계 / 총 2단계
연구사업명	중 사 업 명	극지연구소 연구사업			
	세부사업명	주요사업(기관목적사업)			
연구과제명	중 과 제 명	기관고유사업			
	세부(단위)과제명	남극권 맨틀활동과 지체구조진화 연구			
연구책임자	박승현	해당단계 참여연구원수	총 111명 내부 106명 외부 5명	해당단계 연구비	정부: 5,447,400 천원 기업: 천원 계: 5,447,400 천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 빙하지권연구본부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명(상대국연구기관명): 미국(HARVARD), 미국(UW), 미국(Penn State), 미국(NASA), 미국(NMT)				
위 탁 연 구	연구기관명(연구책임자): 충남대학교(김승섭), 서울대학교(이현우), 부산대학교(김기범), (주)레드윈테크놀로지(문용선)				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자이내)					보고서 면수 261
○ 남극권 중앙해령에 대한 체계적인 현장 탐사 수행 및 다학제적 연구 분석을 기반으로 지질·지구물리·지구화학 자료를 통합 해석함으로써, 기존 연구에서 제시되지 않았던 새로운 맨틀 유형인 질란디아 - 남극 맨틀의 존재를 규명하고 그 지구동역학적 의미를 제시 ○ 중앙해령 및 열수분출구 지역에 대한 정밀 탐사를 통해 암석 시료 및 열수 환경과 연관된 생물 시료를 확보하고, 주요 원소 및 동위원소 지화학 분석을 수행하여 마그마의 기원, 부분용융 특성, 분화 및 진화 과정에 대한 정량적 해석 수행 ○ 호주 - 남극 중앙해령 및 로스해 일대에서 확인된 해저화산 활동과 해양지각 형성·진화 과정에 대한 종합 연구 수행, 해저 지형 특성, 화산 분출 양상, 맨틀 조성 차이 및 구조적 환경과의 상관성 분석을 통해 지역적·광역적 지각 형성 메커니즘 규명 ○ 남극 중앙해령계의 맨틀 조성 이질성 및 마그마 공급 체계 특성에 대한 체계적 정리와 학술 발표를 통해 글로벌 중앙해령 체계 내 남극권 해령의 차별적 특성 제시 및 국제 학술적 기여 확대					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	질란디아-남극 맨틀, 해양 자기이상, 지진관측망, 지각/맨틀 구조, 해저면 지진계, 남극 활화산, 남극 운석, 암석권 맨틀 진화, 빅토리아랜드 지구조진화			
	영 어	Zealandia-Antarctic mantle, Marine magnetic anomalies, Seismic network, Crustal/mantle velocity structure, Ocean Bottom Seismograph, Active volcanoes in Victoria Land, Antarctic meteorites, Lithospheric mantle evolution, Tectonic evolution of Victoria Land			

요 약 문

I. 제 목

남극권 맨틀활동과 지체구조진화 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 해양, 육상에서 다양한 지구물리 자료 확보, 해석을 통한 질란디아-남극 맨틀, Polar 3 및 북빅토리아랜드의 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악
 - 최근 극지연구소 주도의 연구를 통해 새롭게 발견된 “질란디아-남극 맨틀”은 과거 곤드와나 대륙을 균열시키고, 남극대륙을 호주와 질란디아 대륙에서 분리시킴으로써 현재의 남극환경을 만드는 가장 근본적인 원인이 되었음
 - 현재까지 수행된 탐사 및 연구는 경제적, 시간적, 환경적 제약으로 질란디아-남극 맨틀 영역의 중앙부에 집중되었기 때문에 이 맨틀의 분포 영역에 대한 이해가 여전히 부족한 실정임. 따라서 새롭게 발견된 질란디아-남극 맨틀의 동편 및 서편 경계를 명확히 규명하고, 맨틀의 특성, 기원 및 운동에 대해 이해하기 위해서는 추가적인 탐사와 함께 다른 지역과의 비교연구가 반드시 필요한 상황임
 - 맨틀의 구조, 대류 및 진화 프로세스는 지각의 이동 및 지구조적 작용의 근원이 되며, 이에 대한 연구는 미래의 기후변화와 자연재해 등을 비롯한 다방면의 지구 변동에 적극적으로 대처할 수 있는 자료를 제공할 수 있음
 - 빅토리아랜드 분지와 북부의 경계에서 어떻게 서남극 열개구조가 발달되어 연결되어 있는지는 아직까지도 명확하게 밝혀지지 않았고, 그 경계에서 Polar 3라는 1,000 nT 이상의 자력이상(magnetic anomaly)이 발견됨
 - 정확한 Polar 3의 형성 원인과 발달 과정의 규명은 서남극 열개구조의 진화 과정과 동남극 대륙의 지체구조 해석에 반드시 필요함
- 남극대륙에 산출되는 암석 연구를 통해 북빅토리아랜드 지체구조 진화 규명
- 남극대륙의 화산, 운석연구를 통해 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원
 - 남극대륙이 겪어온 과거 지질활동의 결과로 남극대륙에 기록된 지질구조와 암석

- 의 형성과정을 밝히는 것은 남극대륙 땅덩어리를 이해하는 가장 밑거름이 됨
- 현재 남극에서 일어나고 있는 가장 눈에 띄는 지질현상은 화산활동이며, 눈, 얼음, 빙상 등 빙권과의 상호작용은 초미의 관심사인 남극 빙상의 거동과 해수면 변동에 영향을 끼치는 주요 요소 중 하나로서 중요함

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화
 - 중앙해령 열수분출구 ROV 탐사를 통한 해저면 암석 및 생물시료 등 채취
 - 중앙해령 및 확장-균열대로부터의 해저면 암석시료 지화학 분석을 통한 마그마 성인과 진화 연구
 - 남극 열수 생물의 환경 적응 기작 및 계통 지리적 진화 연구
 - 확장-균열대 지역의 운동역학적 진화 과정 규명 및 후기 마이오세 이후 태평양-남극판 간의 지판운동 복원
 - 북부 로스해 진화 및 동남극-서남극판 간의 지판운동 복원
 - 남극 로스해 및 빅토리아랜드 분지 지역 신기 지체구조 탐사 및 지구물리적 특성 연구
 - Polar 3 지역 관측소 지각 속도 구조 및 두께 결정
 - 멜버른 화산 북부로 확장한 3차원 지각/상부맨틀 속도 구조 모델링
- 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해
 - 남극 빅토리아랜드 신생대 화산활동 성인과 분출 역사 복원
 - 터레인 경계부 고압 변성암류의 섭입대 진화사 규명
 - 윌슨 터레인 고온 변성퇴적암류의 지구조진화 및 기원지 해석
 - 북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명
 - 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악
 - 남극운석을 이용한 달과 소행성의 표면물질 특성 이해

IV. 연구개발결과

- 남극 대륙 주변부 중앙해령 및 열수 환경, 생태계에 대한 최초의 무인잠수정 (ROV) 탐사
- 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악
 - 질란디아-남극 맨틀의 동편 및 서편 해저지형도 및 지자기이상도 작성
 - 북부 로스해 및 확장-균열대 지판운동 복원
 - 육상/해저면 지진관측망 자료 DB 구축 및 Polar 3 형성 원인과 진화 모델 개발

- 남극 로스해 서편 빅토리아랜드 분지 지역의 천부 및 심부 탄성과 단면 및 해석도 확보
 - 탄성과 탐사자료에 대한 수치해석학적 분석을 통한 신기 지체구조 속도모델 제시
- 남극 맨틀 특성과 화산활동 기록복원
 - 질란디아-남극 중앙해령, Polar 3 지역 암석 및 지구화학 자료 확보
 - 빅토리아랜드 신생대 화산암류 성인 및 분출사 복원
 - 남극운석 연구로 달과 소행성의 표면물질 특성 규명
- 북빅토리아랜드 지체구조 진화
 - 남극권 맨틀의 기원 및 진화과정 모델 수립
 - 암석권 맨틀과 지각 메타소마티즘 특성과 주요 지질학적 사건의 변형기록 규명
 - 남극 빅토리아랜드 기반암 지질 역사 및 고태평양 섭입대 진화과정 규명

V. 연구개발결과의 활용계획

- 실제 남극환경 형성에 기여한 질란디아-남극 맨틀과 남극환경 간의 상호연관성 규명
- 북부 로스해 진화 및 동남극-서남극관 간의 지판운동 복원에 대한 새로운 모델 제시
- 남극 로스해 빅토리아 분지에 대한 정확한 해저지질구조 및 신기 지체구조 특성 제시
- 맨틀의 열분포가 빙권 거동에 미치는 영향의 모델링 입력자료로 활용
- 남극대륙 거점 확보로 다학제 국제 공동연구 주도
- 향후 남극대륙내 기득권 확보를 위한 종합 지질정보(자원분포, 잠재 자원량)확보
- 지구 온난화에 따른 남극해 해저환경변화 및 신기 지체구조 변동성 제시
- 남극 대륙 형성의 이해와 지질 환경 변화 예측
- 달·소행성 탐사 및 뉴스페이스 시대 대비를 위한 우주탐사 역량 강화
- 남극 및 주변 해양 지질·지구과학 연구를 통한 극지 과학영토 및 정책 기반 확충

S U M M A R Y

I. Title

Mantle dynamics and tectonic evolutions of Zealandia-Antarctic domain

II. Purpose and Necessity of R&D

- Identify the geophysical characteristics of the crust and upper mantle in the Zealandia - Antarctic mantle domain, Polar 3, and Northern Victoria Land
- To identify the geophysical characteristics of the crust and upper mantle in the Zealandia - Antarctic mantle domain, Polar 3, and Northern Victoria Land through acquisition and interpretation of diverse geophysical datasets from marine and terrestrial environments
- The newly discovered “Zealandia - Antarctic mantle,” identified through recent KOPRI-led studies, was the most fundamental cause of the present Antarctic environment by rifting Gondwana and separating Antarctica from Australia and Zealandia
- Because investigations to date have focused on the central part of the Zealandia - Antarctic mantle domain due to economic, temporal, and environmental constraints, understanding of the full distribution of this mantle remains insufficient. Therefore, additional expeditions and comparative studies with other regions are essential to clearly define the eastern and western boundaries and to understand the mantle’s properties, origin, and dynamics
- The structure, convection, and evolutionary processes of the mantle are the sources of crustal motions and tectonic processes; research on these topics can provide foundational data to proactively respond to various Earth system changes, including future climate change and natural disasters
- How the West Antarctic rift structure has developed and is connected along the boundary between the Victoria Land Basin and the north has not yet been clearly resolved, and a magnetic anomaly exceeding 1,000 nT, named Polar 3, has been identified along this boundary
- Identifying the precise formation mechanism and development history of Polar 3 is essential for interpreting the evolution of the West Antarctic rift system

and the tectonic framework of the East Antarctic continent

- To clarify the tectonic-structural evolution of Northern Victoria Land through studies of rocks occurring in Antarctica
- To characterize the Antarctic mantle and reconstruct records of volcanic activity through studies of Antarctic volcanism and meteorites
 - Revealing the formation processes of geological structures and rocks recorded in Antarctica, as outcomes of past geological activities, provides the most fundamental basis for understanding the Antarctic continent
 - The most prominent ongoing geological phenomenon in Antarctica is volcanic activity, and its interaction with the cryosphere (snow, ice, ice sheets) is critically important as one of the key factors influencing Antarctic ice-sheet dynamics and sea-level changes

III. Contents and Extent of R&D

- Evolution of the mantle and oceanic crust in the Antarctic mid-ocean ridge and the Ross Sea
 - Acquisition of seafloor rock samples and biological specimens through ROV exploration of hydrothermal vents on the mid-ocean ridge
 - Study of magma genesis and evolution through geochemical analyses of seafloor rock samples from the mid-ocean ridge and the spreading - rift zone
 - Research on environmental adaptation mechanisms and phylogeographic evolution of Antarctic hydrothermal organisms
 - Determination of the kinematic evolution of the spreading - rift zone and reconstruction of Pacific - Antarctic plate motions since the Late Miocene
 - Reconstruction of the evolution of the northern Ross Sea and plate motions between East and West Antarctica
 - Investigation of neotectonic structures and geophysical characteristics in the Ross Sea and Victoria Land Basin region
 - Determination of crustal velocity structure and thickness at Polar 3 observatory sites
 - 3D velocity-structure modeling of the crust/upper mantle extending north of Mount Melbourne volcano
- Cenozoic volcanism and tectonic-structural evolution in continental Victoria Land, Antarctica, and understanding of planetary science
 - Reconstruction of the genesis and eruption history of Cenozoic volcanism in Victoria Land, Antarctica
 - Elucidation of subduction-zone evolutionary history using high-pressure metamorphic rocks at terrain boundary zones
 - Interpretation of tectonic evolution and provenance of high-temperature

- metamorphosed sedimentary rocks in the Wilson Terrane
- Determination of crustal deformation history in Northern Victoria Land
- Characterization of lithospheric mantle metasomatism
- Understanding surface material characteristics of the Moon and asteroids using Antarctic meteorites

IV. R&D Results

- The first ROV-based exploration of the mid-ocean ridge, hydrothermal environments, and ecosystems around the Antarctic continental margin
- Identification of geophysical characteristics of the crust and upper mantle
 - Production of bathymetric maps and magnetic anomaly maps for the eastern and western offshore areas of the Zealandia - Antarctic mantle
 - Reconstruction of plate motions in the northern Ross Sea and spreading - rift zone
 - Construction of an onshore/offshore seismic observation network database and development of formation mechanism and evolutionary models for Polar 3
 - Acquisition of shallow and deep seismic profiles and interpreted sections for the Victoria Land Basin region in the western Ross Sea, Antarctica
 - Presentation of a neotectonic velocity model through numerical/analytical interpretation of seismic exploration data
- Characterization of Antarctic mantle properties and reconstruction of volcanic activity records
 - Acquisition of rock and geochemical datasets from the Zealandia - Antarctic mid-ocean ridge and the Polar 3 region
 - Reconstruction of the genesis and eruptive history of Cenozoic volcanic rocks in Victoria Land
 - Identification of surface material characteristics of the Moon and asteroids through Antarctic meteorite studies
- Tectonic-structural evolution of Northern Victoria Land
 - Establishment of a model for the origin and evolutionary processes of the Antarctic mantle
 - Identification of lithospheric mantle and crustal metasomatism characteristics and deformation records of major geological events
 - Clarification of the basement geological history of Victoria Land and the evolutionary process of the paleo-Pacific subduction zone

V. Application Plans of R&D Results

- Clarification of the interrelationships between the Zealandia - Antarctic mantle, which contributed to the formation of the present Antarctic environment, and Antarctic environmental conditions

- Proposal of a new model for the evolution of the northern Ross Sea and reconstruction of plate motions between East and West Antarctica
- Presentation of accurate submarine geological structures and neotectonic characteristics for the Victoria Basin in the Ross Sea, Antarctica
- Utilization as input data for modeling the influence of mantle heat distribution on cryosphere dynamics
- Leadership of multidisciplinary international joint research through securing an Antarctic inland hub
- Acquisition of comprehensive geological information (resource distribution, potential resource volumes) to secure strategic presence in Antarctica in the future
- Presentation of changes in seafloor environments of the Southern Ocean and neotectonic variability driven by global warming
- Improved understanding of Antarctic continental formation and prediction of geological environmental changes
- Enhancement of space exploration capabilities in preparation for lunar/asteroid exploration and the “NewSpace” era
- Expansion of the scientific territory and policy foundation for polar science through geological and geoscience research on Antarctica and surrounding oceans



C O N T E N T S

Chapter 1 Introduction -----	13
Section 1.1 Background and Necessity -----	13
Section 1.2 Objectives and Scope -----	19
Chapter 2 Domestic and International Status of Technological Development -----	36
Section 2.1 Domestic Technological Development Status -----	36
Section 2.2 International Technological Development Status -----	38
Chapter 3 R&D Implementation Contents and Results -----	49
Section 3.1. Research Contents -----	49
Section 3.2. Method -----	71
Section 3.3. Research Results -----	97
Section 3.4. Representative Results -----	149
Section 3.5 Supporting Evidence for Research Outcomes -----	177
Chapter 4 Degree of R&D Goal Achievement -----	232
Section 4.1. Research Goal -----	232
Section 4.2. Degree of Research Goal Achievement -----	240
Section 4.3 Records of Domestic and International Joint Research Collaboration --	248
Chapter 5 Application Plans of R&D Results -----	254
Section 5.1. Application Plans -----	254
Section 5.2. Expected Effect from Research Results -----	255
Chapter 6 References -----	259

목 차

제 1 장 서론	13
1.1절 연구개발의 필요성	13
1.2절 연구개발의 목표 및 내용	19
제 2 장 국내외 기술개발 현황	36
2.1절 국내 기술개발 현황	36
2.2절 국외 기술개발 현황	38
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	49
3.1절 연구내용	49
3.2절 연구수행방법	71
3.3절 연구결과 및 달성실적	97
3.4절 대표적 우수성과	149
3.5절 연구성과 증빙자료	177
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	232
4.1절 연구개발목표 성과 달성도	232
4.2절 정량적 연구성과 달성도	240
4.3절 국내·외 공동 연구협력 실적	248
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	254
5.1절 향후 연구방향	254
5.2절 성과 활용계획	255
제 6 장 참고문헌	259

제 1 장 서론



제 1 장 서론

1.1절 연구개발의 필요성

- 해양, 육상에서 다양한 지구물리 자료 확보, 해석을 통한 질란디아-남극 맨틀, Polar 3 및 북빅토리아랜드의 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악
- 남극대륙의 화산, 운석연구를 통해 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원
- 남극대륙에 산출되는 암석 연구를 통해 북빅토리아랜드 지체구조 진화 규명

1. 남극대륙 연구 일반적 측면

- 남극대륙은 남극조약 서명국들에 의해 기후변화대응, 미래자원확보 등 당면한 지구적 문제 해결을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있음
- 한편 남극 얼음 밑에 숨겨진 미지의 환경과 지질에 대한 순수한 지적 호기심을 기반으로 한 연구도 선진국 중심으로 수행 중임
- 지금 남극에서 가장 영향력이 있고 각종 이슈에 대해 리더십을 발휘하고 큰 목소리를 내는 국가는 이와 같은 과학 활동, 특히 국제 공동연구를 활발하게 수행하거나 이를 지원하는 대규모 지원 시스템을 구축한 나라들임. 과학 활동만이 유일하게 남극에서의 발언권과 영향력을 확대하게 하는 수단이라 할 수 있음
- 과거 7개국(칠레, 아르헨티나, 영국, 노르웨이, 호주, 프랑스, 뉴질랜드)이 주장하던 남극대륙에 대한 영유권은 남극조약(1959)으로 유보된 상태임. 하지만 이들 국가들은 여전히 자신들의 영유권을 주장하는 지역에서 주로 활동하며 보이지 않게 존재감을 나타내고 있음

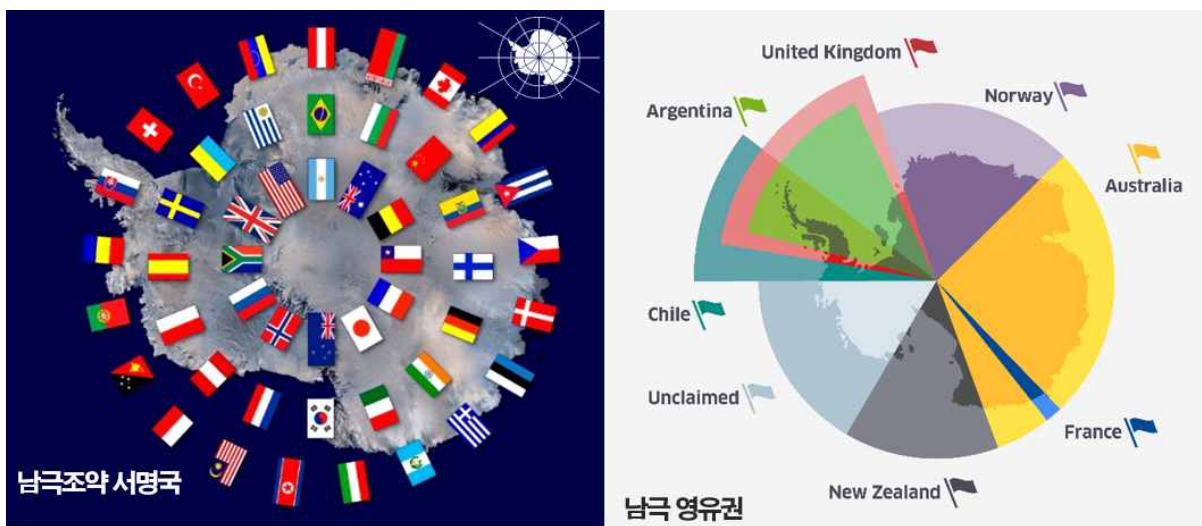


그림 1. (왼쪽) 남극조약 서명국, 원으로 배열한 국기들 중 가장 안쪽의 12 국가가 최초 서명 국가임.
(오른쪽) 남극 영유권을 주장하는 7개 국가와 그 범위

- 남극대륙의 면적은 약 14,000,000 km²로 한반도 면적의 약 62배에 달함. 이중 눈과 얼음으로 덮이지 않은 암석 노출지 비율은 2%(약 280,000 km²)에 지나지 않음. 이 중 70%가 남극종단산맥에 집중적으로 분포함
- 남극종단산맥은 남극대륙을 남북으로 가로지르며 발달한 총 길이 3,000 km의 산맥으로 대서양쪽 끝은 펜사콜라 산맥에 해당하며 태평양쪽 끝은 빅토리아랜드임
- 로스해에 인접한 해안 지형, 험준한 산악 지형, 드라이밸리와 같은 사막 지대, 화산 지대 등 다양한 지형을 보여줌
- 과거와 현재의 지질현상에 의해 다양한 암석(광상, 석탄 등 포함)이 노출되어 있어 남극대륙 지질연구의 최적지이며, 노출면적, 바다로부터의 접근성 등을 고려할 때 미래 남극자원개발의 중심지로서 중요함



그림 2. 남극종단산맥의 지형적 특성과 지질학적 특징

2. 경제·산업적 측면

- 미래 남극대륙에서 가장 큰 경제·산업적 이슈는 남극대륙에 존재하는 자원을 개발할지에 대한 논의임. 자원을 개발한다면 천연의 남극자연환경을 어떻게 보존하면서 지속 가능한 개발을 할 것인지가 가장 큰 논점이 될 것임. 그 이후에 이루어질 어떤 자원을 누가 어떻게 개발할 것인지에 대비하는 가치 있는 지질정보 확보와 이를 활용할 수 있는 시스템구축이 필요함
- 이와 같이 남극대륙의 미래를 대비하기 위한 정보를 수집하는 데에는 남극의 과거와 현재 지질현상에 대한 이해가 필수적으로 이루어져야 함

3. 과학적 측면

- 최근 극지연구소 주도의 연구를 통해 새롭게 발견된 “질란디아-남극 맨틀”은 과거 곤드와나 대륙을 균열시키고, 남극대륙을 호주와 질란디아 대륙에서 분리시킴으로써 현재의

남극환경을 만드는 가장 근본적인 원인이 되었음 (그림 3 & 4) [Park et al., 2019, Nature Geoscience]

- 질란디아-남극 맨틀 영역 내의 호주-남극 중앙해령은 해양 및 지질 연구에 선도적인 역할을 해 온 국가들과 지리적으로 먼 거리에 위치하고 있을 뿐 아니라 거친 해황으로 인해 연구수행에 어려움이 많은 지역으로서 그동안 과학적 연구의 미답 지역이었으나, 최근 쇄빙선 아라온호를 활용한 극지연구소 주도의 연구를 통해서 지구물리, 지구화학, 생물학적인 다양한 연구결과들이 보고되고 있으며 향후 추가적인 연구를 통해 보다 체계적이고 수준 높은 성과를 기대하게 함
- 질란디아-남극 맨틀 영역 내의 호주-남극 중앙해령 주변에서는 남극 해저 환경에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 “무진 열수 분출구” 등 열수 분출 작용과 함께 새로운 생명체가 발견된 바 있음 [Hahm et al., 2015, G-cubed]
- 호주-남극 중앙해령 주변의 해저 지형과 빙하주기 및 해수면 변동이 상호 관련되어 있을 가능성이 확인된 바 있음 [Crowley et al., 2015, Science]
- 호주-남극 중앙해령을 남쪽 경계로 하여 호주판 내부에 위치한 맥쿼리판의 생성 시기 및 주변 지각판들 간의 상대운동과 진화과정의 이해에 기여함으로써 향후 질란디아-남극 맨틀의 판구조적 진화와 관련된 연구에 중요한 자료로 활용될 수 있음 [Choi et al., 2017, EPSL]
- 질란디아-남극 맨틀 영역 내에는 많은 해저산들이 분포하고 있음이 확인되는데, 남극 주변의 지형과 진화에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단됨. 또한 해저산에는 다양한 생명체들이 분포하고 있음을 탐사를 통해 확인한 바 있음

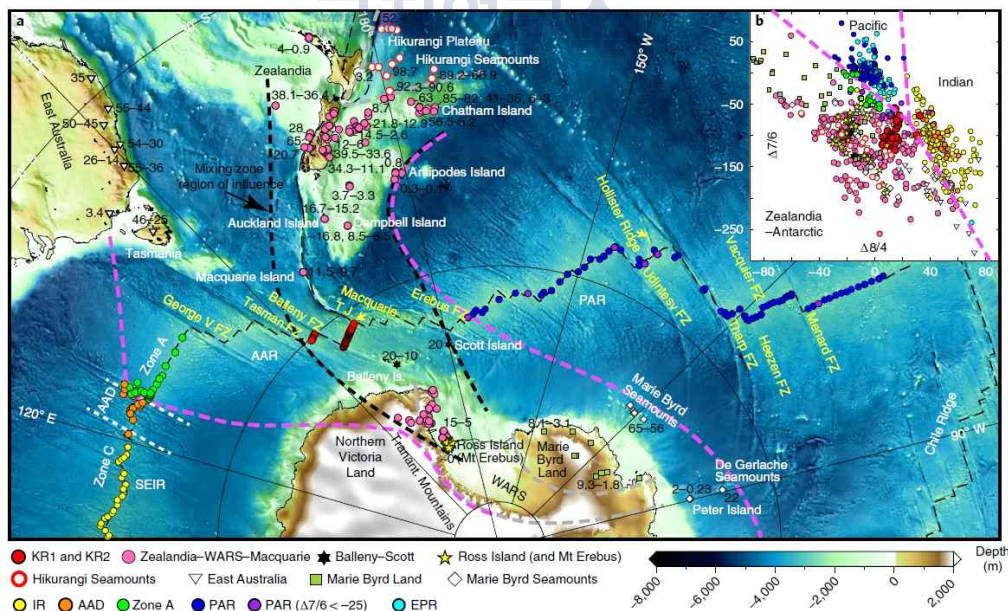


그림 3. (a) 검은색 점선으로 표시된 “질란디아-남극 맨틀”의 대략적인 영역 [Park et al., 2019, Nature Geoscience]. (b) 인도양 및 태평양 타입의 맨틀과 독립적으로 구분되는 “질란디아-남극 맨틀”의 지화학적 특성

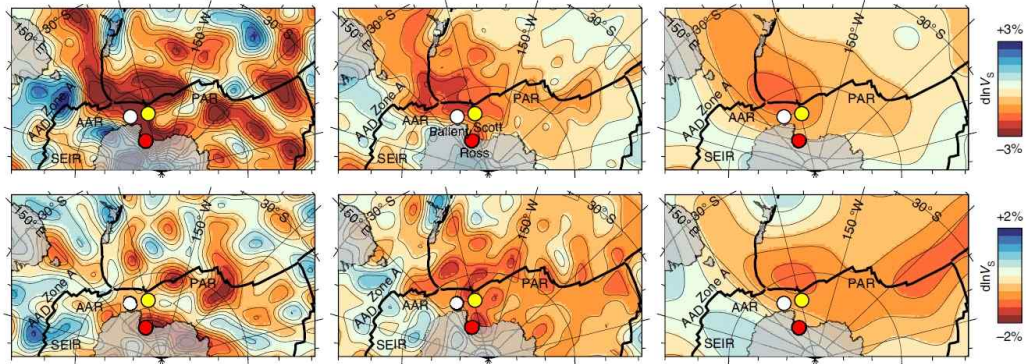


그림 4. 깊이(Top: depths of 250 km, Bottom: 600 km)에 따른 지진과 토모그래피 모델: 태평양과 인도양 사이에 독립적으로 존재하는 질란디아-남극 맨틀은 뉴질랜드-호주-남극이 하나로 이루어져 있었던 곤드와나 대륙의 break-up을 유발한 초대형 플룸에서 기원하였을 것으로 추정하며, 현재에도 상대적으로 온도가 높고 유동성이 크기 때문에 대륙의 rifting에 영향을 주는 것으로 생각됨 [Park et al., 2019, Nature Geoscience]

- 맨틀의 구조, 대류 및 진화 프로세스는 지각의 이동 및 지구조적 작용의 근원이 되며, 이에 대한 연구는 미래의 기후변화와 자연재해 등을 비롯한 다방면의 지구 변동에 적극적으로 대처할 수 있는 자료를 제공할 수 있음
- 현재까지 수행된 탐사 및 연구는 경제적, 시간적, 환경적 제약으로 질란디아-남극 맨틀 영역의 중앙부에 집중되었기 때문에 이 맨틀의 분포 영역에 대한 이해가 여전히 부족한 실정임. 따라서 새롭게 발견된 질란디아-남극 맨틀의 동편 및 서편 경계를 명확히 규명하고, 맨틀의 특성, 기원 및 운동에 대해 이해하기 위해서는 추가적인 탐사와 함께 다른 지역과의 비교연구가 반드시 필요한 상황임
- 서남극 열개구조는 길이 ~3,000 km, 폭 ~700 km에 달하는 남극에서 가장 큰 지체구조 중 하나이며, 서남극 열개구조의 서쪽 측면으로는 남극종단산맥이 발달하고 있음. 또한 테라노바만을 기점으로 남쪽으로는 빅토리아랜드 분지(VLB in 그림 5a), 북쪽으로는 북분지(NB in 그림 5a)지역에 복잡한 형태의 정단층 계(system)를 이루고 있음 (그림 5a)

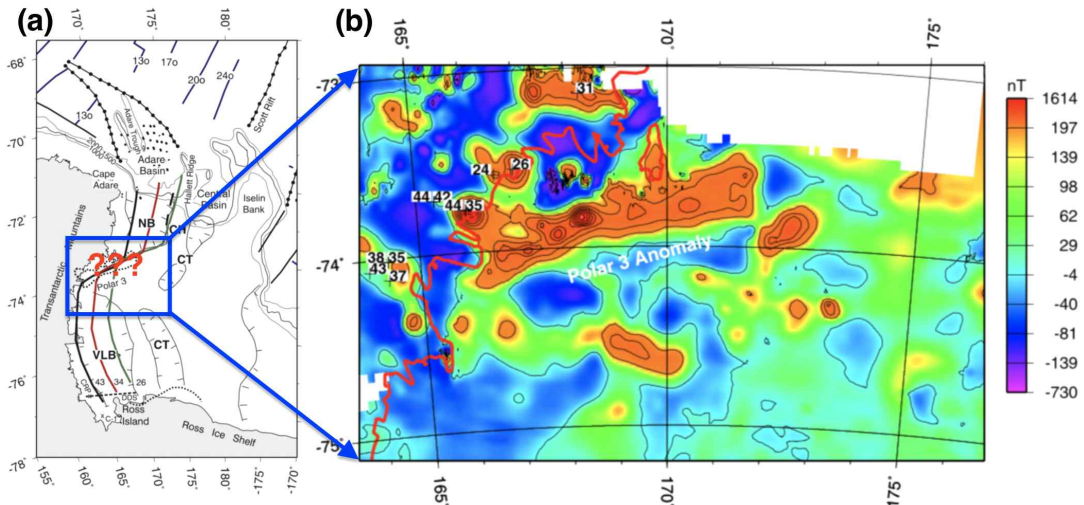


그림 5. (a) 서남극 열개구조의 서쪽 측면 시간적 위치 모델(서쪽부터 42, 34, 28 Ma) [Davey et al., 2006]과 Polar 3 자기이상 위치 (NB: Northern Basin; VLB: Victoria Land Basin; CT: Central Trough). (b) 로스해 지역 자기 이상도 [Bosum et al, 1989]. 관입암의 연대는 Ma 단위임 [Rocchi et al, 2002].

- 하지만, 빅토리아랜드 분지와 북부의 경계에서 어떻게 서남극 열개구조가 발달되어 연결되어 있는지는 아직까지도 명확하게 밝혀지지 않았고, 그 경계에서 Polar 3라는 1,000 nT 이상의 자력이상(magnetic anomaly)이 발견됨 (그림 5b). Polar 3 자력 이상 또한 어떻게 형성되었는지, 그리고 남과 북에 발달된 서남극 열개구조의 형성과 진화에 어떠한 영향을 주었는지 명확하지 않음

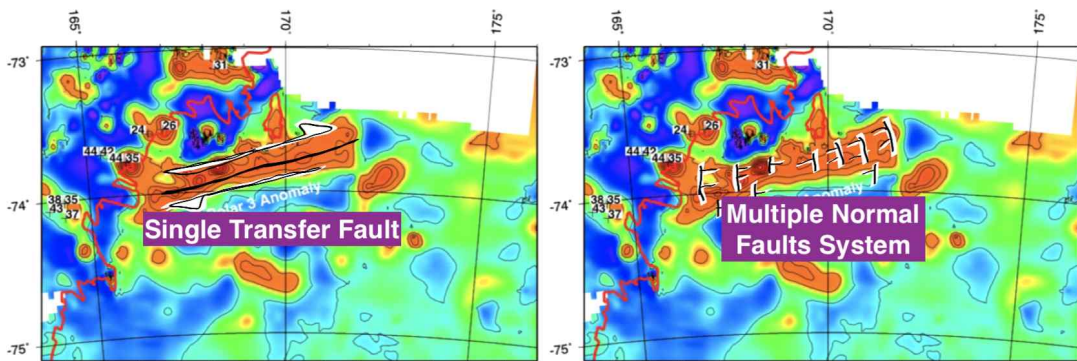


그림 6. Polar 3 자기이상의 형성 원인과 테라노바만을 경계로 남·북으로 이어지는 서남극 열개구조의 연결 모델: 중앙해령과 흡사한 하나의 변환단층(Transfer fault) 모델(a)과 여러 개의 정단층 시스템 모델 (b).

- 현재까지의 Polar 3 자기이상의 결과로는 그림 6과 같이 두 개의 모델을 제안할 수 있음. 하나는 중앙해령과 흡사한 변환단층에 의한 마그마의 관입과 분출에 의한 모델(그림 6a), 그리고 여러 개의 정단층들로 이루어진 모델임(그림 6b)
- Polar 3의 마그마 관입의 깊이는 대략 12 km [Davey et al., 2006]으로 유추되고 있으나, 이 두개 또한 다른 연구지역(로스섬)의 결과를 인용함
- 정확한 Polar 3의 형성 원인과 발달 과정의 규명은 서남극 열개구조의 진화 과정과 동남

극 대륙의 지체구조 해석에 반드시 필요함

- 앞에서 살펴본 바와 같이 남극대륙 지질학 연구는 그 활동영역과 결과를 통해 미래 남극 대륙에 대한 발언권을 확보케 하는 국가적으로 중요한 과제임
- 이전 과제에서 다양한 지질학분야의 기초 연구를 통해 남극대륙 지질연구의 가능성을 타진해 봤다면, 그 다음 단계에서는 다양한 연구주제들을 하나의 줄기로 엮는 것이 필요함
- 남극은 운석의 대부분(약 80%)과 혜성 기원의 우주먼지가 발견되는 우주물질의 보고로써 지구의 기원과 진화는 물론 미래 우주탐사의 기반 연구를 위한 필수 지역임
- 남극대륙이 겪어온 과거 지질활동의 결과로 남극대륙에 기록된 지질구조와 암석의 형성 과정을 밝히는 것은 남극대륙 땅덩어리를 이해하는 가장 밑거름이 됨
- 현재 남극에서 일어나고 있는 가장 눈에 띄는 지질현상은 화산활동이며, 눈, 얼음, 빙상 등 빙권과의 상호작용은 초미의 관심사인 남극 빙상의 거동과 해수면 변동에 영향을 끼치는 주요 요소 중 하나로서 중요함



그림 7. 남극에 기록된 지구나 남극대륙의 역사. 남극대륙 운석은 태양계와 지구의 초기 조건을 기록하고 있음. 남극중단산맥의 여러 암석은 남극대륙의 형성에 대한 기록을 가지고 있음. 그 중심에는 지질시대에 걸친 화산활동기록이 있음. 현재 남극은 활발한 화산활동이 일어나는 지역 중 하나임

1.2절 연구개발의 목표 및 내용

1. 최종 및 단계별 성과목표

1.1. 최종목표

- 질란디아-남극권 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악
- 남극 맨틀 특성과 화산활동 기록복원
- 북빅토리아랜드 지체구조 진화 규명

1.2. 성과목표

(1) 1단계 성과목표(2020.01.01 ~ 2022.12.31)

- 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악
 - 해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득
 - 중앙해령 주변 해저화산 지구물리 자료 분석
 - 관측망 구축 및 연속 지진자료 DB
 - 육상/해저 지진관측소 기본자료 분석
- 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원
 - 화산암류 지화학 분석
 - 화산분출사 복원모델
 - 해저면 암석시료 획득
 - 소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 화산 기작 규명(동위원소 화산 모델링)
- 북빅토리아랜드 지체구조 진화
 - 판구조적 속도구조/지자기연대 모델링
 - 포획암의 변형 모델 수립
 - 암석절대연령측정
 - 장보고기지기반 변성·화성기반암과 화산연구를 통한 남극 빅토리아랜드의 형성과 진화사 규명
 - 암석 및 운석 DB 구축, 분류, 등록, 정보공개

(2) 2단계 성과목표(2023.01.01 ~ 2025.12.31)

- 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화
 - 중앙해령 열수분출구 ROV 탐사를 통한 해저면 암석 및 생물시료 등 채취
 - 중앙해령 및 확장-균열대로부터의 해저면 암석시료 지화학 분석을 통한 마그마 성인 및 진화 연구
 - 남극 열수 생물의 환경 적응 기작 및 계통 지리적 진화 연구
 - 확장-균열대 지역의 운동역학적 진화 과정 규명 및 후기 마이오세 이후 태평양-남극판 간의 지판운동 복원
 - 북부 로스해 진화 및 동남극-서남극판 간의 지판운동 복원
 - 남극 로스해 및 빅토리아랜드 분지 지역 신기 지체구조 탐사 및 지구물리적 특성 연구
 - Polar 3 지역 관측소 지각 속도 구조 및 두께 결정
 - 펠버른화산 북부로 확장한 3차원 지각/상부맨틀 속도 구조 모델링
- 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해
 - 남극 빅토리아랜드 신생대 화산활동 성인과 분출 역사 복원
 - 터레인 경계부 고압 변성암류의 섭입대 진화사 규명
 - 윌슨 터레인 고온 변성퇴적암류의 지구조진화 및 기원지 해석
 - 북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명
 - 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악
 - 남극운석을 이용한 달과 소행성의 표면물질 특성 이해

2. 연차별 연구목표 및 내용

(단위 : 천원)

구분	년도	성과목표	연구내용	연구범위	연구비(직접비)
1단계 1차년도	2020	질란디아-남극 맨틀의 동편 경계 규명	○ 19/20 남극탐사에서 획득한 균열대 해저지형 및 해양지자기 탐사 데이터를 활용하여 기초연 구 진행 ○ 19/20 탐사를 통해 균열대 내의 5개 이상 정점에서 채취한 해저면 암석시료에 대한 기초연 구 진행	-19/20 탐사에서 획득한 해저지형 및 해양지자기 데이터 활용 기초연구진행 -19/20 탐사에서 5개 이상의 정점으로부터 채취한 암석시료 활용 기초연구진행	210,000
		맨틀 고유의 특성 및 기원 규명	○ 해저화산 지형 및 분포도, 지자기 이상도 - 중앙해령 및 해저화산 암석 시료 채취 - 기획특한 10개의 맨틀포획 암 샘플에 대한 EBSD 데이터 획득	-중앙해령 주변 해저화산 분포 및 지자기 연대 모델 제시 -기획특한 맨틀포획암 10개에 대한 EBSD 분석	210,000
		육상/해저면 지진관측망 구축	○ 해저면 지진계 5곳 설치 ○ 해저면 지진계 방위각 편차 보정	-육상지진계 단열하우징과 전원 시스템 구축 (5set 이상) -최적의 속도구조 모델링과 주변 지진 관측을 위한 관측망 위치 결정 -원격지진의 표면파를 이용한 지진계방위각 보정 방법 개발	350,000 (육상지진계 7 set 구매)
		지각 및 상부맨틀 속도 구조	○ 연속 지진관측 자료 및 원 격 지진 DB 구축	-Seiscomp3를 이용한 지진파형 DB	300,000 (Sonobuoy 탐사 시스템 구매,

			○ 관측망 배열에 대한 최적의 모델 격자 구조	및 원격지진 지진 목록 DB 구축 -표면파와 실체파 모델링을 위한 격자 구조 모델 결정 -Polar 3 주변 정밀 해저 지형도 작성 -4기 주요과제 연구결과 논문 작성 및 투고 -Sonobuoy 굴절과 분석 방법 개발	아래온 10일)
		화산암 분석	○ 19-20 현장조사에서 확보된 화산암 분석	-화학 조성 특징 분석	85,000
		남극 북빅토리아랜드 형성과 신생대 화산활동 기록복원	○ 주요 변성암/화성암체 절대연령 분석 및 온도-압력 조건 계산 ○ 멜버른, 리트만 화산의 최근 분출사 복원을 위한 OSL 절대연령 자료 획득 및 층서 정립	-지질조사, 시료채취 -중광물 연대측정 -지구화학 -테프라 층서 -휘발성 성분	400,000
		소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 화산 기작 규명	○ 카보네이셔스 콘드라이트의 불활성기체 동위원소 분석 ○ 운석 모천체 물질에 미치는 태양풍, 우주선의 영향 평가 및 노출연대 계산	-CK 콘드라이트 -방사성 동위원소	200,000
		남극지질·운석정보 활용기반 구축	○ 남극 암석시료 관리 시스템 공개 및 운영 ○ 미분류된 남극운석의 암석학적, 광물학적 기재를 통한 분류 ○ 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개	-시스템 관리 -20개 이상 분류 -Gigapixel 이미지 제작 및 공개	100,000
1단계 2차년도	2021	지각 및 상부맨틀의 지구물리적 특성 파악	○ 3차원 지각/상부 맨틀 속도 구조 모델 개발	-원격지진 파형 DB을 이용한 3차원	586,000

		○ 해저 천부 지각 구조 연구 ○ 해상 자력계 탐사 ○ Orca 화산 지역 다중빔 지형도 작성 ○ 해저면 지진 관측망 구축 ○ 연속지진자료 획득	속도모델 개발 (200*150km) -해상 자력탐사를 통한 정밀 자력 프로파일 작성 -Orca 화산 지역 다중빔 지형도 작성 -해저면 지진관측망 구축 -국지지진 자동 탐지·위치결 정 시스템 구축 -지형 및 지자기 자료 획득	
남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원	○ 소형 단성화산들 전암, 동위원소 자료 획득과 분화특성 연구 ○ 펠버른, 리트만 최근 분화산물 분출사 복원을 위한 정밀연대 측정(⁴⁰Ar/³⁹Ar, OSL 연대) 및 자료해석 ○ 펠버른, 리트만 화산분화 예측을 위한 화산가스 성분변화 연구 ○ 중앙해령, 균열대, 해저화산 지역 암석시료 채취 ○ 오디너리 콘드라이트 구성 광물의 광물학적 분석 ○ 열변성에 의한 광물간 원소 이동과 그에 따른 조성 변화 ○ 미분류 남극운석 중 20개 이상 분류	-화산물질 지구화학 -연대측정 -화산가스 -열변성 광물의 화학조성/광 물구조 -화학조성 변화 -20개 이상 분류	586,000	
북빅토리아랜드 지체구조 진화	○ 주요 암석의 기본 화학분석 및 데이터베이스 기재 ○ 맨틀포획암 암석학적 기재 및 형성 평형온도 계산	-EPMA, EBSD 분석 -중광물 연대측정 -광물화학, 온도-압력	587,000	

			○ 월슨-바워스 터레인 경계부 및 주변 암석 절대 연령 분석 (U-Pb 저어콘, 모나자이트 등) ○ 월슨-바워스 터레인 경계부 암석 변성 온도·압력 조건 계산(지온지압계, 열역학 모델링) ○ 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개	- 조건 -시스템 관리 -Gigapixel 이미지 제작 및 공개	
1단계 3차년도	2022	지각 및 상부맨틀의 지구물리적 특성 파악	○ 균열대 및 주변의 지형과 판구조적 분포 연구 ○ 육상/해저면 지진관측망 유지·보수·확장 ○ 연속지진자료 획득 ○ 관측망 주변소음 분석 ○ 3차원 지각/상부 맨틀 속도 구조 모델 ○ 관측소 하부 지각두께와 평균 속도 결정 ○ Polar 3 지역 지각/상부맨틀 정밀 속도 모델링	-지형 및 지자기 자료 분석을 통한 판구조 모델 구상 - 탄성과 자료 분석 및 단면도 작성 -지진관측망 자료 획득 및 관측망 유지 보수 -지진 관측소의 온도·전원상태 분석 -국지지진 목록 작성 -관측망의 연간 PDF 작성 및 계절간의 소음 변화 분석 -원격지진 파형 DB을 이용한 3차원 속도모델 개발 (200*150km) -Sonobuoy/다중채널 탐사를 통한 Polar 3 지역 정밀 속도 프로파일 작성 -해상 자력 탐사를 통한	586,000

				정밀 자력 프로파일 작성 -Polar 3 지역 정밀 해저면 지형도 작성	
		남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원	○ 멜버른, 리트만 화산대 마그 마 성인과 진화과정 규명을 위한 동위원소(Sr-Nd-Pb-Hf) 특성 연 구 ○ 중앙해령, 균열대 및 해저 화산 암석시료 분석 ○ 카보네이셔스 콘드라이트 구성광물의 동위원소 분석 ○ 우주공간에서 고온에서 단 시간에 일어나는 동위원소 분 별과 화산 모델링 ○ 소행성에서 상대적으로 저 온에서 장기간 일어나는 동위 원소 화산 모델링	-마그마 동위원소 특성 -동위원소 분석 -고온 화산 모델링 -저온 화산 모델링	586,000
		북빅토리아랜드 지체구조 진화	○ 균열대 및 주변의 지형과 판구조적 분포 연구 ○ 맨틀포획암 EBSD 분석 및 지구조 모델 기획 ○ 장보고 기지 주변 변성암· 화성암 시료 절대 연령 분석 (U-Pb 저어콘, 모나자이트 등) ○ 변성기반암류 온도-압력 조 건 계산 및 열역학 모델링 ○ 로스 조산운동을 전후로 신 원생대-고생대 지체구조모델 도출 ○ 주요 암석의 기본분석 및 데이터베이스 기재 ○ 미분류된 남극운석의 암석 학적, 광물학적 기재를 통한 운 석학회 정식 등록 ○ 연구가치가 높은 남극운석 의 초고해상도 이미지 제작 및 공개	-맨틀의 물리화학적 특성 분석 -중광물 연령측정 -변성암석학적 계산 -시스템 관리 -20개 이상 분류 -Gigapixel 이미지 제작 및 공개	587,000
2단계 1차년도	2023	남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	○ 무인잠수정(ROV) 탐사 수 행, 영상 및 해저면 암석, 생물	-열수분출구 등 심해환경 및 생태계	

			시료 획득 ○ 열수 및 심해 생물의 유전자 정보 확보	영상자료 확보 -열수 및 심해환경 암석시료 획득 -열수 및 심해 생물자원 확보, 유전체 정보 획득	
			○ 호주-남극 중앙해령 동편 대형 확장-균열대 지역에 대해 축적된 해저지형 및 해양 지자기 자료 처리 및 분석	- 확장-균열대 지역의 지형 및 지자기 자료에 대한 그림/그래프 자료 2건 이상	
			○ 북부 로스해의 센트럴분지 지역에서 획득된 바 있는 해저 지형 및 해양 지자기 자료 처리 및 분석	- 센트럴분지 지형 및 지자기 자료에 대한 그림/그래프 자료 2건 이상	
			○ 이태리 OGS에서 보유하고 있는 로스해 빅토리아랜드 분지 지역 원시 탄성과 자료 입수 ○ 신기 지체구조 연구를 위한 구조보정 탄성과 단면 구축	-국제협력을 통한 원시 탐사자료 확보 및 자료처리 수행	100,000
			○ 리트만화산 부근 및 해저면 지진관측소 구축 및 연속지진 자료 DB구축 ○ 해저면 지진계 자료활용을 위한 수평성분 방위각 보정 ○ 관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 연구 ○ 세종기지 초광대역 지진관측소 유지/보수 및 해저면 지진계 회수	-육상 지진계 단열하우스/전원시스템 제작 -원격지진파를 이용한 지진계 방위각 보정 -육상 및 해저면 지진관측소 하부의 속도와 모호면 깊이 연구 -세종기지 지진관측소 실시간 자료 전송 시스템 유지/보수 및 해저면 지진계 회수	500,000
		남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	○ 북빅토리아랜드 국부 화산군 야외조사 및 시료 획득 ○ 국부 화산군 시료 전암 지구화학자료 획득 ○ 화산암 연대 측정($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)	-지질조사, 시료채취 -지구화학 자료해석 -절대연령 자료	
			○ 변성암류의 정밀연대측정	-중광물 우라늄-납	

			을 통한 변성, 퇴적시기 제한 ○ 저어콘, 석영 등의 산소동위원소 조성 분석을 통한 암석 생성환경 정보 획득 ○ 윌슨-바워스 터레인 접합과정의 단계별 시기 제한을 통한 지구조환경 및 유체활동 재구성	연대측정 -암석 형성의 유체활동, 지구조환경 유추 -대륙호환경의 압축운동 동안의 지질역사 이해	
			○ 북빅토리아랜드 지각 변형 역사 규명 ○ 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악	-실외답사 -전암 주성분원소 분석	
			○ 달운석 스펙트럼 분석 ○ 달의 표면물질 특성 연구 ○ 운석 분류 등록	-달운석 DEW 12007의 각종 스펙트럼 분석(반사, 라만, XRD, X-ray 등)	200,000
			○ 남극운석탐사	-엘리펀트 모레인 지역 운석탐사	200,000
2단계 2차년도	2024	남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	○ 중앙해령, 확장-균열대 및 열수 환경에서 확보된 암석 시료에 대한 지화학분석 진행	-암석시료 지화학분석 진행 (XRF, EMPA 등)	
			○ 심해 생물의 유전체 서열 확보 ○ 심해 적응 기작 관련 유전자 확보	-심해생물의 유전체정보 획득 및 분석 -심해적응기작 관련 유전자 발굴	
			○ 확장-균열대 지역에 대한 추가적인 해양지구물리 탐사 수행 ○ 해저지형 및 해양 지자기 자료 처리 및 분석	-100 km 이상의 측선에 대해 해저지형, 해양지자기 자료 획득 -지형 및 지자기 자료에 대한 그림/그래프 자료 2건 이상	
			○ 북부 로스해의 센트럴분지 지역에서 획득한 해저지형 및 지자기 자료 분석 ○ 센트럴분지의 운동역학적 진화과정 및 주변 지판운동에	-센트럴분지 해저지형 및 지자기 자료 분석 -센트럴분지의 초기 진화과정을	

			대한 모델 수립	설명할 새로운 모델 제시	
			○ OGS에서 입수한 탄성과 자료에 대한 파형역산 알고리즘 적용, 고정밀 지하 속도모델 구축 ○ 속도모델, 구조보정 단면 정밀해석을 통한 신기 지체구조 특성 규명	-파형역산 알고리즘을 통한 정밀 탄성과 속도모델 구축 및 해석	200,000
			○ 확장된 지각/맨틀 3차원 속도구조 모델 연구 ○ 세종기지 실시간 지진관측 서버 유지/보수 ○ 해저면 지진관측소 유지/보수, 해저 지열, 해상 자력계 및 다중빔 지형도 탐사 수행	-원격지진파형 DB을 활용한 3차원 속도 모델 개발 -세종기지 실시간 지진 감시 서버 업그레이드 -해저면 지진관측망 유지보수 -지형 및 지자기 자료 획득	500,000
			○ 북빅토리아랜드 국부 화산군 분류 ○ 국부 화산군 시료 전암 동위원소 자료 획득 ○ 화산암 연대 측정($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)	-지질조사 -지구화학자료 해석 -절대연령 자료	
			○ 변성암류의 정밀연대측정 등을 통한 변성, 화성, 퇴적시기 제한 ○ 광물의 산소동위원소 조성 분석을 통한 암석 생성환경 정보 획득 ○ 변성암류의 주요 광물 화학 조성 분석 및 압력-온도 계산	-중광물 우라늄-납 연대 및 희토류원소 조성 분석 -변성작용 단계별 시기 및 섭입대 물질순환 이해 -지온지압계, 열역학 모델링	
			○ 북빅토리아랜드 지각 변형 역사 규명 ○ 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악	-미구조 측정 -전암 희토류원소 분석	
			○ HED 운석(유클라이트, 디오제나이트) 스펙트럼 분석 ○ 소행성 Vesta 또는 Vestoid의 표면 물질 특성 연구 - 운석 분류	-HED 운석의 각종 스펙트럼 분석 (반사, 라만, XRD, X-ray 등)	200,000
		남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해			

2단계 3차년도	2025	남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	○ 중앙해령, 확장-균열대 및 열수 환경에서 확보된 암석 시료에 대한 지화학분석 진행	-암석시료 지화학분석 진행 (XRF, EMPA 등) -마그마성인 및 진화, 맨틀 특성 파악	
			○ 심해 적응/진화 기작 규명	-심해적응기작 유전자 발굴 및 유전자 기능/구조 분석	
			○ 확장-균열대에서 획득한 해저지형 및 지자기 자료 분석 ○ 확장-균열대 지역의 운동역학적 진화과정 및 주변 지판운동에 대한 모델 수립	-확장-균열대 해저지형 및 지자기 자료 분석 -확장-균열대의 생성과 진화과정을 설명할 새로운 모델 제시	
			○ 남극 로스해 지구물리탐사 (남극 로스해 빅토리아랜드 분지 혹은 로스해 동쪽 미답해역 대상) ○ 탐사자료 분석을 통한 신기 지체구조 특성 규명	-신기 지체구조 특성 규명을 위한 심부 혹은 천부 탄성과 자료, 해저지형, 해저지열 관측	500,000
			○ 화성암 연대 측정 ○ 신규 지진관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 도출 ○ Polar 3 자기이상 형성 모델 연구 ○ 북빅토리아 지역 맨틀 3차원 밀도 모델 연구	-화성암 분출된 시기 도출 -지각 속도 및 모호 깊이 규명 -Polar 3이 형성된 지체구조 모델 개발 -3차원 모델 개발	500,000
		남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	○ 북빅토리아랜드 국부 화산군 분류 체계 재설정 ○ 국부 화산군 성인 규명 ○ 화산암 연대 측정($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)	-지구화학자료 해석 -마그마 특성 규명 -절대연령자료	
			○ 변성암류의 정밀연대측정을 통한 변성, 화성, 퇴적시기 제한 ○ 광물의 산소동위원소 조성 분석을 통한 암석 생성환경 정보 획득 및 퇴적 기원지 분석	-중광물-우라늄-납 연대측정 -기원지, 유체활동, 지구조환경 분석 -지온지압계, 열역학	

			○ 변성암류의 조산운동 동안의 압력-온도-시간-지화학적 진화과정 종합적 규명	모델링	
			○ 북빅토리아랜드 지각 변형 역사 규명 ○ 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악	-변형기작 규명 -지화학 특성 해석	
			○ 콘드라이트 스펙트럼 분석 ○ 원격탐사 자료와 비교 연구 ○ 운석 최종 분류 및 운석학회 등록	-콘드라이트의 각종 스펙트럼 분석(반사, 라만, XRD, X-ray 등)	200,000



3. 연차별 연구개발로드맵

3.1. 총연구기간 로드맵

남극권 맨틀활동과 지체구조진화 연구						
단 계		1단계			2단계	
연 도		2020	2021	2022	2023	2024 2025
세 부 주 제	지각 및 상부맨틀 속도 구조	질란디아-남극 해저지형, 탄성파 자료 획득				
		해저지형도 및 지자기 이상도 작성	지형 및 지자기 특성 규명		판구조적 특성 규명 및 모델 제시	
		지진파 관측망 구축		관측소별 자료 회수 및 KPDC 업로드		
		육상/해상 지진관측서 센서 보정		Polar 3 생성 원인 모델 제시		
	남극맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원	멜버른, 리트만화산 분출사 복원		활화산 모니터링과 분화 예측 기술 개발		
		멜버른, 리트만 마그마와 화산가스 지구화학 특성 규명		멜버른 화산 분출 모델링		
		질란디아-남극 맨틀 시료 채취 및 지하화 분석자료 확보				
		콘드라이트의 동위원소 연구		남극운석의 함수광물과 유기물 분석 기술 개발		
	북빅토리아랜드 지체구조 진화	질란디아-남극 맨틀 시료 채취			암석권맨틀 메타소마티즘 특성 규명	
		맨틀암석 진화모델			주요암체의 지질정보 획득	
		북빅토리아랜드 지체구조 형성 모델			빅토리아랜드 지체구조 진화 모델	
		남극암석 및 운석 데이터축적 및 홈페이지 등록				

3.2. 1단계 로드맵

남극권 맨틀활동과 지체구조진화 연구 1단계 로드맵			
연 도		2020	2021 2022
세 부 주 제	지각 및 상부맨틀 속도 구조	질란디아-남극 해저지형, 탄성파 자료 획득	
		지진파 관측망 구축	관측소별 자료 회수 및 KPDC 업로드
		육상/해상 지진관측서 센서 보정	관측소별 자료 회수 및 KPDC 업로드
		해저지형도 및 지자기 이상도 작성	지형 및 지자기 특성 규명
	남극맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원	화산암류 지하화 자료 확보	
		멜버른, 리트만화산 분출사 복원	증서 모식도 작성
		질란디아-남극 맨틀 및 빅토리아랜드 시료 채취	
		콘드라이트의 미량원소 연구	콘드라이트의 동위원소 연구
	북빅토리아랜드 지체구조 진화	판구조 모델링	
		맨틀포획암 기초자료(열평형온도, EBSD 등) 획득	암석권맨틀 진화모델
		주요암체의 지질정보(연대, 변성온도압력 등) 획득	
		북빅토리아랜드 지체구조 형성 모델	
		남극암석 및 운석 데이터축적 및 홈페이지 등록	

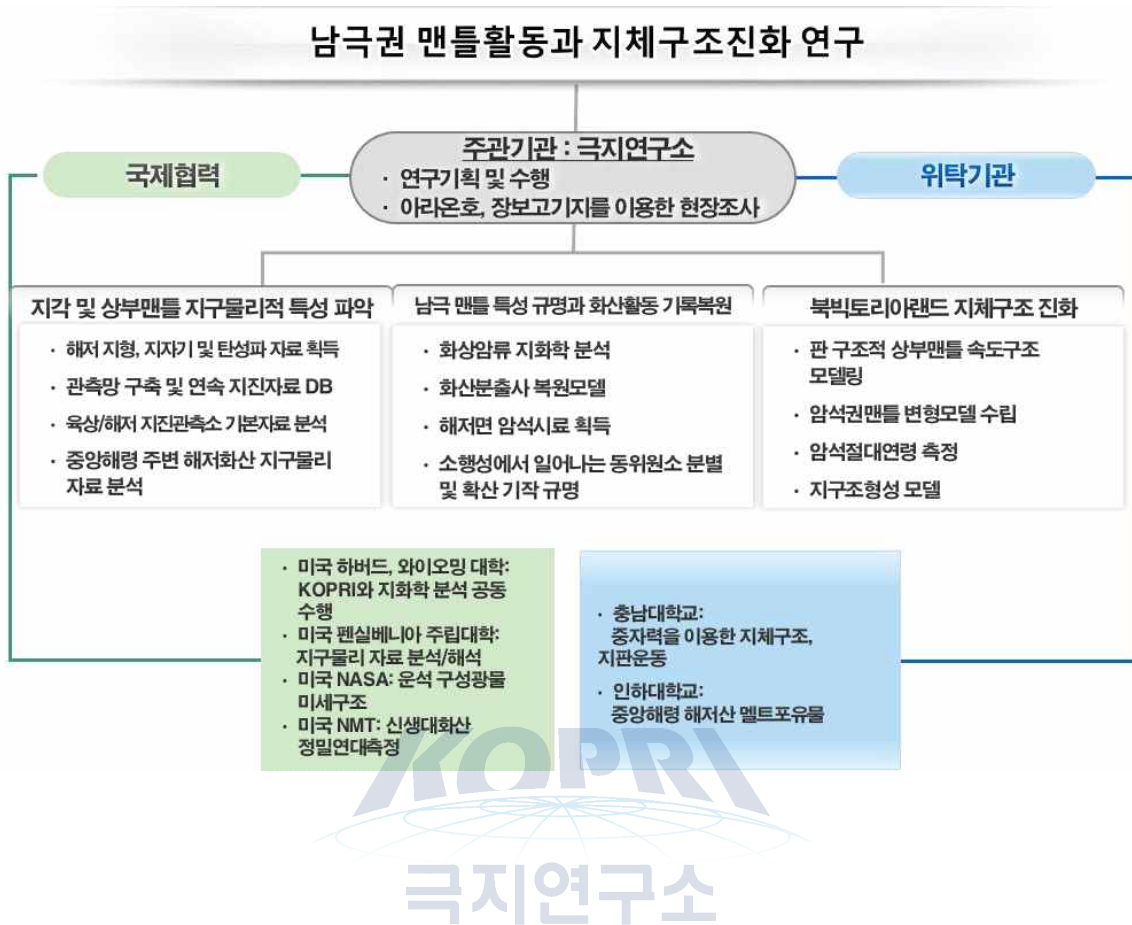
3.3. 2단계 로드맵

남극권 맨틀활동과 지체구조진화 연구 2단계 로드맵			
연 도		2023	2024
세 부 주 제	남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	무인잠수정 (ROV) 열수/심해 탐사 암석 및 생물시료 채취	지화학 분석을 통한 맨틀 성인 및 진화 규명 심해 생물 특이적 유전자원 확보
		북부 로스해 진화과정 규명	확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명
		로스해 빅토리아분지 지역 탄성파 탐사자료 획득	지열구배도 제시
		관측소 하부 지각속도 및 모호 깊이 도출	신기체구조 속도모델 구축
			지각/맨틀 3차원 속도/밀도 모델 도출
			관측자료와 맨틀구조에 부합하는 Polar3 형성 모델 도출
	남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	지화학분석	맨틀특성 진화규명
		화산암류 절대연령 측정	화산활동사 규명, 연대자료 확보
		동위원소 분석, 다이어그램 생성	변성암류 지구조환경 규명
		지질단면도 분석, 작성	섭입대 진화사 재구성, 물질순환 이해
		희토류 분석	암석권맨틀 메타소마티즘 특성 해석
		HED 운석 스펙트럼 분석	남극과 분화소행성 비교, 표면물질 자료 구축

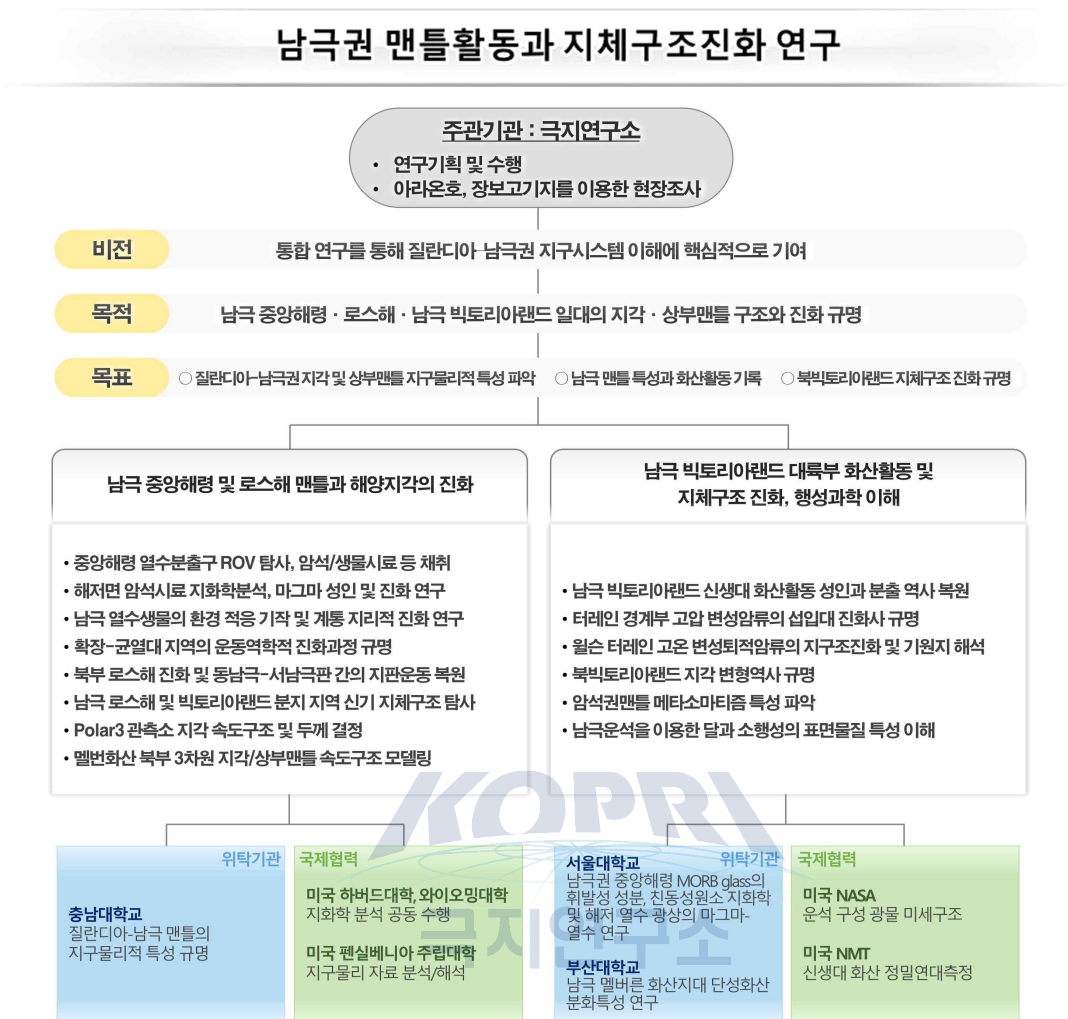


4. 연구개발 추진체계

4.1. 1단계 연구 추진체계



4.2. 2단계 연구 추진 체계



제 2 장

국내외 기술개발 현황



제 2 장 국내외 기술개발 현황

2.1절 국내 기술개발 현황

1. 관련 연구개발 현황

○ 남극대륙 탐사시스템 구축

- 남극대륙 탐사시스템 구축의 일환으로, 장보고기지를 중심으로 한 빅토리아랜드 4대 거점캠프를 확보하고 거점의 안전, 지원체계에 대한 정보를 획득하였으며, 지질-운석 탐사 수행
- 이를 통해 빅토리아랜드 전역에 대한 현장 활동을 수행할 수 있는 능력을 확보하며 거점 별로 탐사 정보 지도를 발간함

○ 남극-질란디아 맨틀 연구

- 호주-남극 중앙해령에 대한 지구물리, 지화학, 생물학적 연구는 지난 2011년 이후 극지연구소의 주도로 충남대, 인하대, 서울대 등과 연구 협업을 이루며 계속적으로 진행해오고 있으며, 최근 호주-남극 중앙해령과 관련된 다양한 연구 결과를 국제학술지에 발표하고 있음
- 국내 맨틀암석(감람암) 산출은 제주, 보은, 아산-평택, 백령도에서만 보고되고 있으며, 맨틀 암석에 대한 화학적 연구는 부경대, 부산대, 충남대를 중심으로, 미구조 연구는 서울대를 중심으로 진행되고 있으나, 화학적-구조적 연구를 모두 수행한 지역은 제주도의 경우만 존재함

○ Polar 3 지자기 이상 연구

- 국내에서는 대륙스케일(continental scale)의 지체구조 연구를 수행하고 있지 않음
- 다만 기상청에서 주관하고 있는 지진·화산기술 R&D 사업에서 지진관측과 단층면 해 분석, 한반도 속도구조 연구에 관한 연구 사업을 수행 중에 있음
- 현재 국내에서 남극에 관한 지체구조 연구는 소내 빙하지권연구본부에서 유일하게 수행하고 있음
- 본 연구에서 해저면 지진관측망 구축과 자료 획득이 중요한 관측 자료로 국내에서는 부산대학교에서 울진 앞바다에서 발생하는 미소지진 감시를 위하여 단기(6개월)관측을 수행하고 있음

○ 남극빅토리아랜드 지질정보 수집과 지체구조 진화연구

- 남극빅토리아랜드 지질정보 수집과 지체구조 진화연구의 일환으로 5억년전 로스 조산운동과 관련된 빅토리아랜드 기반암의 형성과 변성작용, 조산운동대 주변의 분지진화, 신생대 남극화산활동에 대한 연구를 수행
- 특히 가스분출 탐사를 통해 멜버른 화산의 활동을 15년 만에 관측하였으며, 남극전역 얼음 코어에 나타나는 1252년 화산재 층의 기원화산이 리트만 화산임을 규명하여, 남극화산 연구를 통해 중요한 결과를 도출할 수 있는 기반을 구축함
- 기초지질정보의 일환으로 광상에 대한 별도의 조사와 타 지질연구 분야의 시료 협조를

통해 빅토리아랜드 전역의 광물 분포와 특성을 파악하고 이를 한눈에 보여주는 광물 핸드북을 2019년도 발간

- 장보고기지 주변지역 지질조사를 통해 장보고기지 주변 정밀 지질도를 최초로 발간하여, 남쪽의 이태리 기지 주변 지질도와 연결되는 정밀지질도 완성

○ 운석탐사 및 행성형성과정 연구

- 운석탐사 및 행성형성과정 연구의 일환으로 지속적인 운석탐사와 청정 눈시료 회수를 실시해 1,000개 이상의 다종 다량의 운석과 우주물질을 확보하였으며, 운석의 암석학적 연구, 동위원소 분석, 열역사 규명을 통해 태양계 초기 형성과정과 물질의 특성을 규명함

○ 우주물질 및 지각물질 정밀분석기술

- 우주물질 및 지각물질 정밀분석기술은 ICP-MS, 산소동위원소 분석장비, 불활성기체 분석장치, FE-SEM등 첨단 분석장비를 도입하고 이를 활용한 분석기술을 개발하여 희소성 있는 남극 시료 및 운석시료에 대한 극미량 정밀 분석기술을 확보함장보고기지 주변 빙권 변화 진단, 원인규명 및 예측(2014~2017, 20억/년)

○ 관련기술의 국내연구기관 동향

- 한국지질자원연구원은 백두산 화산 관측을 위한 남북한이 함께 참여하는 대형 연구과제를 기획하고 있음. 남극의 멜버른, 리트만 활화산 관측 및 모니터링 과제 수행을 통해 백두산 관측을 위해 필수적인 마그마 분화 예측 기술 개발 및 화산관련분야 국제 공동연구 네트워크구축 기반을 공고히 할 것으로 예상됨
- 한국기초과학지원연구원(KBSI)에서 2019년 최첨단 동위원소현미경(isotope microscope)을 도입. 우주화학, 지질학, 생물학, 재료과학 등 다양한 분야에서 널리 이용될 것으로 전망됨. 기술 이전 및 공동개발, 기기 공동활용을 위해 극지연구소의 운석연구진과 긴밀한 협력 예상
- 한국지질자원연구원은 한국지질자원연구원 지질정보활용 기반을 통해 국토의 다양한 지질정보를 제공하고 있음. 디지털 지질도를 비롯, 총 13종의 지질정보를 회원가입 절차를 거쳐 대국민 서비스하고 있음
- 남극에 대한 영유권을 주장하는 일부 국가들(뉴질랜드, 칠레 등)은 국가의 지질조사소격기관에서 남극에 대한 공식 지형도 및 지질도를 발간하기도 함. 영유권을 인정하지 않는 우리나라는 순수 연구차원에서 지질도와 지질정보를 극지연구전문기관에서 다루는 것이 적절함

2.2절 국외 기술개발 현황

1. 남극대륙 지질일반 및 지하자원관련 연구 동향

- 남극환경보호에 관한 의정서 이후 표면적으로 남극지하자원에 대한 조사를 실시하는 국가는 없지만, 일반지질학 및 개발 가능성을 포함한 특이한 광상의 보고 및 그 성인에 대한 기초 지질학적 연구는 수행되고 있음
- 미래자원확보에 관한 연구는 두 가지 방향으로 이루어지고 있음. 먼저 비광물자원은 크릴, 메로 등이 한정적으로 개발되며 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR: Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources)에 의해 보존과 합리적 활용이 이루어지도록 관리되고 있으며, 회원국들의 남극 생태에 대한 과학적 조사가 관리의 기반이 되는 데이터로 사용됨
- 해양과 육상의 탄화수소와 광물을 포함하는 남극 지하자원의 개발은 남극환경보호 의정서(1998-2048)로 전면 금지되어있으며, 기초과학연구(지질학)만 허용되고 있으며, 협정 이후 어떤 국가도 자원분포, 매장량 등을 파악하기 위한 연구를 노골적으로 수행하고 있지 않음
- 남극환경보호 의정서 이전에 남극대륙의 자원에 가장 큰 관심을 가지고 조사를 수행한 국가는 미국임. 대규모 현장조사와 과거 자료 리뷰를 통해 남극해 주변 석유자원, 남극대륙의 석탄, 남극대륙의 광물자원에 대한 보고서를 미국 내무부 지질조사소 (US Geological Survey, Department of the Interior)에서 발간함
- 호주도 남극대륙의 석탄개발 가능성에 대한 보고서(1987년)를 발간한 바 있음

남극대륙 자원에 대한 보고서 (출간순)

- Mineral Resources of Antarctica
(United States Geological Survey, 1974)
- Petroleum and Mineral Resources of Antarctica
(United States Geological Survey, 1983)
- Coal potential of Antarctica
(Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Australia, 1987)
- Studies of the Geological and Mineral Resources of the Southern Antarctic Peninsula and Eastern Ellsworth Land, Antarctica
(United States Geological Survey, 1988)
- The Undiscovered Oil and Gas of Antarctica
(United States Geological Survey, 1991)
- Explanatory Notes for the Mineral-Resources Map of the Circum-Pacific Region Antarctic Sheet (United States Geological Survey, 1998)
- GIS Representation of Coal-Bearing Areas in Antarctica
(United States Geological Survey, 2016)

- 이들 보고서는 남극해와 남극대륙 전역에 대한 기초조사와 과거 연결되어 있어 지질구조가 남극으로 연장되어 있으리라고 생각되는 남반구 주변 대륙들의 자원분포를 바탕으로 남극대륙의 자원분포를 파악하고자 함

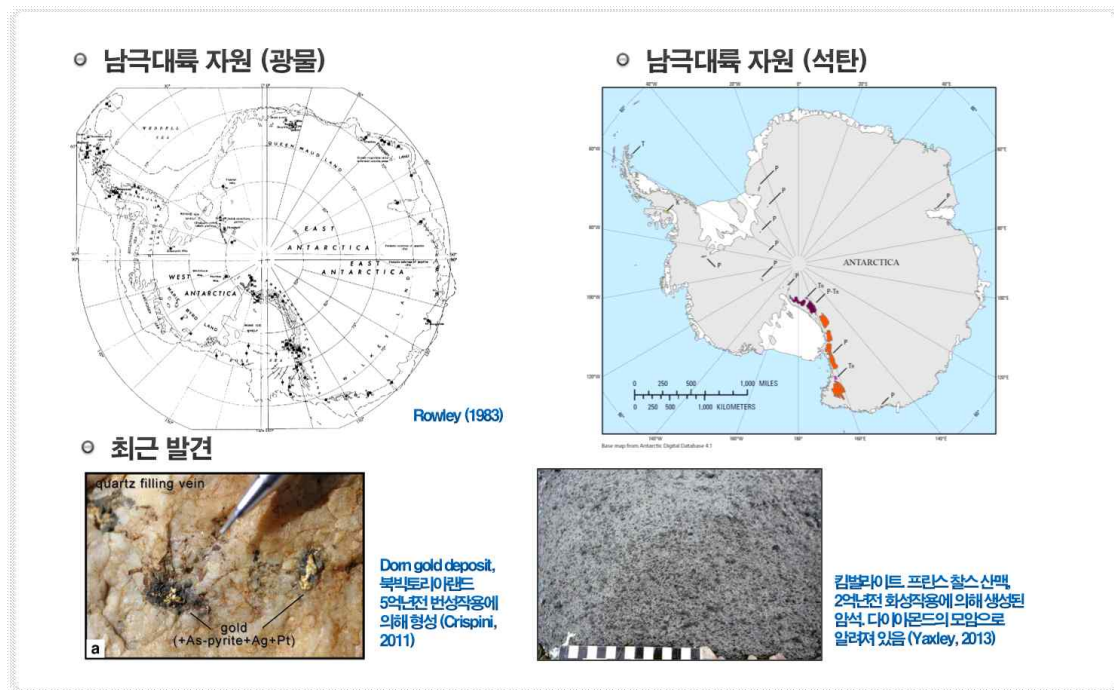


그림 9. (위쪽) 남극대륙자원관련 보고서를 종합한 광물자원 분포 및 석탄 분포. (아래쪽) 최근 발견된 금(빅토리아랜드)과 다이아몬드(동남극) 광상. 성인에 대한 과학적 연구가 출판됨

- 미국, 영국, 호주, 칠레 등 전통적인 남극연구 중심국가가 남극기지를 기반으로 조사 및 연구를 수행하고 있는 가운데 최근에는 중국의 부상도 눈에 띈다
- 2014년 장보고기지 남쪽 인익스프레서블 섬에 제5기지 건설계획 발표하고 2024년 기지를 완공하였음. 중국은 남극반도, 동남극, 남극고원, 남극대륙에 이어 남극중단산맥에 진출하게 됨으로써 남극 전역에 거점을 확보. 이를 기반으로 독자적인 항공망 구축, 중국판 GPS 시스템인 Bei Dou 위성 관제 시스템 구축 등 남극을 전략적으로 활용하기 위한 공격적인 투자를 하고 있음.
- 특히 국내적으로 남극대륙 지하자원에 대해서도 노골적인 관심을 보이고 있으며, 이를 견제하는 서구 언론의 보도가 최근까지 지속적으로 이루어짐
- 2014년 11월에는 시진핑의 호주 방문시, 호바트를 방문하여 남극항해를 떠나는 설롱호를 격려 방문하였고, 이때 시진핑은 “극지강국(極地強國)”이라는 표현을 사용했는데, 이를 호주 언론은 “China as a Polar Great Power”라고 번역하며, 견제 차원에서 많은 관심을 보임
- 이에 대한 반응으로 뉴질랜드, 호주 등은 중국의 남극에 대한 전략적 접근을 분석하는 보고서를 발간한 바 있음. 이들 보고서에서는 중국이 남극 지원을 위해 인민해방군 자원(인력, 장비)을 일부 사용하는 것, 지하자원에 대한 노골적인 접근, 동남극 에머리 빙봉에서 곤륜기지에 이르는 지역에 대한 영유권 관심에 대한 문제 제기를 하고 이에 대응하기 위한 관련국들의 전략이 필요함을 역설
- 호주는 2016년 발표한 남극연구, 인프라 투자전략에서 20년간 2조원 이상의 투자를 결정하면서 남극대륙에서의 주도권과 존재감을 유지하려는 모습을 보임

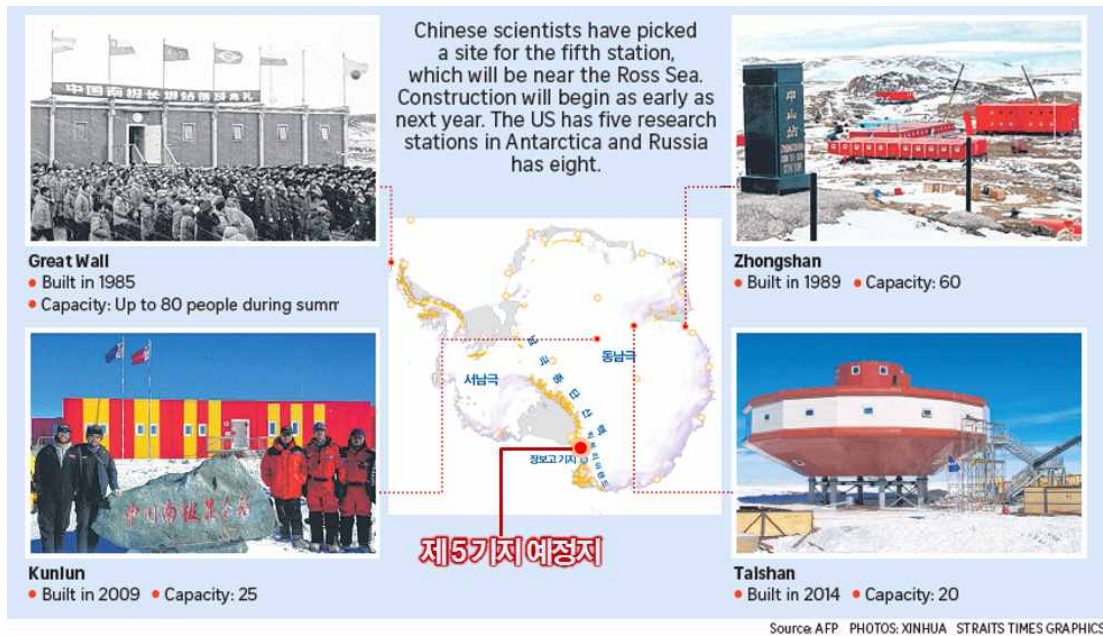


그림 10. 남극에 설치된 중국 남극기지 위치와 빅토리아랜드에 지어진 제5기지 위치



그림 11. 중국 제5기지의 위치. 장보고기지에서 남쪽으로 20 km 지점임.
 (오른쪽) 2017-18 남극 하계에 진행된 중국의 남극기지 건설을 보도한 신화통신 사진

Table 1-1 A list of main research fields of new Chinese station on the Victoria Land, Antarctica					
Subject	Content	Equipment	Region	Significance	How to connect with studies of other stations
Physical Oceanography	Observation of polynya	The research vessel, moorings, etc.	Terra Nova Bay	The Terra Nova Bay Polynya keeps open in winter and produces denser shelf water that is an important source of the Antarctic Bottom Water. Additionally, the polynya has essential influences on the local ocean-atmosphere exchange and the marine ecosystem in this region.	Most previous research of polynya was based on remote sensing data and <i>in situ</i> observations in summer. As a supplement, moorings will be deployed in the polynya by Chinese expeditions to collect hydrographic data in winter to deepen the understanding of processes in polynya and their contributions to modification of shelf water.
	Interaction between glacier tongue and ocean	The research vessel, CTD/LADCP, turbulence profiler, etc.	Drygalski Glacier Tongue and its surrounding sea waters	Although the Drygalski Glacier Tongue has been monitored and studied for decades, the interaction between the glacier tongue and its surrounding sea waters are still limited.	Measurements will be conducted in the ocean area surrounding the Drygalski Glacier Tongue. These data, as a supplement of remote sensing data, will be used to analyze the stability of the ice tongue and interactions between the ice tongue and the surrounding ocean, sea ice and icebergs.
	Observation in the outflow region of Ross Sea	The research vessel, CTD/LADCP, moorings, etc.	The northwest shelf region, including the Terra Nova Bay, Drygalski Basin, Nordenskjöld (Comandante) and Piram, 1999; Flocco <i>et al.</i> , 2003). However, the circulation patterns in the deeper layer and remote region are more complex. Studying the circulation in this region will help further understanding of the contributions of the Antarctic Bottom Water formed in the Ross Sea.	The major circulation in the Ross Sea is a clockwise gyre, the Ross Gyre. The ocean area near the new Chinese Station is the outflow region of the Ross Sea. The surface current in the region of Terra Nova Bay is prevalent northward (Comandante and Piram, 1999; Flocco <i>et al.</i> , 2003). However, the circulation patterns in the deeper layer and remote region are more complex. Studying the circulation in this region will help further understanding of the contributions of the Antarctic Bottom Water formed in the Ross Sea.	A comprehensive observation and study have been conducted on the shelf slope exchange in the Ross Sea recently (Gordon <i>et al.</i> , 2009). The oceanographic survey on the shelf is still limited.
Geology	(1) Accretionary orogenesis of the Pacific margin of Gondwana. (2) crustal and lithospheric structures of the Pacific margin of Gondwana. (3) Comparative study of orogenic-type and collision-type ultrahigh-pressure metamorphism.	Broadband seismograph	Northern Victoria Land with an area of 400 ~ 500 km ²	The research program will reveal the structural style of Paleozoic Pacific margin of Gondwana and mechanism of subduction and exhumation of oceanic-type ultrahigh-pressure metamorphic rocks, and provide information for the tectonic model of the oceanic subduction zone.	With the support of Italian and German stations, basic geological investigations on (1) regional geology, Paleozoic metamorphic and igneous rocks, and (2) Mesozoic volcanic and strata have been done in Northern Victoria Land. On that basis, we will focus on the accretionary orogenesis of Paleozoic continental margin through combined observations of geology and geophysics and study

그림 12. COMNAP 중국 제5기지의 CEE. 주요연구 과제를 정리한 표. 지체구조를 포함한 지질연구가 계획되어 있음

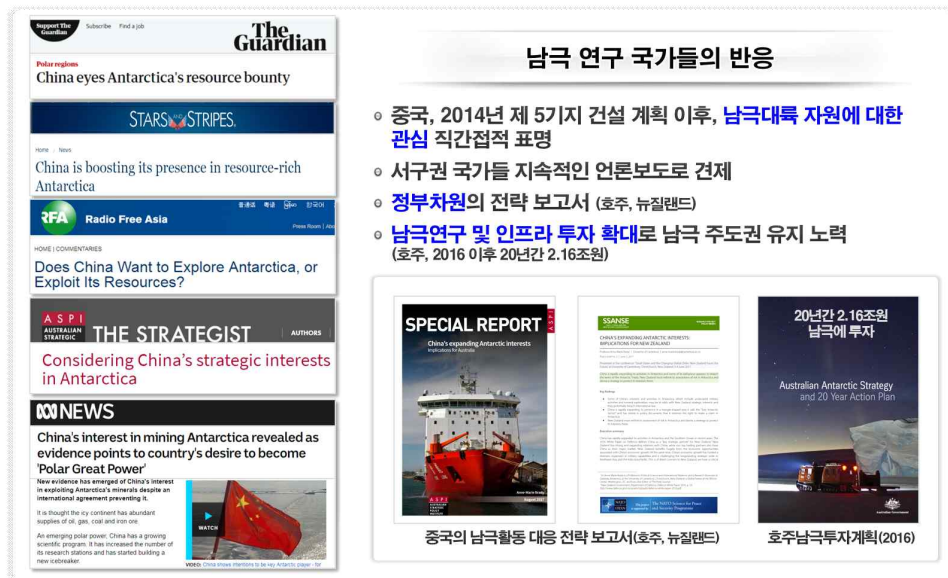


그림 13. 남극에서의 중국 영향력 확대 및 중국의 남극 지하자원을 개발할지 모른다는 우려를 나타내는 언론 보도와 이에 대한 주요 남극활동국들의 전략 보고서

- 현재 중국기지가 위치한 남극 반도와 동남극은 인근 지역의 암석 노출지가 제한적이어서 광역적인 지질연구는 어렵지만, 남극대륙에서 가장 넓은 암석 노출지인 남극종단산맥에 대한 접근성이 좋은 제5기지를 기반으로 본격적인 광물자원에 대한 조사와 연구를 수행할 것으로 예상됨

국외 (지질정보)

- 이태리, 독일: 지질도 발간을 위한 광역 조사 이후 **지속적인 지질조사** 실시하고 있지만 위축된 상태
- 영국: 항공기 등을 이용한 **서남극권의 광역적 지질지구물리 탐사** 계속적 수행
- 뉴질랜드, 노르웨이: 기지가 위치한 지역의 **지질도 종합, 전산화 작업**
- 호주: 연안기지에 이어 **내륙기지 확보** 노력
- 미국: 남극 **빙저 기반암 시료 확보** 프로그램 진행 중 (NSF RAID program, 4년간 100억원)

국외 (운석탐사)

- 미국, 일본
 - 40~50년간 남극 운석 회수(각 20,000여개 이상)
 - 남극운석 연구 기반으로 **우주물질 직접 회수** 프로젝트 수행(사업비 약 1조원)
- 중국
 - 1998년부터 글로벌 산맥에서 남극운석탐사
 - 제5기지 완공 후 **빅토리아랜드에서도 운석탐사 가능성** 높음

구분	미국	일본	중국	대한민국
운석탐사 주관	NSF	극지연구소	극지연구소	극지연구소
큐레이터 시스템	NASA	극지연구소	현재 없음	극지연구소
탐사개시년도	1976	1969	1998	2006
남극운석 개수	>20,000	20,000	9,838(?)	1077
탐사지점(기지)	McMurdo	Showa	Zhong Shan	장보고기지
주 탐사지역	동남극 횡단산맥	동남극 이라프산맥	동남극 글로벌산맥, 빅토리아랜드(?)	동남극 빅토리아랜드

주요 남극운석 보유국의 운석탐사 및 큐레이터

주요 남극운석 보유국의 운석탐사 및 큐레이터

그림 14. 남극종단산맥에 대한 국내외 운석/지질 연구 현황을 정리한 표

- 중국 제5기지의 CEE에 제시된 기지기반 연구내용에는 남극종단산맥의 기반암의 지질학적 연구가 주요 주제로 나타나 있음. 지질학적 연구 부분에 있어 우리나라가 수행하고

있는 부분과 많은 부분 중복될 것으로 예상되나 이에 대한 협의 논의는 이루어지지 않고 있음

- 지역을 기반으로 하는 지질연구의 경우 연구 장소와 거점을 먼저 선점하는 것이 연구 주도권을 확보하는 데에 매우 중요하므로, 우리나라의 지질학 연구가 보다 공격적으로 추진될 필요가 있음
- 중국, 인도 등 신흥 남극연구국들의 남극대륙 지질연구에 대해 우리나라가 대응하기 위한 정책적 준비는, 제3차 남극연구활동진흥기본계획(2017-2022), 제4차 과학기술기본계획(2018-2022)을 통해 근거가 마련되어 있는 편이므로 이를 실천할 구체적인 전략과 과학적 연구 과제 도출로 남극대륙 지질연구의 지속적 수행 및 지질학을 비롯한 다양한 연구 분야의 활동영역확대 필요
- 남극종단산맥에는 맥머도(미국), 스콧(뉴질랜드), 마리오주젤리(이태리), 곤드와나(독일), 장보고(한국) 기지가 위치하고 있으며, 많은 부분이 뉴질랜드의 영유권 주장지역에 속함.
- 남극종단산맥주변에 대해 남극연구 주요 국가들은 지속적인 연구를 수행 중임. 학술적인 연구 외에도 맵핑, 빙저 기반암 시료 확보 등 기초적인 지질연구도 진행 중. 이를 위한 인프라 투자도 병행해 이루어짐
- 남극종단산맥 국제공동연구를 위해 미국 연구자들 중심의 비공식적인 모임인 TAM Science가 운영되고 있음. 주요 연구책임자와 NSF Antarctic Program과의 협의를 통해 남극종단산맥 거점캠프를 정하고 항공기 헬기 등 대형 로지스틱스를 공동활용



그림 15. TAM Science 웹페이지. 2013년 공동 캠프 전경을 보여주고 있음

2. 질란디아-남극 맨틀 연구

- 질란디아-남극 맨틀 지역은 유럽 및 미국으로부터의 접근성이 떨어질 뿐 아니라 거친 해양으로 인해 현재까지 탐사가 많이 이루어지지 않은 상황임
- 호주-남극 중앙해령에 대한 탐사 및 연구, 분석은 극지연구소의 주도 하에 수행되어 오고 있으며, 미국 하버드대(지화학), 와이오밍대(지화학), 우즈홀 해양연구소(지화학 및 지구물리) 등과 해저면 암석시료 및 화산암 시료에 대한 지화학 공동분석 등의 형태로 연

구 협력하고 있음

- 프랑스에서는 호주 아래에 위치하는 호주-남극 중앙해령의 북서편 중앙해령 구간을 타겟으로 연구(STORM 프로젝트: South Tasmania Ocean Ridge and Mantle)를 수행하고 있으며 우리나라도 이 프로젝트에 참여하고 있음
- 세계적으로 산출하는 맨틀 암석의 미구조-화학적 연구는 활발하지만 [예. 파푸아뉴기니 Rio Grande rift: Satsukawa et al., 2011; Park et al., 2014] 북빅토리아랜드에서 맨틀 암석의 미구조를 활용한 연구는 전무함
- 중앙해령 열수 환경 등 심해 생물에 대한 연구는 무인잠수정을 보유하고 있는 미국, 캐나다, 중국 등에 의해 선도되고 있으며, 심해 생물상 및 생태계 보고, 심해 환경 적응 과정에서 변화된 형태 및 생리를 이해하기 위한 유전체 연구가 수행되고 있음
- 비늘발고둥(Scaly-foot snail)과 심해열수공 홍합, 그리고 5종의 어류 유전체가 시퀀싱되었고, 각 생물 별 유전 정보 기반 심해 환경 적응 및 진화 연구가 수행되고 있음
- 열수구 주변 초고온균의 경우 유기용매 및 고온에서의 안정성이 높아 반응 속도의 증가, 시간 단축, 중온에서의 오염 방지 등의 장점을 가져 다양한 산업분야에서 활용되고 있음

3. Polar 3 지역 연구

- POLENET program
 - 미국 NSF의 주도로 일본, 독일, 영국 등이 참여하는 국제 공동연구 프로그램임
 - 4th International Polar Year (IPY) 2007-2008에 시작되어 현재까지 남극과 그린랜드 지역에 지구물리 관측망(GPS와 지진관측망)을 구축하여 남극과 그린랜드의 지체구조와 Glacial Isostatic Adjustment (GIA) 연구를 수행하고 있음
- 2014년에 “Nature”에 실린 Horizon Scan의 6개 대주제 중 “Reveal Antarctica’s history - solid earth, geodynamics, tectonics”으로 분류될 정도로 다른 연구보다 선행되어야 하는 중요한 연구로 선정 (제안한 연구는 남극에서 가장 큰 지체구조(tectonics)인 서남극 열개구조와 남극중단산맥의 형성과 진화를 알 수 있는 연구 주제로 Horizon Scan에 부합함)
- Horizon Scan의 세분화된 연구주제 24. How does small-scale morphology in subglacial and continental shelf bathymetry affect Antarctic Ice Sheet response to changing environmental conditions? 27. How do the characteristics of the ice sheet bed, such as geothermal heat flux and sediment distribution, affect ice flow and ice sheet stability? 33. How did marine-based Antarctic ice sheets change during previous inter-glacial periods? 36. Do variations in geothermal heat flux in Antarctica provide a diagnostic signature of sub-ice geology? 37. What is the crust and mantle structure of Antarctica and the Southern Ocean, and how do they affect surface motions due to glacial isostatic adjustment? 등으로 분류하여 세계 각국의 남극 연구자에서 선행적으로 연구를 수행할 것을 제안함 [Kennicutt II et al., 2014]

4. 남극대륙 활화산연구

- 최근 영국 에딘버러 연구팀에 의해서 빙하를 관통하는 레이더 항공탐사와 육상에서의 지하 레이더 탐사(GPR, Ground Penetrating radar)를 통해 남극 빙붕 아래에 존재하는 새로운 화산 91개가 발견됨



그림 16. 남극반도와 로스해주변에서 새롭게 발견된 91개의 빙저화산위치

- 현존하는 최고의 화산분포지역인 동아프리카 열곡대의 신생대 화산대(60여개의 활화산과 아프리카 대륙 내에 40여 개의 화산 분포)보다 남극의 서남극 열개구조대에 더 많은 화산이 분포함. 이들 빙붕 아래 화산 중 몇몇 활화산이 분화할 경우 서남극 대륙의 빙상을 불안정하게 만들고 빙붕의 붕괴 속도를 가속화 시킬 수 있기 때문에 결과적으로 해수면 상승을 초래할 것으로 예상됨
- 지구에서 최근 화산활동이 활발한 지역 중 많은 곳이 마지막 빙하기 이후 덮여 있던 빙하가 점차 녹으면서 지표면의 압력이 낮아진 지역이라는 학설이 남극에 적용될 경우 이들 화산의 미래 분화 가능성은 매우 높을 것으로 예상됨
- 전 지구적 기후변화, 이에 연동되는 해수면 변동 그리고 이러한 순환 시스템에 남극 빙붕 아래 존재하는 화산의 분화 가능성이 또 하나의 중요한 변수로 부각됨
- 따라서, 이러한 화산의 과거분출 기록을 복원하고 화산들의 미래 분화가능성을 예측하는 연구가 매우 중요

5. 남극지질·운석정보활용기반

- 미국은 Byrd Polar Rock Repository에 과거 수행한 남극 지질탐사에서 획득한 암석시료 데이터베이스를 구축 운영하고 있음. 암석의 분류, 사진, 질량, 연대, 위치 등 기본 정보 외에, 획득 당시 연구자의 야장 또는 지질도도 제공하여 시료를 기반으로 한 후속 연구를 권장
- 영국은 BAS의 Geological Collection project를 수행하여 남극 탐사를 통해 획득한 200,000점의 시료 데이터베이스를 구축함. 이중 화석 데이터베이스만 공개되어 온라인으로 접근 가능

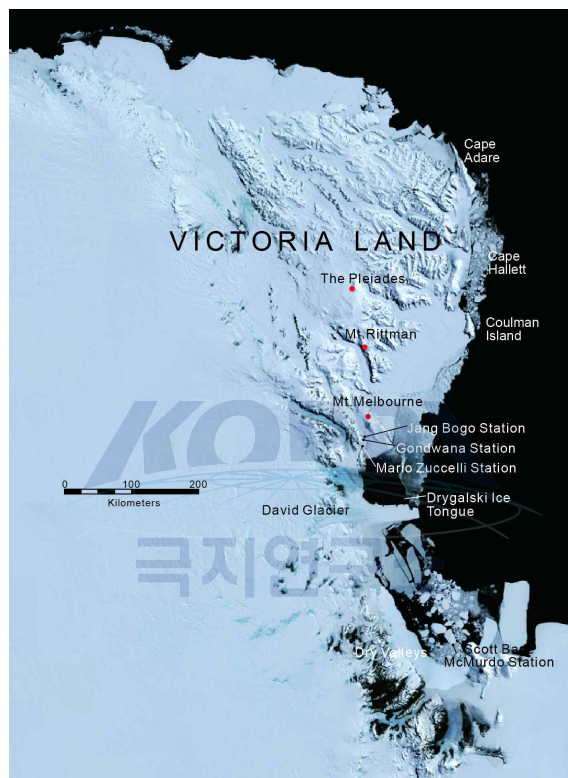


그림 17. 장보고기지주변 활화산과 신생대화산을 표시한 남극 빅토리아랜드의 위성사진

- 이태리(Siena Antarctic Museum)와 독일(BGR)도 기본적인 남극암석시료 데이터베이스를 운영하고 있음
- 노르웨이 NPI는 북극 스발바르 지형도, 지질도 지질주제도를 제공하는 웹기반 시스템 구축 운영 중. 웹기반 시스템으로 사용자가 편하게 활용할 수 있지만, 오프라인에서 활용 불가능한 한계를 지님
- 노르웨이 NPI는 Quantatica라는 GIS 프로그램을 개발하였으며 공개된 다양한 남극 관련 관측 자료들을 위치기반으로 제공함. 남극지질도는 빠져있음
- 미국 NASA의 Johnson Space Center (JSC)에서는 (1) 아폴로 탐사로 획득한 달 시료, (2) 남극 운석, (3) 성층권에서 채집한 우주먼지, (4) 제네시스 미션으로 획득한 태양풍 시료, (5) 스타더스트 미션으로 획득한 혜성과 행성간 우주먼지 시료를 큐레이션 하고 있음. 남극운석의 경우, 탐사(NSF), 큐레이션(NASA JSC), 장기 보관(Smithsonian Institution)이

모두 분리되어 운영되고 있으며, 운석은 종류에 따라 각기 전공 분야가 다른 여러 명의 큐레이터가 담당하고 있음

- 일본은 극지연구소(NIPR)에서 남극운석 탐사를 담당하고 있으며 현재까지 약 20,000여 개의 남극운석을 보유하고 있음. 일본의 항공우주연구원(JAXA)에서는 2011년 첫 번째 소행성 물질 회수 프로젝트(Hayabusa 1)을 성공적으로 수행하였고 그 시료들을 국내외 연구자들에게 대여도 하고 있음
- 중국도 남극운석 탐사를 시작하고 한동안 시료 공개를 하지 않았으나 최근 들어 큐레이션 시스템을 구축, 운영하고 있음



제 3 장

연구개발수행 내용 및 결과



제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

3.1절 연구내용

1. 1단계 1차년도(2020)

○ 질란디아-남극 맨틀의 동편 경계 규명

- 호주-남극 중앙해령의 동편으로부터 태평양-남극 중앙해령의 서편에 이르는 구간에는 대형 확장-균열대가 중앙해령이 잘게 쪼개어진 형태로 존재하는데, 이 지역은 질란디아-남극 맨틀의 동편 경계로 추정되는 곳으로써, 추후 체계적인 암석시료 채취 등의 탐사를 위해 지형조사 등 기초적인 연구를 우선적으로 수행하고자 함 [그림 18]
- 호주-남극 중앙해령 동편의 확장-균열대에 대한 지형도 및 지자기이상도 작성
- 이미 확보된 2015~2016년의 수중음향자료에 대한 분석을 진행하여 호주-남극 중앙해령 및 동편 확장-균열대 지역의 미세지진 분포 연구
- 본 연구의 목표달성을 위해서 데이터의 획득과 분석이 절대적으로 시급하지만, COVID-19 바이러스의 세계적 확산으로 20/21 남극현장조사 계획 중 지구물리탐사 일정이 축소되고, 암석시료 및 맨틀포획암 채취 일정은 취소되어, 19/20 남극현장조사를 통해 기획득한 해저지형 및 해양지자기 데이터, 해저면 암석시료를 최대한 활용하여 기초적인 단계로써의 연구 수행에 집중

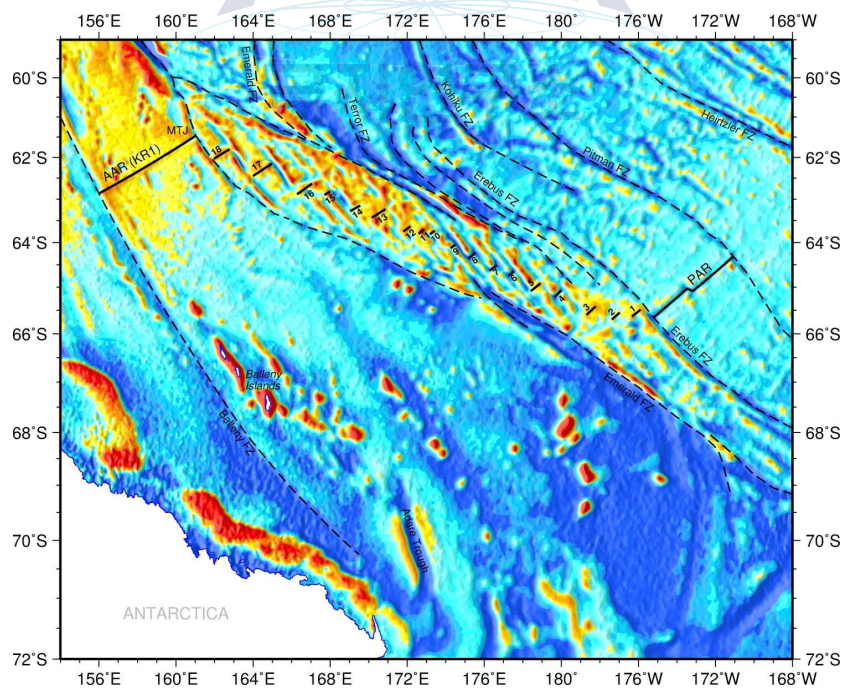


그림 18. 호주-남극 중앙해령(AAR)의 동쪽 끝 분절인 KR1(160° E 부근)과 태평양-남극 중앙해령(PAR) 사이의 구간에는 최소 10개 이상의 작은 중앙해령 형태의 분절들을 가진 대형 확장-균열대가 존재하고 있음

○ 맨틀 고유의 특성 및 기원 규명

- 호주-남극 중앙해령 일대의 해저화산 분포 및 지자기 연대 모델 제시

- 호주-남극 중앙해령 주변에 분포하는 해저화산의 분포를 나타낸 지도 및 개별 화산체들에 대한 지형도 작성
- 해저화산체들에 대한 지자기 연대 모델 제시
- 맨틀포획암 획득 및 박편제작 등 연구 기초자료 획득
 - 우즈홀 해양연구원에서 세계 곳곳의 맨틀포획암 암석 획득
 - 박편제작, 편광현미경을 이용한 미구조 관찰 및 광물조합(암석명 정의) 파악
 - COVID-19 바이러스의 세계적 확산으로 맨틀포획암 획득과 관련된 20/21 남극탐사가 취소되어, 기확보되어 있었던 10개의 맨틀포획암 샘플에 대한 EBSD 데이터를 확보하여 연구 진행

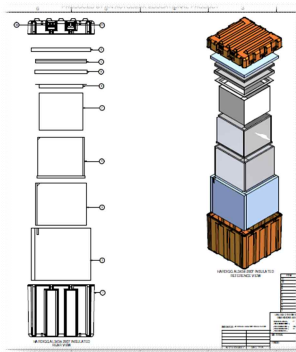


그림 19. 펠리컨 박스, 진공 단열판, 그리고 블루폼을 이용한 단열 하우스 도면

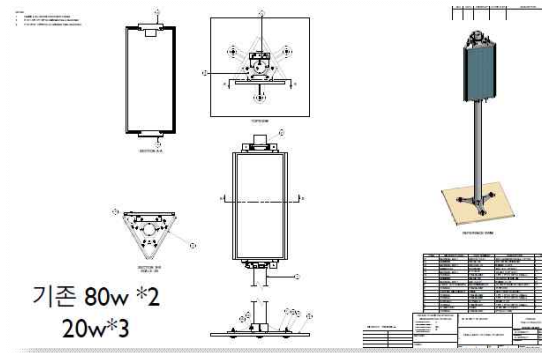


그림 20. 바람에 강한 삼각 램프 모양의 솔라 패널 마운트. 바람이 강한 지역으로 설계도 보다 짧은 (~1.2m) 높이로 제작할 예정임

○ 육상/해저면 지진관측망 구축

- Polar 3 지역 육상 지진관측소를 위한 전원 시스템, 단열 하우스 구축 [그림 19 & 20]
- 최적의 지진관측과 속도 모델링을 위한 육상/해저면 지진관측소 위치 선정 [그림 21]
- 해저면 지진계의 수평성분 방위각 보정 방법 개발

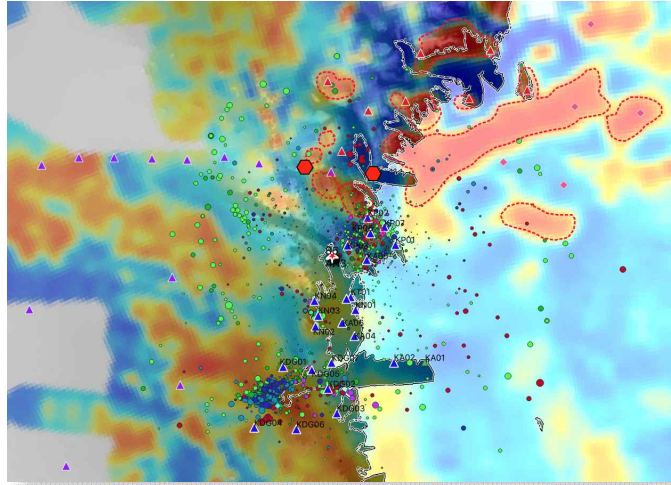


그림 21. 장보고 기지 기반 지진관측망(파란색 삼각형)과 미국 TAMNNET 관측망(2014-16; 보라색 삼각형) 위치, 그리고 본 과제에서 설치할 Polar 3 관측망 (붉은색 삼각형)과 TAMNNET data와 함께 사용할 수 있도록 TAMNNET 관측망과 같은 위치의 Polar 3 관측소(붉은색 육각형)의 위치를 보여줌. 해저면 관측망은 핑크색 마름모로 표시되어 있음. 그림의 배경은 항공에서 관측한 자력이상도이며 붉은색으로 가장 크게 나타나는 이상도가 Polar 3임

○ 지각 및 상부맨틀 속도 구조

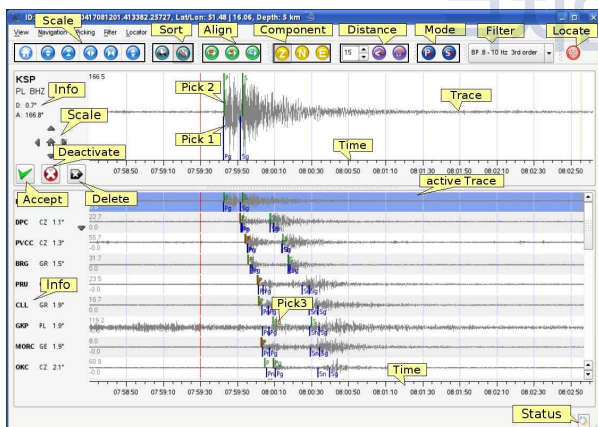


그림 22. SeisComp3의 국지지진 진원 결정을 위한 지진파 도달시간 결정의 예

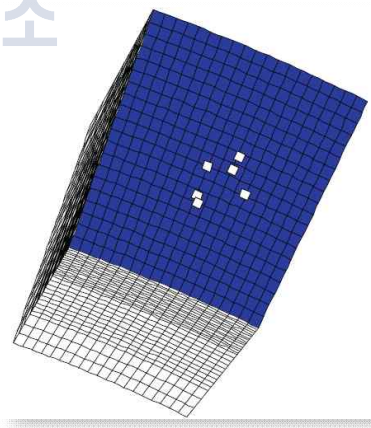


그림 23. 3차원 지각/맨틀 속도구조 모델링을 위한 격자구조의 예

- Seiscomp3를 이용한 지진파형 DB 및 원지진 지진 목록 DB 구축 [그림 22]
- 표면파와 실체파 모델링을 위한 격자 구조 모델 결정 [그림 23]
- Polar 3 주변 정밀 해저 지형도 작성
- 4기 주요과제 연구결과 논문 작성 및 투고
- 쇄빙연구선 아라온호에 소노부이 굴절법 탄성과 탐사시스템(sonobuoy refraction seismic survey system) 구축 및 2020년 동해 시험항차를 통해 장비 운용기술 습득

- 소노부이 굴절법 탄성과 탐사자료 처리 및 분석 기법 개발
- 탄성과 탐사자료와 함께 획득될 중력, 자력 탐사자료 처리 및 모델링 기법 개발

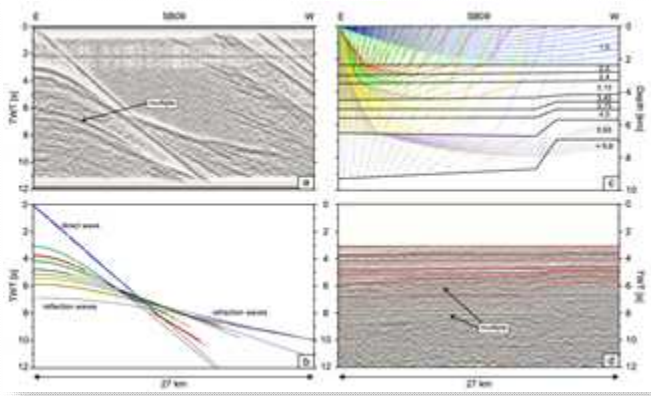


그림 24. 독일의 Polarstern호에서 소노부이를 이용하여 북극 적치 지역에서 수행한 자료와 결과의 예

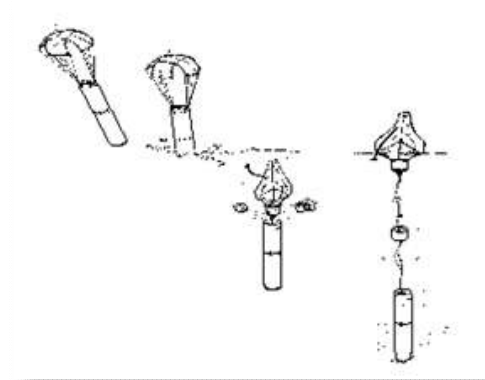


그림 25. 소노부이 전개 후 수면 아래에 부이를 이용한 무어링 과정. 전개 후에 관측된 자료를 무선으로 수신기에 보내줌

○ 화산암 분석

- Dredge를 이용한 해저 화산암 시료 채취
- Polar 3 주변 화산암 시료 채취 (그림 26)
- 시료의 분출 시기 분석 및 화학 조성 특징 분석

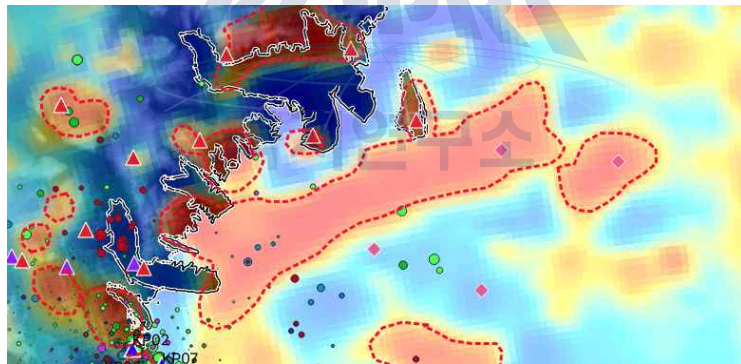


그림 26. Polar 3 동쪽 끝단부터 해빙에 따라 Dredge sample 채취. 지진관측망 주변 화산암 암석 시료를 채취할 계획

○ 남극 북빅토리아랜드 형성과 신생대 화산활동 기록복원

- 주요 변성암/화성암체 절대 연령 분석 및 온도-압력 조건 계산
 - 머치슨산, 블랙스파이더 편암 지역 등 중광물 U-Pb 연대 및 Hf 동위원소 조성 획득
 - 월슨 터레인 변성퇴적암류 쇄설성 저어콘 연령분포 확인
 - 주요 변성암/화성암 형성 온도-압력 조건 계산
- 멜버른, 리트만 활화산의 부석/테프라 지구화학 특성연구
 - 마그마 분화과정 규명을 위한 부석/테프라 전암 주원소 및 Sr-Nd-Hf-Pb 동위원소 조성 분석(MC-ICP-MS, TIMS, EPMA; 극지연구소)
 - 부석/테프라의 반정광물 지구화학특성 연구
 - 활화산의 최근 분출물 OSL 절대연령 측정(기초과학지원연구원 공동연구)

○ 소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 확산 기작 규명

- 카보네이셔스 콘드라이트의 불활성기체 동위원소 분석
 - 카보네이셔스 콘드라이트의 불활성기체 동위원소 분석
 - 카룬다 타입(CK) 운석의 모체 물질에 미치는 태양풍, 우주선의 영향 평가
 - 카룬다 타입 운석의 ^3He , ^{21}Ne 을 이용한 우주선 노출연대 계산

○ 남극지질·운석정보 활용기반 구축

- 남극 암석시료 관리 시스템 공개 및 운영
- 미분류된 남극운석의 암석학적, 광물학적 기재를 통한 분류 (20개 이상)
- 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개 (5개)

2. 1단계 2차년도(2021)

○ 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악

- 현장탐사를 통한 지구물리자료 획득
 - 해저면 암석시료 채취, 지형 및 지자기, 탄성파 등 지구물리 자료 확보
 - 확장-균열대 및 중앙해령에 대한 정밀 해저 지형 및 지자기 자료 분석
- 3차원 지각/상부 맨틀 속도 구조 모델 개발
 - 지각 및 상부맨틀 속도 구조

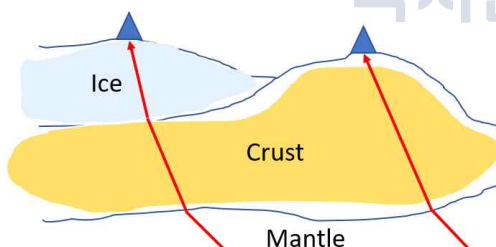


그림 27. 3차원 지각/상부맨틀 속도 모델의 정확성을 높이기 위한 얼음에서의 속도 보정 관정

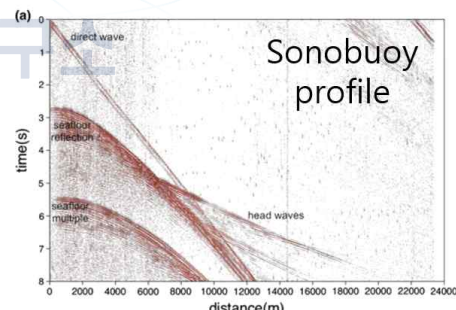


그림 28. 소노부이를 활용하여 남극 로스해에서 얻어진 굴절파 탐사 프로파일 [Selvans et al, 2012]

- 원격지진 파형 DB을 이용한 3차원 속도 모델 개발 (200*150km)
- 해상 자력 탐사를 통한 정밀 자력 프로파일 작성
- 남극 2021/2022 하계 탐사 시즌 다중채널 반사법/소노부이 굴절법 탄성파 탐사자료 획득
- 2020/2021 시즌 남극 로스해 Polar 3 지역에서 다중채널 반사법/소노부이 굴절법 탄성파 탐사자료 획득
- Polar 3 지역의 해빙상황이 좋을 경우(2016-2017 시즌), Polar 3 지역을 가로지르는 다중채널 반사법 탄성파 탐사
- 해저 천부 지각 구조 연구
- 해상 자력계 탐사

- 해저면 지진관측망 구축 (Orca 화산 지역)
- 연속지진자료 획득 (남극 반도 지역 및 TAMNET 자료)
- 육상 지진관측망 구축/해저면 지진관측망 유지
 - 육상/해저면 지진관측망 구축
- 지진관측망 자료 획득 및 관측망 유지 보수
- 지진관측소의 온도·전원 상태 분석
- 국지지진 자동 탐지·위치결정 시스템 구축

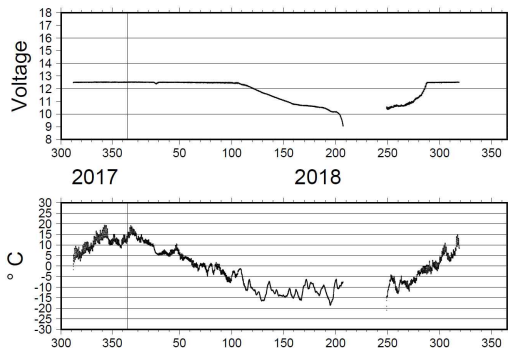


그림 29. 인익스프레서블 섬에 설치되어 있는 KT01의 년가 배터리 전압과 지진계 온도 변화 표. 충전용 리튬-이온 배터리 4개 셋트로 겨울철 약 30일 정도 관측이 되지 않음

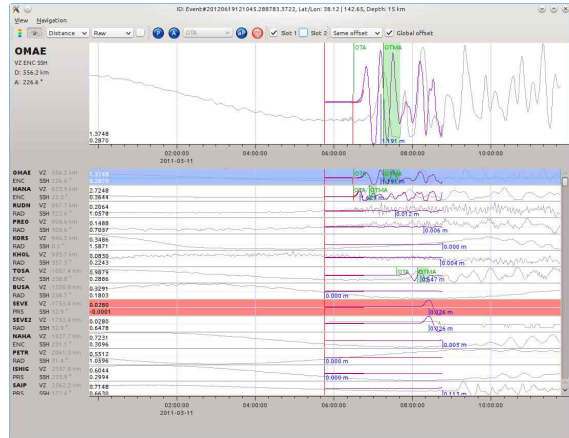


그림 30. Seiscomp3에서 지진과 자동탐지·위치결정을 수행하는 화면 캡처

- 연속지진자료 획득

○ 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원

- 소형 단성화산 분화특성 연구
 - 쉴드누나탁(Shield Nunatak), 베이커 락(Baker Rock), 해로우 픽(Harrow peak) 화산암체 전암지구화학, Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소분석(극지연구소 TIMS, MC-ICPMS)
- 멜버른, 리트만 최근 10만년 이내 화산분화 역사 복원을 위한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, OSL 연대 측정
 - 최근 분출암상(10만년이내)의 분포특성 기재
 - $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 정밀 연대자료획득(미국 NMT 공동연구)
 - OSL 정밀 연대자료획득(한국기초과학지원연구원 공동연구)
- 소행성 표면에서 일어나는 동위원소 분별 및 화산 기작 규명
 - 오디너리 콘드라이트 구성광물 연구를 통한 소행성 표면물질 특성 규명
 - in-situ 정밀 광물화학조성(ppm 수준) 분석
 - 라만분광기 등을 활용한 in-situ 광물구조분석
 - 열변성에 의한 광물간 원소 이동과 그에 따른 조성 변화 연구
- 중앙해령, 균열대, 해저화산 암석시료 채취

○ 북빅토리아랜드 지체구조 진화

- 맨틀포획암 암석학적 기재 및 형성 평형온도 계산
 - 암석 내 주구성 광물을 대상으로 EPMA 분석

- 광물의 주성분 원소의 열평형 모델을 이용한 형성 온도 계산
- 월슨-바워스 터레인 경계부 및 주변 암석 절대 연령 분석(U-Pb 저어콘, 모나자이트 등)
 - 장보고과학기지 권역 4개 암체의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연령 획득
 - 장보고과학기지-젤라쉬내만 지질도 완성
- 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개
 - 남극지질·운석정보 활용기반 구축
 - ✓ 주요 암석의 기본 화학분석 및 데이터베이스 기재
 - ✓ 미분류 남극운석 중 20개 이상 분류
 - ✓ 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개 (5개)

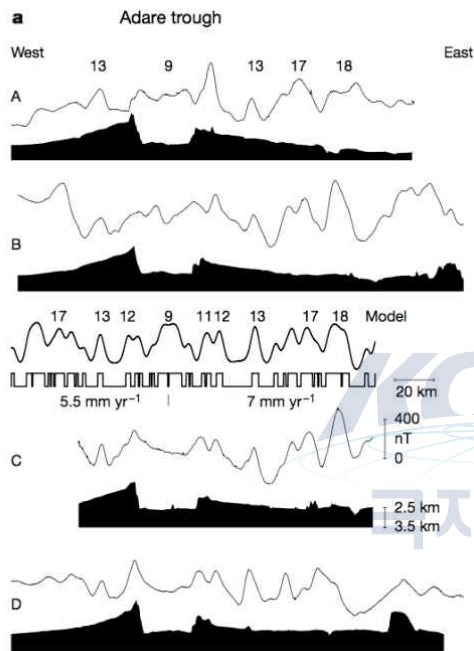


그림 31. 로스해 북서부에 위치한 Adare Trough에서 획득된 해양자력탐사자료와 해저 지형을 비교 분석하여 제시한 서남극 열개구조 진화 모델 [Cande et al., 2000]

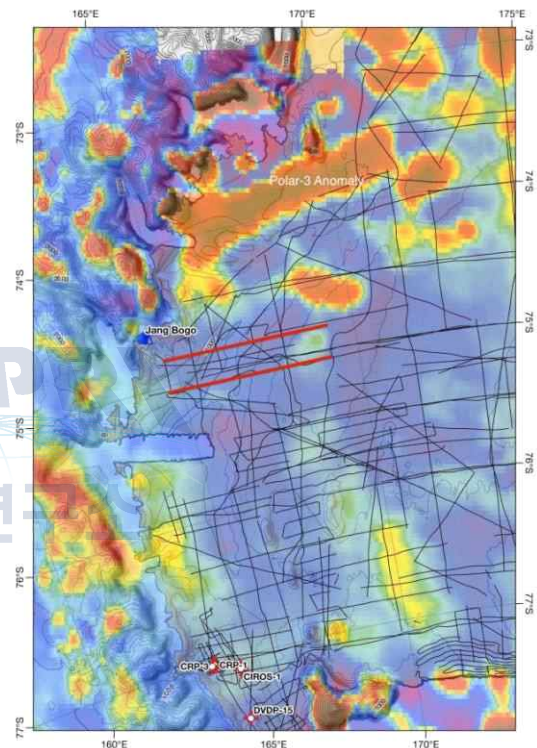


그림 32. 서부 로스해 Terror Rift 인근 광역자기이상도[Maus et al., 2009]와 자력탐사계획측선(빨간실선), SDLS에 등록된 다중채널 탄성과 측선(검은실선) 및 로스섬인근 심부퇴적물 시추지점(빨간십자)

3. 1단계 3차년도(2022)

○ 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악

- 균열대 및 주변의 지형과 판구조적 분포 연구
 - 지형 및 지자기, 탄성과 자료 분석을 통한 균열대와 주변 일대의 지형 및 탄성과 단면도 작성, 판구조적 분포 규명
- 육상/해저면 지진관측망 유지·보수·확장
 - 육상/해저면 지진관측망 구축
 - ✓ 지진관측망 자료 획득 및 관측망 유지 보수
 - ✓ 지진관측소의 온도·전원 상태 분석
 - ✓ 국지지진 목록 작성
 - ✓ 관측망의 연간 PDF 작성 및 계절간의 소음 변화 분석

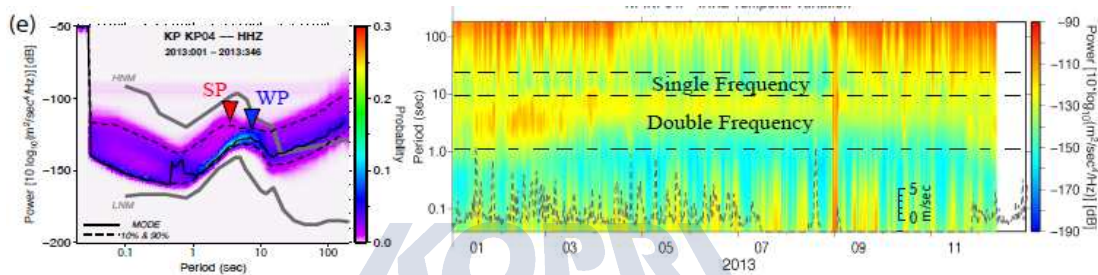


그림 33. KP04 관측소의 Power-spectrum Density Function(PDF, 좌)와 시간당 주파수의 크기 변화(우). 바람과 기압의 변화에 대한 주변 소음의 변화가 뚜렷함 [Park et al, 2014]

- 연속지진자료 획득
- 관측망 주변소음 분석
- 3차원 지각/상부 맨틀 속도 구조 모델
 - 지각 및 상부맨틀 속도 구조
 - ✓ 원격지진 파형 DB을 이용한 3차원 속도 모델 개발 (200*200km)
 - ✓ Sonobuoy/다중채널 탐사를 통한 Polar 3 지역 정밀 속도 프로파일 작성

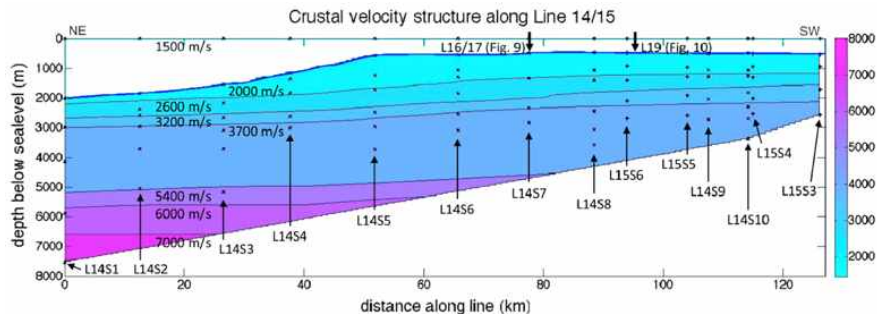


그림 34. 소노부이 자료를 이용하여 모델링된 해저 천부 지각 모델

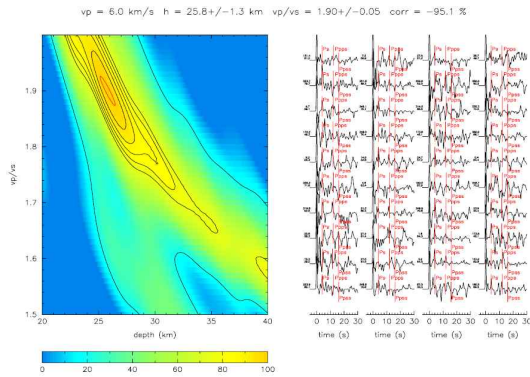


그림 35. KDG06에서 관측된 원격지진으로 수신 함수를 만들어 지각의 두께와 평균 속도를 계산한 결과

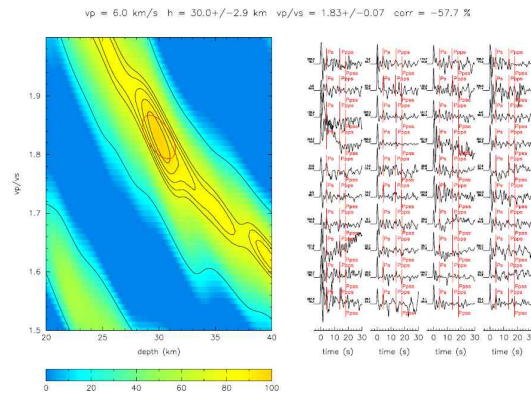


그림 36. KDG02에서 관측된 원격지진으로 수신 함수를 만들어 지각의 두께와 평균 속도를 계산한 결과

- 지진관측소 하부 지각/상부 맨틀 속도 구조 및 지각 두께 결정
- Polar 3 지역 하부 상부 맨틀 이방성 분석
- 해상 자력 탐사를 통한 정밀 자력 프로파일 작성
- Polar 3 지역 정밀 해저면 지형도 작성
- 관측소 하부 지각두께와 평균 속도 결정

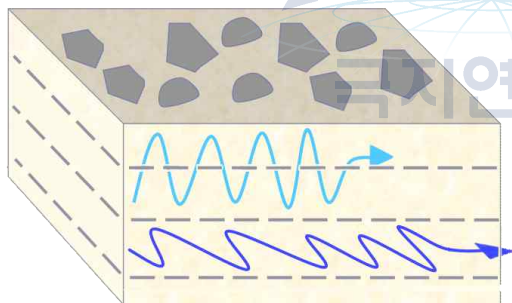


그림 37. 맨틀의 감람암에서 S파의 진행 방향에 대하여 속도가 달라지는 모습을 보여주는 모식도

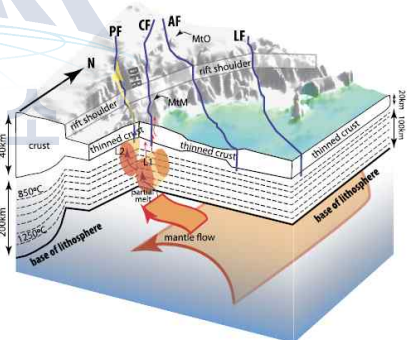


그림 38. 3차원 맨틀 속도구조에서 유추한 남극 멜버른화산의 형성 원인 모델 [Park et al., 2015]

○ 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원

- 멜버른, 리트만 화산분화 예측을 위한 화산가스 성분변화연구(서울대 이현우교수 연구팀과 공동연구)
 - 멜버른, 리트만 화산가스 시료채취 및 성분분석
- 멜버른, 리트만 부석/테프라 분화시기(최근 만년 이내) 및 동위원소 연구
 - 부석/테프라 반정광물 분리를 통한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정
 - 마그마 성인연구를 위한 부석/테프라의 Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소분석 (극지연구소 TIMS, MC-ICPMS)
- 소형 단성화산 마그마 성인 규명
 - 쉴드누나탁(Shield Nunatak), 베이커 락(Baker Rock), 해로우 픽(Harrow peak) 화산암체

지구화학자료해석 및 마그마 성인연구

- 소행성 표면과 우주공간에서 일어나는 동위원소 분별과 확산 모델링
 - 카보네이셔스 콘드라이트 구성광물의 동위원소 분석
 - 우주공간에서 고온에서 단시간에 일어나는 동위원소 분별과 확산 모델링
 - 소행성에서 상대적으로 저온에서 장기간 일어나는 동위원소 확산 모델링
 - 중앙해령, 균열대 및 해저화산 암석시료 분석
 - 확장-균열대 및 중앙해령, 해저화산의 암석시료에 대해 주원소, 미량원소 등 지화학 분석
- 수행: 질란디아-남극 맨틀의 지화학적 특성 및 기원 규명

○ 북빅토리아랜드 지체구조 진화

- 균열대 및 주변의 지형과 판구조적 분포 연구
- 맨틀포획암 EBSD 분석 및 지구조 모델 기획
 - 분석한 EBSD 데이터를 이용해 광물 및 암석의 지진파 이등방성 특성 파악
 - 기보고된 지진파이등방성과 계산된 광물 및 암석의 지진파 이등방성 특성의 비교 및 맨틀 구조모델 고안
- 장보고 기지 주변 변성암·화성암 시료 절대 연령 분석(U-Pb 저어콘, 모나자이트 등)
- 변성기반암류 온도-압력 조건 계산 및 열역학 모델링
- 로스 조산운동을 전후로 신원생대-고생대 지체구조모델 도출
- 주요 암석의 기본분석 및 데이터베이스 기재
- 미분류된 남극운석의 암석학적, 광물학적 기재를 통한 운석학회 정식 등록
- 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개
 - 남극지질·운석정보 활용기반 구축
 - ✓ 주요 암석의 기본분석 및 데이터베이스 기재
 - ✓ 미분류된 남극운석의 암석학적, 광물학적 기재를 통한 운석학회 정식 등록 (60개 이상)
 - ✓ 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개 (5개)

4. 2단계 1차년도(2021)

○ 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화

- 무인잠수정(ROV) 활용, 열수 환경 및 심해 생태계 등 조사
 - 호주-남극 중앙해령, KR1에서 발견된 열수분출구 무진(Mujin)은, 아라온호의 CTD 장비에 의해 온도, 탁도 등 화학적 신호가 확인되고, 드렛지를 통해서 신종 열수생물이 채취되면서 그 존재가 과학적으로 확인된 바, 열수분출구 무진에서 영상자료, 열수 암석, 광물 시료 등 채취를 위해 ROV를 활용한 열수 탐사를 계획함.
 - 열수분출구 및 심해 환경, 생태계 영상 자료 획득
 - 열수분출구 및 해저면 암석 시료 채취
 - 열수 및 심해 생태계 생물 자원 확보
 - 심해 생물의 미토콘드리아 유전체 해독 및 미생물 유전체 해독
- 확장-균열대의 운동역학적 진화과정 규명
 - 지난 몇차례의 연구항해를 통해 축적된 확장-균열대 지역 내 해저지형 및 해양지자기 자료 처리 및 분석
 - 고해상도 멀티빔 지형자료 분석을 통해 확장-균열대 지역 내에 존재하는 15개 이상의 짧은 확장 분절(spreading centers)과 확장 분절 간의 변환단층/균열대의 형태와 길이, 분포 파악

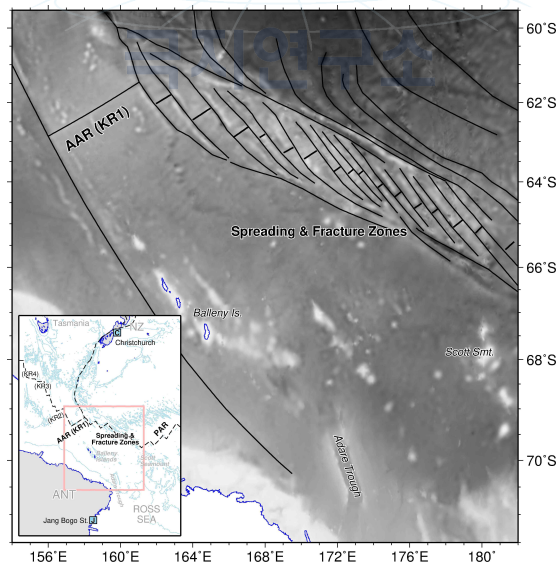


그림 39. 호주-남극 중앙해령(Australian-Antarctic Ridge, AAR) 동편의 대형 확장-균열대. 북서-남동 방향으로 1,000 km 이상 뻗은 특성상 여전히 자료가 많이 부족한 실정

- 북부 로스해 진화과정 규명
 - 북부 로스해의 센트럴분지에서 기 확보된 해저지형 및 해양지자기 자료의 후처리 및 분석
- 남극 로스해 서쪽 빅토리아랜드 분지 신기 지체구조 규명을 위한 다중채널 탄성과 탐사

자료 확보

- 국제협력을 통해 이태리 OGS에서 보유하고 있는 빅토리아랜드 분지 지역 탄성과 자료 (원시자료) 확보
- 탄성과 구조보정 단면을 통한 천부 지질구조 해석
 - 최신 도입된 다중채널 탄성과 탐사 자료처리 플랫폼(오메가2)을 이용한 자료처리, 최종 구조보정 단면 확보
 - 이태리 OGS에서 입수한 탄성과 자료와 아라온호를 통해 확보한 빅토리아랜드 분지 지역 자료 해석
 - 빅토리아랜드 분지 지역 천부 지질구조 해석
- 리트만화산 부근 및 해저면 지진관측소 구축 및 연속 지진자료 DB 구축
 - 관측소 별로 아래 그림과 같은 원격지진의 파형 신호를 추출함
 - 원격지진의 발생 시간별로 파형을 분석하여 정확한 도달 시간 DB 구축

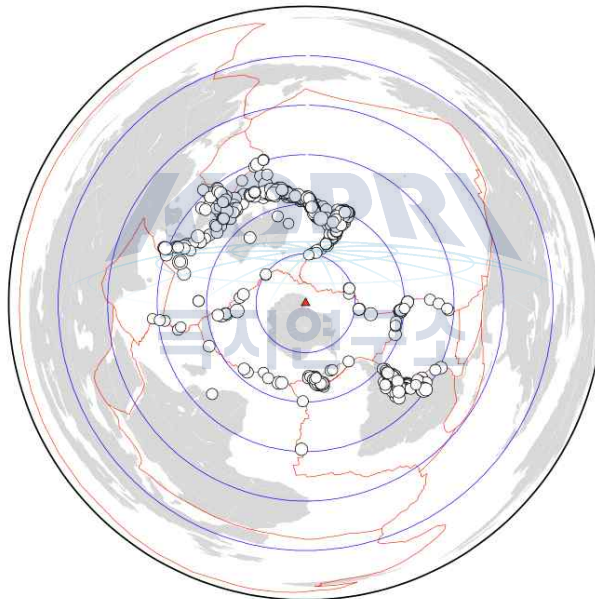


그림 40. 장보고기지(붉은 삼각형)를 중심으로 equal-distance project로 그린 원격지진의 분포도. 파란원은 진앙거리 30° (1° ~111.19 km) 간격을 나타냄. 붉은선은 주요 판 경계를 보여줌.

- 관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 연구
 - 수신함수(Receiver Function)를 이용하여 관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 분석
 - 원격지진 DB에서 지진파형을 선별하여 수신함수를 계산하고 역산을 통하여 지각의 속도와 모호면의 깊이를 계산함

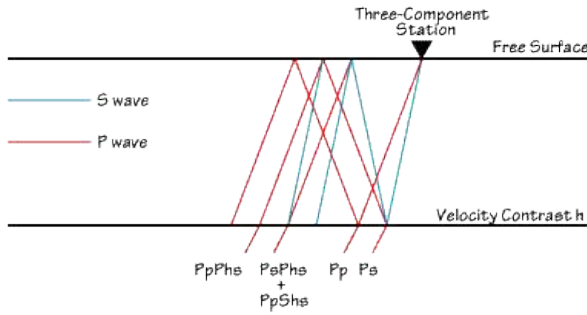


그림 41. 관측소 지표와 지각 내의 속도 불연속면 사이에서 발생하는 지진파의 다중 반사 모식도

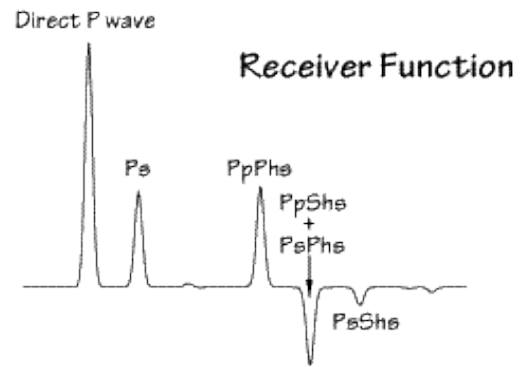


그림 42. 왼쪽 그림의 다중 반사된 지진 파형이 만들어 내는 수신함수(Receiver function)의 예시

- 세종기지 초광대역 지진관측소 유지/보수 및 면 지진계 회수
- 세종기지에 신설된 광대역 지진관측소의 지진 센서를 초광대역 지진 센서(Trillium360 GSN Vault)로 교체
- 지난 21-22년 남극하계 현장조사 기간에 스페인의 ship-time 부족으로 회수되지 못한 해저면 지진계 회수 [그림 43]



그림 43. 세종기지 광대역 지진관측소 외부 모습



그림 44. 스페인 RV를 활용하여 세종기지 인근에 설치되었던 해저면 지진계가 회수되는 모습

○ 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해

- 북빅토리아랜드 국부 화산군 그룹1 지질조사 및 시료채취
- 북빅토리아랜드 단층화산 (베이커락스) 지질조사 및 시료채취
- 북빅토리아랜드 국부 화산군 그룹1 지구화학 특성연구
 - 마그마 분화과정 규명을 위한 화산암류 전암 주원소 및 미량원소 분석(LA-ICPMS, 극지연구소)
 - 광물 지구화학특성 연구(EPMA, 극지연구소)
 - 반정광물 분리를 통한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정(미국, NMT)

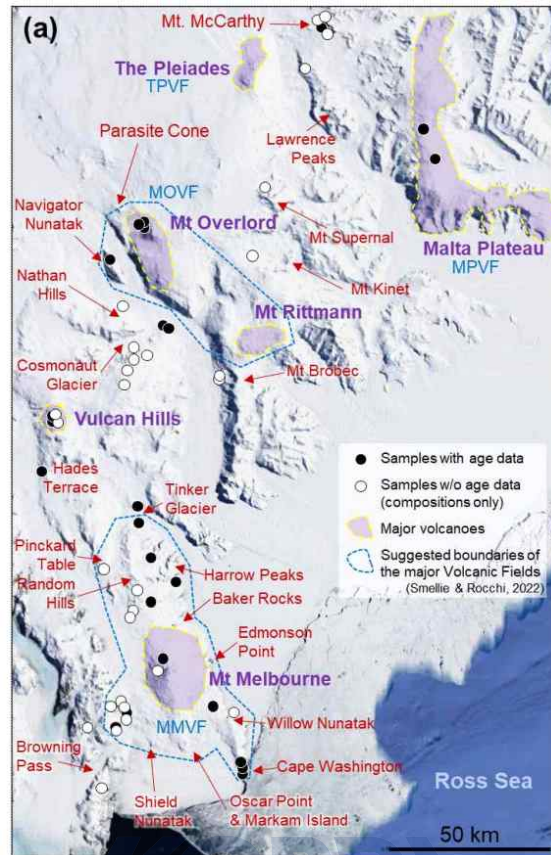


그림 45. 북빅토리아랜드 멜버른 프로빈스 맥머도 화산암류와 국부 화산군(circle) 분포 모습

- 터레인 경계부 및 장보고기지 일대 주요 암체들의 중광물 U-Pb 연대측정
- 저어콘, 석영의 산소동위원소 조성 분석을 통한 암석 형성과정 동안의 지구조환경 유추
- 윌슨-바워스 터레인 부가과정에 수반된 변성-퇴적작용의 시기 제한 및 섭입대 유체활동 양상 재구성



그림 46. U-Pb 연대측정에 사용할 고분해능 이차이온질량분석기(SHRIMP-IIe), 한국기초과학지원연구원 오창센터

- 북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명
 - 야외답사

- ✓ 월슨지괴-바위스지괴-로버트슨베이지괴 간 단층경계 확인
- ✓ 변형 집중 지역에서 샘플채취 및 주향경사 정보기재
- 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악
 - 주성분 원소 분석
 - ✓ 기존에 채취했던 샘플 중 5점 이상 분석
 - ✓ $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O-MgO}$ 등 데이터로 용융의 경향성 이해
- 달운석 DEW 12007의 스펙트럼 분석과 달의 표면물질 특성 연구
 - 라만, XRD, CT, X-ray 원소 맵핑, 반사 스펙트럼 등 가능한 비파괴 스펙트럼 분석 수행
 - 달 표토 물질의 광물학적, 분광학적 특성 연구
 - 달의 화성 활동에 대한 암석학, 광물학, 연대학 통합 연구 수행
 - 달과 지구의 화산활동 비교
- 운석 분류
 - 남극운석의 분류
- 남극운석탐사
 - 엘리펀트 모레인 청빙지대에서 남극운석 탐사
 - 현장 캠프 탐사를 최우선으로 고려하되 현장 상황에 따라 일일 탐사도 준비



5. 2단계 2차년도(2022)

○ 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화

- 열수 환경 및 심해 생태계에서 획득한 다양한 시료 분석
 - 열수 및 해저면 암석 시료 지화학 분석 진행
 - eDNA 분석을 통한 남극 중앙해령 생물상 연구
 - 비교유전체학적 분석을 위한 심해 생물의 전장유전체 획득
 - 심해 생물의 적응/진화 기작 규명: 비교유전체학적 분석을 통해 심해환경 적응기작 관련 유전자 발굴
- 확장-균열대의 운동역학적 진화과정 규명
 - 확장-균열대 지역 내 해저지형 및 해양지자기 자료 추가 확보를 위한 추가적인 탐사 수행
 - 고해상도 멀티빔 지형자료 분석을 통해 확장-균열대 지역 내에 존재하는 짧은 확장 분절(spreading centers)과 확장 분절 간의 변환단층/균열대의 형태와 길이, 분포 파악
 - 해저지형 및 해양지자기 자료 후처리 및 분석
- 북부 로스해 진화과정 규명
 - 북부 로스해의 센트럴분지에서 기확보된 해저지형 및 해양지자기 자료의 후처리 및 분석
 - 센트럴분지의 운동역학적 진화과정 및 주변 지판운동에 대한 모델 제시

- 속도모델 구축, 종합적 해석을 통한 지구물리학적 특성 분석
 - 확보한 다중채널 탄성과 자료로부터 파형역산 알고리즘을 이용한 신기 지체구조 속도 모델 작성
 - 속도모델 해석을 통한 신기 지체구조 규명 연구 수행
- 확장된 지각/맨틀 3차원 속도 구조 모델 연구
 - 1단계에서 구현된 3차원 속도구조를 Polar 3까지 확장하여 현재 구현되지 않은 지역의 모델 개발

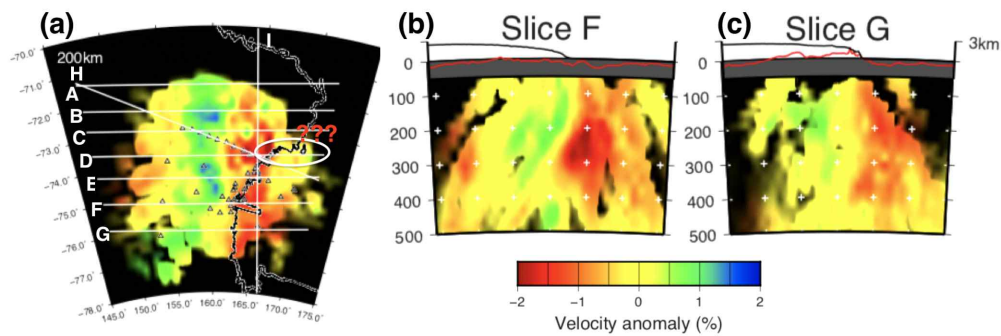


그림 47. 1단계 연구 수행하여 밝혀진 동남극 지역의 맨틀 속도 구조: (a) 200 km 깊이의 속도 구조, (a)에 표시된 라인 F와 G의 수직 속도 구조 (각각 b와 c)

- 세종기지 실시간 지진관측 서버 유지/보수
 - 현재 세종기지에서 발생하는 지진의 실시간 감시를 위한 서버가 운영중에 있음
 - 하지만 지진관측소의 위치가 고르지 않아서 정확한 지진 감시가 어려움
 - Cross-Correlation 기법을 이용한 지진 감시 시스템으로 업그레이드하여 지진 관측의 정확성 향상

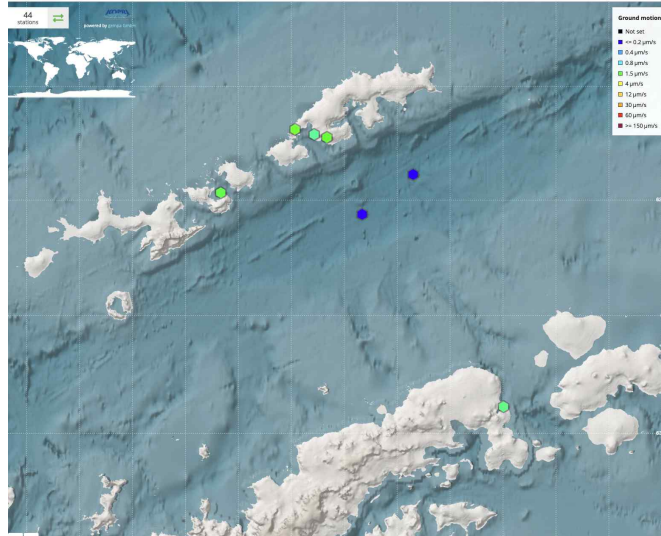


그림 48. 현재 실시간 지진감시에 사용되는 지진관측소의 위치 (초록색 원). 파란색 원은 2022년 1월에 회수된 해수면 지진관측소의 위치를 나타냄

- 해저면 지진관측소 유지/보수, 해저 지열, 해상 자력계 및 다중빔 지형도 탐사 수행
 - Polar 3 지역의 해저면 지진계 회수/유지/보수
 - 다중빔을 이용하여 정밀 해저 지형도 작성
 - 자력 탐사를 수행하여 정밀 자력 프로파일 작성
 - 해저 지열 탐사를 수행하여 지표의 heat flux 계산

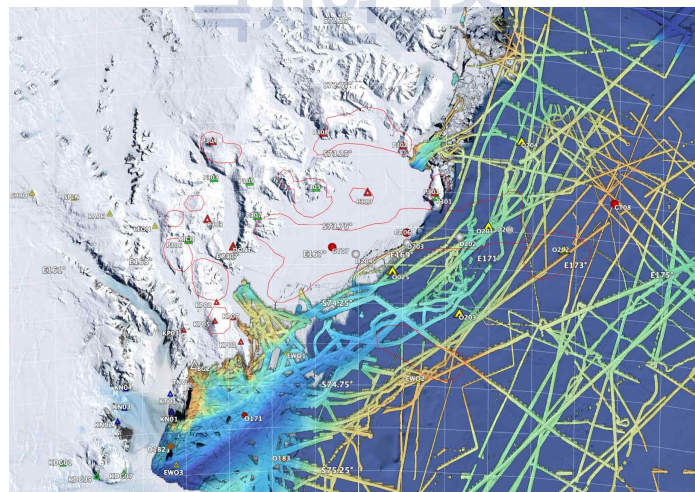


그림 49. 현재까지 수행된 정밀 해저 지형도 및 해저면 지진계 설치 계획 장소 (노란색 삼각형)

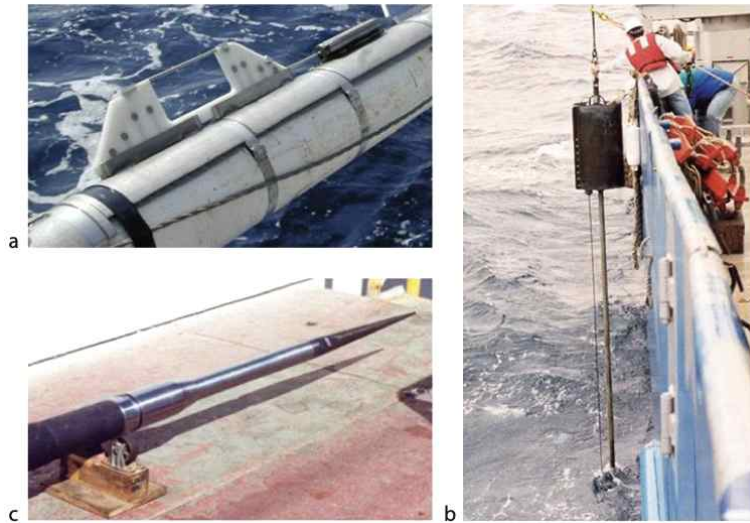


그림 50. 해저면 지열류 측정: (a) 온도와 열전도를 측정하는 센서, (b) 퇴적층의 온도와 열전도를 측정하는 heat-flux probe, (c) 연구선에서 해저면의 지열측정을 측정하는 모습

○ 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해

- 북빅토리아랜드 국부 화산군 그룹2 지질조사 및 시료채취
- 북빅토리아랜드 국부 화산군 그룹2 지구화학 특성연구
 - 마그마 분화과정 규명을 위한 화산암류 전암 주원소 및 미량원소 분석(LA-ICPMS, 극지연구소)
 - 국부화산군 그룹1과 그룹2 Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소 분석
 - 광물 지구화학특성 연구(EPMA, 극지연구소)
 - 반정광물 분리를 통한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정(미국, NMT)
- 북빅토리아랜드 단층화산 (베이커락스) 화산쇄설물 운반 및 퇴적기작 연구
- 변성암류 내 중광물 U-Pb 정밀연대측정 및 캄브리아기 변성작용 단계별 시기 파악
- 광물의 산소동위원소 조성 분석 및 이를 통한 섭입대 물질순환과정의 속도 및 지구조적 의미의 규명
- 주요 광물의 화학조성과 전암성분을 이용한 지온지압계, 열역학 모델링 적용



그림 51. 광물 화학조성 분석에 사용할 전자현미분석기(EPMA), 극지연구소

- 북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명

- 변형구조 분석

- ✓ EDS, EPMA를 이용한 광물 동정 및 정량분석
- ✓ EBSD를 이용해 미구조 분석

- 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악

- 희토류 원소 분석

- ✓ La, Ce, Pr, Nd 등 10종 이상의 희토류원소 분석
- ✓ 운석 등 성분을 기준으로 경희토류, 중희토류 특성 이해

- 현무암질 유크라이트와 디오제나이트의 스펙트럼 분석

- 라만, XRD, CT, X-ray 원소 맵핑, 반사 스펙트럼 등 가능한 비파괴 스펙트럼 분석 수행
- 소행성 Vesta 또는 Vestoids의 원격 탐사 자료와 비교 연구
- Vesta와 지구의 화산활동 비교

- 운석 분류

- 남극운석의 분류

6. 2단계 3차년도(2023)

○ 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화

- 확장-균열대의 운동역학적 진화과정 규명
 - 고해상도 멀티빔 지형자료 분석을 통해 확장-균열대 지역 내에 존재하는 짧은 확장 분절(spreading centers)과 확장 분절 간의 변환단층/균열대의 형태와 길이, 분포 파악
 - 해저지형 및 해양지자기 자료 후처리 및 분석
 - 확장-균열대 지역의 운동역학적 진화과정 및 주변 지판운동에 대한 모델 제시
- 심해 생물의 적응/진화 기작 규명
 - 비교유전체학적 분석을 통해 심해환경 적응기작 관련 유전자 발굴
 - 심해환경 적응기작 관련 유전자의 기능 및 단백질 구조 분석
- 아라온호를 이용한 남극 로스해 해양 지구물리 탐사
 - 고해양 지구물리탐사 최우선순위 지역은 빅토리아랜드 분지 지역으로 해당 지역에 대한 고정밀 다중채널 탄성과 탐사자료 및 해저지형, 천부 탄성과 자료 그리고 해양지열 탐침 수행예정
 - 고해양탐사를 통해 획득한 지구물리자료를 바탕으로 빅토리아랜드 분지 지역에 대한 신기 지체구조 연구 수행
 - 고해빙 및 해황에 따라 빅토리아랜드 분지 지역에 대한 탄성과 탐사가 불가능한 상황이 발생된다면, 현재까지 남극 미답해역인 로스해 동쪽 Marie Byrd Land 인근 대륙붕 지역을 대상으로 해저지형 및 천부 탄성과 자료를 확보할 예정
 - 고미답해역에 대한 해저지형 및 천부 탄성과 자료를 확보함으로써 남극 로스해 연구 영역 확대 도모
- 화성암 연대 측정
 - 북빅토리아 지역과 로스해에서 채취한 화성암의 분출시기 분석
 - 잠정적인 flow basalt 형성 시기 도출
- 신규 지진관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 도출
 - 수신합수 방법을 이용하여 23-24 현장조사 기간에 수집된 관측소 자료 이용
 - 신설된 관측소에 대한 지각 속도와 모호면 깊이로 지각의 물성 유추
 - 자기이상이 큰 지역(붉은색의 등장기이상 참조)과 비교 분석 수행

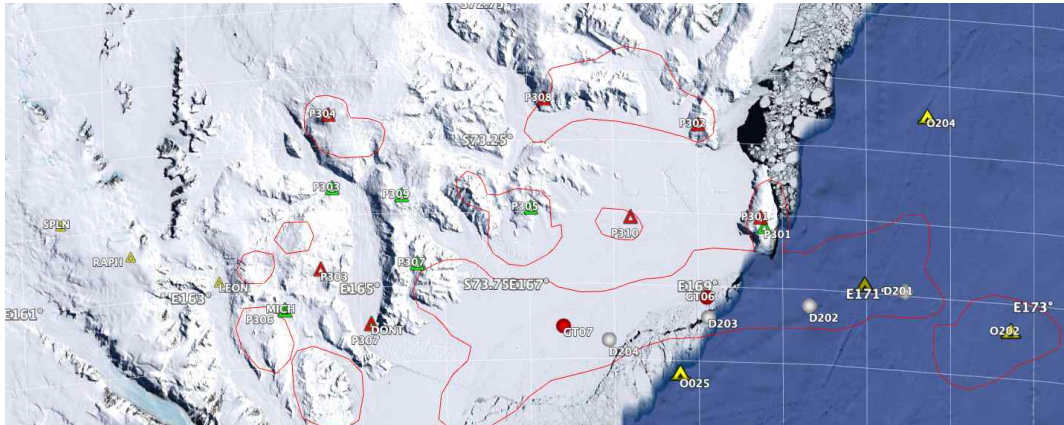


그림 52. 북빅토리아 지역의 지진관측소 현황. 22-23년에 설치할 지진관측소(초록색 삼각형)와 23-24년에 설치할 지진관측소(붉은색 삼각형) 위치를 보여줌.

- Polar 3 자기 이상 형성 모델 및 북빅토리아 지역 맨틀 3차원 밀도 모델 연구
 - 23년까지 개발된 3차원 속도 모델에서 아래 그림과 같은 모델 knot 추출
 - 추출된 knot의 속도 모델을 깊이에 따른 압력과 속도 이상을 이용하여 밀도 모델로 변환
 - 장기 빙하거동 예측 모델링에 필요한 열원의 분포도 작성

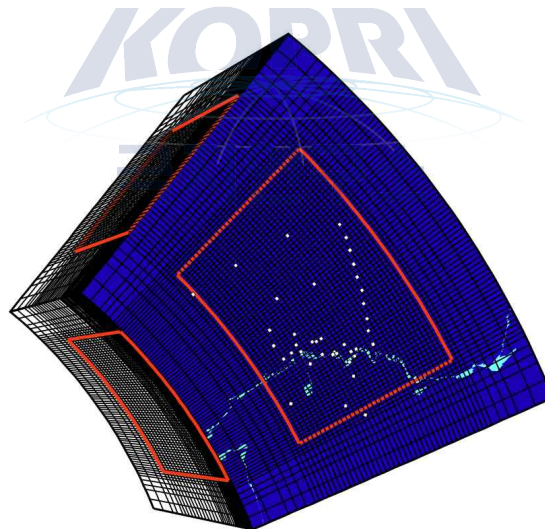


그림 53. 3차원 밀도 모델 도출을 위한 모델 공간. 붉은선의 지역은 예상되는 가장 좋은 해상도의 모델 공간을 나타냄. 회색 점들은 지진관측소의 위치, 밝은 하늘색의 선은 해안선을 나타냄.

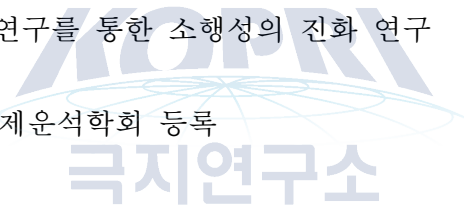
○ 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해

- 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원
- 북빅토리아랜드 국부 화산군 그룹1, 2 분류체계 재설정
 - $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정(미국, NMT) 및 자료 취합
 - 연대 지질도 작성
- 북빅토리아랜드 단층화산(베이커락) 분화기작 규명

- 중광물 정밀연대측정을 통한 퇴적상한, 변성/화성작용 시기 제한
- 쇄설성 저어콘 연대와 산소동위원소 조성을 통한 퇴적기원 모암의 기원지 분석
- 조산운동 이전부터 변성작용까지의 압력-온도-시간 경로 규명 및 지구조적 의의 파악

- 북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명
 - 변형구조 해석
 - ✓ 변형기작 해석
 - ✓ 변형과정 모델링 및 조구조 모델에 응용
- 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악
 - 지화학 특성 해석
 - ✓ 지화학 데이터를 통해 재부화(refertilization) 정도 파악
 - ✓ 지화학 데이터와 미구조 간의 상관관계 이해

- 콘드라이트의 스펙트럼 분석
 - 라만, XRD, CT, X-ray 원소 맵핑, 반사 스펙트럼 등 가능한 비파괴 스펙트럼 분석 수행
 - 국내 소행성 탐사에 활용할 기초 자료 구축
 - 수성변질/열변성 광물 연구를 통한 소행성의 진화 연구
- 운석 분류 및 등록
 - 남극운석의 분류 및 국제운석학회 등록



3.2절 연구수행방법

1. 1단계 1차년도(2020년)

1.1. 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악

- 해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득
 - 측선 250 km 이상에 대해 해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득
- 관측망 구축 및 연속 지진자료 DB
 - 장보고 기지 기반 펄버른화산 지역 지진관측망 자료 획득
 - SeisComp를 기본으로 연속지진자료 DB 서버 구축
 - 재활용이 가능한 리튬-이온 지진관측소 전원 시스템 개발
- 육상/해저 지진관측소 기본자료 분석
 - 해저면 지진계의 수평성분 방위각 보정방법 적용
 - 3차원 모델공간 격자구조 모델 개발
- COVID-19 바이러스의 세계적 확산으로 군열대 지역에서의 지구물리 및 암석시료 획득을 위한 20-21 남극현장조사가 대폭 축소 혹은 취소되었으며, 그에 따라 19-20 현장조사에서 획득한 해저지형 및 해양 지자기 자료, 암석시료를 활용하여 기초적인 연구들을 수행하였음
- 군열대 지역에 대한 지형도 및 수심 프로파일 등 작성, 지자기이상 분석을 통한 해저면의 연령 및 확장속도 추정
- 해상 자력계 탐사
 - 2020-21 남극 하계 시즌 이동항해 중 남극판과 태평양판 간의 대형 확장-군열대 지역에서 측선 ~130 km 구간에 대해 해상 자력탐사를 수행하여 지형 및 지자기자료를 획득하였으며, 지자기이상 프로파일 작성함
- 중앙해령 주변의 해저화산에서 기획득한 해저지형 및 지자기 자료를 바탕으로 해저화산의 분포 및 지자기 연대 모델에 대한 연구 수행

1.2. 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록 복원

- 펄버른, 리트만 화산의 최근 분출사 복원
 - 펄버른 정상부 화산 절대연령 자료 획득(OSL 연대)
 - 부석/테프라의 glass 조성 및 반정광물 지구화학분석
 - 리트만 화산 칼데라주변 부석시료의 주성분원소, 미량원소 분석 실시
 - 화산암시료의 Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소 분석
- 주요 암석의 기본 화학분석 및 데이터베이스 기재
 - 2019-20 시즌, 확장-군열대 지역에 대한 탐사를 통해 채취했던 5개의 시료를 이용하여 극지연구소의 EPMA를 활용, 유리질 화산암질 글라스에 대한 주성분 분석 실시
- 군열대 지역에서 채취한 암석 시료를 이용한 암석학적 연구(박편 제작 및 관찰) 및 화산암질 글라스를 이용한 지화학 분석 수행

1.3. 북빅토리아랜드 지체구조 진화

- 암석권 맨틀의 기원 및 진화과정 모델 수립
 - 기획득한 맨틀포획암 10점에 대한 EBSD 분석
 - 입자크기, 결정방향성, 편평비 계산
 - 감람석 유형 결정 및 진화과정 고찰
- 주요 변성/화성암체 연대측정 및 온도-압력 조건 계산
 - 마운트니어레인지 시료로부터 저어콘 광물 분리
 - SHRIMP(기초과학지원연구원 오창센터)를 이용한 저어콘의 U-Pb 연대측정 및 LA-MC-ICPMS(극지연구소, 기초과학지원연구원 오창센터)를 이용한 저어콘의 Hf 동위원소 조성 분석
 - 변성퇴적암류 시료의 쇄설성 저어콘 연대분포 획득
 - 전자현미분석기(EPMA, 극지연구소)를 이용해 암석 시료 박편에서 광물 주원소 화학 분석 및 이를 토대로 지온지압계를 적용하여 온도-압력 계산
- 소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 확산 기작 규명
 - 카보네이셔스 콘드라이트의 불활성기체 동위원소 분석
 - 카보네이셔스 콘드라이트의 불활성기체 동위원소 분석
 - 카룬다 타입(CK) 운석의 모천체 물질에 미치는 태양풍, 우주선의 영향 평가
 - 카룬다 타입 운석의 ^3He , ^{21}Ne 을 이용한 우주선 노출연대 계산

2. 1단계 2차년도(2021년)

2.1. 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악

- 해상 자력계 탐사
 - 2021년 11-12월, 2021-22 남극하계 연구항해를 통해 남극 중앙해령 및 확장-균열대 지역에서 해상자력탐사를 수행하여, 총 300 km 이상의 측선에 대해 지형 및 지자기 자료를 획득
- 해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득
 - 세종기지 Orca 화산 주변 정밀 해저지형 자료 획득
 - 측선 250 km 이상 구간에 대해 해저 지형, 지자기 자료 획득
- 관측망 구축 및 연속 지진자료 DB
 - 세종기지 Orca화산 지역 해저면 지진관측망 구축
 - 연속지진파형에서 지진발생 신호 자동 탐지 기법을 적용하여 지진 발생 탐지
- 육상/해저 지진관측소 기본자료 분석
 - 지진관측소의 상시 미동 분석
 - 지진관측소 파워스펙트럼 분석으로 관측소 소음 레벨 분석

2.2. 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록 복원

- 북빅토리아랜드 화산 분출사 복원

- 멜버른, 리트만 일대 화산암류 및 부석/테프라 층서 연구
- 층서 규명과 분출 특성 기재를 위한 야외 조사자료 분석과 전암, 광물분석
- 마그마 분화과정 규명
- 부석/테프라의 glass 조성 및 반정광물 지구화학특성 연구: 전암 주성분분석(극지연구소 FE EPMA, JEOL JXA 8530 F)
- 극지 연구소의 열이온화 질량분석기(TIMs, TRITON), MC-ICPMS(NEPTUNE PLUS)를 이용한 화산암시료의 Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소 분석
- 지화학자료, 층서 연구 결과를 토대로 멜버른 화산과 주변 단성화산의 분출사 복원 모델작성
- 해저면 암석시료 채취
 - 2021-22 남극하계 연구항해(2021.11~12)를 통해 남극 중앙해령, 확장-균열대 및 인근 해저화산 등의 지역에서 암석시료 채취
- 소행성 표면에서 일어나는 동위원소 분별 및 화산 기작 규명
 - 오디너리 콘드라이트 구성광물의 정밀 광물화학조성(ppm 수준) 분석 실시
 - 라만분광기를 활용한 in-situ 광물구조분석 실시
 - 열변성에 의한 광물간 원소 이동과 화산 모델링 개발

2.3. 북빅토리아랜드 지체구조 진화

- 암석권 맨틀의 기원 및 진화과정 모델 수립
 - SEM, EPMA 분석으로 광물동정 및 광물화학 데이터 수집
 - 맨틀포획암 암석학적 기재 및 열평형 온도 계산
 - 감람석 유형과 비교 및 진화과정 고찰
- 터레인 경계부 암석 연대측정
 - 장보고기지 권역 암석 시료로부터 저어콘 광물 분리
 - SHRIMP를 이용한 저어콘의 U-Pb 연대측정
 - 장보고기지 권역-젤라쉬내만 지질도 작성
 - 광물화학(EPMA)을 이용한 변성기반암류 온도-압력 조건 계산
 - 변성암류 전암 주원소 조성 분석(극지연 XRF 이용) 및 열역학 모델링 적용
- 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개
 - 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 KOREAMET 홈페이지에 공개

3. 1단계 3차년도(2022년)

3.1. 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악

- 해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득
 - Orca화산 군발 지진 발생 이전과 이후의 해저지형도 분석
- 관측망 구축 및 연속 지진자료 DB
 - 2020년도 연속 지진관측자료 획득 및 DB화
 - 북빅토리아 지역 3차원 속도 구조 개발

- 육상/해저 지진관측소 기본자료 분석
 - 세종기지 Orca 화산 주변에서 회수한 해저면 지진계 수평성분 분석 및 보정
 - 해저면 지진계 자료와 기존의 육상 지진자료를 합하여 Orca화산 주변 지진 발생 현황 분석

3.2. 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록 복원

- 북빅토리아랜드 화산 분출사 복원
 - 델버른 화산 지대 시료를 포함한 북빅토리아랜드 화산암류 주원소(15점) 및 미량원소(22점) 성분 및 Sr-Nd-Pb 동위원소비(17점) 분석 완료
 - 북빅토리아랜드 화산암류 분출 연대($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) 분석(28점)
 - 리트만 화산 지온, 지압 계산(규장질암 29점 + 고철질암 29점)
- 중앙해령 및 확장-균열대에서의 열수, 해저면, 해저화산 암석시료 분석
 - 중앙해령 및 확장-균열대 지역 내, 열수분출구, 해저면, 해저화산의 암석시료에 대해 주원소, 미량원소 등 지화학 분석을 수행하여 질란디아-남극 맨틀의 지화학적 특성 및 기원 규명
- 소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 화산 기작 규명 (동위원소 화산 모델링)
 - 콘드라이트의 동위원소 분석 및 화산 모델링
 - 일본 북해도 대학과 UCLA 등 해외 대학의 이차이온질량분석기(ims-1280)을 공동활용하여 산소동위원소와 Al-Mg 동위원소 분석
 - 동위원소 분석 결과와 동위원소 분별과 화산 모델링 결과를 비교하여 우주공간에서 고온에서 단시간에 일어나는 상호 작용 연구
 - 소행성에서 상대적으로 저온에서 장기간 진행되는 수성변질과 열변성에 의한 동위원소 화산 모델링을 실제 분석 결과와 비교 연구 수행
- 소행성 류구(Ryugu; Ivuna type 카보네이서스 콘드라이트 모천체) 시료의 동위원소 분석과 논문 작업에 참여

3.3. 북빅토리아랜드 지체구조 진화

- 확장-균열대 지역에 대한 판구조 모델
 - 2021-22 남극하계 연구항해(2021.11~12)를 통해 획득된 해저지형 및 해양지자기 자료 후처리와 분석 진행
 - 판구조 모델 수립을 위해 1단계에서 계획했던 연구항해 기간이나 횟수가 확장-균열대 규모에 비해 부족한 실정
- 장보고기지 권역 변성/화성암 시료 연대측정 및 지구조모델 수립
 - 광물화학(EPMA)을 이용한 변성기반암류 온도-압력 조건 계산
 - 저어콘과 모나자이트 중광물 연대측정(SHRIMP)
 - 로스 조산운동 전후로 신원생대 최후기-고생대 초기 지질도 작성
- 암석권 맨틀의 기원 및 진화과정 모델 수립
 - 맨틀포획암 EBSD 정밀분석

- 진화과정 속에서 유체-암석 상호반응 고찰
- 새로운 조구조 모델 기획 및 논문작성 중
- 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개
 - 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 KOREAMET 홈페이지에 공개 (총 15개)

4. 2단계 1차년도(2023)

4.1. 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화

- 무인잠수정을 활용한 열수 및 심해 영상/암석/생물 시료 획득
 - 임차 예정이었던 무인잠수정(ROV)의 분실, 해당 업체와의 계약이 불발되면서 2023년 초에 계획 중이었던 탐사수행과 시료확보가 불가하였음
 - 남극 및 열수분출구 환경에 특화된 새로운 무인잠수정의 제작이 추진 중에 있으며, 2-3차년도 탐사에 활용 예정
- 심해 및 열수 환경 적응 관련 유전자발굴을 위한 데이터베이스 구축
 - 심해 생물 특이적인 발광단백질 발굴을 위한 발광어류 시료 확보 후 전사체 분석 진행
 - 심해 및 열수 환경 서식 생물 특이적 진화를 규명하기 위한 비교생물종 선정 및 비교생물종의 유전체 데이터베이스 구축
- 확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명
 - 호주-남극 중앙해령 동편의 대형 확장-균열대 지역에서 수행된 19-20 시즌 남극항해와 21-22시즌 남극항해에서 획득된 해저지형 및 해양지자기 자료 처리 및 분석 수행
 - 확장-균열대 지역의 정밀 해저지형도 및 지자기이상도 작성
- 북부 로스해 진화과정 규명
 - 북부 로스해의 센트럴분지(Central Basin)에서 획득된 해저지형 및 해양지자기 자료 처리 및 분석 수행
 - 센트럴분지 지자기 자료에 대한 모델링과 'Plate Reconstruction' 모델 제시를 통한 북부 로스해 일대의 과거 지판운동 복원
- 남극 로스해 빅토리아랜드 분지 지역 다중채널 탄성과 원시자료 확보
 - 이탈리아 National Institute of Oceanography and Applied Geophysics (OGS)에서 발표한 Geletti & Busetti (2011) 논문에서는 1990년대 획득한 다중채널 탄성과 탐사자료에 대한 분석을 통해 남극 로스해 빅토리아랜드 분지 내(그림 33, 34 참고) 나타나는 Double BSR, Cross Cutting Reflections (CCRs), Enhanced Amplitude Reflections (EARs)등 가스 및 하이드레이트의 부존과 관련된 탄성과 이벤트와 대륙붕 지역에 분포하는 해저산 구조를 소개하고 동시에 해당 연구 지역에 분포하고

- 있는 가스하이드레이트에 관해 언급
- 이는 남극 로스해에 분포하는 가스하이드레이트에 대해 최초로 지구물리학적 증거를 제시하고 있으며, 또한 Double BSR 이라는 지구물리학적 특이 구조를 논하는 연구 결과로써, 남극 로스해 신기 지체구조의 이해와 지구 온난화에 따른 남극해 해저환경변화를 연구함과 동시에 해저자원(가스하이드레이트) 혹은 극지방에서 일어나는 급격한 온난화 현상에 따른 해저 메탄방출현상 규명을 위한 기초 연구결과로 활용될 수 있을 것으로 기대하게 함

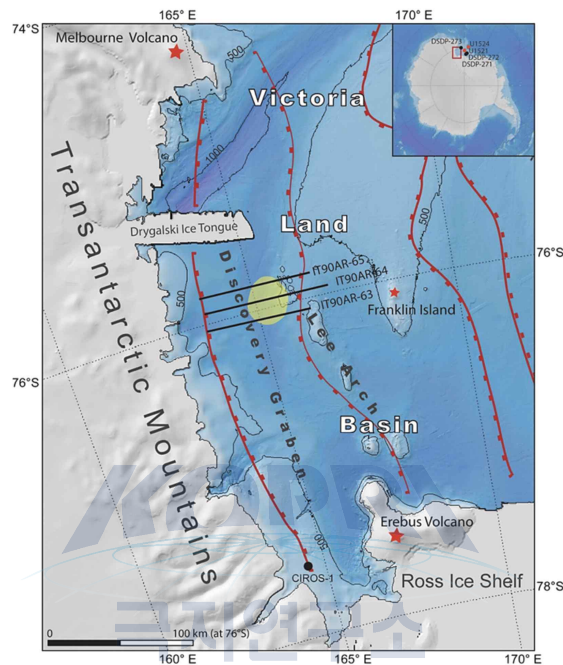


그림 54. 남극 로스해 빅토리아랜드분지 지역에 분포하는 Double BSR 연구지역 지도 [Geletti and Busetti, 2011]

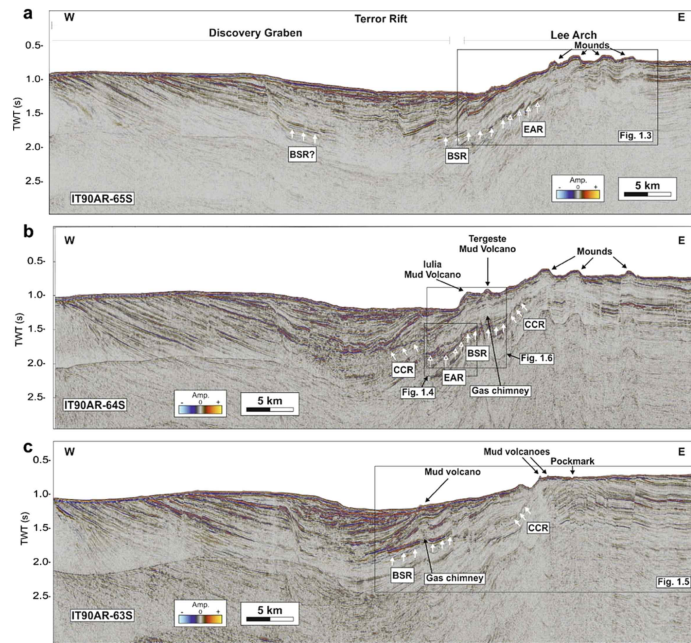


그림 55. 다중채널 탄성과 자료 내 나타나는 가스하이드레이트 부존 관련 탄성과 이벤트 (BSRs, EARs, CCRs)

- 극지연구소 지권연구본부에서는 2013년부터 쇄빙연구선 아라온호를 활용, 북극해를 대상으로 다중빔, SBP 및 다중채널 탄성과 탐사 등 해양 지구물리탐사를 다년간 수행한 경험이 있으며, 현재 북극 척치고원 및 보퍼트해 대륙붕 지역 가스하이드레이트의 분포와 그 성인을 연구하고, 다중채널 탄성과 탐사자료 분석을 통해 분포된 가스하이드레이트 및 가스에 대한 지구물리학적 특성을 규명하는 연구활동을 활발히 수행 중임
- OGS는 지난 1990년대부터 다년간 남극 로스해 빅토리아랜드 분지를 대상으로 활발한 지구물리탐사를 수행하여 왔으며 현재 다량의 다중채널 탄성과 자료를 보유 중에 있음
- 본 연구에서는 다년간 축적된 극지연구소의 북극해 지구물리 탐사경험과 자료분석 기술을 남극 로스해로 확장하여 해당 연구지역의 신기 지체구조를 이해하고 빅토리아랜드 분지 지역에 분포하는 가스하이드레이트의 특성을 규명하는 연구를 수행하고자 함
- 탄성과 자료로부터 가스하이드레이트 특성을 규명하고 특이 구조인 Double BSR에 대한 심도 있는 이해를 위한 연구 수행을 위해서는 해당 연구지역에서 획득한 탄성과 원시자료가 반드시 필요함

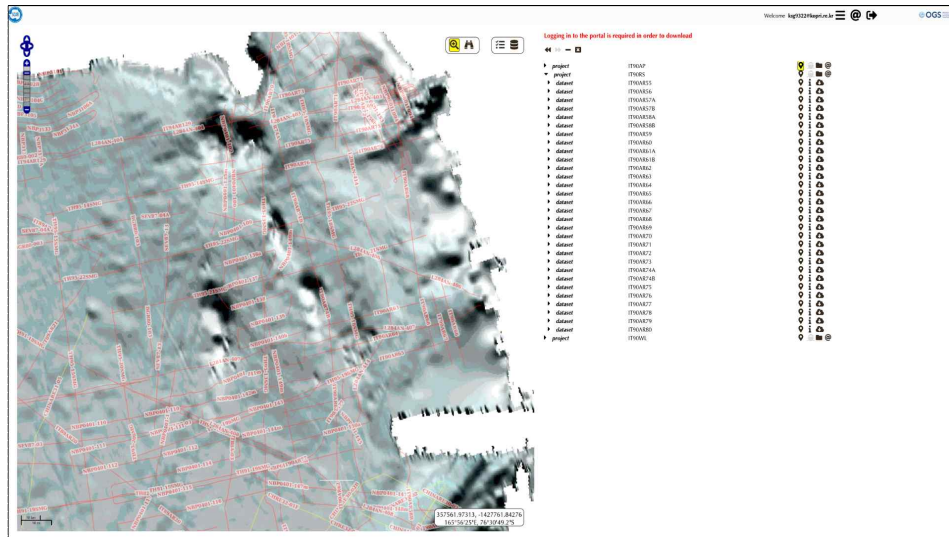


그림 56. OGS에서 운영하는 다중채널 탄성과 자료공유 라이브러리 시스템 (SDLS: Seismic Data Library System, <https://sdls.ogs.trieste.it/cache/index.jsp>)

- 탄성과 단면 이미지와 자료 관련 정보는 OGS에서 운용하고 있는 Seismic Data Library System (SDLS) 홈페이지를 통해 제공하고 있지만 다중채널 탄성과 원시자료의 경우 OGS측에 별도로 자료공유 요청을 하도록 되어 있음
- OGS에서 획득하여 보유하고 있는 남극 로스해 빅토리아랜드 분지 지역 다중채널 탄성과 원시자료 확보를 위해 이태리 OGS와의 자료공유 및 공동연구를 추진
- 2023년 6월 30일 OGS 해양지구물리 연구팀과의 국제협력을 위한 화상회의 진행: 극지연구소 2인 (홍종국, 강승구) 이태리 OGS 8인 (Laura De S., Tinibela U. 외 관련 전공자 6명) 참석
- 화상회의에서 극지연구소는 남극 로스해 지구물리 분야 연구 현황과 보유하고 있는 가스하이드레이트 분석 기술 소개, 현재 본 과제에서 추진중인 24-25시즌 남극 로스해 탐사 계획 공유, 남극 로스해 빅토리아랜드 분지 지역에 대한 지구물리 분야 연구 계획을 공유하고 공동연구를 제안, 연구에 필요한 원시자료를 요청
- OGS는 남극 로스해를 대상으로 수행한 연구들을 소개하고 현재 진행중인 논문 주제와 방향을 소개, 향후 지구물리 탐사계획과 연구 및 논문작성 계획을 공유함
- OGS에서는 극지연구소가 요청한 원시자료의 경우 현재 OGS 소속 연구자가 극지연구소가 제안한 탄성과 분석 기술과 유사한 기술을 활용하여 관련 논문을 준비 중에 있는 관계로 이에 대한 추가적인 관련 연구 협의가 필요하다는 의견을 제시
- 중복된 연구를 피하고 보다 세부적인 양 측간의 협업과 공동연구 추진, 그리고 24-25시즌 국제공동 로스해 탐사를 위해 OGS측에서 추가적인 대면 회의를 제안함
- 아래 KOPRI-OGS 화상회의 회의록 첨부 [그림 57]
- OGS측 의견에 따라 공유 요청 다중채널 탄성과 자료에 대한 중복 연구를 피하고 생산적인 국제협력 연구 및 향후 국제공동탐사 계획 수립을 위해 2024년 상반기 중으로 OGS를 방문, 관련 공동연구 및 논문작성 작성과 24-25시즌 국제공동 빅토리아랜드 분지지역 탐사계획 확립을 위한 논의를 진행할 예정

Meeting on OGS-KOPRI collaboration 30 June 2023	
Participants OGS: Martina Busetti mbusetti@ogs.it, Laura De Santis ldesantis@ogs.it, Fausto Ferraccioli fferraccioli@ogs.it, Edy Forlin eforlin@ogs.it, Riccardo Geletti rgeletti@ogs.it, Michela Giustiniani mgiustiniani@ogs.it, Vincenzo Lipari vlipari@ogs.it, Chiara Sauli csauli@ogs.it, Umberta Tinivella utnivella@ogs.it KOPRI: Jongkuk Hong jkhong@kopri.re.kr and Kang Seung-Goo ksg322@kopri.re.kr After a brief self Introduction of all participants Dr. Kang, Seung-Goo illustrates his work in the Arctic on gas hydrates and the suggestion to apply the same processing on the existing Italian seismic reflection profiles collected in 1990 in the western Ross Sea, following the publication of Geletti and Busetti 2011 JGR. The aim is to further investigate the character of the gas hydrates and the occurrence and concentration of gas in the sediment, from petrophysical properties in this area. There are no KOPRI seismic profiles in that area yet but a survey is scheduled in 2024-25 in the Ross Sea with the ARAON, during which 5 days of ship time will be dedicated to seismic profiles acquisition. Jongkuk suggests to collect new data in the survey of 2024-25 in the area of the Geletti and Busetti paper of 2011. However the target for the 2024-25 cruise has not decided yet JK says that KOPRI has a project in the Ross Sea and employs the ARAON in the Ross Sea every two years, for ca. 3 weeks, that is partly dedicated to oceanographic work. In 2024-25 the oceanographic team will work in the south eastern Ross Sea (Shirase coast). The regulation for collecting seismic data in Antarctica are not so strict yet in Korea. Umberta raises the problem that with such equipment for collecting seismic data a good velocity analysis can be done only in shallow water. Therefore it may be more convenient looking for other areas with shallower targets. Michela and Umberta have published an analysis of the Ross Sea that shows the location of potential gas hydrate stability zone (Giustiniani et al., 2017). This work can be used as basis for selecting better target areas where to apply advanced processing to existing data and for planning future campaigns. It may be worth to investigate less studied areas to publish original work and optimize the available instrumental capability. If you go back to an area where a longer streamer has been already used, you basically duplicate the job, and by acquiring new data with a shorter streamer you don't really improve what we already know. Jongkuk and Kang, Seung-Goo and their team are open to other suggestions and would be interested to collaborate with the OGS team that has a long history and experience in seismic data processing and Ross Sea tectonic and stratigraphic evolution. Fausto suggests to find a scientific target of common interest of KOPRI and OGS that can be addressed by applying different processing techniques to existing and new seismic data. In the western and central Ross Sea, it will be good to investigate for example the relationship between the Ocean spreading and the late Cenozoic extension and reactivation of tectonic structures and the evolution of the formation of the mud volcano in such frame Laura suggests that another scientific question that can be addressed by a KOPRI-OGS cooperative project is to investigate in the existing and new seismic data, preconditioning factors for past, present and future slope instability. We may study the gas concentration in the sediments and/or diatom-rich and mud alternated sedimentary strata in areas of present and past continental shelf edge-upper slope. In	these areas we may investigate the seismic stratigraphy and check the occurrence of paleo slides (see for example Gales et al., 2023). The KOPRI new digital streamer is shorter but can give a better performance than the one used in the past. Laura confirms that the KOPRI seismic system can be used also to image the water stratification (as demonstrated in the KOPRI cruise 2015, in collaboration with the KOPRI oceanographers). This can be useful to investigate the water circulation in areas of mud volcanoes or cold carbonatic mounds. We have a pending proposal in the PNRA system for acquiring new seismic data from the northwestern Ross Sea with the R/V Bassi. This is another area where potential mud volcanoes have been observed and that can be studied with multidisciplinary approach and international cooperation. Fausto: ok so this is an opportunity to work in synergy. Considering the PNRA budget and the increasing cost for the logistics, it is difficult for Italy to run major campaigns in the future. There is generally a specific line of funding in participating to international campaigns. In 2023-24 we'll do only observational work in the Ross Sea. The collaboration with KOPRI may be a really good opportunity to collect new data, starting in 2024-25, and in future campaigns with the Bassi. => better visibility also for looking for other funds (e.g. ERC fellowship) Martina asks if it is possible for Italians to sail on the ARAON for cooperative research surveys. Jongkuk says yes. There are examples also in the past of mutual exchange of scientists between OGS and KOPRI (Lorenzo petronio and Diego Cotterle sailed on the ARAON in 2015 and Sookwan Kim sailed on the OGS explorator in 2017). Martina raises the problem of sea ice: when the MCS was acquired in 1990 the sea ice was minor. Good conditions. The area is almost impossible to be reached now. In the last 30 years conditions have changed. It will be difficult to shoot seismics even though with an ice breaker. You can do coring and ctd and multibeam. We need alternative areas for the new acquisition. Jongkuk agrees that sea ice is always a problem and it is important to have alternate areas to investigate Laura suggests to consider collecting new data to fill the data gap in the southeastern Ross Sea, also to optimise the use of ship time and multibeam, since the KOPRI oceanographers will work there. Here the occurrence of potential mud volcanoes (buried below sediments) will be worth to be further investigated. See the recent paper from Barro et al., 2023. <u>Martina informs that OGS team is still working on the Italian 1990 data. She has just submitted a manuscript on some advanced processing on lines 63, 64 and 65. These data have high potential for more exploitation by re-processing e.g. full wave inversion (Vincenzo Lipari is an expert on this field). May be we are using a different approach and algorithm, but we do something similar to what you are proposing. We should not duplicate the effort. However Jongkuk and Kang, Seung-Goo may consider to visit OGS to work on the data in collaboration with us.</u> Jongkuk confirms that the KOPRI target is to estimate the seismic velocity in the sediment using their full wave inversion approach and then analyse the sediment properties, testing the methods applied in the Arctic (see paper Choi et al., 2022). We can read the paper and check if there is a way to avoid duplication and actually work in synergy. The participants agree to share publications and meet again (in few weeks) after internal discussion for planning future actions. Laura creates a drive folder for sharing papers and other documents/maps within the group.

그림 57. KOPRI-OGS 제 1차 국제공동연구를 위한 화상회의 회의록

○ 탄성과 원시자료에 대한 자료처리, 자료해석을 위한 구조보정 단면 구축

- 탄성과 원시자료 입수에 관한 일정이 미뤄지면서 1차년도 기간 동안에는 남극 로스해 빅토리아랜드 분지 지역 원시자료에 대한 자료처리와 구조보정 단면 구축이 불가함, 이를 대신하여 새로운 구조보정 알고리즘을 개발하는 연구 진행
- 실제 현장자료 적용을 위해 기존 역시간 구조보정 기술보다 높은 계산 효율을 가지는 새로운 기술을 개발하고 이를 인공합성 자료에 적용하여 정확한 결과를 구축해내는 연구를 진행하였고, 기존의 방법과 비교하여 높은 계산효율 성능을 검증하여 관련 분야 국제학술지에 논문을 출판함
- 해당 구조보정 기술은 남극 로스해 지질구조 규명을 위한 정확한 다중채널 탄성과 단면 (구조보정 단면)을 빠른 시간동안 최소한의 계산 환경 내에서 구축하기 위한 목적으로 관측 자료와 예측 자료간의 차이로 정의되는 목적함수를 최소화함으로써 고해상도의 탄성과 구조보정 영상을 도출할 수 있는 기술임
- 이는 여기진폭 영상화 조건을 통해 높은 정확도의 정방향 음원 파동장을 재구현할 수 있으며, 이때 필요한 메모리 자원은 매우 적다는 장점이 있음. 또한 단 1번의 모델링만을 필요로 하기 때문에 이미지 계산 시간을 절감할 수 있음

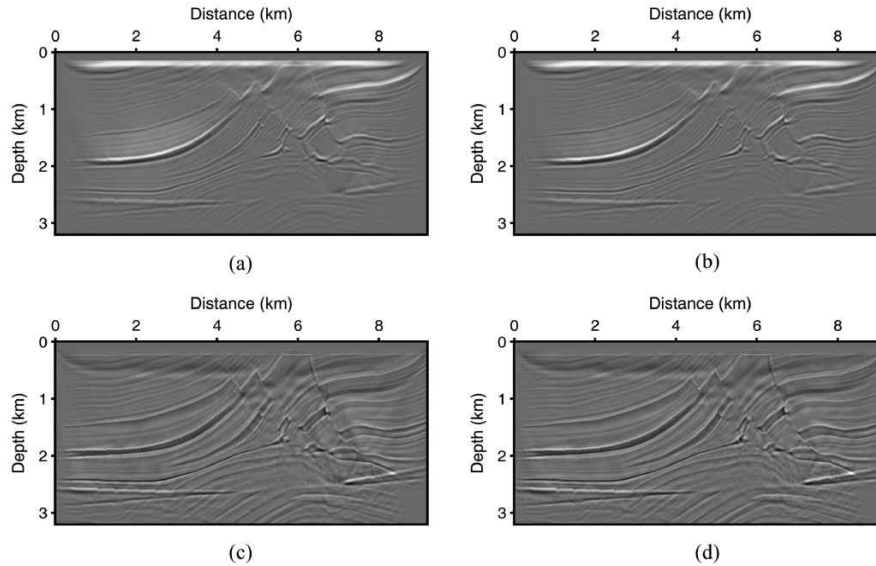


그림 58. (a) 기존 기법의 첫 번째 반복계산 결과, (b) 제안된 기법의 첫 번째 반복계산 결과, (c) 기존 기법의 최종 결과, (d) 제안된 기법의 최종 결과

표 1. 기존 최소제곱 역시간 구조보정과 제안된 기법의 메모리 및 계산시간 비교

	Memory consumption (GB)	Computing time (s)
Conventional method	0.210	36,373
Proposed method	0.00220	18,060

- 제안한 구조보정 기술은 인공합성 자료를 활용한 결과로 성능을 입증하였고 기존 기술과의 비교를 통해 적은 메모리 및 계산시간으로도 충분한 분해능을 가지는 탄성과 구조보정 단면을 도출할 수 있음을 확인함
- 해당 구조보정 기술 개발에 관한 연구 결과는 관련분야 전문 국제학술지인 Geophysical Prospecting에 게재됨

○ 지각/맨틀구조 연구를 위한 지진자료 DB

- Polar 3 지역으로 확장한 광대역 지진관측망 유지 보수 및 관측소 신규 구축(2022-23시즌)
- 2022년에 관측된 원격지진을 이용하여 관측소 센서 방향 계산
- 2022년 연속 지진관측 자료를 일단위로 정리하여 DB 구축

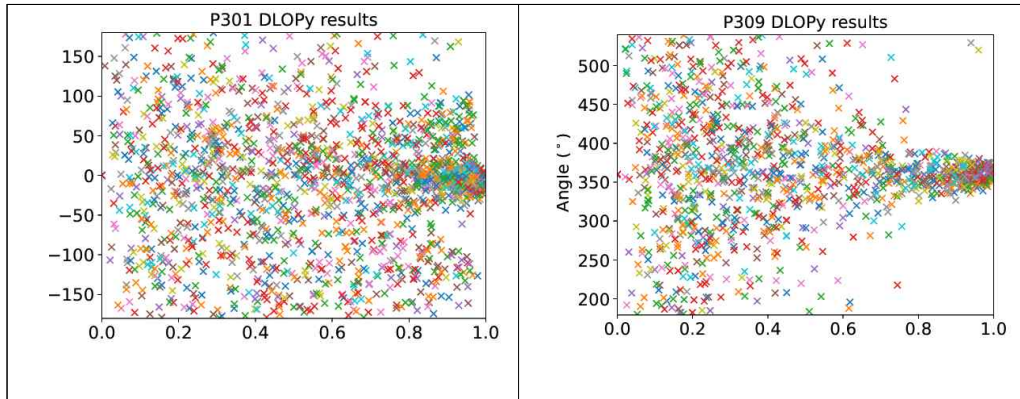


그림 59. P301 관측소 센서방향 계산결과(좌)와 P309 관측소 센서방향 계산결과(우)

○ 관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 도출

- 원격지진 파형 추출 및 지진파 진행 방향으로 파형 벡터 수정
- 수정된 파형을 활용하여 관측소 수신함수 계산
- 계산된 수신함수를 이용하여 P파와 S파 속도비와 모호 깊이 역산

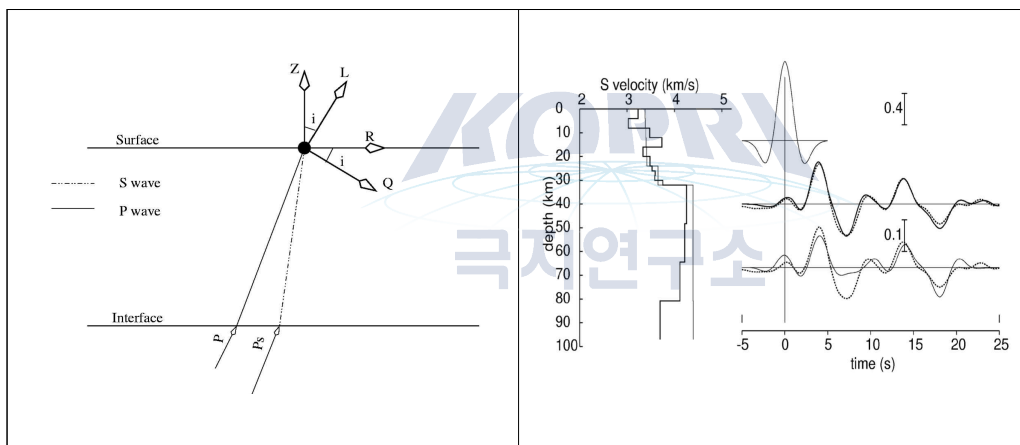


그림 60. 모호면에서 관측소로 입사하는 P파와 Ps파의 경로와 지진계 센서방향 모식도(좌)와 수신함수를 이용하여 계산된 관측소 하부지각 1D 속도 모델과 모호면 깊이(우)

○ 리트만 화산 지역 지진관측망 구축

- 페리튬 배터리를 줄이기 위한 새로운 전원공급 시스템 개발 및 활용
- AS350 헬기로 옮길 수 있는 지진계 단열박스 개발
- Polar 3 자기이상 지역 서쪽에 위치한 리트만 화산 정상 지진관측소 설치 (2022-23)
- 2023-24 남극 현장조사 기간중에 연속 지진자료를 회수할 예정임

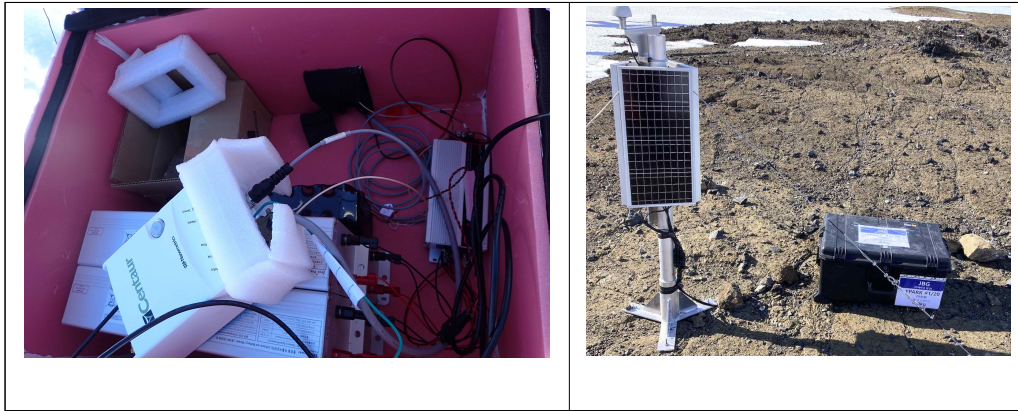


그림 61. 기존의 AGM과 리튬 메탈 배터리가 아닌 재활용이 가능한 리튬 이온 배터리를 사용한 새로운 전원공급 시스템(좌)와 AS350헬기로 이동하여 설치할 수 있는 소형 극저온 단열 박스와 태양광 패널 모습(우)

4.2. 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해

○ 화산암 지화학분석

- 북빅토리아랜드 국부 화산군 화산암류 주원소 및 미량원소 성분 및 Sr-Nd-Pb 동위원소비 분석. 극지연구소 XRF(주원소), ICP-MS(미량원소), TIMS(Sr-Nd-Pb 동위원소) 분석장비 활용

○ 화산암류 절대 연령 측정

- 북빅토리아랜드 국부 화산군 연대 측정($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$); 뉴멕시코텍 광산 공과대학 연대측정센터에서 분석

○ 변성암 광물화학 및 동위원소 분석

- 결정질 암석의 구성광물 화학조성(극지연구소 FE-EPMA, JEOL JXA 8530F 이용)으로부터 지온지압계 적용
- 고분해능 이차이온 질량분석기(HR-SIMS, 모델명: SHRIMP-IIe)와 동위원소현미경(IMS 1300)을 이용한 저어콘의 U-Pb 및 O 동위원소 조성 분석

○ 터레인 경계부 지질진화 규명

- 지질연대, 산소동위원소-희토류원소 조성, 압력-온도 조건 등을 종합하여 암석의 생성환경 규명
- 조산운동 시기 섭입대 변성, 화성, 퇴적활동의 물리화학적-시간적 진화과정 규명 및 지구조환경 해석

○ 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악

- 국내 맨틀암석 비교연구
 - 남극 맨틀포획암과 비교를 위해 국내 백령도 맨틀포획암 샘플을 채취하여 연구 진행

- 백령도 맨틀포획암의 박편을 제작하여 광학현미경 관찰, 전자현미경 SEM-EBSD (scanning electron microscopy-electron backscatter diffraction)로 구조 분석, EPMA (electron probe micro analysis)로 화학 조성 분석 및 진행할 수 있도록 함
 - 전자현미경에서의 정확한 분석을 위해 최대 3000메쉬의 연마분으로 박편 표면을 최대한 연마한 후 diamond paste 및 colloidal silica를 이용해 세밀하게 마무리, 마지막으로 박편 표면에 전자가 흐를 수 있도록 탄소코팅을 하여 전자현미경 관찰이 가능하게 함
 - 맨틀포획암 감람석 결정 내 수분함량 측정을 위해 추가적인 FTIR(Fourier transform infrared spectroscopy) 분석용 박편을 제작
 - FTIR 분석용 박편은 암석을 300 μ m 이내의 두께로 얇게 줄인 후 양면을 모두 diamond paste 및 colloidal silica로 연마, 이후 120 $^{\circ}$ C의 온도에서 24시간 가열하여 표면에 존재할 수 있는 습기 제거 후 광물 내 물 함량 분석 진행
 - EBSD를 통해 얻은 박편 전체의 구조 데이터는 matlab 프로그램을 사용하여 시각화 가능
- 장보고과학기지 주변 맨틀포획암 Re-Os 동위원소 분석
- Europlanet 2024 Research Infrastructure에 선정되어 2023년 8월 16일 ~ 9월 8일 국외출장으로 화학분리 및 MC-ICP-MS와 TIMS Re-Os 동위원소 분석을 진행함
 - 실험을 진행하기 앞서 현지 실험실에서 사용하는 pyrite를 이용해 chemistry를 하고 난 이후 Re solution에 대한 분석테스트를 진행함
 - Re-Os 분리 처리방법(sample distillation): Re, Os 분리는 고깔 모양의 바이알을 이용함. 평평한 부분 가운데 스파이크로 사용하는 용액(185, 190 Re 포함)을 약 5~10 μ l 위치시킨 후 75도 오븐에서 30분간 말림. 그 후 평평한 곳에 물 2 μ l를 이용해 황화물 샘플을 가운데 위치시키고 Cr이 함유된 황산용액 23~25 μ l를, 고깔 팁 부분에 HBr 25 μ l를 가하고 조심스레 엮음. 알루미늄 호일을 이용해 아랫부분을 감싸고(팁 부분은 밖으로 드러남), 80도 오븐에서 2시간동안 distillation



그림 62. 삼각형 모양의 바이알을 이용해 용액을 가열하고, Os는 팁 쪽으로, Re는 아래 남게 되는 distillation processes를 이용해 두 원소를 분리함

- Os 샘플 준비: distillation을 끝내고 고깔에 남은 노랑 빛을 띠는 용액을 약 2~3 μl 까지 오븐에서 말린다. 준비된 Os 용액을 heater에 연결된(0.25A) 필라멘트에 도포하고 말리는 것을 반복함. 샘플 도포가 끝나면, Os loading sol을 한번 도포해주고 전류를 1A까지 올려 말림. 준비된 필라멘트는 샘플홀더에 넣어줌
- Re 컬럼: distillation을 끝내고 평평한 바이알에 남은 붉은 빛을 띠는 용액을 30~40 μl 가하고 오븐에서 80도 1일 말림. 청~녹색으로 변색된 것을 확인 후, 물 30 μl 를 이용해 뚜껑에 있던 용액을 바이알로 옮긴 후 오븐에서 1시간 이상 말림. 말린 샘플은 0.8N HNO_3 1 ml를 가하고 충분히 섞일 수 있도록 시간을 줌
- Re 컬럼 작업은 resin cleaning, conditioning, washing, collecting Re 총 네 단계로 이뤄져 있음. Resin cleaning 작업은 HCl 4N + 2.5 HF, H_2O , HNO_3 50%, H_2O 4가지 용액을 단계별로 2 ml씩 넣고 깔대기 끝까지 이동하는 것을 확인하고 다음 단계의 용액을 넣는 것을 반복함
- Conditioning과 washing 작업은 0.8N HNO_3 용액을 1 ml 주입하고, 바이알로 바꿔 샘플을 주입하여 Re를 모으로 80도에서 말려줌. 이후 2% acid를 1.8 ml 주입하고 샘플 홀더에 장착시킴
- Os와 Re를 각각 열이온화 질량분석기 (Thermal Ionization Mass Spectrometry, TIMS), 다중유도결합플라즈마분석기 (Multicollector-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, MC-CP-MS)를 이용해 분석함

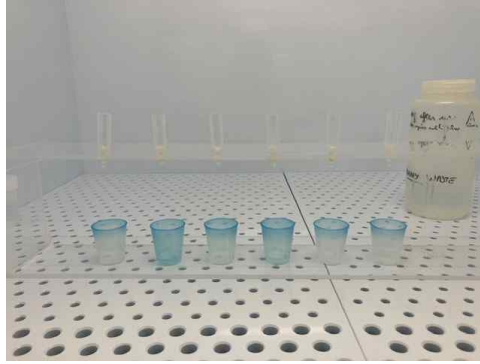


그림 63. Re 컬럼 분리

○ 달과 소행성 표면물질 특성 분석

- 뮤온빔을 이용한 달운석의 완전 비파괴 전암화학조성 분석 수행
- 극지연의 EBSD, FE-EPMA를 이용한 달운석내 저어콘의 결정 분포 및 화학 조성 분포 맵핑
- 비정질과 결정질의 나노스케일 결정 구조 분석을 위해 미국 NASA JSC의 투과전자현미경을 이용한 공동연구 수행
- 달운석 화강암편의 ternary feldspar의 결정질/비정질 확인을 위해 라만 분석 수행
- 달운석내 저어코날라이트의 U, Th, Pb 화학 조성 분석을 통한 연대 측정
- 남극운석 166개에 대한 광물학적, 암석학적 분류 수행하여 남극운석 명명위원회에 보고하여 정식 등록 예정
- 2023년 11월 15일~12월 11일간 남극 빅토리아랜드 엘리펀트 모레인 일대에서 남극운석 탐사 수행 예정

5. 2단계 2차년도(2024)

5.1. 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화

○ 지화학 분석을 통한 맨틀 성인 및 진화 규명

- 23-24 아라온 1항차 승선연구 중 확장-균열대에서 락코어 작업으로 해저면 암석시료 11 점 확보
- 극지연구소 EPMA 분석장비를 활용하여 주원소 분석 완료 및 11월 중 미량원소 분석 (LA-ICP-MS 활용) 예정

○ 심해 생물 특이적 유전자원확보 건수

- 확장-균열대 락코어 시료로부터 획득된 생물 파편의 형태분석을 통한 해당지역의 생물다양성 예측
- 상동유전자(orthologous) 분석을 통해 심해 생물 특이적 획득 및 손실 유전자 리스트 구축

○ 확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명

- 호주-남극 중앙해령 KR1 동편의 대형 확장-균열대 지역에서 23-24 시즌 남극항해 아라온 1항차 현장탐사 수행
- 총 400 km 이상의 지구물리 탐사 측선에 대해 지형 및 해양지자기 자료 획득, 자료 처리 및 분석 진행
- 19-20 및 21-22 시즌 남극항해 당시 대형 확장-균열대의 다른 구역에서 획득한 고해상도 해저지형 자료와 병합하여 정밀 해저지형도 업데이트 완료함
- 확장-균열대 구역 내, 총 4개의 확장 분절(segment)에서 총 8개의 측선에 대해 지자기 자료를 획득하였고, 자료 보정 및 후처리 계산 등을 통해 지자기이상(magnetic anomaly)으로 변환하여, 확장축(spreading axis)로부터의 거리에 따른 지자기이상 변화에 대한 그래프 도출

○ 북부 로스해 진화과정 규명

- 북부 로스해의 센트럴분지(Central Basin)에서 획득된 해저지형 및 해양지자기 자료를 활용한 분석 계속 진행 중
- 센트럴분지 지자기 자료에 대한 모델링 결과를 바탕으로 센트럴분지 형성과 관련된 동남극 및 서남극 간의 분리와 북부 로스해 진화에 대한 새로운 판구조 복원(plate reconstruction) 모델 제시
- 논문 투고를 위해 공저자로 참여하고 있는 연구자들 간의 막바지 논의 및 토론이 진행 중이며 연말 혹은 내년 상반기 논문 투고를 목표로 하고 있음

○ 빅토리아랜드 분지 지역 탄성과 자료에 대한 파형역산 알고리즘을 통한 정밀 속도모델 구축

- 2016-17년 남극 하계시즌 아라온호를 활용하여 획득한 로스해 다중채널 탄성과 자료에는 획득한 해황과 지형에 의해 생긴 외부적 잡음과 탐사 장비 운용에 따라 생성된 고유 잡음 등이 자료 내 포함됨
- 특히 탐사지역에 나타나는 비균질하며 높은 탄성과 임피던스 특성을 가진 해저면은 탄성과 잡음과 강한 겹반사와 이벤트를 생성, 탄성과 단면으로부터 연구지역에 대한 지질해석의 큰 방해요소로 작용
- 2024년 1월 최신 고급 신호처리 기반 잡음제거 기술(Omega Adaptive Deghosting, Bandwidth Extention, FX domain Dip Filter, Signal Enhancement 등)이 포함된 Omega Advanced Signal Processing Bundle을 도입, 남극 로스해 빅토리아랜드 분지 지역에서 획득한 다중채널 탄성과 자료에 적용
- Advanced Signal Processing 번들의 활용을 통해 외부적 잡음과 고유 잡음 그리고 겹반사와 등 탄성과 해석에 방해가 되는 요소들을 효과적으로 제거해 넘으로써 정밀 속도분석이 가능한 Preprocessing 자료 확보
- 파형역산 기술은 파동방정식을 통한 모델링을 수행하고 수치해석학적 기법을 통해 정밀 속도모델을 구축하는 최신 기술이지만 보유 중인 남극 로스해 탄성과 자료에 적용할 경우 제한적인 스트리머 길이 등 자료의 특성상 신뢰할 수 있는 속도모델의 심도가 1km 이내로 제한적이라고 판단, 해당 연구지역에 대한 신기 지체구조를 이해하는데 한계가 있음.

- Advanced Signal Processing 통해 탄성과 자료내 포함된 겹반사파를 포함한 방해요소와 잡음이 제거된 경우, Migration Velocity Analysis (MVA)를 활용한 속도모델의 구축과 이미징이 파형역산을 활용하는 경우 보다 효과적일 것으로 판단
- MVA를 통한 정밀 속도모델 구축

○ 탄성과 단면, 정밀 속도모델 해석

- 남극 로스해 빅토리아랜드 분지지역 내 가스하이드레이트 및 해저진흙화산 등 특이구조가 포함된 다중채널 탄성과 자료는 이태리 OGS에서 확보하여 보유하고 있으며, 향 후 한국-이태리 공동연구 및 자료공유를 위한 추가 협의를 통해 자료확보를 재차 시도해 볼 예정
- 이태리 OGS자료가 확보될 경우 정밀 속도모델의 구축 및 심도 구조보정 단면 작성을 통해 해당 연구지역에 대한 신기 지체구조의 특성과 가스하이드레이트 및 해저 진흙화산에 대한 지구물리학적 특성을 규명하는 연구를 진행할 계획

○ 남극 로스해 지구물리탐사 (*2025년 연구계획)

- 연구계획 변경으로 인해, 2024-25 계획이었던 로스해 빅토리아랜드 분지 지역에 대한 지구물리 탐사를 2023-24 아라온 남극 3항차를 활용하여 수행함
- 빅토리아랜드 분지 지역에 분포하는 가스하이드레이트와 관련된 해저진흙화산을 대상으로 해저지형, 천부지층 및 과학적 어군탐지기를 활용한 음향자료 확보
- 빅토리아랜드 분지 지역에 분포하는 가스하이드레이트 층 인근에 분포하는 가스가 이동하여 생성시킨 것으로 알려진 Iulia 그리고 Tergest 진흙화산 [Geletti et al., 2011]에 대한 활동성 확인과 해당 지역에 대한 해저지형 조사

○ 확장된 지각/맨틀 3차원 속도구조 모델

- 2022년부터 Polar 3지역으로 확장된 지진 관측망의 연속지진 자료 DB 구축
- 연속지진 자료에서 590개의 새로운 원격 지진 파형 추출 및 DB 구축
- Polar 3 지역과 리트만 화산지역 3차원 속도 구조 모델 스페이스 개발
- 현재 3차원 속도 구조 모델링 역산 중

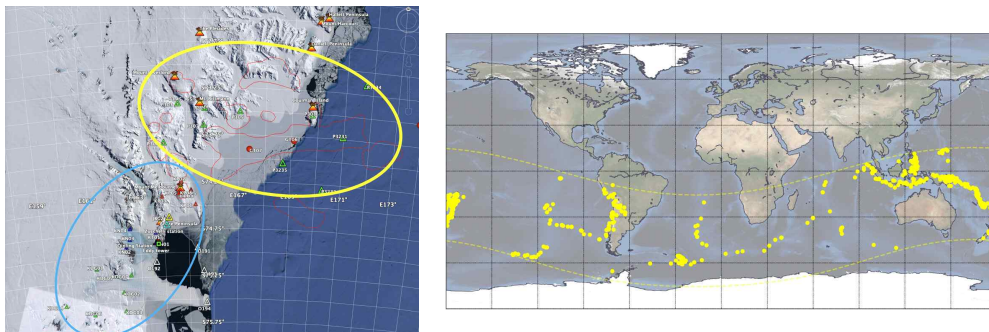


그림 64. (좌) 북으로 확장된 지진관측망(노란색 타원안의 초록색 삼각형)과 기존의 관측망(하늘색 타원안의 삼각형) 위치. (우) 연속지진자료에서 추출한 590개의 원격 지진 파형 DB 자료 위치.

○ 리트만 화산 지역 지진 발생현황 연구

- 확장된 연속 지진자료 DB에서 국지지진 신호 선별
- 선별된 지진 신호를 분석하여 지진 위치 결정
- 결정된 지진원 중에서 3개 이상의 관측소의 지진원 위치 정확도 분석
- 선별된 지진원에 대한 지진 목록 작성

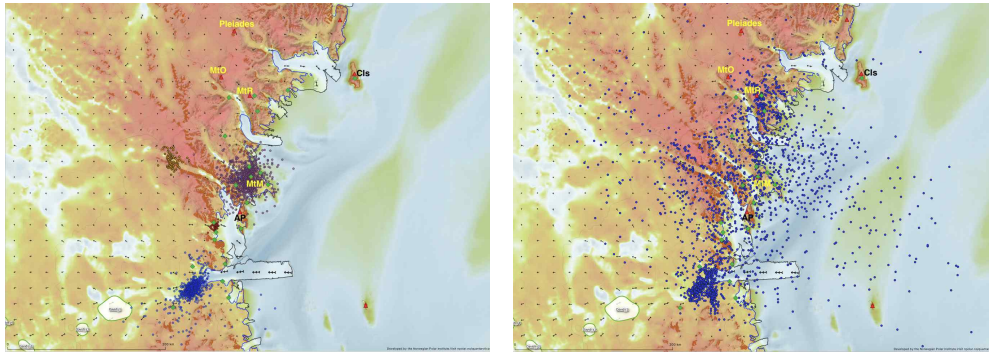


그림 65. (좌) 2016-2017 자료에서 확인된 지진원 위치. (우) 2022년에 확장된 지진관측망에서 관측된 지진원 위치

5.2. 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해

○ 화산암 지화학분석

- 북빅토리아랜드 국부 화산군 화산암류 주원소 및 미량원소 성분 및 Sr-Nd-Pb 동위원소비 분석. 극지연구소 XRF(주원소), ICP-MS(미량원소), TIMS(Sr-Nd-Pb 동위원소) 분석장비 활용

○ 화산암류 절대 연령 측정

- 북빅토리아랜드 국부 화산군 연대 측정($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$): 뉴멕시코텍 광산 공과대학 연대측정센터에서 분석

○ 변성암 광물화학 및 동위원소 분석

- 변성암 시료에서 저어콘 등 중광물 분리 및 음극선발광영상 촬영
- 주요 광물의 화학조성과 전암성분을 이용한 지온지압계, 열역학 모델링 적용
- 변성암류 내 중광물(저어콘, 모나자이트 등) U-Pb 정밀연대측정



그림 66. 산소동위원소 조성 분석에 사용할 초고분해능 동위원소 현미경 시스템(IMS1300), 한국기초과학지원연구원 오창센터

○ 터레인 경계부 지질진화 규명

- 중광물의 산소동위원소 조성과 연대를 이용하여 캄브리아기 변성작용의 단계별 시기 파악
- 섭입대 물질 순환과정의 속도 및 남극 로스 조산운동 시기의 지구조적 의의 규명

○ 북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명

- 장보고과학기지 주변 화성암류 변형흔적 EBSD 분석
- Monazite 변형미구조 및 연대 측정 중

○ 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악

- 암석권맨틀 REE 분석 완료
- Re-Os 데이터와 비교 분석 중

○ 달과 소행성 표면물질 특성 분석

- HED 운석(유클라이트, 디오제나이트) 스펙트럼 분석
- 소행성 Vesta 또는 Vestoid의 표면 물질 특성 연구
- 운석 분류

6. 2단계 3차년도(2025)

6.1. 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화

○ 지화학 분석을 통한 맨틀 성인 및 진화 규명

- 24-25 아라온 2항차 승선연구를 통해, 드렛지를 활용하여 확장-균열대 지역의 해저면으로부터 암석시료 채취 수행

- 남극 중앙해령 암석의 주원소와 미량원소 성분 및 동위원소 (Sr-Nd-Pb) 비 분석
- 암석시료 조성 분석을 위해 극지연구소의 EPMA, ICP-MS 등 활용 예정

○ 심해 서식 생물의 유전체 분석을 통한 심해 적응/진화 기작 규명

- 다양한 생물군의 시각 관련 유전자 데이터베이스화
- 심해 서식 복족류에서 확인된 시각 관련 유전자의 손실을 다양한 생물군으로 확장하여 분석
- 남극 확장-균열대 서식 생물의 확보 및 유전체 분석을 통한 심해 적응관련 유전자 확보
- 열수분출구 서식 미생물 및 생물의 확보 및 유전체 분석을 통한 중금속 및 유기물 분해 효소 발굴
- 24-25 아라온 2항차 승선연구를 통해, 심해 플랑크톤 네트를 활용하여 확장-균열대 지역에 서식하는 심해 생물 채집 수행

○ 무인잠수정을 활용한 열수 및 심해 영상/암석/생물 시료 획득

- 임차 예정이었던 무인잠수정(ROV)의 분실, 해당 업체와의 계약이 불발되면서 2023년 초에 계획 중이었던 탐사수행과 시료확보가 불가하였음
- 남극 및 열수분출구 환경에 특화된 새로운 무인잠수정을 제작 완료하여 2025-26 시즌 남극 탐사에서 심해생물 및 열수환경 영상자료를 획득할 예정

○ 확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명

- 24-25 아라온 2항차 승선연구를 통해, 확장-균열대에서 해저지형 및 해양지자기 자료 추가 확보
- 확장-균열대는 과거 호주와 뉴질랜드, 남극이 현재의 위치보다 조금 더 가까웠던 시절(~10백만년전), 호주-남극 중앙해령(혹은 남동인도양 중앙해령)과 태평양-남극 중앙해령을 연결하고 있던 하나의 긴 균열대인 Emerald Fracture Zone이 주변 판운동의 변화에 따라 여러 개의 짧은 중앙해령 분절들과 균열대(fracture zone)가 혼재된 형태로 바뀐 지구구조로써, 현재 확장-균열대 내부에서 가장 수심이 깊은 지역이 태평양판과 남극판 사이에서 확장-균열대 내외부로 길게 뻗어 있는 Emerald FZ의 한 부분이 되는 지역임
- 24-25 시즌 현장탐사에서는 Emerald FZ를 중심으로 멀티빔, 해상 자력탐사를 수행하여, 확장-균열대의 운동역학적 진화과정 규명의 중요한 단서가 될 수 있는 지구물리적 정보 획득을 목표로 하고 있음
- 확장-균열대의 확장축을 기준으로 마주하고 있는 두 지판들, 즉 태평양판과 남극판 간의 상대적인 운동을 기술 할 수 있는 새로운 모델 수립을 위해 최대한 넓은 영역에 대한 탐사 수행 및 지구물리 데이터 획득을 목표로 하며, 이는 다음 단계의 연구에서 최종적인 모델 구현에 활용될 계획

○ 남극 로스해 지구물리탐사

- (*연구계획 변경) 2024년 2월부터 4월까지 2023-24 아라온 남극 3항차를 활용하여 탐사 수행함

- 빅토리아랜드 분지 지역에 분포하는 가스하이드레이트와 관련된 해저진흙화산을 대상으로 해저지형, 천부지층 및 과학적 어군탐지기를 활용한 음향자료 확보
- 빅토리아랜드 분지 지역에 분포하는 가스하이드레이트 층 인근에 분포하는 가스가 이동하여 생성시킨 것으로 알려진 Iulia 그리고 Tergest 진흙화산[Geletti et al., 2011]에 대한 활동성 확인과 해당 지역에 대한 해저지형 조사
- 가스의 이동에 의해 생성되었다고 알려진 Tergest, Iulia 해저 진흙화산에 대한 천부지층 자료와 활동성 확인을 위해 수행한 과학적 어군 탐지기 결과 제시, 기존 연구를 통해 알려진 가스의 이동에 의해 생성된 해저 진흙화산은 현재 활동성이 없는 것으로 확인
- 2단계 3차년도까지의 현장탐사를 통해 연구성과를 낼 수 있는 데이터와 시료는 모두 확보되었고, 2025-26 시즌 아라온 남극 탐사를 통해 해저면 지형자료, 해양 지자기자료 등을 추가적으로 확보할 수 있을 것으로 예상함

○ 탐사자료 처리 및 해석

- 2024년 탐사계획이 변경 축소되면서 예정된 다중채널 탄성과 탐사는 해저 진흙화산 정밀 탐사로 변경되어 진행
- 2025년 2월 이태리 OGS에 방문, 다중채널 탄성과 자료를 활용한 탄성과 속도모델 구축 기술과 기계학습을 활용한 단층해석 기술에 대한 소개, 로스해 빅토리아 분지 가스하이드레이트 및 해저진흙화산 특성 규명에 대한 공동연구 추진을 위한 대면회의 진행
- 이태리 OGS측에서는 다중채널 탄성과 원시자료를 제공, 탄성과 속도모델 구축과 기계학습을 활용한 단층해석에 대한 공동연구를 추진하는 데에 동의, 2025년 4월, 원시자료 공유 및 공동연구 수행에 관한 OGS-KOPRI 양해각서를 작성 중
- 기계학습을 활용한 남극 로스해 빅토리아 분지 단층해석 연구는 OGS측에서 제공하는 연구결과 및 자료(탄성과 단면과 지질해석에 대한 정보 등)를 기반으로 생성형 AI를 활용, 빅토리아 분지 지역에서의 기계학습 기반 단층해석 진행
- 파형역산을 이용한 남극 로스해 빅토리아 분지 가스하이드레이트에 대한 속도모델 구축은 25년 하반기에 이태리 OGS에 재차 방문하여 공동으로 연구작업을 진행할 예정

○ 관측자료와 맨틀구조에 부합하는 Polar 3 형성 모델 도출

- 3차원 맨틀/지각 속도 구조 해상도 테스트
- 해상도 테스트를 통한 최적의 맨틀 물리적 특성 분석 (현재 수행중)
- 정밀 해저지형과 지진발생 메커니즘으로 스트레스와 지각 변형 방향 분석 (분석 수행중)
- 맨틀/지각 물리적 특성과 스트레스/지각 변형 방향을 고려한 Polar 3 형성 모델 도출

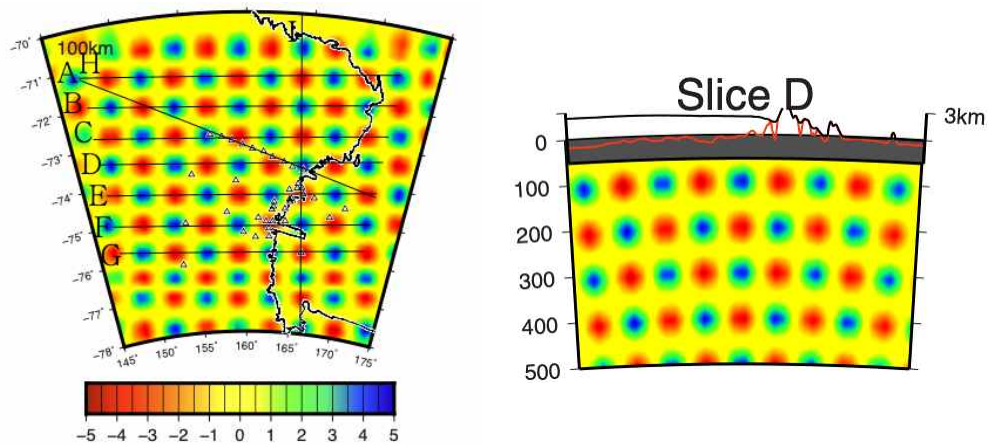


그림 67. 3차원 모델의 해상도 테스트를 위한 격자구조 입력 모델의 100km 깊이의 수평 단면(좌)과 D선의 수직 단면(우). 입력된 격자구조의 속도 이상체는 -5%(붉은색)와 5%(파란색)의 최소/최대값을 가지며 Gaussian 분포를 따름. 수직 단면(우)에서 0km를 해수면으로 붉은색과 검은색 선은 각각 빙하 하부 지각 고도와 빙하의 고도를 나타냄

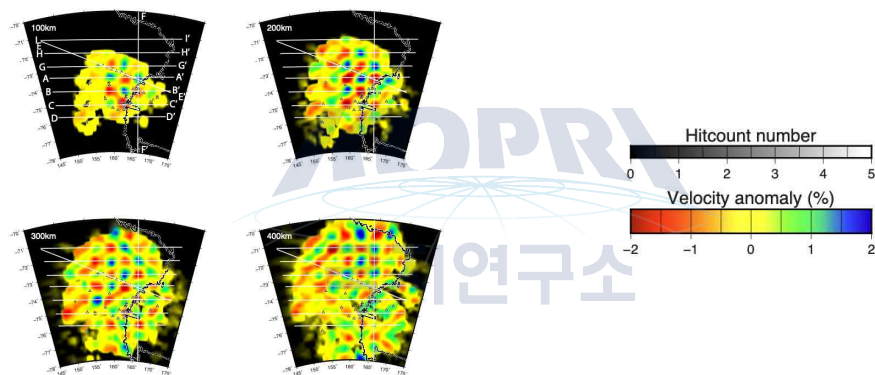


그림 68. 격자구조 입력모델에서 도출된 격자구조 해상도 테스트 결과. 깊이 100-400km 까지 100km 간격으로 테스트 결과를 보여줌. 회색-검은 색 스케일 막대는 모델 공간에 통과하는 지진파가 5개 이상인 경우 투명하게, 그리고 투과된 지진파가 없는 경우는 검은색으로 나타내지며, 도출된 속도 모델은 최대 -2%-2%의 크기를 보임

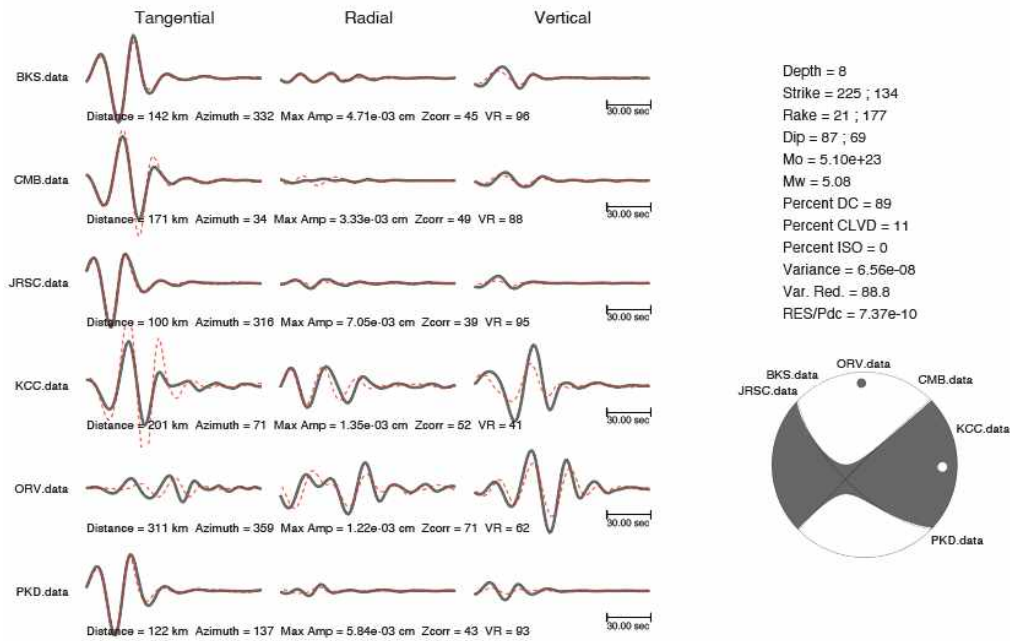


그림 69. 시계열 지진파형 모델링을 이용한 지진원 발생 메카니즘 역산 방법인 Moment Tensor 예시. 현재 멜버른화산과 데이비드 빙하에서 발생한 지진원에 적용하여 분석중

○ 신규 관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 도출

- 관측소 하부에서 수직으로 입사하는 지진파 주행 곡선 분석
- 위의 경우를 만족하는 지진파 파형 자료 DB 구축
- 구축된 자료를 이용하여 지진관측소별 수신함수 도출
- 도출된 수신함수에서 P파와 Ps파의 도달 시간 분석으로 관측소 하부 속도/모호 깊이 역산

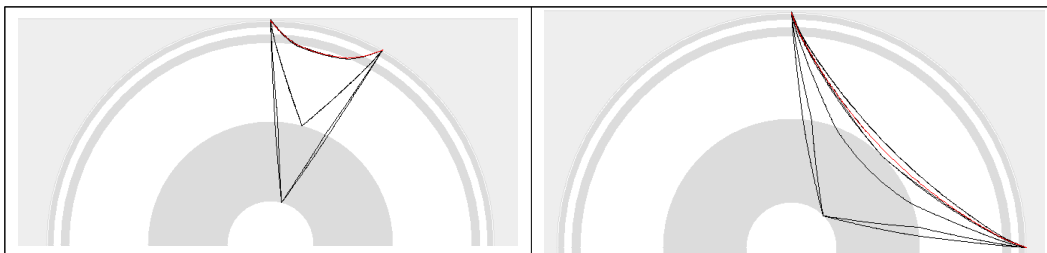


그림 70. 깊이 20km에서 발생한 지진원에 대한 지진위상별 거리 30° (≈3,335.7km:좌)와 90° (≈10,007.1km:우) 지구내부 전파 경로. 경로는 P, PcP, pP, PKIKP, SKS, S ScS, sS, SKIKS 위상에 대해서 모델링 되었으며, 붉은 색 경로는 초동 P파의 경로를 나타냄

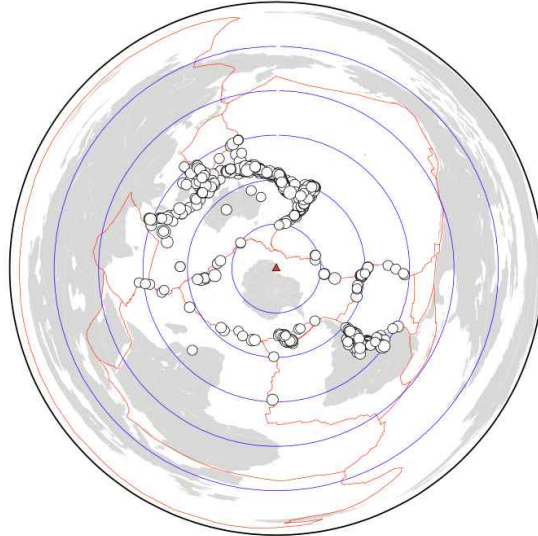


그림 71. 지진파 경로 모델링 후 관측소 수신합수 역산을 위하여 선별된 지진원 위치. 1,000개 이상의 지진원 자료를 이용하여 관측소별 수신합수 역산

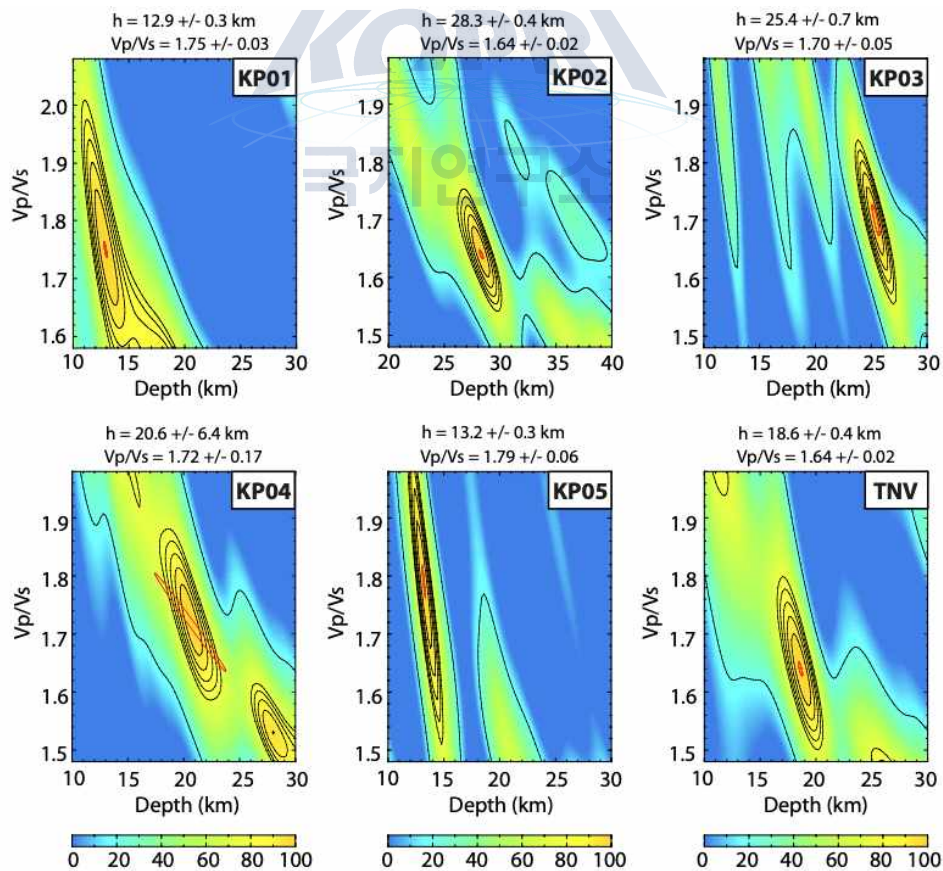


그림 72. 멜버른화산 주변에 설치된 지진관측소에 대한 수신합수 역산 결과. 각 관측소의 수신합수에 대한 지각 두께(모호면 깊이)와 Vp/Vs 값이 역산되었음. 현재 데이비드 빙하 주변의 지진관측소(KDG)에 대한 수신합수 역산이 수행중.

6.2. 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해

○ 화산암 지화학분석

- 북빅토리아랜드 국부 화산군(Local volcanic suites) 화산암류 주원소 및 미량원소 성분 및 Sr-Nd-Pb 동위원소비 분석. 극지연구소 XRF(주원소), ICP-MS(미량원소), TIMS(Sr-Nd-Pb 동위원소) 분석장비 활용

○ 화산암류 성인규명을 위한 근원물질인 맨틀포획암 지화학분석

- 윌로우 누나텍(Willow Nunatak)에서 산출되는 맨틀 포획암시료의 광물분석과 동위원소 분석. 극지연구소 EPMA, LA-ICP-MS(미량원소), TIMS(Sr-Nd-Pb 동위원소) 분석장비 활용 예정

○ 화산암류 절대 연령 측정

- 북빅토리아랜드 국부 화산군 연대 측정($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$): 뉴멕시코텍 광산 공과대학 연대측정센터에서 분석

○ 변성암 광물화학 및 동위원소 분석

- 변성암 시료에서 저어콘 등 중광물 분리 및 음극선발광영상 촬영
- 주요 광물의 화학조성과 전암성분을 이용한 지온지압계, 열역학 모델링 적용
- 변성암류 내 중광물(저어콘, 모나자이트 등) U-Pb 정밀연대측정



그림 73. 산소동위원소 조성 분석에 사용할 초고분해능 동위원소 현미경 시스템(IMS1300), 한국기초과학지원연구원 오창센터

○ 터레인 경계부 지질진화 규명

- 중광물의 산소동위원소 조성과 연대를 이용하여 캄브리아기 변성작용의 단계별 시기 파악

- 섭입대 물질 순환과정의 속도 및 남극 로스 조산운동 시기의 지구조적 의의 규명
- 북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명
 - EBSD를 이용한 구조분석
 - EPMA, SHRIMP 등을 이용한 화학분석 및 연대추정
- 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악
 - EBSD를 이용한 구조분석
 - ICP-MS를 이용한 Os 동위원소 성분 분석
 - REE 성분을 이용한 메타소마티즘 특성 파악
- 달과 소행성 표면물질 특성 분석
 - X-ray 원소 맵핑, 라만 분석으로 구성 광물에 대한 정보 획득
 - 소행성 류구, 베누 회수 시료의 분석 자료와 비교 연구
 - CM 콘드라이트에 대한 산소, 황 동위원소 전암 분석
 - 이차이온질량분석기를 이용한 황화물의 in-situ 동위원소 분석법 수립
- 운석 분류
 - 2016년도 운석 분류 최종 정리 및 국제운석학회 명명위원회에 보고
 - 연구가치가 높은 시원운석의 암석학적 세분류 수행 및 국제운석학회 보고

극지연구소

3.3절 연구결과 및 달성실적

1. 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화

□ 연구내용 1-1. 지화학 분석을 통한 맨틀 성인 및 진화 규명

○ 남극 중앙해령의 지화학 특성 연구

- 19-20 시즌, 호주-남극 중앙해령의 동편에 위치한 '확장-균열대'에서 암석시료 채취를 동반한 세계 최초의 해양탐사가 수행된 이후, 본 과제 연구수행기간 동안, '확장-균열대'에서 획득한 현무암질 글래스에 대해 주원소 및 미량원소 분석을 완료함 [그림 74]

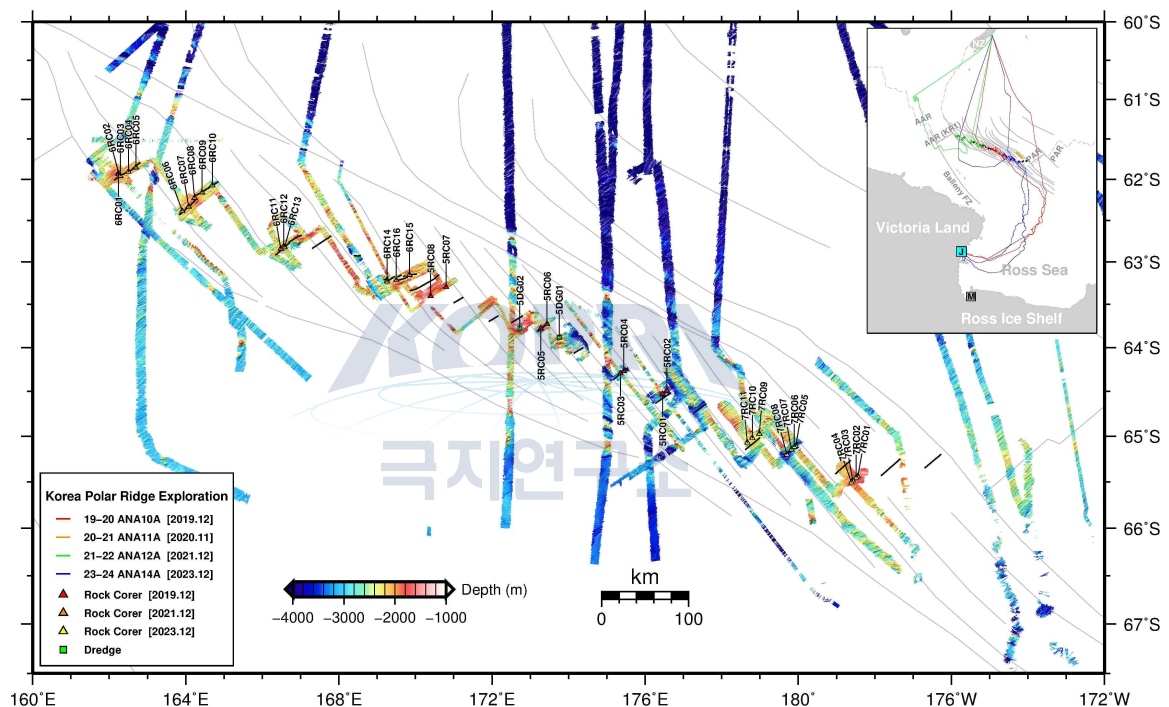


그림 74. 본 과제 연구수행기간(2020년 이후) 동안 확장-균열대 지역에서 획득한 멀티빔 지형자료 및 암석시료 샘플링 정점 위치를 표시한 지도 (단, 24-25 시즌에 획득한 지형자료 및 시료 샘플링 정점 위치는 표시하지 않았음)

- 경도별 도시 결과, 확장-균열대의 서편에서 동편에 걸쳐 지화학적 분포가 구별되는 특징이 있음 [그림 75]
- 호주-남극 중앙해령(KR1)에 인접한 서편 경계에서 165°E까지 점진적으로 부화된 지화학 조성을 보이는데, 165°E의 동편으로는 그 반대의 경향이 나타남
- 지화학 조성은 확장-균열대 내의 중앙해령 분절(segment)별로 구별이 되는데, 확보된 시료 중 확장-균열대의 동편에서 두드러지게 나타남
- 확장-균열대의 맨틀의 성인 규명을 위해서는 데이터의 공백이 있는 분절 내에서의

고밀도 시료 확보가 필요하며, 특히 암석 시료의 데이터가 전혀 없는 165°E-173°E 범위에서 시료 확보가 수행되어야 할 필요성이 있음

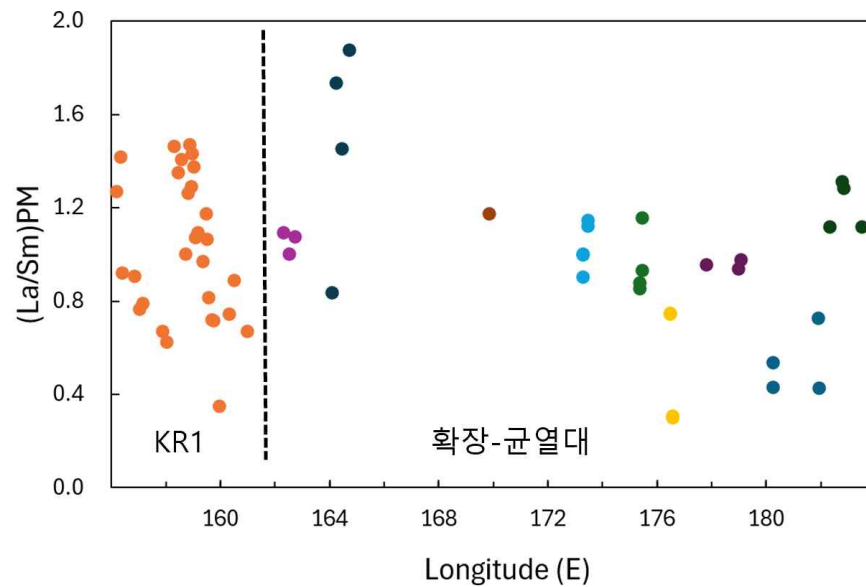


그림 75. 확장-균열대 클래스 시료의 지화학 조성의 분포 (같은 분절 내 시료는 동일 색상으로 표기)

- 24-25 시즌에 수행된 연구항해에서는 3차례의 드렛지를 추가적으로 수행하여 암석 시료를 획득하였으며 [red symbols in 그림 76], 육안으로 확인된 대표적인 암석 기제는 다음과 같음

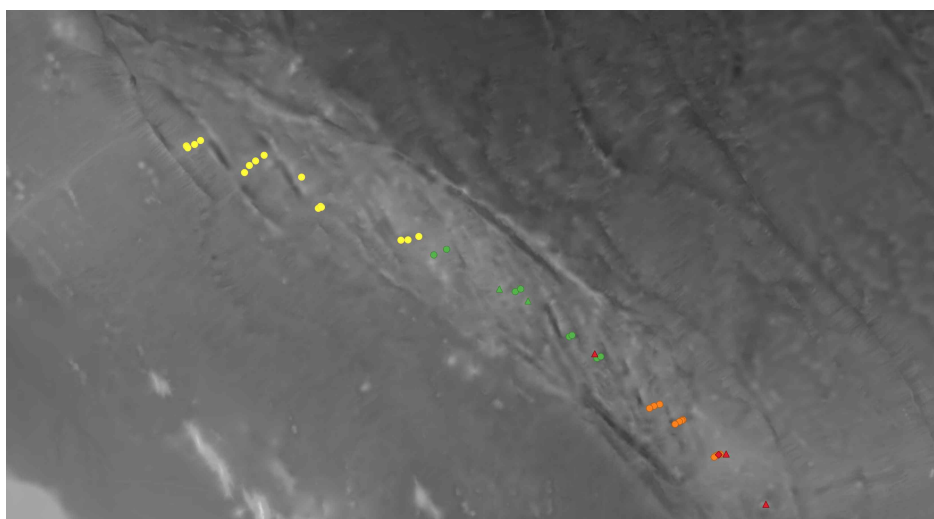


그림 76. 확장-균열대 지역에서의 암석시료 샘플링 정점 [19-20 연구시료 정점=초록색; 21-22 정점=노란색; 23-24 정점=주황색; 24-25 정점=빨간색 / circles=rock corer; triangles=dredge]

- **8DG01**: 회수된 0.7 kg의 암석시료는 주로 베개 현무암(pillow basalt)이며, 소량의 시료는 빙퇴석으로 추정됨 [그림 77 & 표 2]
 - 베개 현무암의 암편으로 추정되는 시료는 짙은 회색의 비현정질 조직으로, 표면이 검은 유리질의 층으로 덮여 있음 [그림 78]
 - 비현정질 석기 부분에 기공이 발달하였는데, 일부 시료에서는 검은 유리질 층에 수직으로 늘어난 기공들이 분포함
 - 모든 시료에서 표면, 기공, 균열을 따라 주황색의 변질대가 관찰되며, 특히 유리질 층과 그 내부 균열에서 변질이 강하게 일어났음이 관찰됨



그림 77. 8DG01 정점에서 드렛지 샘플링으로 회수된 암석의 전체 사진 (약 0.7 kg)



그림 78. 8DG01-01에서 획득된 시료 사진. 수 mm 두께의 검은색 유리질 층이 확인되며, 표면과 균열에서 저온 변질이 일어났음을 시사함. 유리질 층에 수직 방향으로 늘어난 기공이 분포함

- **8DG02:** 거대암석(약 200 kg 추정)과 그 외 약 72 kg의 암석시료를 회수함 [그림 79 & 표 3]

- 모든 시료가 수 mm 두께의 철-망간 산화물로 추정되는 검은색의 해양 기원 침전물로 덮여 있음
- 육안 관찰 결과 화강암, 응회암, 현무암 등으로 판단되며 각각 다양한 온도 조건에서 변질 정도가 다른 것으로 추정됨 [그림 80]
- 4점의 암석시료(8DG02-01,02,04,06)는 분홍색의 K-장석, 흰색의 사장석, 그리고 투명한 석영의 광물 조성을 보이는데, 흑운모가 장석과 석영 사이에서 반자형 및 타형의 광물형으로 산재하는 것으로부터 이들은 흑운모 화강암으로 판단됨
- 2점의 시료(8DG02-05,07)는 위의 4점의 시료와 같은 광물 조성을 보이고 있으나, 저온 변질에 의해 형성되는 녹렴석과 녹니석이 함께 산출됨
- 8DG02-03 시료는 투명한 석영과 흰색의 점토 광물로 구성되며, 암석의 표면 뿐 아니라 광물의 결정 간극에서도 변질이 관찰됨
- 8DG02-08 시료는 짙은 회색의 비현정질 조직으로 기공이 관찰되는 반면에 반정은 관찰되지 않으며, 이는 다공질의 현무암이 기공 및 균열을 따라 강한 변질을 받은 흔적으로 판단됨
- 8DG02-09 시료는 밝은 회색의 비현정질 암석으로 소량의 반자형에서 자형의 석영, 흑운모, 적색의 광물로 구성되며 응회암으로 분류됨
- 거대암석은 샘플이 채취된 해당 지역이 일반적인 1항차 시기(11-12월)에는 유빙에 의해 탐사가 제한되는 지역인 점과 동그런 형태로 미루어 볼 때, 남극 대륙에서 기원한 화강암질 암석이 빙하에 의해 운반되어 해당 해저산에 퇴적된 빙퇴석으로 추정됨 [그림 79(B)]

- **8DG03:** 변질된 현무암질 암석과 괴상의 황화물 암석이 약 100 kg 회수됨 [그림 81 & 표 4]

- ① 변질된 현무암 [그림 82(A)]: 유리질 혹은 금속광택을 보이는 검은 띠가 붉거나 노란 철 산화물이 넓게 산출되는 영역을 따라 약 1~20 mm 두께로 산출되며, 층상구조를 동반함
- 층이 휘어있는 구조나 띠 구조를 중심으로 컵 형태의 파인 형태가 관찰되기도 하는데, 황철석과 같은 황화 광물이 형성되어 있기도 함
 - 시료를 회수한 지역은 대규모 지질학적 이벤트(OCC[=Oceanic Core Complex] 생성 추정)에 의해 모암체가 변형이 일어나, 그 과정에서 열수에 의한

변질작용을 받은 것으로 추정됨

- 철 산화물(갈철석)의 층 아래로 코벨라이트나 공작석 등 심부에서 형성되어 지표 근처로 드러난 구리 광물(황동석 등)이 저온의 열수에 의해 바뀐 광물들이 위치하는데, 해령의 마그마 분출에 의해 형성된 현무암질 모암체가 대규모 열수 변질을 겪은 것으로 추정함
- 그 증거로 이 변질된 현무암질 모암체에서 공작석[그림 82(B)]은 판상의 락형 구조의 엷은 연두색과 분산된 짙은 청록색의 두 종류로 산출됨

② 괴상의 황화물 [그림 82(C)]: 주로 섬아연석, 방연석으로 구성되며, 황철석, 황동석, 반동석 등의 황화물이 산재하고 있음

- 이러한 조성은 해저 열수 광상 중 white smoker의 광물 조성이라 할 수 있으나, 이 지역에 black smoker의 존재 가능성도 배제할 수 없음
- 주목할 만한 점은 청색의 코벨라이트가 산출되었다는 점인데, 코벨라이트는 높은 황 분압과 상대적 저온 환경에서 형성되는 것으로 알려져 주로 황의 공급이 활발한 섭입대 환경에서 발생하는 열수시스템과 연관이 깊음
- 탐사 지역은 중앙해령과 연관된 지역으로 코벨라이트의 산출로부터 기존의 중앙해령 시스템과는 다른 기작이 존재할 것으로 추정함

극지연구소



그림 79. (A) 8DG02 정점에서 드래트로 회수된 (거대암석 제외) 암석 전체 사진 (약 72 kg) (B) 8DG02에서 회수된 거대암석

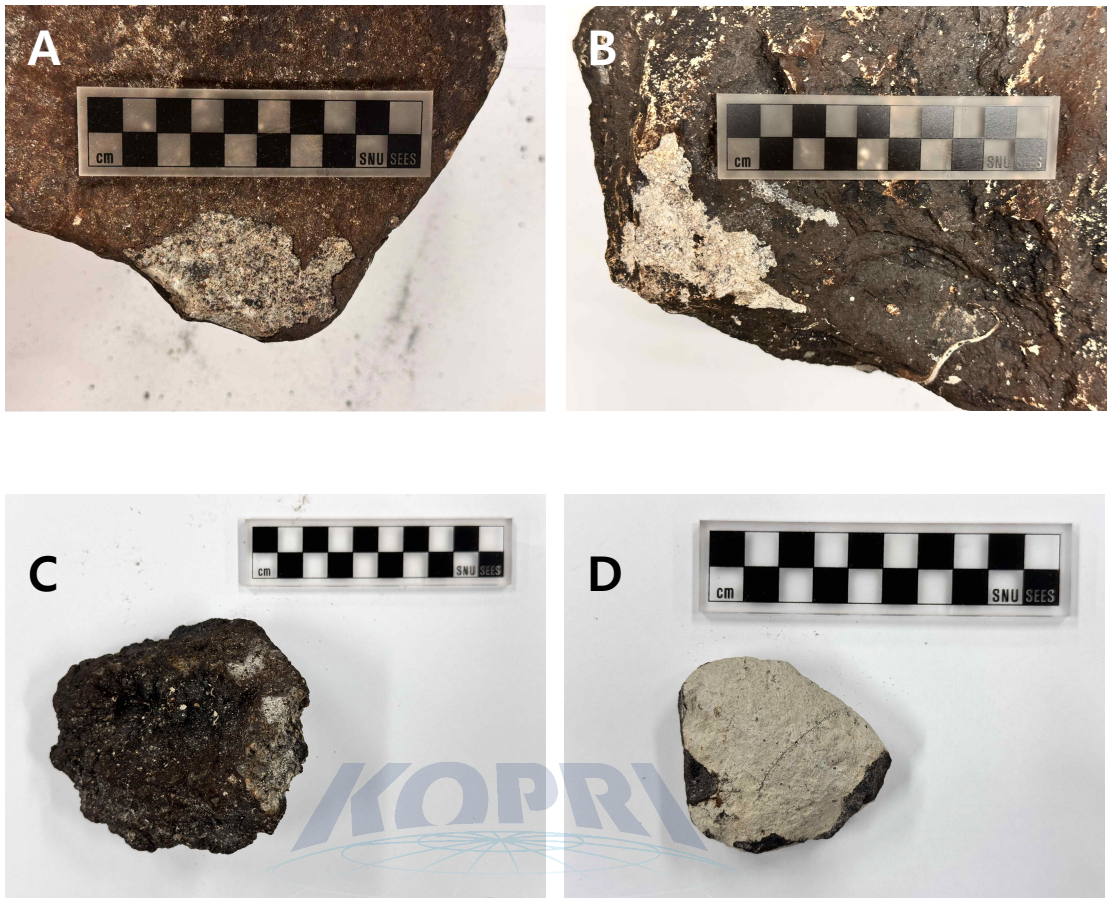


그림 80. 8DG02 드래지로 회수된 암석 사진. (A) 화강암 (8DG02-02), (B) 저온변질된 화강암 (8DG02-03), (C) 변질된 현무암 (8DG02-08), (D) 응회암 (8DG02-09)



그림 81. 8DG03 드래지로 회수된 암석의 전체 사진 (약 100 kg)

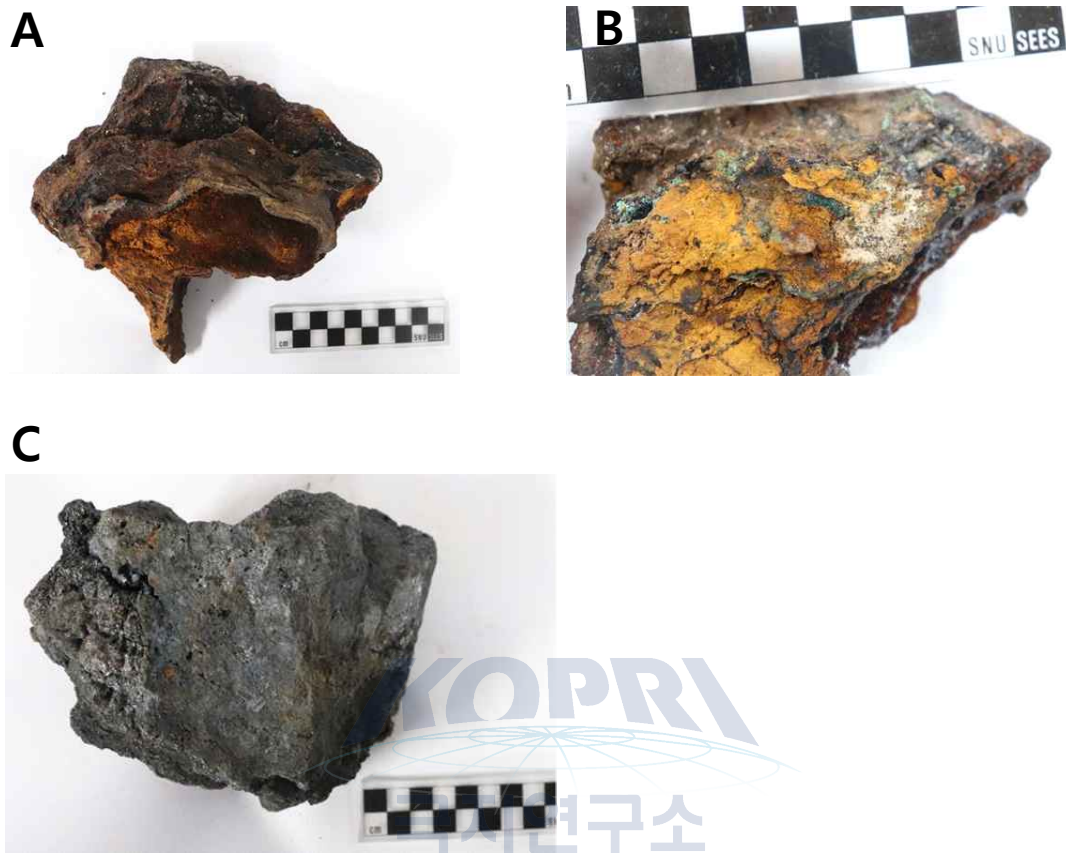


그림 82. 8DG03 드래치로 회수된 암석 사진. (A) 변질된 현무암 (8DG03-R13), (B) 녹색 광물이 포함된 변질된 현무암 (8DG03-RG14), (C) 피상 황화물 암석 (8DG03-RS01).

표 2. 8DG01 암석 기재

No.	Sample ID	Size (cm)	Weight (kg)	Rock type
1	8DG01-01	16*9*5	0.6	Altered basalt
2	8DG01-02	8*6*4.5	<0.1	
3	8DG01-03	5*4.5*3.4	<0.1	
4	8DG01-04	5*5*3	<0.1	
5	8DG01-05	3*2.5*2	<0.1	
6	8DG01-06	3*2.5*2	<0.1	
7	8DG01-07	16*9*5	<0.1	

표 3. 8DG02 암석 기재

No.	Sample ID	Size (cm)	Weight (kg)	Rock type
1	8DG02-01	100*90*90	>200	Biotite granite
2	8DG02-02	40*25*20	24	Biotite granite
3	8DG02-03	36*25*20	7	Highly altered granite
4	8DG02-04	18*18*15	7	Biotite granite
5	8DG02-05	25*14*14	17	Highly altered granite
6	8DG02-06	24*13*10	3	Biotite granite
7	8DG02-07	12*11*5	1	Low-T altered granite
8	8DG02-08	10*9*6	0.6	Altered vesicular basalt
9	8DG02-09	6.5*5.5*2.5	<0.1	Tuff

표 4. 8DG03 암석 기재

No.	Sample ID	Size (cm)	Weight (kg)	Rock type
1	8DG03-R01	30*30*12	4	Altered basalt
2	8DG03-R02	30*23*10	3	
3	8DG03-R03	25*15*18	2	
4	8DG03-R04	22*13*7	1	
5	8DG03-R05	16*16*8	1	
6	8DG03-R06	16*13*10	1.6	
7	8DG03-R07	20*17*8	1.4	
8	8DG03-R08	15*13*7	0.8	
9	8DG03-R09	16*16*4	0.8	
10	8DG03-R10	18*12*5	0.6	
11	8DG03-R11	16*14*3	0.8	
12	8DG03-R12	20*10*7	0.6	
13	8DG03-R13	20*17*8	0.8	
14	8DG03-R14	17*12*8	0.8	
15	8DG03-R15	17*10*8	0.6	
16	8DG03-R16	15*13*6	0.6	
17	8DG03-R17	15*12*7	0.6	
18	8DG03-R18	18*10*8	0.6	
19	8DG03-R19	13*10*7	0.3	
20	8DG03-R20	16*11*8	0.4	
21	8DG03-R21	18*9*7	0.6	
22	8DG03-R22	16*12*4	0.5	
23	8DG03-R23	15*8*6	0.3	
24	8DG03-R24	14*13*4	0.4	
25	8DG03-R25	12*10*4	0.4	
26	8DG03-R26	12*10*6	0.4	
27	8DG03-R27	12*10*5	0.4	
28	8DG03-R28	14*12*5	0.4	
29	8DG03-R29	14*10*5	0.4	
30	8DG03-R30	13*10*4	0.4	
31	8DG03-R31	14*11*8	0.8	
32	8DG03-R32	16*8*3	0.4	

33	8DG03-R33	14*7*8	0.4	
34	8DG03-R34	12*10*4	0.2	
35	8DG03-R35	16*10*6	0.4	
36	8DG03-R36	14*9*6	0.4	
37	8DG03-R37	11*10*8	0.4	
38	8DG03-R38	14*10*7	0.4	
39	8DG03-R39	10*8*8	0.4	
40	8DG03-R40	12*10*4	0.4	
41	8DG03-R41	8*9*4	0.4	
42	8DG03-R42	12*11*5	0.1	
43	8DG03-R43	11*10*8	0.1	
44	8DG03-R44	13*8*6	0.1	
45	8DG03-R45	11*8*6	0.1	
46	8DG03-R46	14*8*4	0.1	
47	8DG03-R47	10*10*8	0.1	
48	8DG03-R48	11*9*3	0.1	
49	8DG03-R49	12*7*5	0.1	
50	8DG03-R50	12*9*6	0.1	
51	8DG03-RG01	25*12*13	3	Altered basalt with greenish mineral
52	8DG03-RG02	17*13*10	1	
53	8DG03-RG03	15*9*6	0.4	
54	8DG03-RG04	9*9*2	0.1	
55	8DG03-RG05	16*10*3	0.4	
56	8DG03-RG06	13*9*5	0.6	
57	8DG03-RG07	13*11*3	0.2	
58	8DG03-RG08	13*6*6	0.2	
59	8DG03-RG09	14*7*5	0.1	
60	8DG03-RG10	12*11*8	0.1	
61	8DG03-RG11	10*7*5	0.1	
62	8DG03-RG12	12*7*6	0.1	
63	8DG03-RG13	10*7*6	0.1	
64	8DG03-RG14	10*8*4	0.1	
65	8DG03-RG15	10*9*2	0.1	
66	8DG03-RI01	10*8*6	0.4	Moraine
67	8DG03-RS01	17*11*10	3	Massive sulfide rock
68	8DG03-RS02	18*13*6	1	
69	8DG03-RS03	12*10*5	1	
70	8DG03-RS04	11*8*5	0.8	
71	8DG03-RS05	10*7*6	0.6	
72	8DG03-RS06	10*6*7	0.6	
73	8DG03-RS07	9*7*5	0.5	
74	8DG03-RS08	11*5*6	0.5	
75	8DG03-RS09	10*8*5	0.6	
76	8DG03-RS10	10*7*6	0.6	
77	8DG03-RS11	8*7*5	0.4	
78	8DG03-RS12	7*6*5	0.3	
79	8DG03-RS13	9*5*4	0.4	
80	8DG03-RS14	7*6*3	0.3	
81	8DG03-RS15	7*6*4	0.2	
82	8DG03-RS16	7*6*4	0.2	
83	8DG03-RS17	9*6*4	0.3	

84	8DG03-RS18	10*5*4	0.4
85	8DG03-RS19	10*7*4	0.2
86	8DG03-RS20	7*7*5	0.2

□ 연구내용 1-2. 심해 생물의 적응/진화 기작 규명

○ 남극 중앙해령 서식 생물 확보

- 남극 중앙해령 생태계 조사 및 심해 서식 생물의 유전체 분석을 위한 생시료 확보를 중점적으로 수행하였으며, 이를 위해 플랑크톤 네트와 드렛지(dredge)를 활용한 시료 채집 작업을 실시함 [그림 83 & 84]

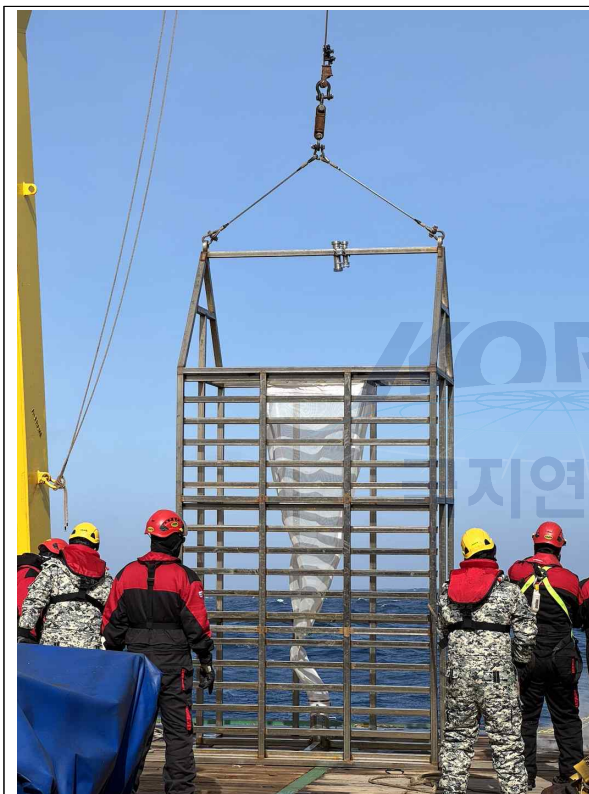


그림 83. 24-25 시즌, 심해 서식 생물 채집을 위한 심해 플랑크톤 네트(net) 작업 수행 모습

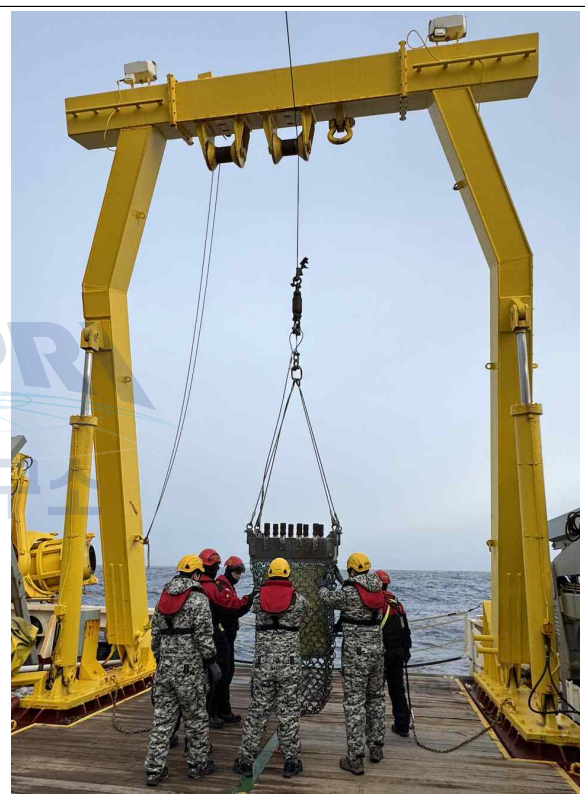


그림 84. 심해 생물 및 해저면 암석시료 채취를 위한 드렛지(dredge) 작업 수행 모습

- 그 결과, 대형 화살벌레를 비롯하여 심해어, 복족류, 요각류, 단각류 등 다양한 심해 생물 시료 확보에 성공하였음 [그림 85]
- 화살벌레는 일반적으로 0.5~3cm 길이의 소형 플랑크톤으로 분류되며, 크기가 작아 연구 대상에서 제외되는 경우가 많았으나, 이번 조사에서는 *Pseudosagitta gazellae* (Ritter-Záhony, 1909)로 추정되는 10cm급의 대형 화살벌레를 다량 확보하였음
- 해당 시료를 바탕으로 모악동물문(Chaetognatha) 최초의 전장 유전체 확보가

가능할 것으로 기대되며, 이는 무척추동물의 계통학적 관계 해석 및 남극 중앙해령 서식 생물의 특이적 유전자 탐색에 활용될 예정이다

- 확보된 전장 유전체는 특히 남극 심해 생물의 거대화(gigantism) 현상과 극한 환경에서의 생리적 적응 메커니즘을 해석하는 데 핵심적인 자료로 활용될 수 있어, 그 학문적 및 응용적 가치가 매우 큼
- 이외에도 이번 조사에서 확보된 복족류, 요각류, 단각류, 산호류 등의 다양한 생물 시료에 대해 미토콘드리아 유전자 분석을 수행하여 남극 중앙해령 생태계의 생물다양성 평가를 진행할 예정이며, 일부 생물 중에 대해서는 전장 유전체 해독을 통해 연안 서식 생물과의 비교 유전체 분석도 함께 수행할 계획임



그림 85. (A) & (B) 플랑크톤네트를 통해 확보된 심해어와 화살벌레; (C) & (D) 드래그를 통해 확보된 연산호와 단각류

- 심해 열수분출구 서식 미생물의 유전체 분석을 통한 유용유전자원 확보
 - 열수분출구는 고온, 고압, 저산소 등의 환경적 특성 뿐 아니라 중금속, 황화합물, 메탄 등의 농도가 매우 높은 것이 특징이며, 이러한 극한 환경에서 서식하는 미생물의 유전체 내에는 중금속, 황화합물, 메탄 등을 대사할 수 있는 다양한 저항유전자, 산화-환원을 통한 대사효소 등을 보존하고 있을 확률이 높음
 - 남극 심해 열수분출구 해수 및 퇴적물 서식 미생물의 전장유전체 해독 및 비교분석을 위하여 인도양, 태평양 등의 다양한 지역의 열수분출구 미생물 5종의 전장유전체 정보를 확보하고 남극 심해 열수분출구 서식 생물과의 비교를 위한

타겟을 선정하였음

종명	채집 지역	특징	출처
<i>Halomonas</i> sp. SS10-MC5	인도양	탈질소화 가능 호염성 세균	Wang, L., & Shao, Z. (2021) <i>Marine Genomics</i> , 58
<i>Marinobacter</i> sp.LQ44	동태평양	페놀 분해, 알칼리 환경	Zhou, M., Dong, B., & Shao, Z. (2020) <i>Marine Genomics</i> , 50
<i>Exiguobacterium</i> <i>mexicanum</i> A-EM	대서양 Caifan	독성물질 분해	Lei, J., et al. (2021) <i>Marine Genomics</i> , 55
<i>Lutibacter</i> <i>profundus</i> LP1T	북극 중앙해령 Loki's castle	탈질소화, 황화물 산화 효소	Wissuwa, J., et al., (2017) <i>Standards in Genomics Sciences</i> , 12,5
<i>Thermosulfurimonas</i> <i>marina</i> strain SU872 T	Kunashir Island	호열성, 혐기성	Allioux, M., et al. (2021) <i>Marine Genomics</i> , 55

- 남극 심해 열수분출구 서식 미생물의 전장유전체 분석에 앞서 비남극 지역 열수분출구 서식 미생물 5종의 유전체를 분석한 결과 mercuric reductase, copper oxidase, arsenate reductase 와 같은 독성 물질 분해 효소를 확인하였음
- mercuric reductase의 경우, 오페론(기능적 연관성을 갖는 유전자들이 근접하게 존재하며 동시에 조절되는 발현 체계)을 구성하고 있을 가능성이 매우 높은 것을 확인하였음 [그림 86]
- 해당 효소의 단백질 서열 및 구조 분석을 통하여 효소 활성 등을 비교 분석 중이고, 결과는 남극 심해 열수분출구 미생물의 유전체 분석 시에 환경 적응 유전자 선별에 유용하게 활용될 예정



merR : Hg(II)-responsive transcriptional regulator
 merT : mercuric ion transporter
 merP : mercury resistance system periplasmic binding protein
 merF : mercury resistance system transport protein
 merA : mercury(II) reductase
 merD : mercury resistance co-regulator
 merE : broad-spectrum mercury transporter

그림 86. *Halomonas hydrothermalis* 유전체에서 발굴한 수은대사관련 오페론

□ 연구내용 1-3. 확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명

- 확장-균열대 지역의 운동역학적 진화과정 규명 및 후기 마이오세 이후 태평양-남극간의 지판운동 복원
- 24-25 시즌, 남극항해 아라온 2항차 승선연구를 통해, 호주-남극 중앙해령(KR1)의 동편으로 이어진 '확장-균열대' 지역에서 해저지형 및 해양지자기 자료를 추가적으로 확보하였음 [그림 87 to 91]

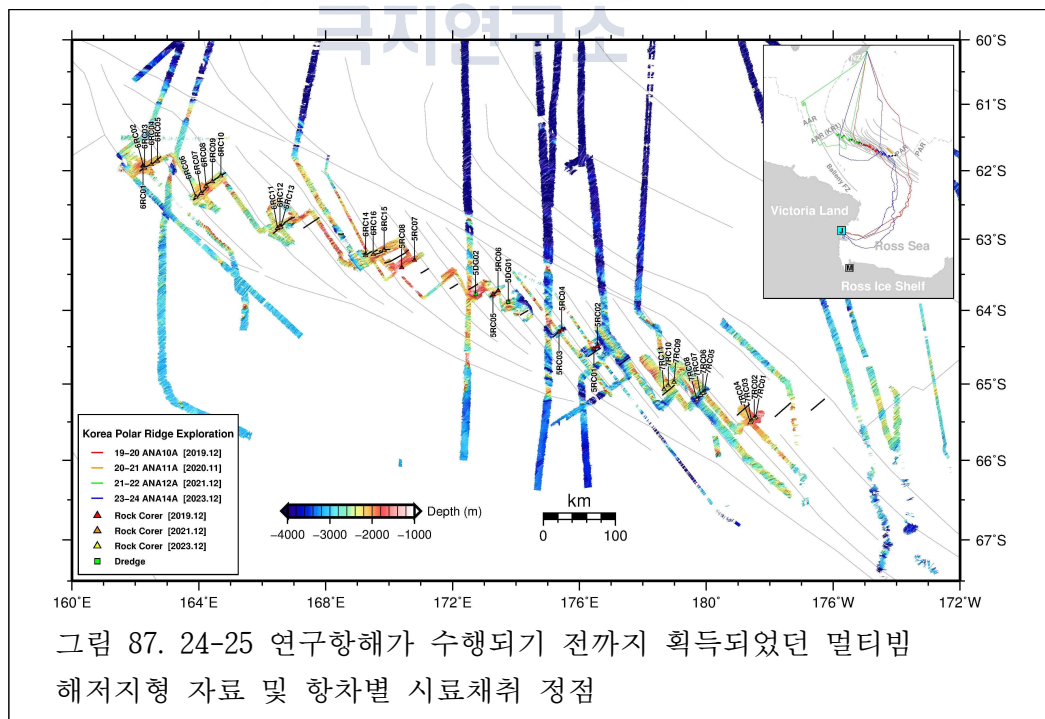
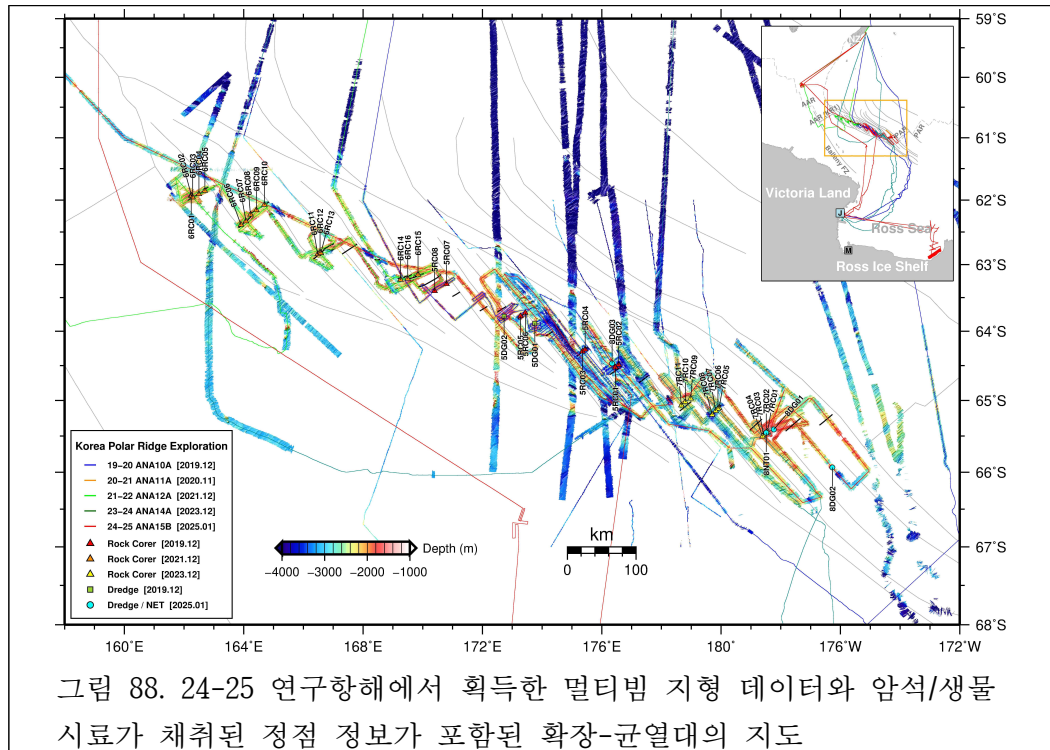


그림 87. 24-25 연구항해가 수행되기 전까지 획득되었던 멀티빔 해저지형 자료 및 항차별 시료채취 정점



- 24-25 연구항해에서는 ‘확장-균열대’의 기원으로 여겨지는 에메랄드 균열대(Emerald Fracture Zone)가 지나가는 위치로 판단되는 ‘확장-균열대’ 중심부를 중심으로 해저면 지형조사가 선행되었음 [그림 88]
- 대부분의 지형조사 측선을 따라서 해상 지자기 탐사도 병행되었으며, 그간 중앙해령 탐사가 주로 수행되었던 11-12월에는 해빙의 영향으로 탐사가 수행되지 못하였던 구간, 즉 ‘확장-균열대’의 동남쪽 끝단에서도 해저지형 및 지자기 탐사, 시료 샘플링 등의 작업을 수행할 수 있었음 [그림 88 & 89]

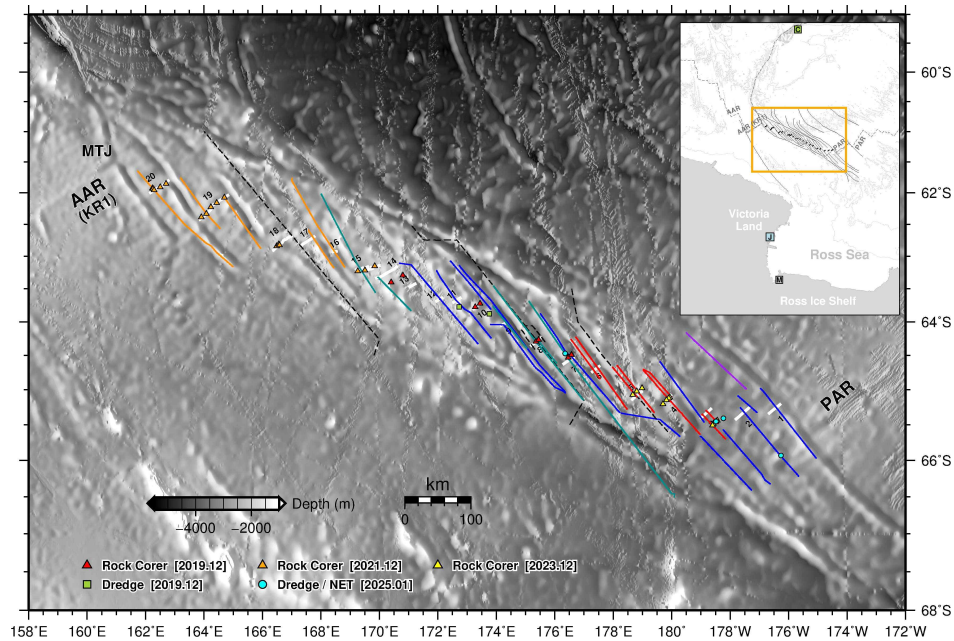


그림 89. 확장-균열대에서 수행된 해양지자기 탐사의 측선 및 시료 샘플링 위치: [19-20 연구항해 측선=초록색 라인; 20-21 측선=보라색 라인; 21-22 측선=주황색; 23-24 측선=빨간색 라인; 24-25 측선=파란색 라인]

- 중력 자료 및 획득된 해저지형 데이터를 바탕으로 추정해 볼 때, ‘확장-균열대’ 내부에는 약 20개 가량의 짧은 중앙해령 분절(segment)들이 존재하고 있는 것으로 여겨지는데, 지난 19-20 시즌 이후 본 과제가 수행되는 동안에 약 13개의 중앙해령 확장축(axis)에 대해서 멀티빔 지형조사 및 해저면 암석시료 샘플링이 수행되었으며 [그림 88], 세계 최초로 보고될 지구물리 및 지구화학적 연구 결과들이 분석 중에 있음
- 짧은 측선들이 많아서 데이터 해석에 상당한 한계가 여전히 존재하지만, 해양지자기 탐사 또한 ‘확장-균열대’ 내부의 약 18개 분절에 대해서 수행되었으며 [그림 89], 획득된 해양지자기 데이터는 보정 및 후처리 과정을 거쳐서 아노말리(magnetic anomaly)로 변환되었음 [그림 90]

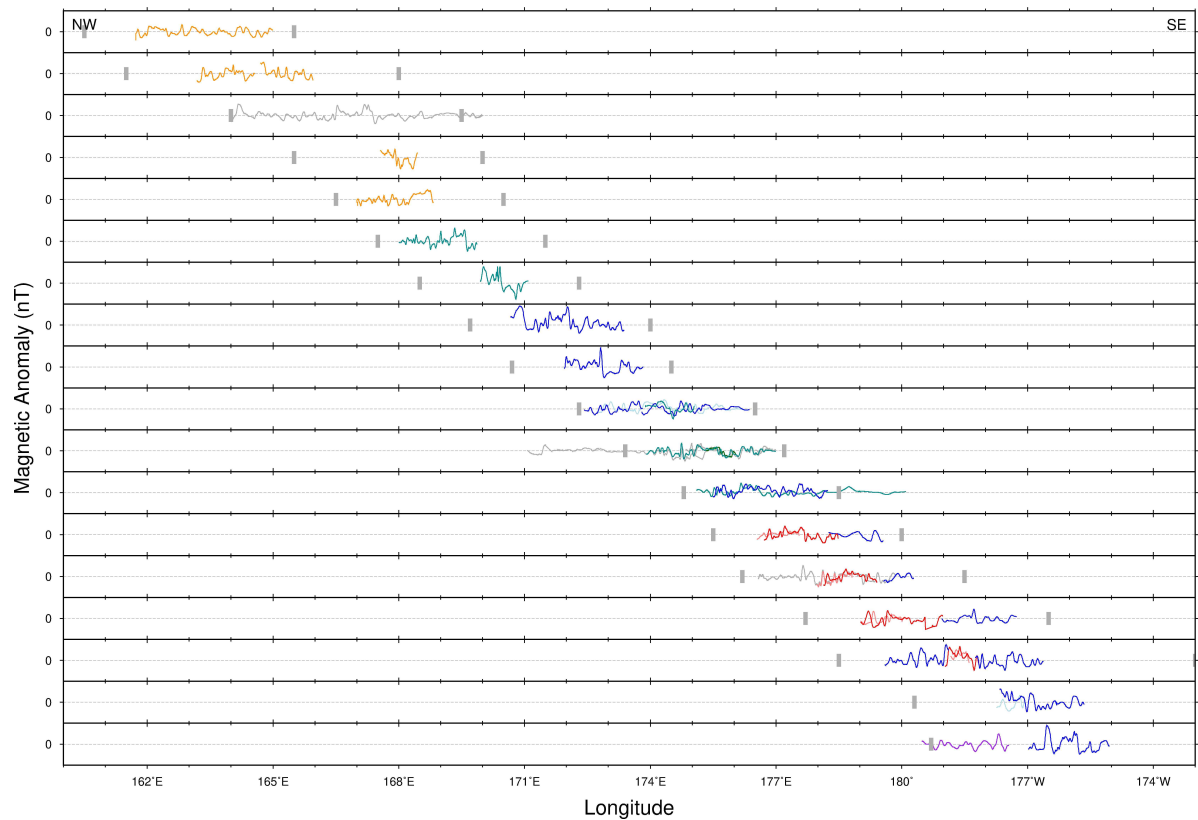


그림 90. 확장-균열대 내부에서 획득된 해양지자기 데이터: 데이터 보정(filtering) 및 표준지구자기장 값을 활용한 후처리 과정을 통해 지자기 아노말리(magnetic anomaly)로 변환되었음 [19-20 연구항해 데이터=초록색; 20-21 데이터=보라색; 21-22 데이터=주황색; 23-24 데이터=빨간색; 24-25 데이터=파란색 / archive data(from USA)=회색 / thick gray bar=확장-균열대 내부의 중앙해령 분절(segment)로부터 확장된 해양지각의 추정 범위]

○ 북부 로스해 진화과정 규명

- 북부 로스해의 센트럴분지(Central Basin)에서 세계 최초로 획득된 해저지형 및 해양지자기 자료를 활용하여 센트럴분지의 형성 시기를 새롭게 규정하였음
- 뿐만 아니라, 센트럴분지에서 획득한 지자기 자료를 활용한 모델링을 통해, 동남극판과 서남극판 간의 분리 시기 재정립과 로스해 및 남서태평양의 판구조론적 진화에 대한 새로운 모델을 제시할 수 있었음 [e.g. 그림 91]

그림 91. 동남극 및 서남극 간 분리 시기의 재정립: 약 53 Ma 시기에 로스해의 할렛리지(HR)와 이셀린뱅크(IB)는 현재의 북빅토리아랜드(Northern Victoria Land)에 붙어 있었던 것으로 계산되는데, 약 53-43 Ma 시기에 서남극판이 동남극판으로부터 떨어져나가면서 할렛리지 및 이셀린뱅크 사이의 해저면이 확장되면서 센트럴분지(CB)가 생성되고, 같은 시기에 로스해 내부에서는 센트럴트러프(CT)가 생성된 것으로 추정됨

□ 연구내용 1-4. 남극 로스해 지구물리탐사

- 남극 로스해 빅토리아 분지 가스하이드레이트 및 해저진흙화산 탐사
 - 연구계획 변경으로 2025년 예정된 남극 현장탐사는 2024년 2월부터 4월 아라온 남극 3항차를 활용하여 진행
 - 본래 빅토리아 분지 지역에 분포하는 BSR과 메탄 가스하이드레이트 부존 특성, BSR 부존 구역 인근 해저면에 발달되어 나타나는 해저진흙화산에 대한 성인 규명과 지구물리학적 특성 확인을 위한 종합적 지구물리탐사를 계획
 - 남극 로스해 탐사지역 도착 후 갑작스러운 다량의 해빙 출몰로 인해 본래 계획했던 다중채널 탄성과 탐사와 지질시료 확보(해저진흙화산에서의 중력코어링)가 불가능해짐 [그림 92]
 - 이에 따라 해저지형 및 천부지층탐사, 과학적어군탐지기(EK80)를 활용한 해저진흙화산 천부 지질구조와 현재 활동성 확인을 목표로 지구물리탐사 수행 ([그림 93]에 탐사지역 해저지형 및 지구물리탐사 측선도 제시)

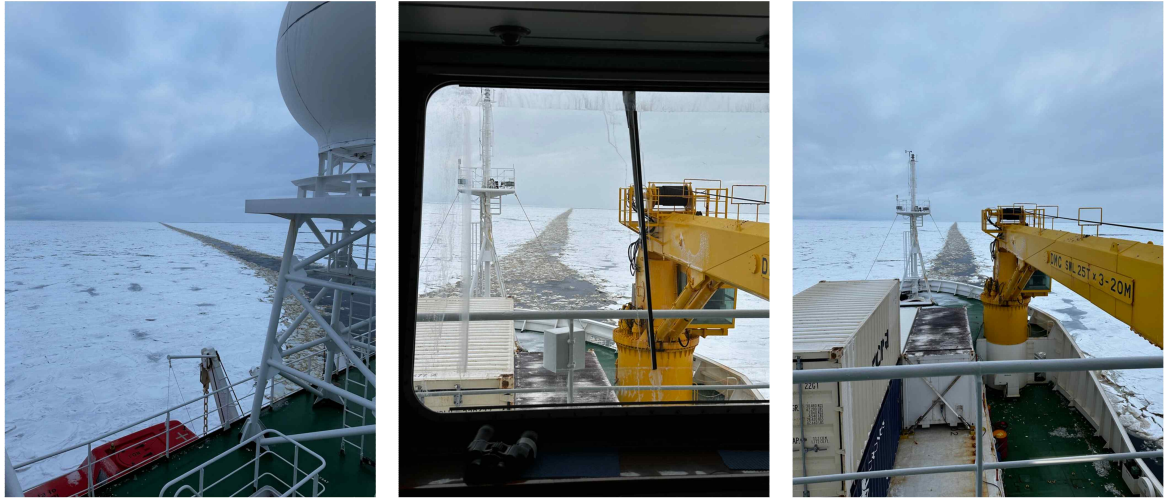


그림 92. 로스해 빅토리아분지 탐사지역 도착 후 해빙상황 (2024년 3월 5일 오전 촬영)

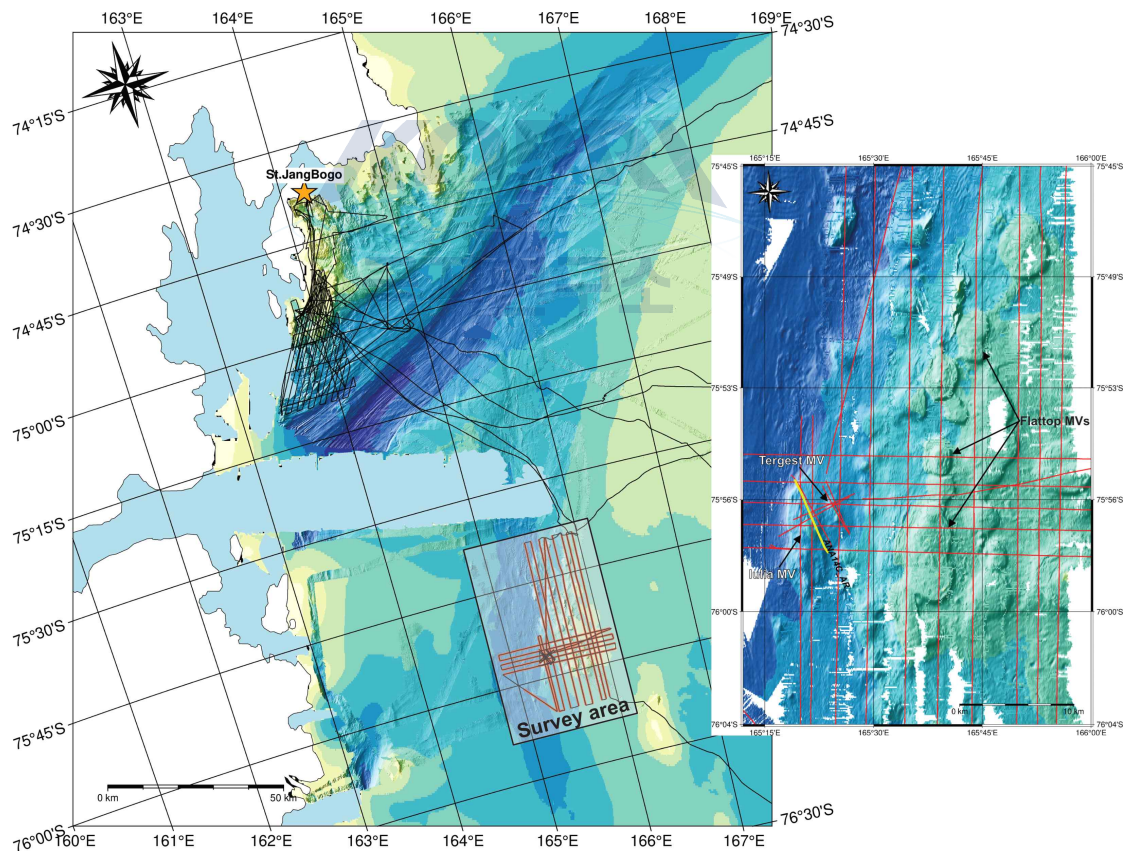


그림 93. 2023-24 남극 3항차 기간(2024년 3월 5일~7일)동안 진행한 남극 로스해 빅토리아분지 탐사지역 해저지형 및 지구물리탐사 측선도

- 해당 연구지역은 해저면 아래 탄성과 단면상 1.75 TWT(s)깊이에 BSR이 나타나는 지역으로 가스하이드레이트와 가스가 분포하고 있으며 가스의 경우 통로가 되는

지질구조(미세 단층구조 등)를 따라 이동하여 해저진흙화산을 생성하였다고 알려짐 [Gelletti et al., 2011; Buseti et al., 2024]

- 가스의 이동으로 인해 생성되었다고 알려진 Tergest, Iulia 등 BSR 부존구역 인근 해저 진흙화산에 대한 천부지층 탄성파자료 확보와 현재 해저진흙화산에서의 메탄가스 분출 여부 등 활동성 확인을 위해 수행한 천부탄성파자료 및 과학적어군탐지기 탐사결과 제시 [그림 94 참고]
- [그림 95]에는 해저지형자료를 통해 발견한 Flap-top형태의 해저진흙화산에 대한 천부지층탐사자료 단면을 제시함. 해당 지역에 대해서는 향후 Tergest, Iulia와 같은 지하 자유가스 이동에 따라 생성된 해저진흙화산과의 지질시료 비교 분석을 수행, 구조의 기원과 지질학적 특성을 규명하는 연구를 진행할 예정임

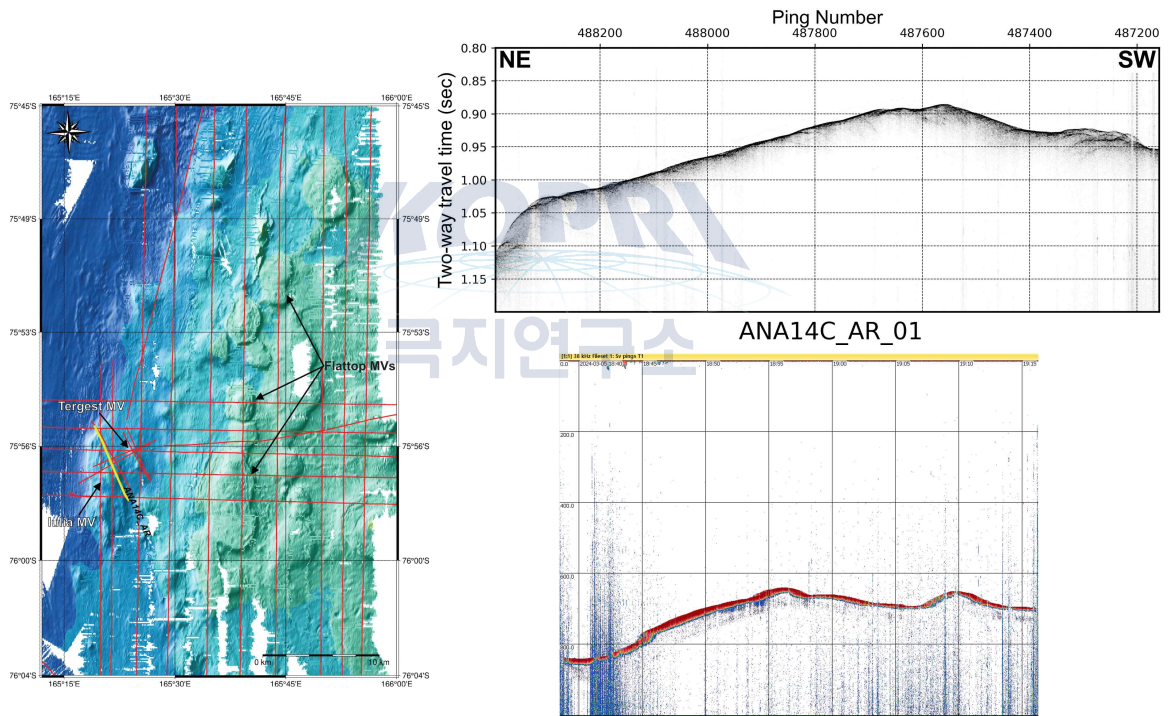


그림 94. 로스해 빅토리아분지 내 발달된 Tergest 그리고 Iulia 해저진흙화산을 대상으로 수행한 천부탄성파탐사(SBP)단면과 과학적어군탐지기(EK80) 탐사결과

- 탐사 당시 [그림 92]에 제시된 상황과 같이 탐사 지역은 해빙으로 덮여있어 그대로 탐사를 진행할 경우 해빙으로 인해 발생된 잡음으로 인해 천부지층탐사와 과학적어군탐지기 등 음향자료 취득에 상당한 어려움이 있음. 이에 따라 우선 쇄빙연구선을 통해 탐사지역 얼음을 밀어낸 뒤 얼음이 없는 열린 길을 만들고 그 길을 따라 탐사를 진행하는 방식으로 자료를 획득함

- 이에 따라 정확한 측선에 대한 탐사 진행에는 다소 한계가 있었으나 현재
해저진흙화산의 활동성과 최신 해저지형 및 천부 지체구조를 확인할 수 있는 의미
있는 연구자료 확보
- 이는 향후 이태리와의 국제공동연구를 통해 이태리측 다중채널 탄성과 자료와 함께
해당 지역에 대한 최신 활동성 확인과 가스하이드레이트 특성, 지하 자유가스의
이동경로 추적 등 연구지역 지체구조 및 지구물리연구에 활용될 수 있을 것으로
기대함

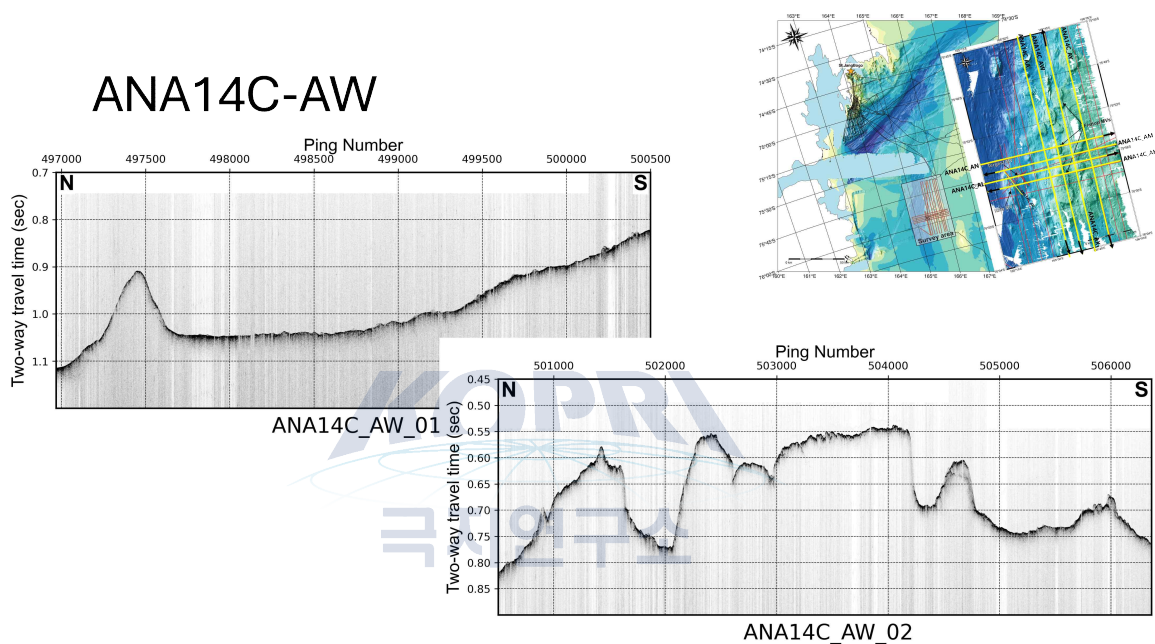


그림 95. 로스해 빅토리아분지 내 발달되어 널리 분포하고 있는 Flap-top형태의 해저
진흙화산에 대한 천부탄성과탐사(SBP)단면도

□ 연구내용 1-5. 탐사자료 처리 및 해석

- 로스해 빅토리아랜드 분지 다중채널 탄성과 자료에 대한 정밀 속도분석 및 심도구조
보정 구축 및 해석
 - 남극 로스해 빅토리아랜드 분지에 분포하는 가스하이드레이트의 특성과 메탄가스
방출에 대한 연구의 진행을 위해서는 고정밀 탄성과 속도 모델과 구조보정을 통한
심도 탄성과 단면이 필요하며 이를 위해서는 다중채널 탄성과 원시자료가 요구됨
 - 남극 로스해 가스하이드레이트 관련 다중채널 탄성과 원시자료는 이태리 OGS에서
1991년 취득하여 보유 중임
 - 이에 이태리 OGS와의 국제공동연구를 통해 해당 원시자료를 확보, 파형역산
알고리즘과 기계학습 기반 단층해석 기술을 통한 빅토리아랜드 분지에 분포하는

가스하이드레이트 특성과 해저진흙화산 및 메탄방출과 연관된 천부 미세단층구조에 대한 연구를 계획함

- 2025년 2월, 이태리 OGS에 방문하여, 다중채널 탄성과 자료를 활용한 탄성과 속도모델 구축 기술(파형역산 알고리즘)과 기계학습을 활용한 단층해석 기술을 소개하고, 로스해 빅토리아 분지 가스하이드레이트 및 해저진흙화산 특성 규명에 대한 공동연구 추진을 제안함
- 이태리 OGS측에서는 다중채널 탄성과 원시자료를 제공, 탄성과 속도모델 구축과 기계학습을 활용한 단층해석에 대한 공동연구를 추진하는 데에 동의, 이태리 측에서는 2025년 4월 이에 대한 양자간 양해각서 작성 진행 중



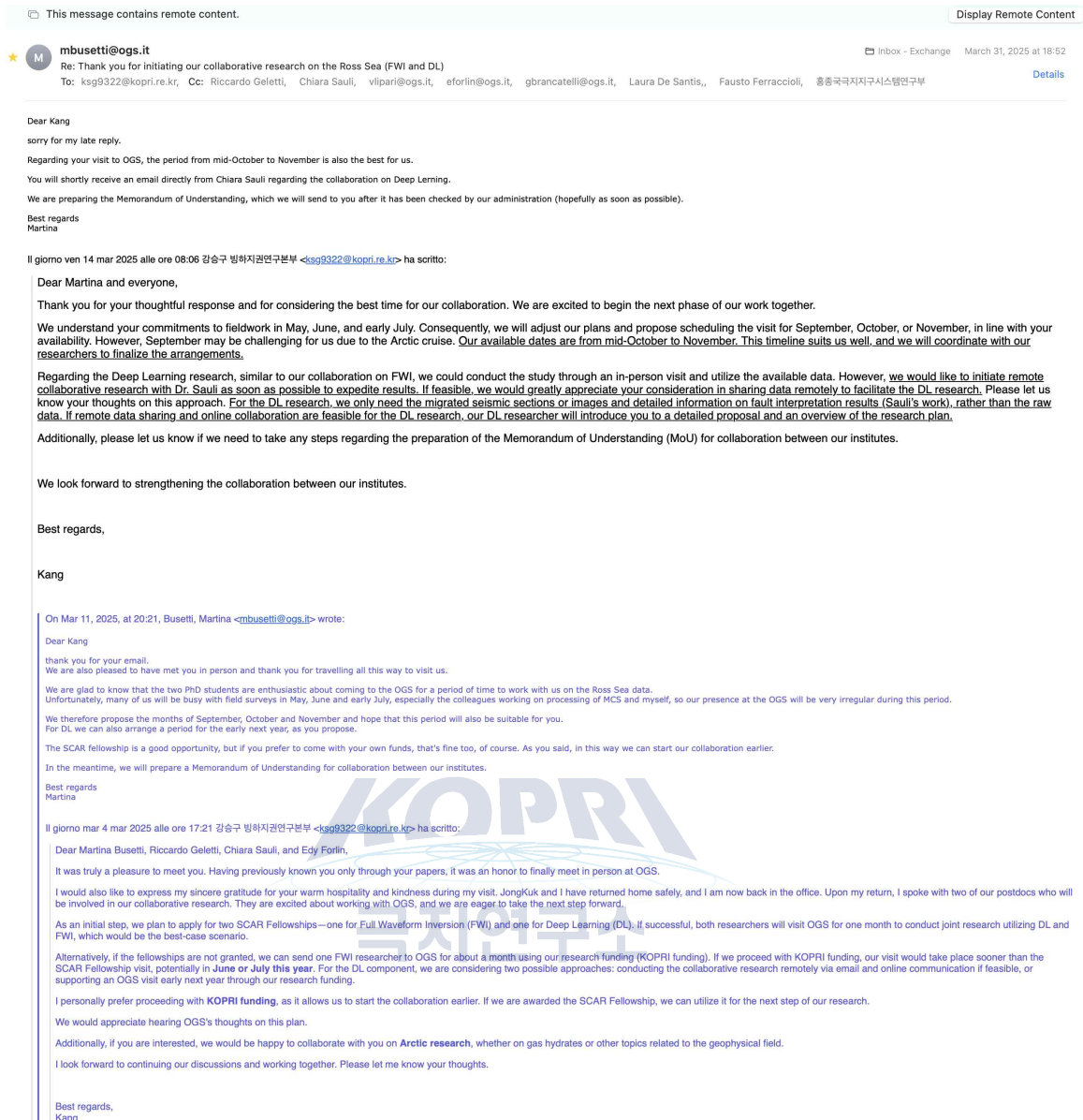


그림 96. 로스해 빅토리아 분지 가스하이드레이트 특성과 해저진흙화산에 관한 탄성과 원시자료 공유 및 국제공동연구 추진에 대한 MOU 체결 및 연구협력 추진에 관한 담당 서신 기록

- 기계학습을 활용한 남극 로스해 빅토리아 분지 단층해석 연구는 OGS측에서 제공하는 기존 연구결과(구조 및 퇴적층에 대한 해석정보)를 기반으로 생성형 AI를 활용하여 다중채널 탄성과 단면 내 나타나는 미세단층의 세부 구분과 해석을 진행
- 파형역산을 이용한 남극 로스해 빅토리아 분지 가스하이드레이트에 대한 고정밀 속도모델 구축 연구는 이태리 OGS에서 원시자료를 제공받아(원시자료의 제공은 이태리 OGS 방침상 해당 기관 내부에서만 허용) 공동으로 탄성과 속도모델을 작성할 계획임 [그림 96 참고, 보고서 작성 시점 이메일 내용]

□ 연구내용 1-6. 관측자료와 맨틀구조에 부합하는 Polar 3 형성 모델 도출

○ Polar 3 형성 모델 도출

- 데이비드 빙하, 멜버른화산, 그리고 리트만 화산 지역의 지진발생도 분석 및
- 지진분포와 단층 메카니즘 분석 중
- 단층 메카니즘 분석 후 Polar 3 형성 모델 도출 예정

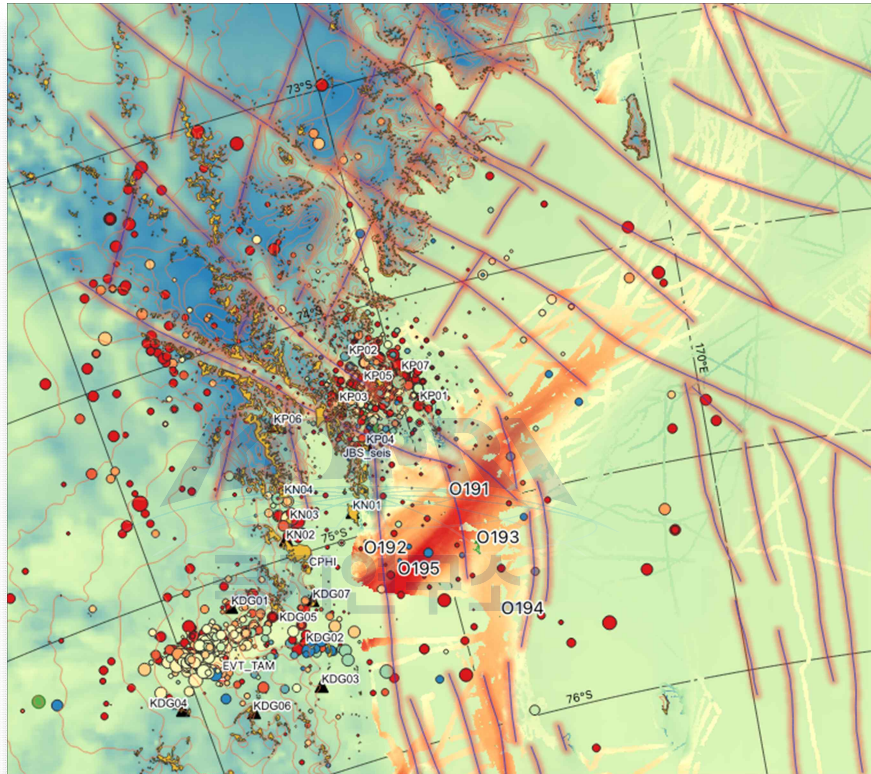


그림 97. 데이비드 빙하, 멜버른화산 및 리트만 화산 주변에서 발생한 지진원 위치는 원으로 표시됨. 원의 크기는 규모, 붉은색은 천부지각, 파란 색은 심부 발생 지진원 표시. 붉은 색으로 강조된 검은 실선의 단층선을 나타내며 노란-붉은 색 패턴은 아라온에서 취득된 정밀 해저 지형도를 나타내고 있음

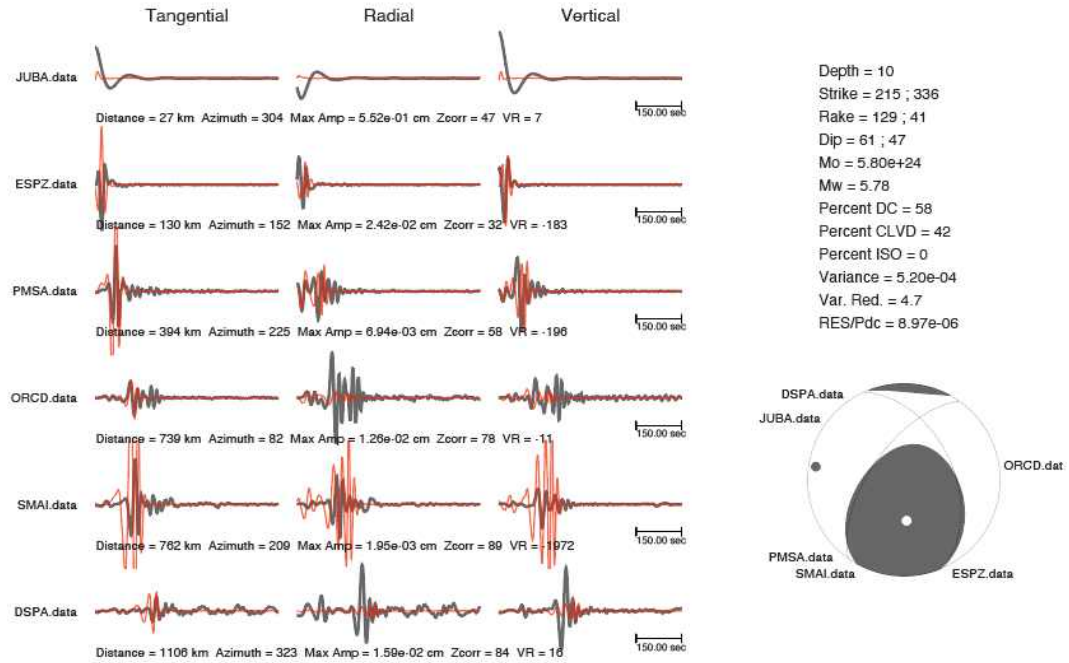


그림 98. 수행중에 있는 탄층면해(focal mechanism: Moment Tensor Inversion) 역산 예시. 현재는 2020년 10월 2일에 세종기지 남쪽 20km 해역에서 발생한 규모 5.8 지진에 대한 역산을 수행하고 있음. 이후에 멜버른화산과 데이비드 빙하 지진에 대한 탄층면해를 역산할 예정임

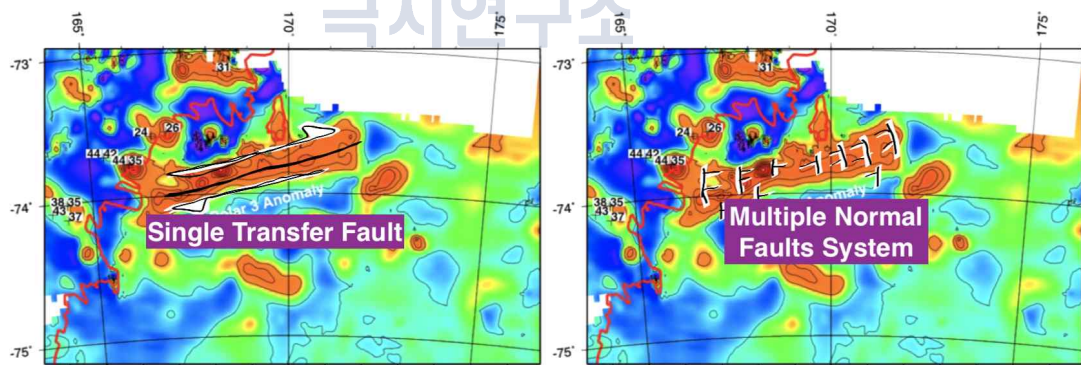


그림 99. Polar 3 자기이상의 형성 원인과 테라노바만을 경계로 남·북으로 이어지는 서남극 열개구조의 연결 모델: 중앙해령과 흡사한 하나의 변환단층(Transfer fault) 모델(a)과 여러 개의 정단층 시스템 모델 (b). 단층면해와 3차원 맨틀 모델, 그리고 지각 두께 결과를 종합하여 모델을 제시할 예정임

□ 연구내용 1-7. 신규 관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 도출

- 원격 지진을 이용한 관측소 하부 지각 특성 연구
 - 관측소 2개소에 대한 원격지진 수신함수 역산
 - 정확한 지각 속도 구조 모델링을 위한 표면파 분산 곡선 역산
 - 관측소 하부 지각 속도 구조 및 모호 깊이(지각 두께) 역산

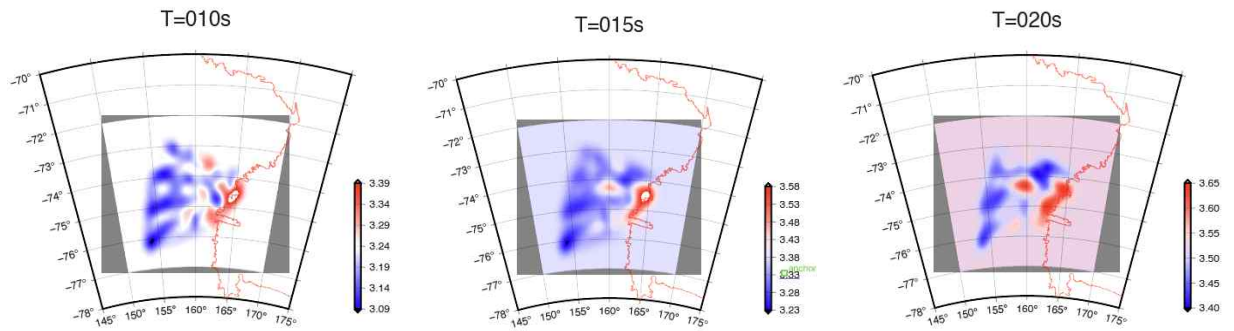


그림 100. 관측소 하부 지각 속도구조 및 모호 깊이(지각 두께) 역산을 주기 10초 (좌), 주기 15초 (중앙), 주기 20초 (우)에 대한 2D 표면파 속도 구조

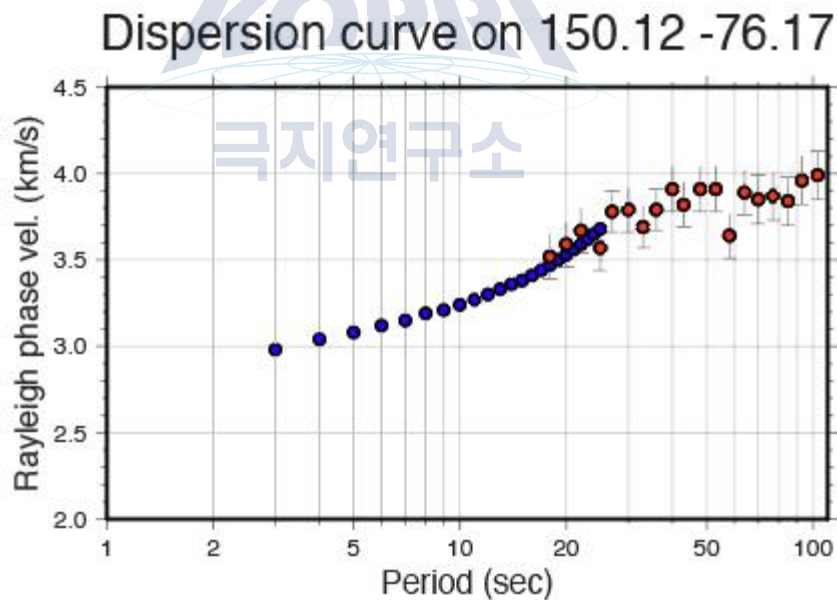


그림 101. 표면파와 2D 속도 모델에서 추출한 지진관측소에서의 표면파 분산곡선

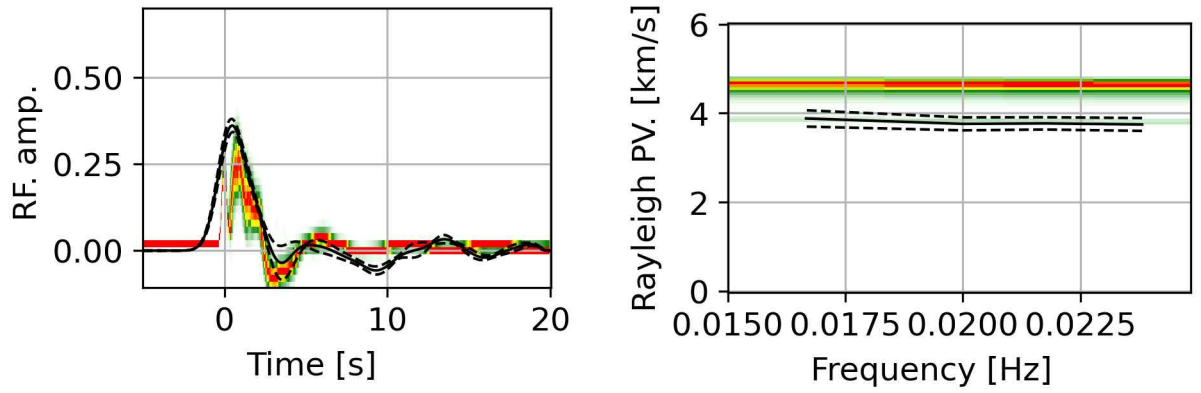


그림 102. KP01 관측소에서 역산된 수신함수(좌)와 관측소하부 지각속도 모델 역산을 위한 표면파 분산 곡선(우)

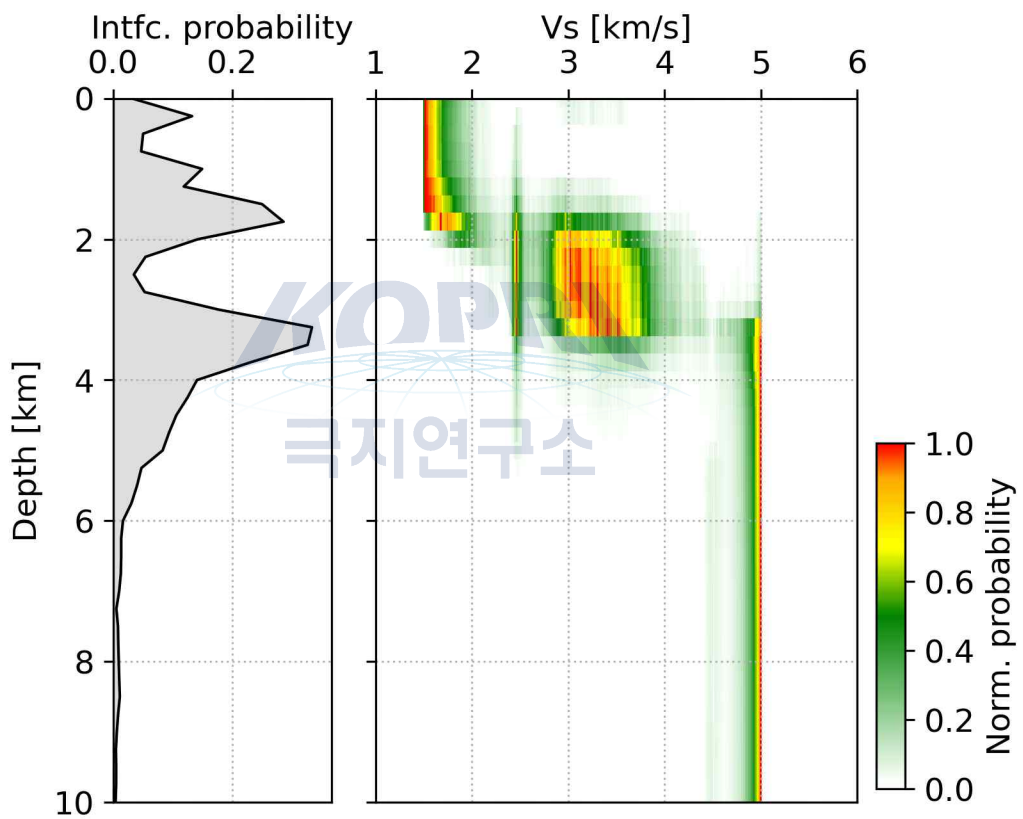


그림 103. 수신함수와 표면파 분산곡선을 함께 사용하여 역산된 관측소 하부 지각 속도 및 모호면 모델링 결과

□ 연구내용 2-1. 화산암 지화학 특성 및 성인 규명

- 극지연구소의 XRF, ICPMS, TIMS 장비를 이용하여 빅토리아랜드 마운트 오버로드 화산지대(Mt. Overlord Volcanic Field, MOVF) 화산암류 38개의 시료에 대한 주성분과 미량원소 조성, 18개 시료에 대한 Sr-Nd-Pb 동위원소 조성을 획득함

[illegible]

Whole rock and

Whole rock analyses of volcanic rocks and autoliths from Mount Overlord and surrounds, northern Victoria Land, Antarctica.

^b Samples with

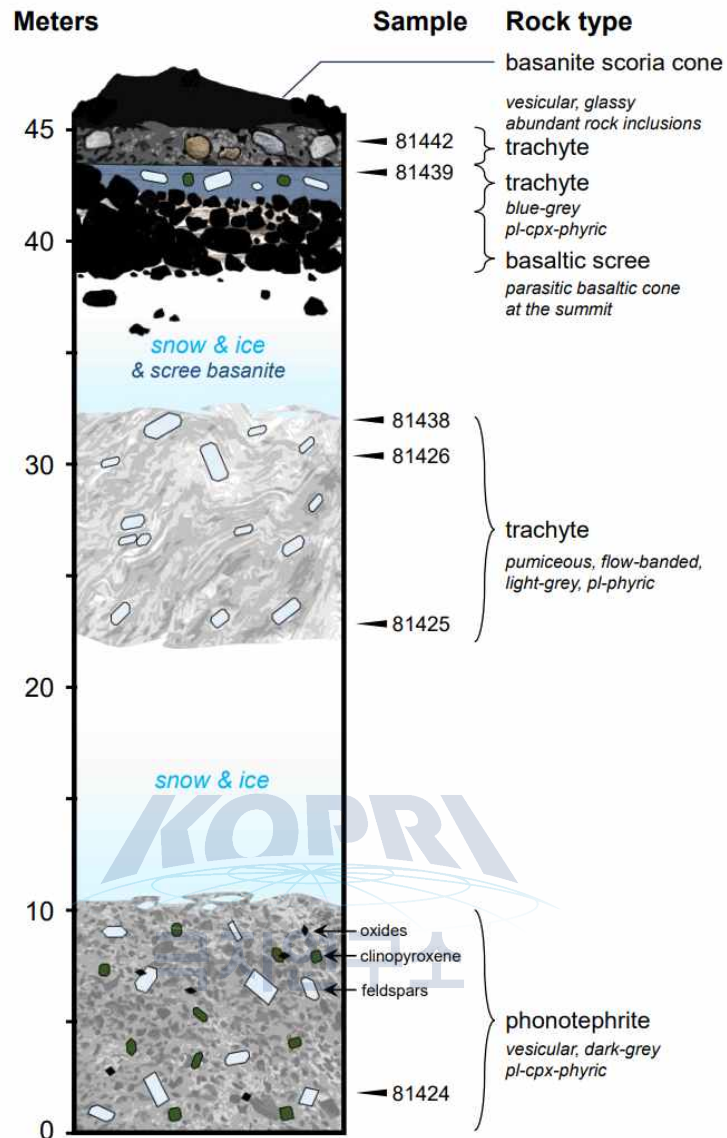


그림 104. Mount Overlord 서측 칼데라 립 내부 사면에 노출된 층서 단면의 일반화된 측정 단면도 [Kim et al., 2025]

- 위 단면도는 하와이아이트에서 시작해 조면암, 코멘다이트까지의 마그마 진화과정에 따라 형성된 화산암층들의 층서적 분포를 보여줌. 단면 상에서는 주요 광물인 사장석(plagioclase)과 휘석(clinopyroxene)의 출현 빈도 변화가 명확히 나타나며, 이는 마그마 분화에 따른 광물 조성 변화를 반영함. 이러한 층서 단면으로 부터 MOVF 화산암류의 분화 진화사 및 화산활동 시기를 규명함

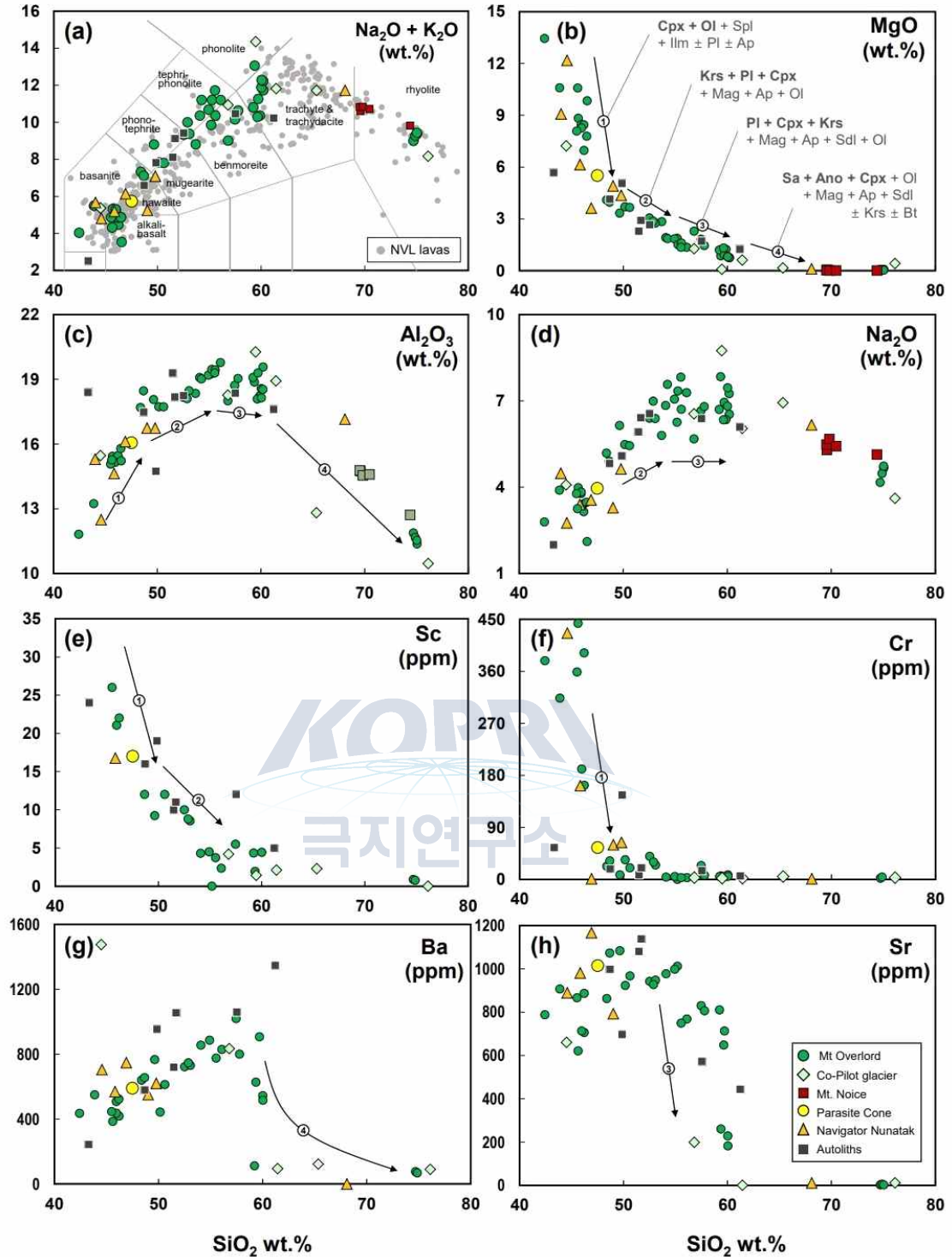


그림 105. Mount Overlord 화산지대의 화산암 및 집적암(autolith)의 조성을 나타낸 다
이아그램. 모든 주요 원소는 휘발성 성분을 제외한 100% 기준으로 환산됨. 흑색 화살
표와 숫자로 표시된 1-4단계의 분화 경향은 최소제공 질량수지 모델(OPTIMASBA;
Cabero et al., 2012) 에 의해 계산된 것임. (a)의 비교 데이터는 northern Victoria Land
지역 화산암 조성(Rocchi & Smellie, 2021 및 인용문헌)을 참고함. Cpx; clinopyroxene,
Ol; olivine, Spl; spinel, Ilm; ilmenite, Pl; plagioclase, Ap; apatite, Mag; magnetite, Krs;
kaersutite, Sdl; sodalite, Sa; sanidine, Ano; anorthoclase, Bt; biotite

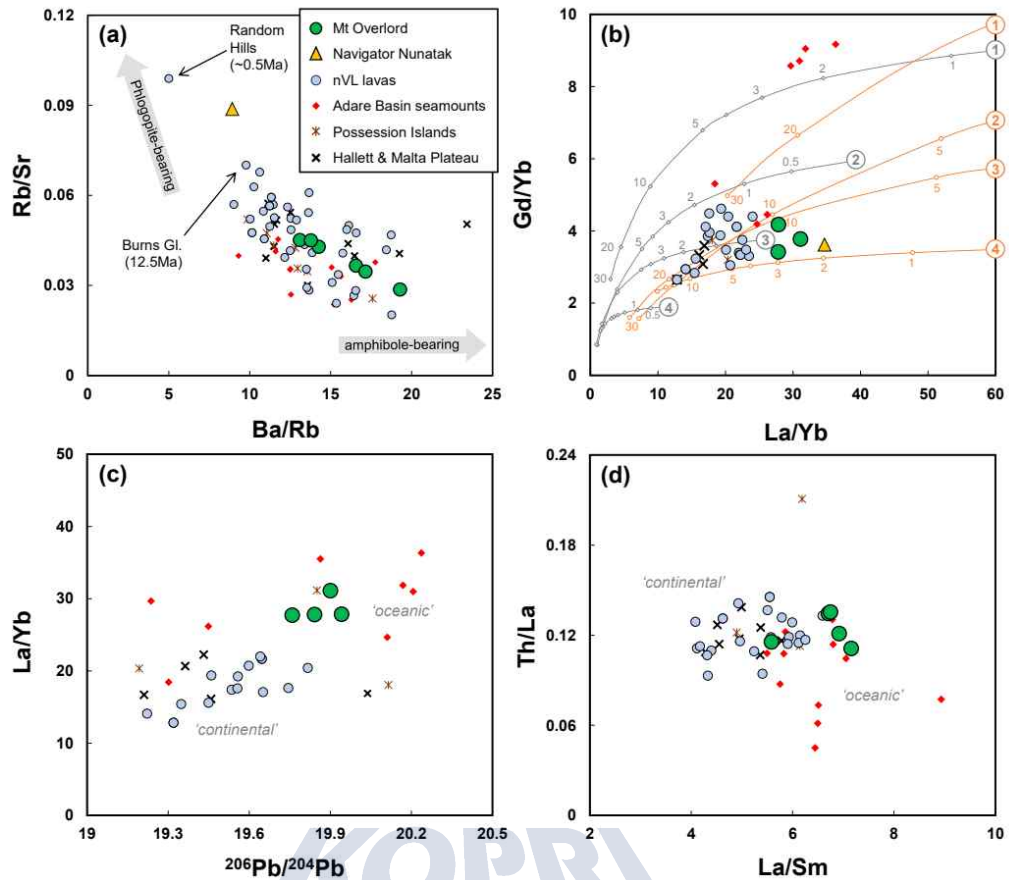


그림 106. 북부 빅토리아랜드 지역 염기성암($Mg\# > 55$)의 미량원소 및 동위원소비 변화 다이어그램. Adare Basin 해산, Possession Islands, Hallett 및 Malta Plateau 지역의 자료는 Durkin et al. (2023)에서 인용 [Kim et al., 2025]

- Mount Overlord 화산지대 화산암 및 집적암(autholiths)의 전암 조성 데이터는 SiO_2 함량에 따른 주요 원소 및 미량 원소의 체계적인 변화 경향을 보여줌. 이러한 조성 변화는 마그마의 분화 및 지각 동화 과정을 반영하며, 크게 네 단계의 분화과정을 거치는 것으로 해석됨
- 1단계 (Basaltic to Mugearite; SiO_2 약 50 wt%): MgO , Sc , Cr 등의 호정성 원소(compatible elements) 함량이 급격히 감소하고, Al_2O_3 , Na_2O , Sr 등의 불호정성 원소(incompatible elements) 함량이 급증 → 감람석, 휘석, 산화물의 분별 결정에 의해 조성 변화가 주도됨
- 2단계 (Benmoreite; SiO_2 약 55 wt%): 불호정성 원소들의 증가 경향이 완만해지고, 일부 원소는 감소하기 시작. 캐수타이트(kaersutite), 사장석, 산화물 등의 분별 결정작용과 약 3~10%의 지각 기원의 화강암질 암석(GHIC) 동화작용을 수반함.
- 3단계 (Trachyte; SiO_2 약 60 wt%): Al_2O_3 , Na_2O , Sr 등의 함량의 감소, 사장석,

주요 산화광물(Oxides), 인회석(apatite) 분별 결정작용

- 4단계(Comendite): 주요 원소의 고갈, 극단적 분별 결정작용(>95%) 및 유질 결정질 집합체(felsic mush) 내 용융물 추출로 마지막 진화과정 산물인 코멘다이트가 산출됨

○ 화산암 근원물질 성인규명을 위한 맨틀포획암 지화학특성 연구

- 멜버른 화산지대 윌로우 누나탁에서 채취된 맨틀포획암 29개에 대하여 육안 관찰 가능한 광물의 종류 및 특징에 따라, 러졸라이트 (lherzolite), 하즈버자이트 (harzburgite), 거정질 단사회석 포함 감람암, 금운모맥 포함 감람암으로 분류
- 29개의 암석 시료에 대해, 각 암석의 특징을 잘 반영하는 부분을 선정하여, 40개의 박편을 제작하고, 암석기재 연구 수행
- 감람석과 크롬침정석에 대하여 EPMA를 이용하여 주원소 분석을 수행함
- 침정석 Cr#, Mg#, TiO₂ 함량과 감람석 Mg#의 비교를 통해, 하즈버자이트 그룹과 금운모맥 포함 감람암에서 서로 다른 양상의 맨틀 교대작용 확인

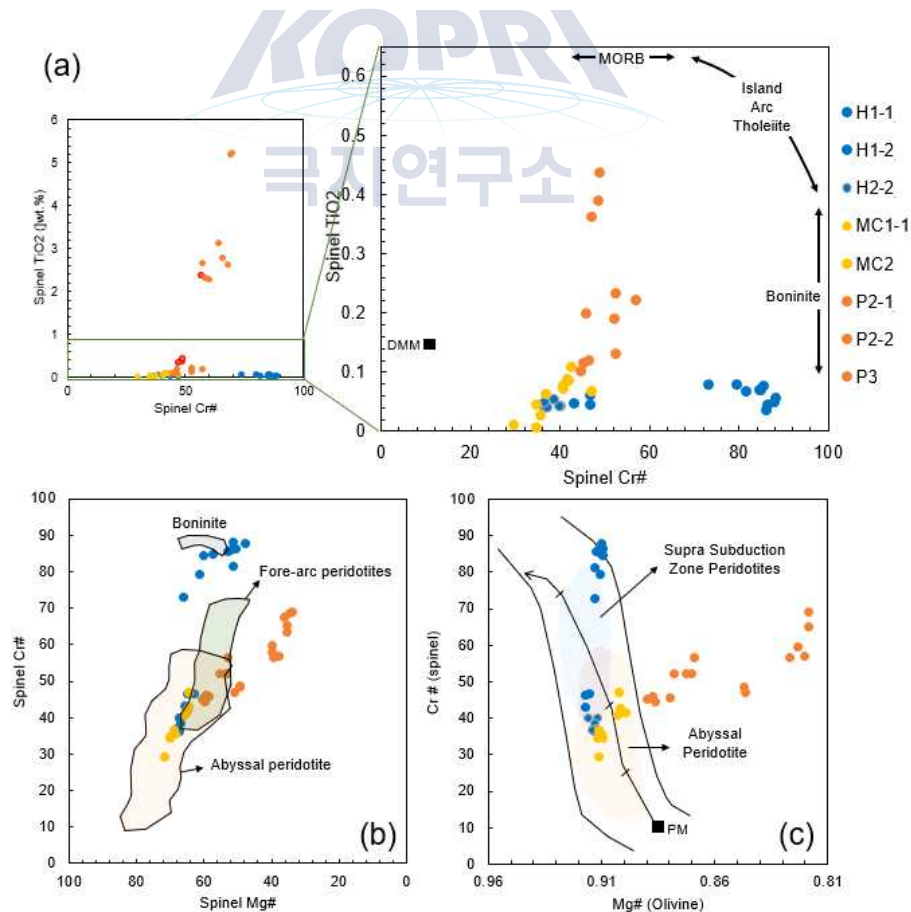


그림 107. 빅토리아랜드 윌로우누나탁 맨틀포획암의 (a) 침정석 TiO₂ 함량 대 침정석 Cr# 도표 (b) 침정석 Cr# 대 침정석 Mg# (c) 침정석 Cr# 대 감람석 Mg#

- 하즈버자이트 그룹 내 침정석은 높은 Cr#(80-90)를 가지는 것과 낮은 Cr#(약 40)를 가지는 것으로 구분됨
- 하즈버자이트 그룹의 낮은 Cr# 침정석은 엽상(lobate) 및 연층모양(vermicular)의 특징과 사방회석과 함께 공존하는 특징을 기반으로, 맨틀 부분 용융 후 잔류한 침정석으로 분류되고, 높은 Cr# 침정석은 비슷한 감람석 Mg#와 침정석 Mg#를 가지는 침정석에 비해 매우 높은 Cr#를 가지는 특성을 기반으로 보니나이트(boninite)에 의한 교대작용을 받은 침정석으로 분류되며, 금운모와 공존하고, 광물 표면이 매우 심하게 반응한 양상을 나타내는 점이 특징적임

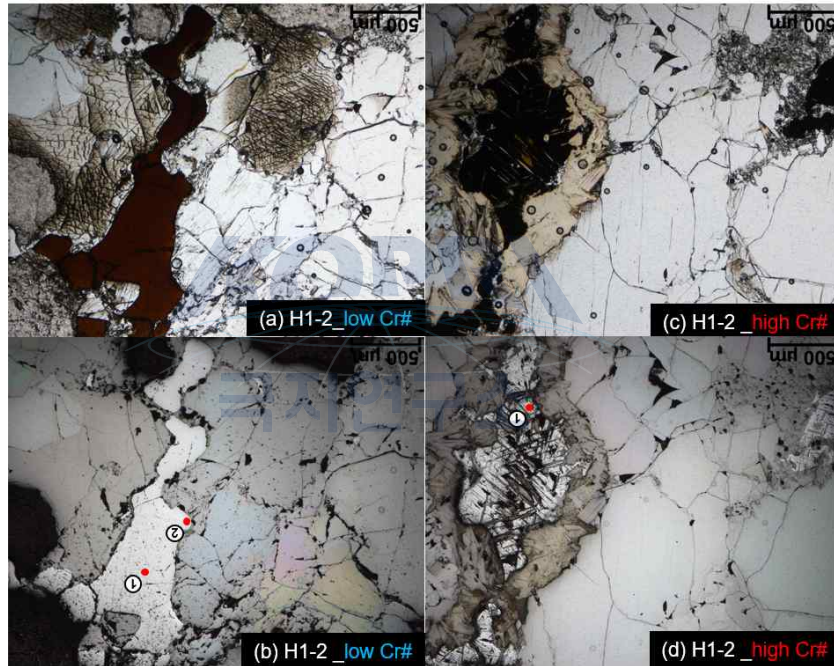


그림 108. 하즈버자이트 그룹 맨틀포획암 중 낮은 Cr# 침정석의 (a) 일차 편광(plane-polarized light) 사진과 (b) 반사 사진, 높은 Cr# 침정석의 (c) 일차 편광(plane-polarized light) 사진과 (d) 반사 사진

- 금운모맥 포함 감람암 내 침정석은 높은 TiO_2 와 높은 침정석 Cr#를 가지는 침정석(이하 '높은 TiO_2 침정석')과 낮은 TiO_2 와 낮은 Cr#를 가지는 침정석(이하 '낮은 TiO_2 침정석')으로 구분됨
- 낮은 TiO_2 침정석은 하즈버자이트 그룹 또는 거정질 단사회석 포함 감람암에 비해 높은 침정석 TiO_2 함량 및 침정석 Cr#를 나타내고, 교대작용의 영향을 지시하며, 금운모 및 세립질 감람석과 공존하는 것이 특징적이고, 높은 TiO_2 침정석은 TiO_2 의 함량이 최대 약 5 wt.%에 이를 정도로 매우 높고, 맥을 형성하는 각섬석에

포획되어 나타나는 것이 특징적임

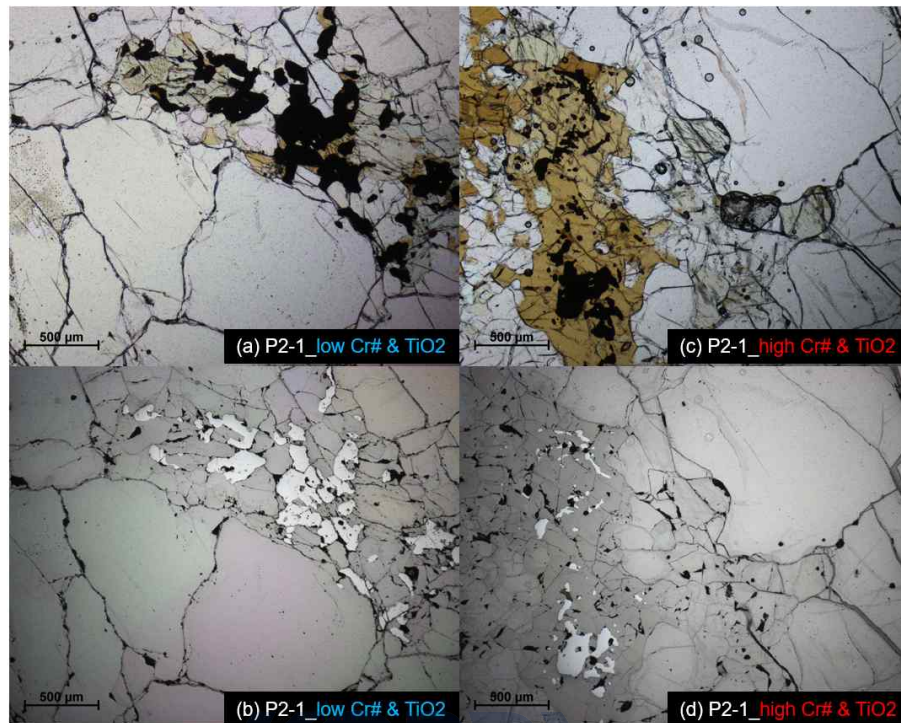


그림 109. 금운모맥 포함 감람암 그룹 맨틀포획암 중 낮은 TiO_2 침정석의 (a) 일차 편광(plane-polarized light) 사진과 (b) 반사 사진, 높은 TiO_2 침정석의 (c) 일차 편광(plane-polarized light) 사진과 (d) 반사 사진

- 금운모와 각섬석으로 구성된 맥의 존재는 암석권 맨틀이 알칼리 원소가 풍부한 규산염 용융체 또는 유체에 의하여 교대작용을 받았음을 지시함

□ 연구내용 2-2. 화산암류 절대 연령 측정

○ 화산암류 절대 연령 측정($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대)

- 뉴멕시코 광산공과대학(NM Institute of Mining and Technology, NMT) 내에 있는 뉴멕시코 지질조사국(NM Bureau of Geology)의 연대 측정 연구실(NM Geochronology Research Laboratory, NMGRL)에 설치된 질량분석기를 통해 북빅토리아랜드 국부 화산군 시료 6점에 대해 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 정밀연대 측정

□ 연구내용 2-3. 변성암 광물화학 및 동위원소 분석

○ 터레인 경계부 고압 변성암류의 섭입대 진화사 규명

- 남극 윌슨 터레인의 신원생대-고생대 변성 작용 연구를 위해 2024/25시즌 딥프리즈 산맥 (Deep Freeze Range), 마운티니어 산맥 (Mountaineer Range), 제를라슈 내만 (Gerlache Inlent), 장보고 과학기지과 독일 곤드와나 기지 주변의 지질조사를 수행하였음. 딥프리즈 산맥에서 흔히 나타나는 변성암 암석 유형은 석류석을 포함한 변성 퇴적성 백립암이었으며, 이들 암석에서는 부분용융의 흔적과 석영-장석질 우백대와 우흑대가 교대로 분포하는 특징을 확인하였음. 이 외에도 휘석, 각섬석을 포함한 규장질 백립암과 이를 관입하는 화강암~화강섬록암 역시 대규모로 분포하는 것을 확인하였고 일부 지역에서는 층상의 고철질 백립암도 발견됨. 테라노바만 해안 장보고기지 인근, 곤드와나 기지 인근, 그리고 제를라슈 내만에는 혼성 편마암과 석류석-흑운모 편암, 각섬암, 각섬석 편암, 흑운모-각섬석 편마암이, 마운티니어 산맥 (Mountaineer Range) 지역은 각섬암과 함께 변성 퇴적암이 분포함

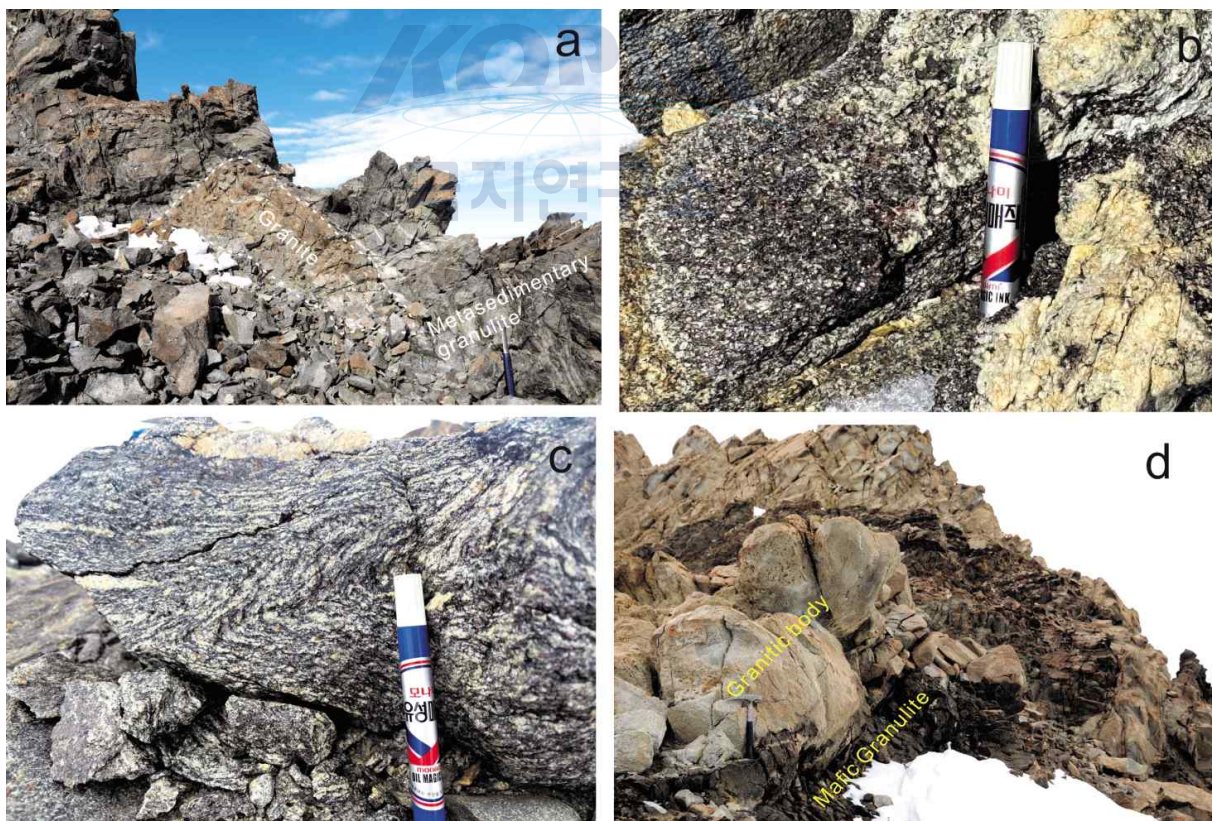


그림 110. 2024/25시즌 지질조사 지역의 사진. (a) 딥프리즈 산맥에서의 변성 퇴적암과 관련 화강암체 간의 관계 (b) 딥프리즈 산맥의 혼성질 변성 펠라이트에서 관찰되는 석류석 함유 우흑대 (c) 곤드와나 기지 근처의 혼성질 변성 펠라이트 (d) 딥프리즈 산맥에서 화강암과 접촉하고 있는 변성 고철질암 층

- 남극 데센트 산맥 (Dessent Ridge)의 석류석 각섬암의 전암 주원소 정량분석을 통해 모암의 종류와 화학조성 범위를 확인하였음

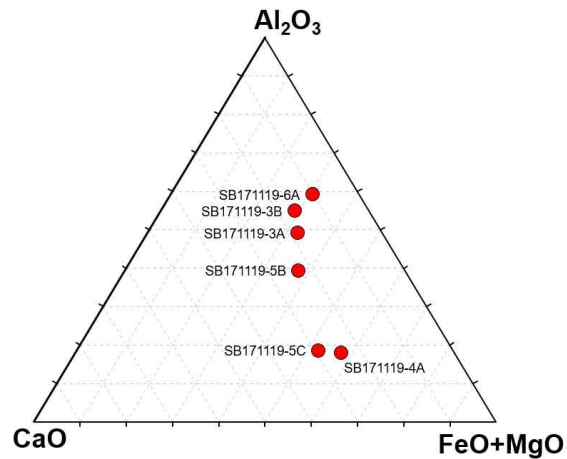


그림 111. Dessent Ridge 석류석 각섬암의 XRF 전암 화학조성

□ 연구내용 2-4. 터레인 경계부 지질진화 규명

- 월슨 터레인 고온 변성퇴적암류의 지구조진화 및 기원지 해석
 - 전자현미분석기를 이용한 모나자이트 광물의 U-Th-Pb 연대 측정을 위한 분석 프로토콜을 개발하여 모나자이트 표준시료 RW1과 COM-1를 비교 검증하였고, 분석 결과 기존에 알려져 있는 SHRIMP 등을 통한 동위원소 연대와 잘 일치하는 결과를 획득하였음

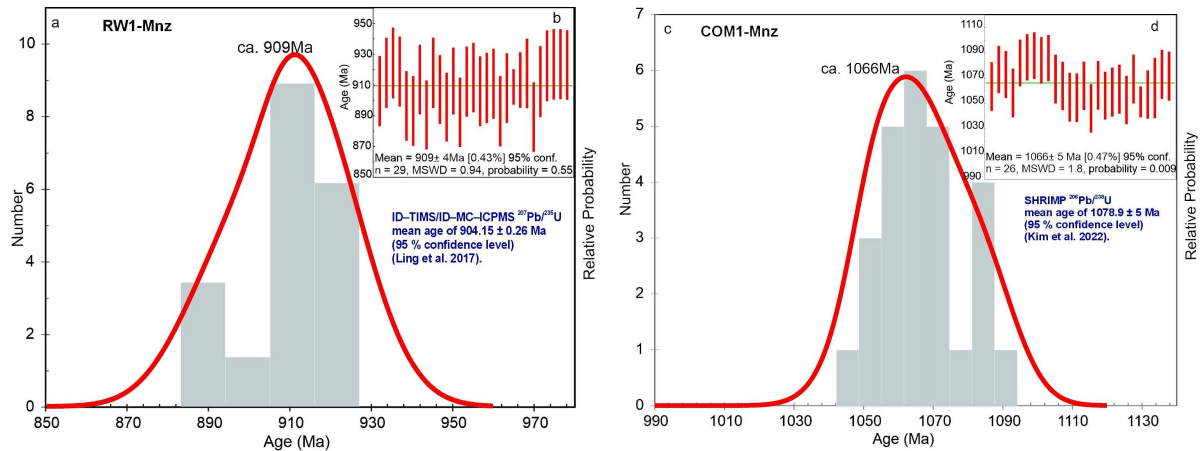


그림 112. (a) RW1 모나자이트에서 측정된 연대의 확률 밀도 분포도로, 약 909 Ma에서 뚜렷한 피크를 보이며, 가중 평균 연령은 909 ± 4 Ma는 삽입 그림 (b)에 표시됨. (c) COM-11 모나자이트에서 측정된 연대의 확률 밀도 분포도로, 약 1066 Ma에서 피크를 나타내며, 가중 평균 연령 1066 ± 5 Ma는 삽입 그림 (d)에 제시됨. 이는 SHRIMP와 LA-ICP-MS를 이용한 기존의 연구 결과와 오차범위 내에서 잘 일치함

- 윌슨 변성암체 (Wilson Metamorphic Complex; MWC)의 두 시료 미그마타이트질 근청석 변성암 SB171127-1C와 미그마타이트질 흑운모 변성암 J-15-1b의 모나자이트 연대와 희토류 원소 함량을 측정하였음. SB171127-1C의 모나자이트는 상대적으로 세립질이며 누대구조 없이 균질한 광물 조성을 보이고, 486 ± 8 Ma의 가중평균 연대와 490 ± 15 Ma의 PbO vs. ThO₂* 등시선 연대, 그리고 부화된 LREE와 결핍된 HREE 경향을 보임. 반대로 J-15-1b의 모나자이트는 상대적으로 조립질이며 크게 세 부분으로 나뉘는 누대구조를 보임 (Domain-I, II, III). 각 도메인은 순서대로 515 ± 4 Ma, 480 ± 4 Ma, 433 ± 12 Ma의 가중평균 연대와 520 ± 12 Ma, 482 ± 11 Ma, 434 ± 18 Ma의 PbO vs. ThO₂* 등시선 연대를 가져 뚜렷한 시기의 차이를 지시하며 도메인간 REE 함량에도 차이를 보임. 이는 윌슨 터레인의 복잡한 여러 단계의 열변성 작용을 지시함.

□ 연구내용 2-5. 북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명

○ 암석 변형기작 규명

- EBSD를 이용한 구조분석을 실시하여 총 5건 이상의 암석에서 석영의 결정방향성 지도를 획득함
- 결정방향성 지도 내 잘 배열된(편평비 aspect ratio가 높은) 석영 광물입자들이 변형의 정도가 높음을 지시함
- 결정방향성 지도 내 색은 역 극점도(Inverse Pole Figure, IPF) 배색에 따라 다른

방향성을 가진 입자들은 다른 색을 띠며, 따라서 같은 계열의 색이 주를 이루고 있는 경우 결정 방향성이 높다고 판단이 가능함

- 결정 상(phase) 지도는 분석된 광물들을 상에 따라 다른 색으로 나타내주며, 이를 이용해 의미있는 분석이 완료되었는지 판단함

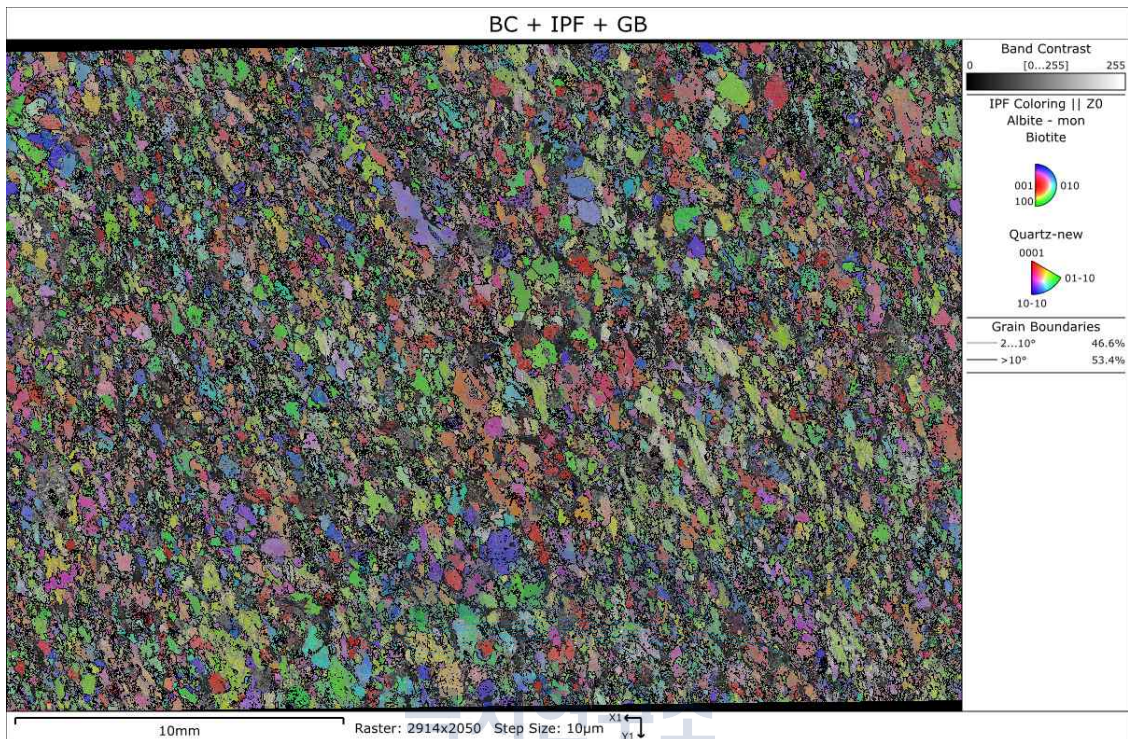


그림 113. JBS 인근 노두에서 채취한 화강암류의 결정방향성 지도

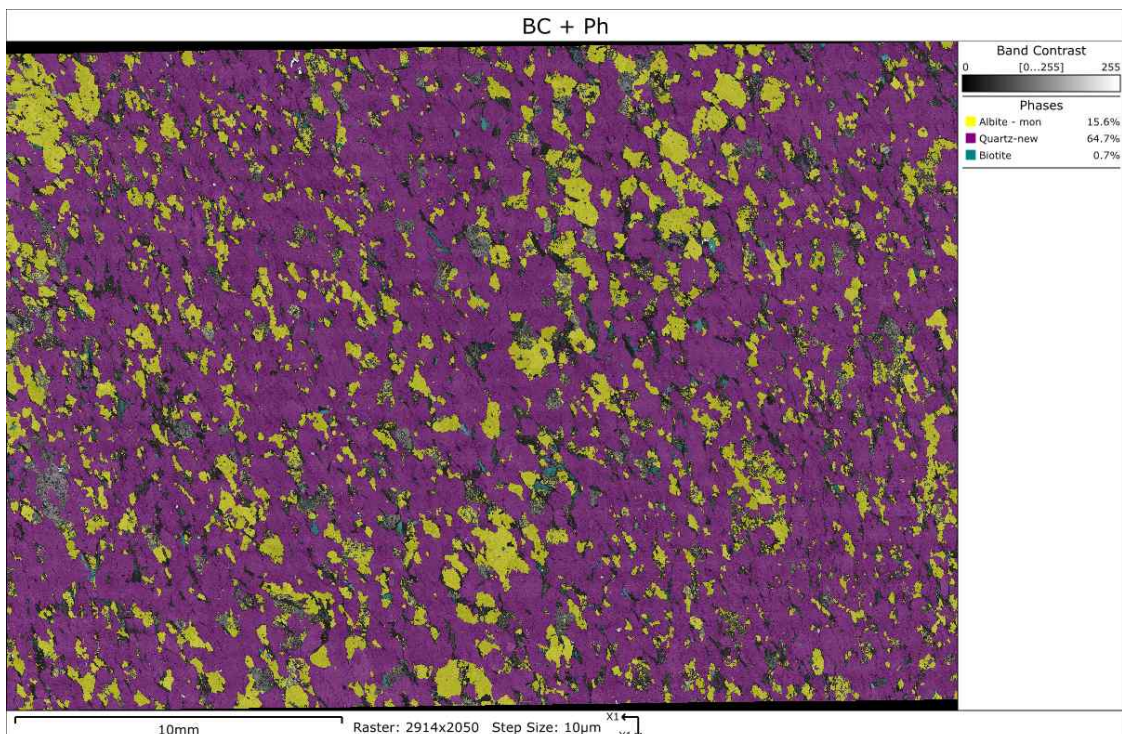


그림 114. 변형의 정도가 높은 암석의 상 지도

- 결정방향성(Crystallographic preferred orientations, CPOs)은 광물 내 특정 축 또는 면의 방향을 스테레오넷(Stereo net)에 도시한 그림으로 조직색인(fabric index: J- or M-index: Mainprice and Silver, 1993, Physics of the Earth and Planetary Interiors; Skemer et al., 2005, Tectonophysics)에 의해 미구조 내 결정방향성의 정도를 수치적으로 나타낼 수 있음
- 분석한 사장석의 결정방향성은 $\langle 100 \rangle$, $\langle 010 \rangle$, $\langle 001 \rangle$ 축이 거의 랜덤하게 분포하고 있어, 변형의 흔적을 찾아보기 힘들
- 사장석의 결정방향성과 달리 석영의 결정방향성은 $\langle 0001 \rangle$ 이 수평적인 방향으로 강력하게 발달되어 있고, $\langle 10\bar{1}0 \rangle$, $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 축이 수직적인 방향으로 약하게 분포하고 있음. 따라서 c-축이 잘 발달한 모습을 보여주며 이는 높은 온도에서 일어난 c-slip의 전형적인 양상을 지시함. 따라서 연구지역의 전단대 발달이 높은 온도에서의 변형작용과 밀접한 관계가 있음을 나타내는 결과임

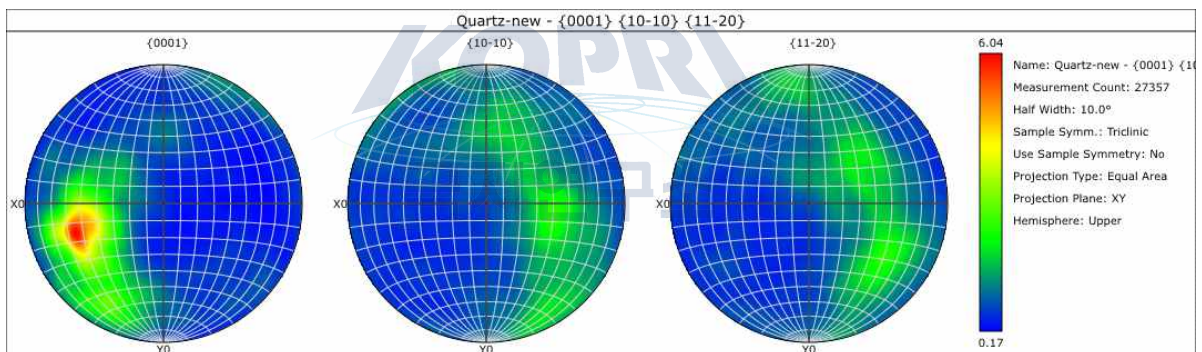


그림 115. 분석한 샘플 내 석영의 결정방향성(CPOs)

○ EPMA, SHRIMP 등을 이용한 화학분석 및 연대추정

- EPMA 화학성분 분석과 Monazite 연대측정 결과를 통합하여 북빅토리아랜드 전단대에서 고온 전단작용과 관련된 주요 변형 시기가 집중되는 시기를 제약하였으며, 이를 고태평양 섭입대 진화 과정과 연계하여 해석함. 해당 결과는 북빅토리아랜드 지체구조 진화 모델 수립을 위한 핵심 연대 제약으로서 저널에 투고 예정
- EPMA 및 SHRIMP U-Pb 연대와 미량원소 조성을 이용하여 전단대 주변 화강암류의 변형 이전·이후 열사건을 구분하고, 이를 통해 북빅토리아랜드 형성 과정에서의 변형-열사건 시퀀스를 재구성 중임.

□ 연구내용 2-6. 암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악

○ EBSD를 이용한 구조분석

- 맨틀포획암은 맨틀의 일부분이 화산에 의해 분출한 암석으로, 암권맨틀의 변형에 대한 정보를 제공해줌. 특히 감람암의 변형은 응력(stress), 유체(fluid)와 상관관계를 가지며 이 두 조건에 의해 미끌림 특성(slip system)이 바뀌게 되는데, 이 특성을 이용해 맨틀-대륙의 진화 과정을 유추하는데 이용함 [예. Karato et al., 2008, Annual Review of Earth and Planetary Sciences]
- 맨틀포획암 샘플 5점 이상의 분석을 마침
- 예시로 제시한 암석은 감람석 78%, 사방휘석 15%, 단사휘석 7%로 구성된 러줄라이트(lherzolite)로 각 광물의 편평비(aspect ratio), 모양방향성(shape preferred orientation)을 고려하면 변형도가 낮다고 판단됨

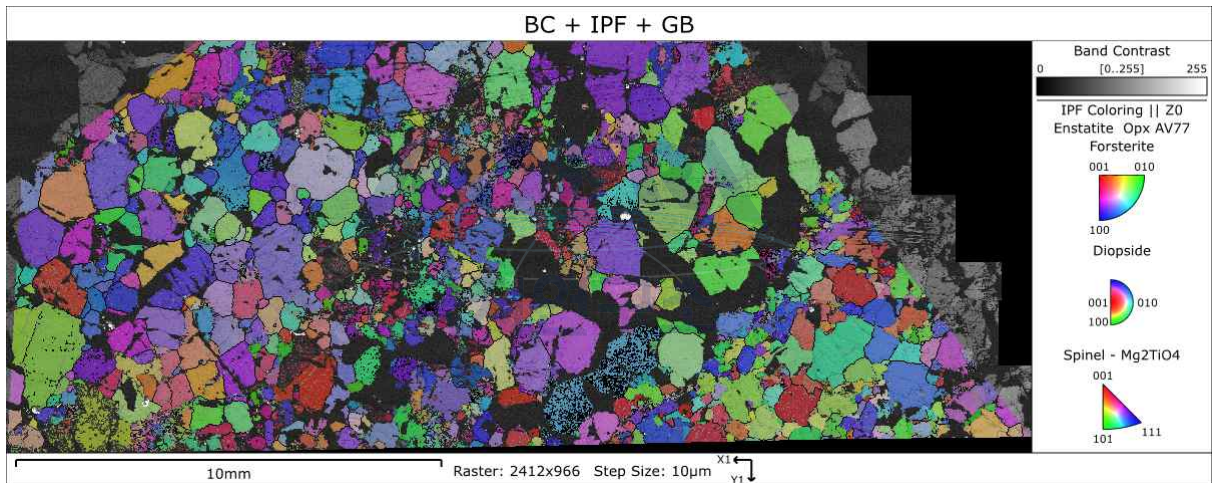


그림 116. 분석한 맨틀포획암 샘플 내 감람석, 사방휘석, 단사휘석의 결정방향성 지도

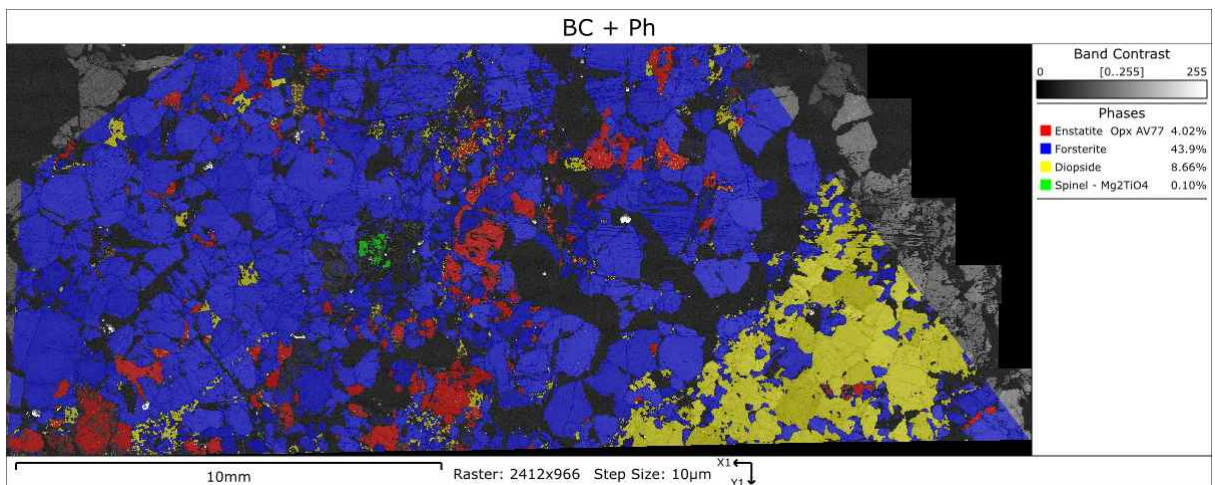


그림 117. 분석한 맨틀포획암 샘플 내 감람석, 사방휘석, 단사휘석의 상 지도

- 감람석의 결정방향성은 $\langle 100 \rangle$ 이 수평방향으로 선(girdle) 모양을 띄고, $\langle 010 \rangle$ 이 수직방향으로 점(cluster) 모양을 띄는 것으로 정의되며, 이는 소위 AG-type 감람석 CPO를 지시함. 이는 응력이 낮고, 유체를 많이 함유하고 있는 미끄러짐 특성(slip system)이며, 따라서 현생 시대에 유체를 많이 포함하고 있는 조구조 활동과 연관될 수 있음. 아마도 AG-type CPOs는 중생대 말에 발달하기 시작했던 열개구조(rifting system)의 형성과 연관있는 것으로 판단됨
- 사방휘석의 결정방향성은 $\langle 100 \rangle$ 이 수직방향으로, $\langle 010 \rangle$ 이 앞뒤방향으로, $\langle 001 \rangle$ 이 수평방향으로 모두 점(cluster) 모양을 띄는 것으로 정의됨
- 단사휘석의 결정방향성은 $\{100\}$, $\{010\}$, $\langle 001 \rangle$ 이 특별한 방향을 띄고 있지 않은 것으로 판단함

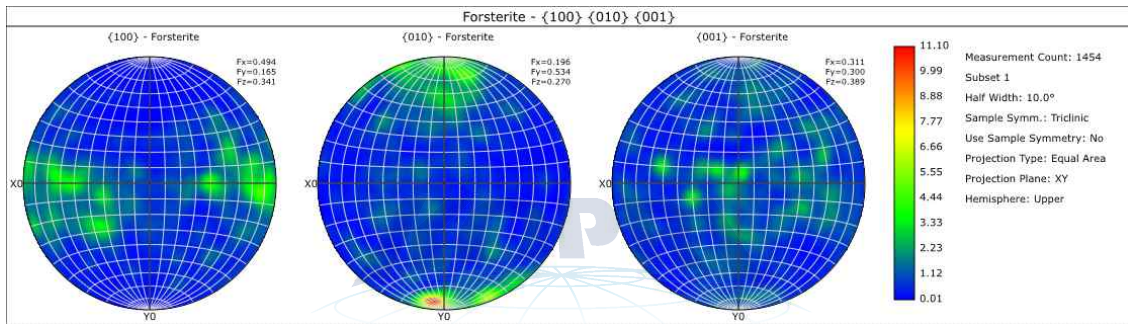


그림 118. 분석한 샘플 내 감람석의 결정방향성(CPOs)

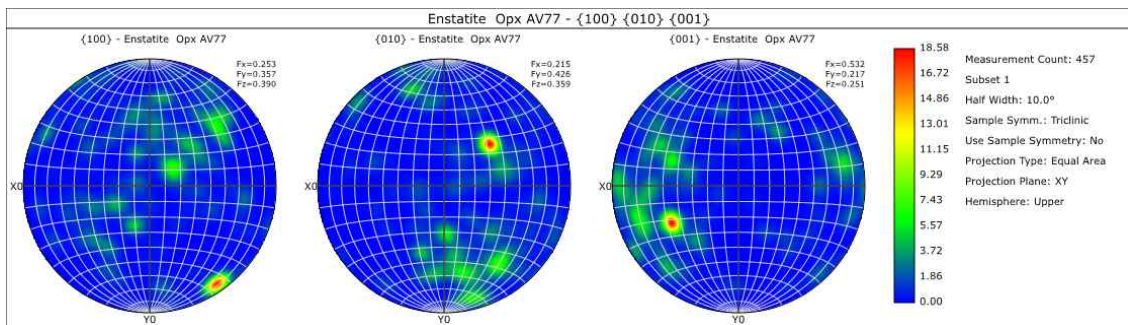


그림 119. 분석한 샘플 내 사방휘석의 결정방향성(CPOs)

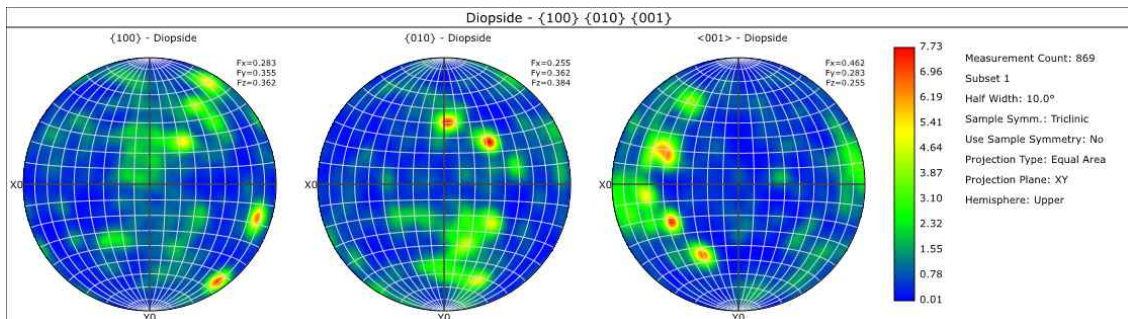


그림 120. 분석한 샘플 내 단사휘석의 결정방향성(CPOs)

○ ICP-MS를 이용한 Os 동위원소 성분 분석

- 남극 맨틀포획암 및 로스해 화산암을 대상으로 Os 동위원소 비를 측정하여 질란디아-남극 맨틀 영역에 재활용 지각 물질이 유입된 정도를 제약할 수 있는 기초 데이터를 확보함.
- 시료군별 Os 동위원소 비의 차이를 통해, 섭입 기원 유체·용융물이 암석권 맨틀 메타소마티즘에 미치는 영향을 평가할 수 있는 잠정적인 경향성을 도출하였으며, 이는 질란디아-남극 맨틀 기원·조성 모델에서 메타소마티즘의 시·공간 변화를 해석하는 데 활용 가능함.

○ REE 성분을 이용한 메타소마티즘 특성 파악

- 맨틀포획암 및 화산암 시료에 대한 REE 농도 및 패턴을 분석하여, LREE-풍부/고갈 유형과 HREE 분별 정도에 따라 남극 암석권 맨틀 메타소마티즘 양상을 몇 가지 대표 유형으로 구분함.
- 이러한 REE 특성은 섭입 기원 유체/용융물의 혼입 비율과 잔류 광물 조합(감람석, 휘석, 석류석 등)에 대한 제약을 제공하며, 질란디아-남극 맨틀 기원·조성 모델에서 암석권 맨틀의 이질성과 시간적 진화를 설명하는 근거로 활용.

□ 연구내용 2-7. 달과 소행성 표면물질 특성 분석

○ 달운석 DEW 12007의 알칼리 장석에 대한 비정질화 연구

- 달운석 DEW 12007 내의 알칼리 장석에 초점을 맞추고 라만 분광법과 전자 탐침 미세분석(EPMA)을 사용하여 비정질화의 메커니즘 규명 시도
- 그 연구 결과, 결정성과 화학 조성 사이에 강한 상관 관계가 있으며, 결정성 물질에 비해 비정질 영역에서 Na 농도가 증가하고 K 농도가 감소하는 것으로 나타남
- 이러한 조성 변화는 사니딘-알바이트 시스템의 상 평형과 일치하며, 용융에 의한 부분적인 비정질화를 지배적인 메커니즘으로 뒷받침함
- 비정질 경계 근처의 잔류 결정성 장석은 부분 용융 및 급냉 동안의 조성 재분배를 반영하여 증가된 K 함량을 나타냄
- 이 연구는 장석의 비정질화 메커니즘을 구별하는 진단 도구로서 화학 조성의 유용성을 입증하며, 고체 상태의 변형으로 형성된 마스켈라이트와 용융 및 급냉을 통해 생성된 일반 유리를 구분할 수 있는 연구 방법론은 행성 지각의 충격 이력과 열적 진화에 대한 중요한 통찰력을 제공
- 위 결과를 통해 달 지각의 충격·용융 이력과 냉각속도 조건을 제약함으로써, 태양계

초기 맨틀-지각 분화 과정과 충돌사건 기록을 해석하는 데 필요한 운석 기반
기준모델을 제시하였음

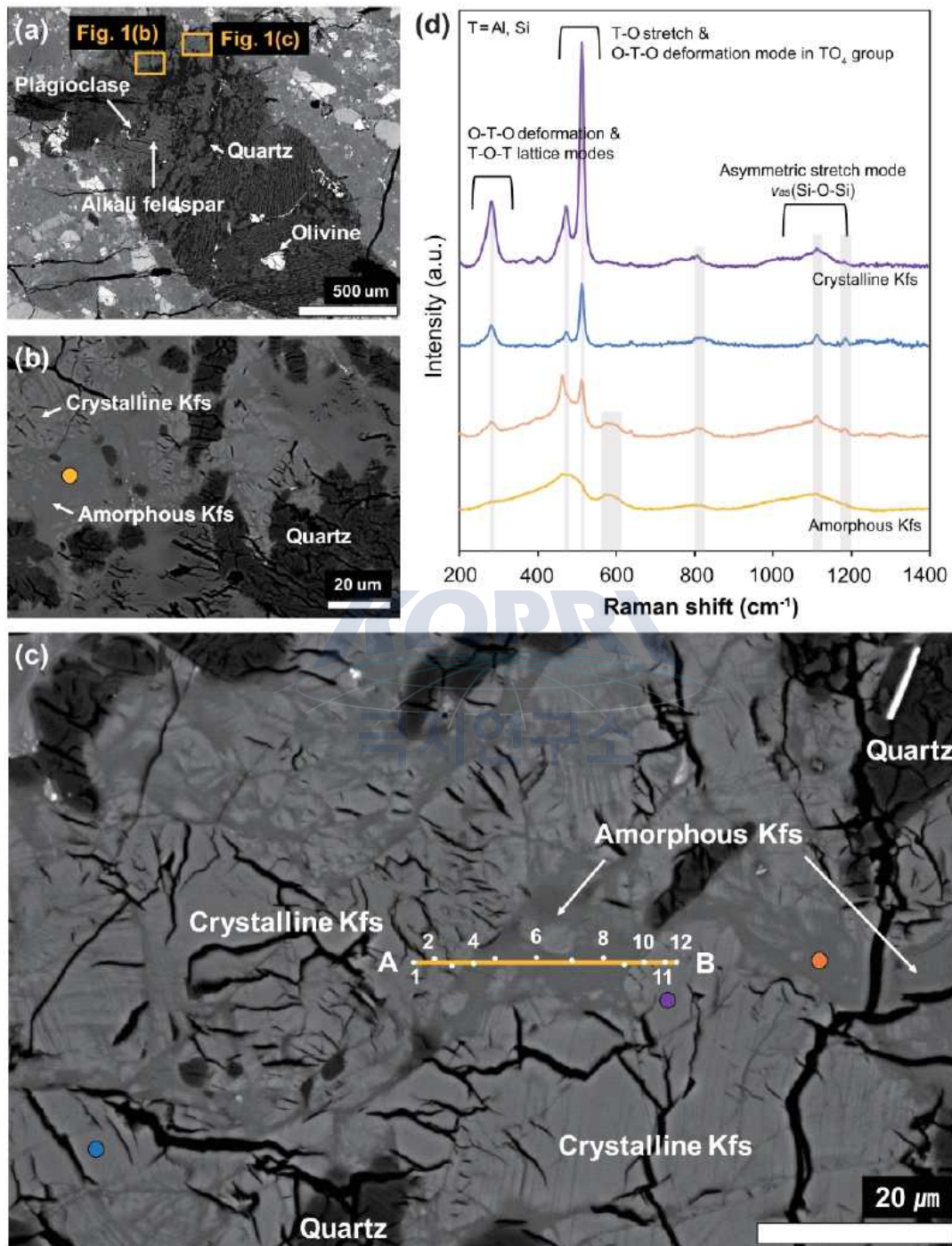


그림 121. (a) 달운석 DEW 12007에서 채취한 화강암 쇄설물의 BSE 이미지, EPMA 분석을 통해 확인된 광물. (b, c) 결정질 알칼리 장석(밝은 회색)과 알칼리 장석 조성의 비정질(짙은 회색)의 영역을 강조한 확대된 BSE 이미지. (c)에 표시된 A-B 선을 따라 단색 원과 번호가 매겨진 지점에서 라만과 EPMA 분석을 실시 (d) (b)와 (c)에 표시된 지점에서 측정된 라만 스펙트럼, 측정 지점에 해당하는 스펙트럼 색상(보라색, 파란색, 주황색, 노란색). “Kfs”는 알칼리 장석

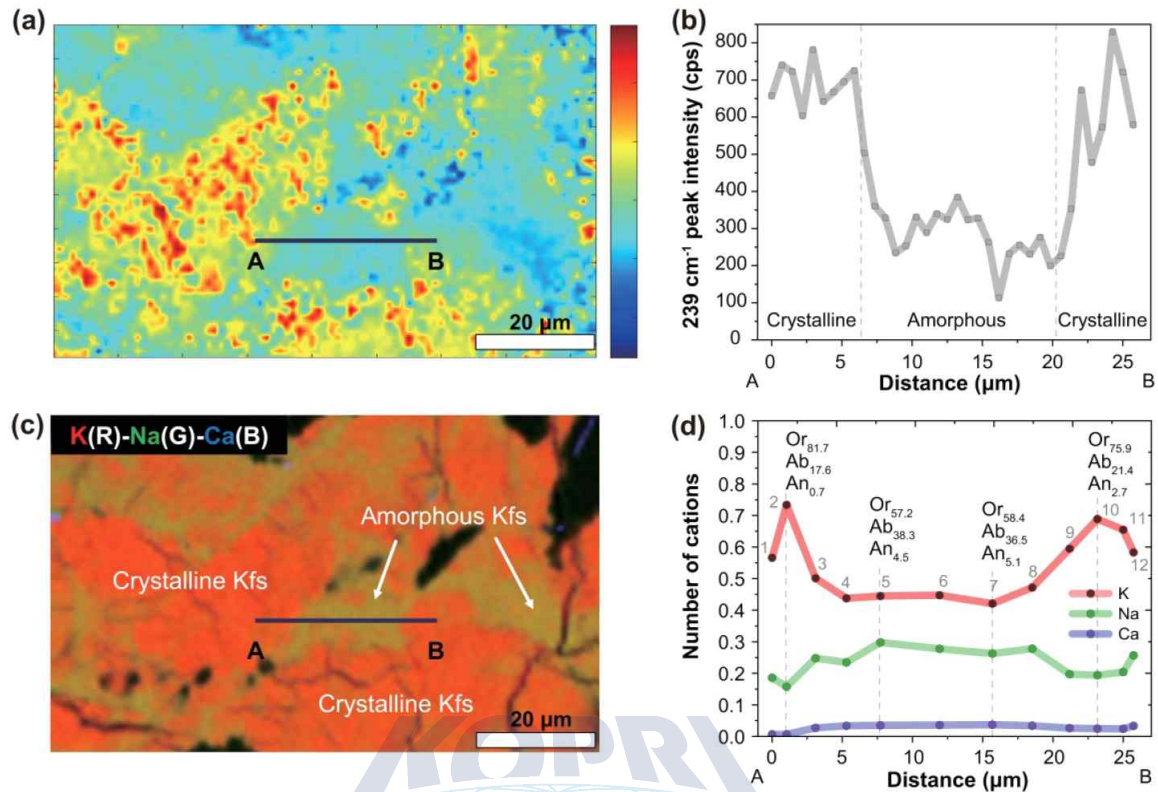


그림 122. (a) 알칼리 장석의 283 cm^{-1} 라만 스펙트럼 강도 맵. 283 cm^{-1} 라만 강도는 260 cm^{-1} 에서 300 cm^{-1} 까지의 강도의 합계에서 획득 (b) A-B 라인을 따라 283 cm^{-1} 피크 강도의 라인 프로파일, 결정질과 비결정질 영역의 결정성 변화를 강조 (c) ImageJ 소프트웨어를 사용하여 처리된 알칼리 장석의 X선 원소 분포도. K(빨간색), Na(녹색), Ca(파란색) 원소 분포를 표시 (d) BSE 이미지(그림 1c)의 A-B 선을 따라 얻은 EPMA 데이터(12점). y축은 알칼리성 장석의 8개의 산소에 대한 양이온(K, Na, Ca)의 수. “Kfs” 는 알칼리 장석

○ CM 콘드라이트에 대한 산소, 황 동위원소 전암 분석

- CM 콘드라이트 소행성 모체에서의 수성변질 과정 규명을 위해 황산염 광물, 특히 중정석(Barite)의 산소 동위원소 측정이 필요함. 레이저 불화방식 산소동위원소 분석 방법으로 황산염 광물을 분석하면 $\delta^{18}\text{O}$ 에 약 $-8 \sim -10\%$ 정도의 기기 분별(instrumental fractionation)이 발생해 정확한 값을 측정하기는 어렵지만 $\Delta^{17}\text{O}$ 값에는 큰 변화가 없음을 확인하였고, CM 콘드라이트의 석고를 물에 녹인 뒤 BaSO_4 로 추출해내는 방법을 이용해 석고의 산소 동위원소 조성을 측정할 수 있었음

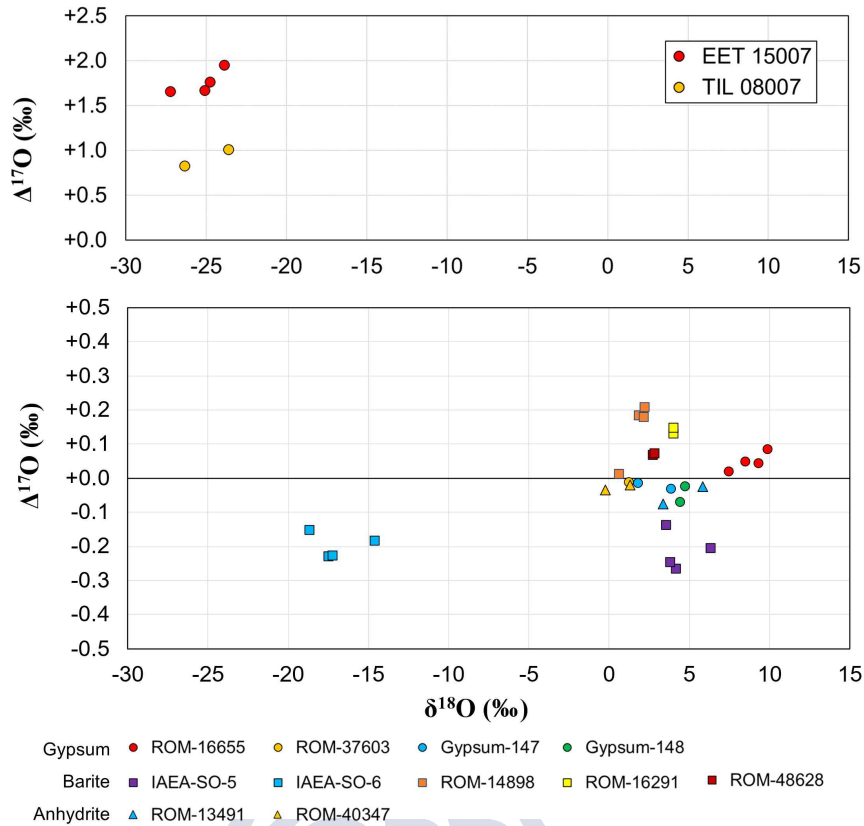
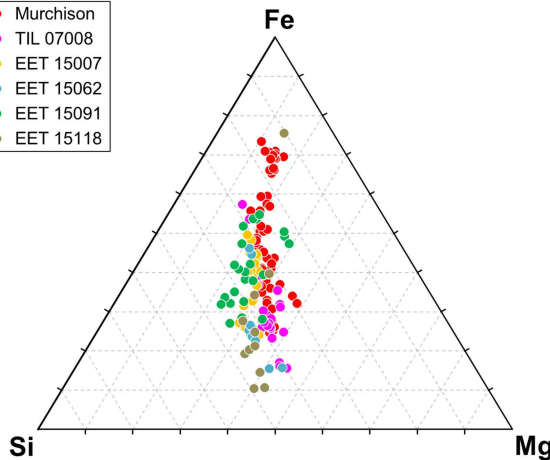
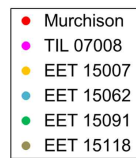


그림 123. CM 콘드라이트 EET 15007과 TIL 08007에서 추출한 BaSO_4 를 통해 분석한 석고의 산소 동위원소 조성과 황산염 표준 물질의 산소 동위원소 조성

- 카보네이셔스 콘드라이트의 수성변질, 변성 정도 파악을 통해 소행성 모체의 화학적 진화 과정을 연구하기 위해 서로 다른 두 그룹인 CM, CO 콘드라이트의 기질(matrix)의 전자현미분석기를 이용한 화학 분석을 수행하였음
- 두 그룹 간에 Fe, Si, Mg 원소 변화 경향에 뚜렷한 차이를 보였으며, 같은 그룹 다른 운석의 기질들도 서로 다른 조성을 보여서 변성, 수성변질 작용과 이에 따른 원소의 이동, 광물학적 변화 과정을 추적할 수 있음
- 변질 광물의 분석을 확장하여 소행성 류구, 베누 시료의 연구 결과와 함께 해석할 예정임
- 이를 통해 소행성에서 일어난 수성 변질의 기작과 남극 화산암, 기반암 기원 맨틀 물질의 교대작용을 비교 분석함으로써 빅토리아랜드 지체구조와 남극 맨틀 열구조 해석의 중요한 단서로 사용

CM Chondrites



CO Chondrites

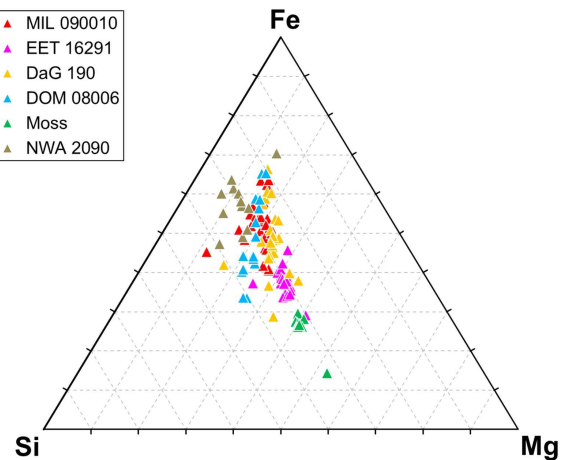
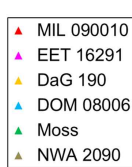


그림 124. CM과 CO 콘드라이트의 기질 정량 화학 분석

- 이차이온질량분석기를 이용한 황화물의 in-situ 동위원소 분석법 수립
 - 기존 연구에서는 CM 콘드라이트의 전암(whole-rock) 및 탄산염(carbonates) 광물의 산소 동위원소 분석만 가능하였으며, 황산염 광물의 in-situ 분석은 사례가 없음
 - CM 콘드라이트 내 황산염 광물(석고)의 산소 동위원소를 세계 최초로 in-situ로 분석하는 연구를 통해, C형 소행성의 물과 광물의 상호작용을 해석할 수 있는 기술적 돌파구를 마련
 - 이차이온 질량분석기(SIMS) 기반의 분석법을 최초로 적용하여, CM 콘드라이트 내 석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)의 직접 분석을 통해 H_2O 와 SO_4 성분의 산소 동위원소 조성을 분리하여, 원시 태양계 원반 및 소행성에서의 물의 기원을 보다 정밀하게 추적할 수 있는 새로운 연구 방법론을 제시 필요
 - 분석법 수립을 위해 연구소의 정책지원사업 수행

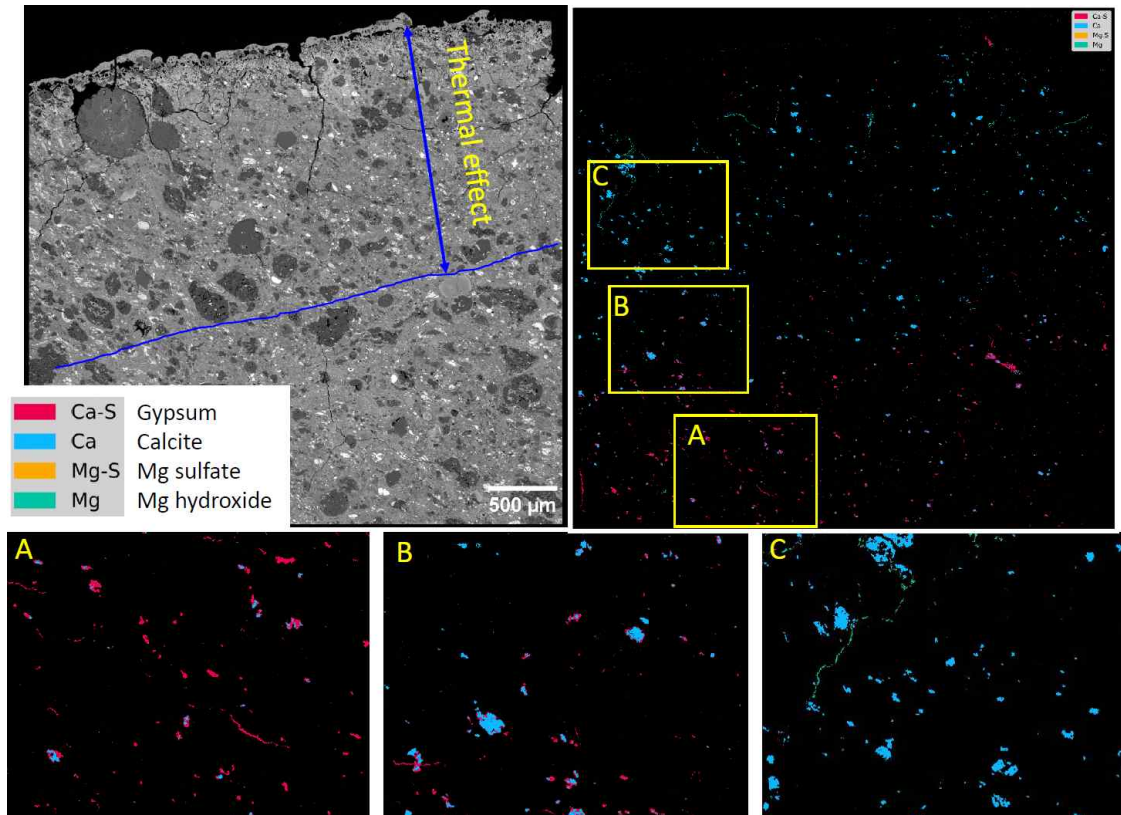


그림 125. 남극 CM 콘드라이트 EET 15007에서 석고의 분포 양상. 용융각에서는 발견되지 않고 콘드라이트 내부에만 분포

○ 사장석 포함 콘드롤의 산소 및 알루미늄-마그네슘 동위원소 연구

- 콘드롤은 태양계 원반 시기에 현무암질 용융체가 매우 빠르게 냉각(>100K/hr)되면서 형성되었다고 알려져 있음. 이는 콘드롤을 구성하는 자형의 감람석, 반자형의 사방휘석과 그들 사이를 채우고 있는 유리질의 기질로 뒷받침되고 실험으로도 재현됨
- 실험에 따르면 현무암질 용융체에서 사장석이 결정화되기 위해서는 냉각속도가 마지막 단계에서 1-10K/hr로 매우 느려야 함. 따라서 사장석이 포함된 콘드롤은 태양계 원반 시기의 물리화학적 조건에 대해 일반적인 콘드롤과는 다른 정보를 제공해 줄 수 있음
- 또한 사장석 포함 콘드롤은 Al/Mg 비가 0에 가까운 감람석과 사방휘석과 함께 Al/Mg 비가 매우 높은 사장석이 공존하므로, ^{26}Al - ^{26}Mg 연대측정에 가장 적합한 대상임. 이를 위해 매우 시원적인 남극운석 EET 14017에서 사장석을 포함하는 콘드롤을 10개를 발견하여 이중 특징적인 4개에 대하여 한국기초과학지원연구원의 대형 이차이온질량분석기 ims-1300을 이용하여 산소 및 알루미늄-마그네슘 동위원소 분석 수행함

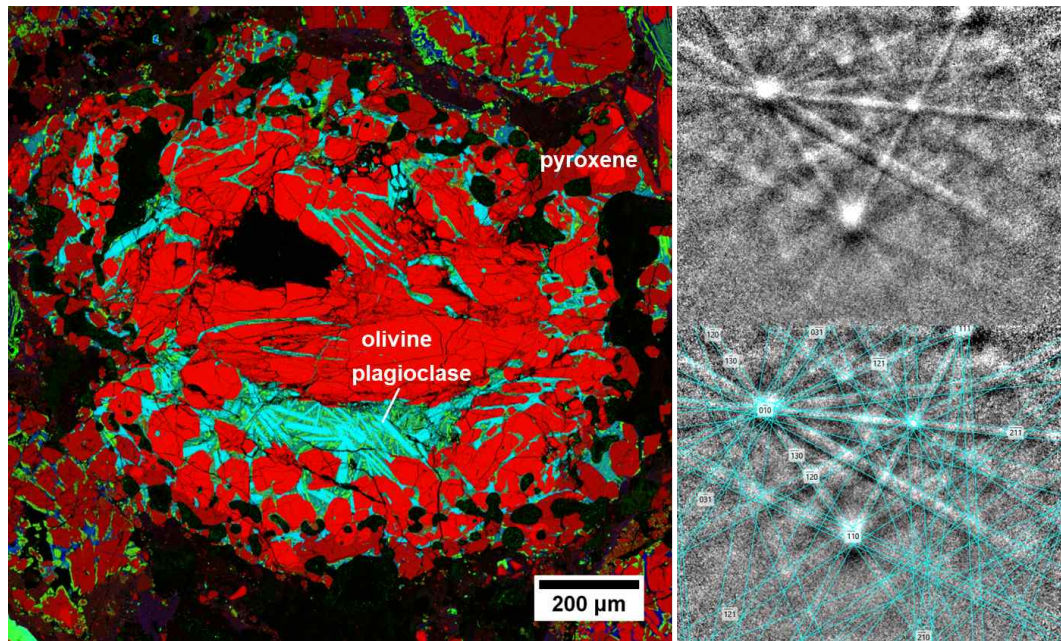


그림 126. EET 14017의 사장석 포함 콘드롤. EBSD를 이용해서 사장석 결정임을 확인

- 산소동위원소 분석 결과 감람석과 사방회석, 장석은 모두 동일 콘드롤 내에서는 모두 같은 값을 가지는 것으로 나타남. 이는 사장석 포함 콘드롤의 생성 당시 주변 가스의 산소동위원소 조성이 일정하였음을 지시
- 콘드롤 내 기질(mesostasis)의 산소동위원소 조성은 표준물질이 없어 나타난 기질효과(matrix effect)로 생각되며, 참값이라 보기 어려움
- Al-Mg 동위원소 분석 결과 4개의 콘드롤이 모두 에러 범위 내에서 일치하는 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 값을 보였으며, 이를 통해 사장석 포함 콘드롤은 태양계 생성(4,567Ma) 약 2백만년 이후에 생성된 것으로 확인됨

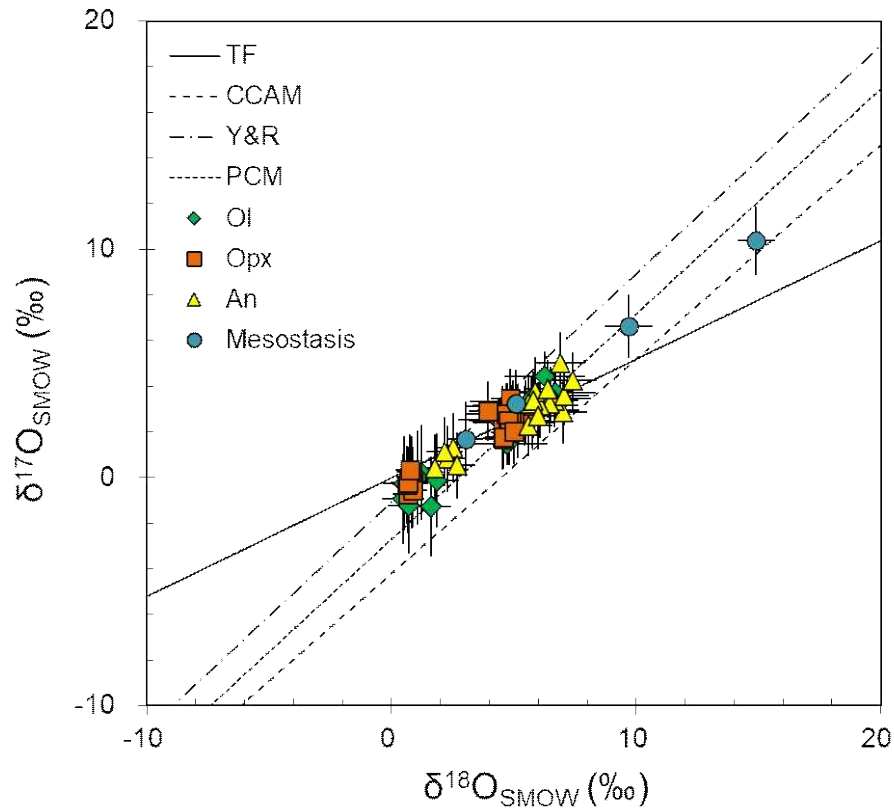


그림 127. EET 14017에서 발견된 사장석 함유 콘드라이트들의 산소동위원소 조성

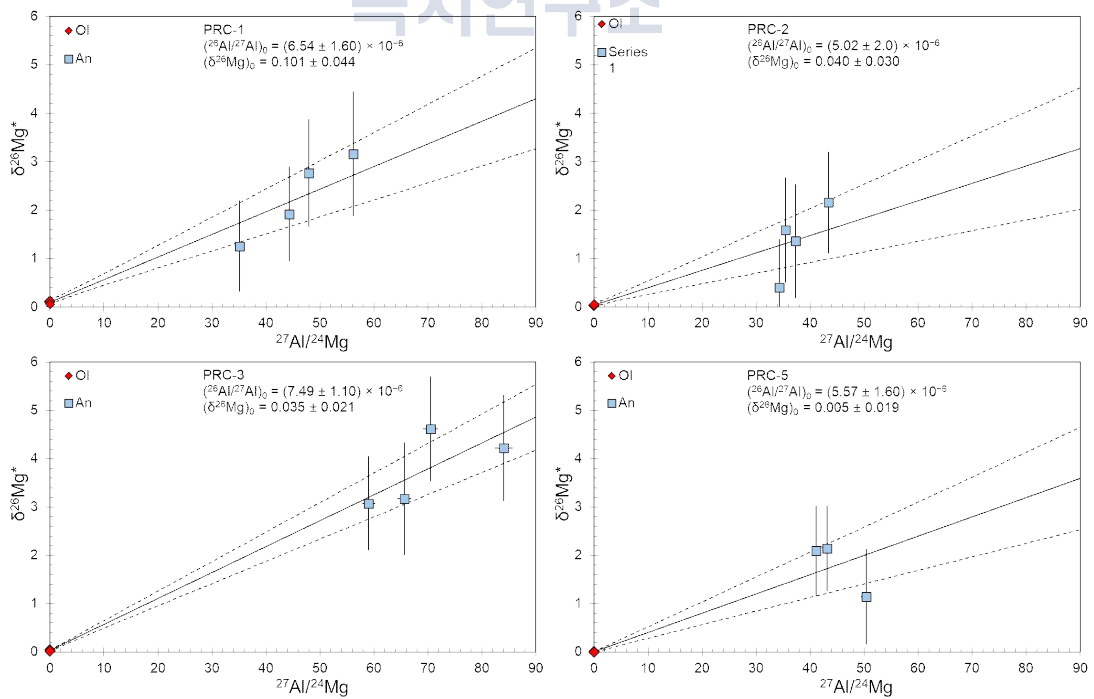


그림 128. 사장석 함유 콘드라이트의 ^{26}Al - ^{26}Mg 다이어그램. 4개 콘드라이트 모두 ^{26}Al 이 남아있던 시기에 형성되었음을 보여주며 태양계 형성(4,567Ma) 이후 약 2백만년 이후에 생성됨

○ 남극운석 분류 최종 정리 및 국제운석학회 명명위원회에 보고

- 2015-16시즌 남극운석 중 국제운석학회 운석 명명위원회에 보고하여 심사 처리중이던 CM 콘드라이트의 기질 함량과 콘드룰 크기 분석을 수행하였음
- 이 운석들은 모두 유사한 암석학적 특징을 보이며 약 79.1~86.6 vol%의 기질 함량과 250~320 μ m의 콘드룰 평균 크기를 가져 최종적으로 CM 콘드라이트로 분류 확정 및 국제운석학회 운석 데이터베이스에 등록 완료되었음

		EET15007	EET15011	EET15029	EET15059	EET15062	EET15091	EET15117	EET15118
Matrix Vol%	Entire pixel	1271712	525092	1053788	1006608	1127043	1117200	479880	1368915
	Non-matrix pixel	265627	69923	183137	278002	175573	279616	72748	208126
	Matrix vol%	79.1	86.7	82.6	72.4	84.4	75.0	84.8	84.8
Chondrule Size	mean (mm)	0.265	0.252	0.271	0.273	0.263	0.365	0.305	0.318
	stdev (1 σ)	0.174	0.143	0.172	0.177	0.144	0.225	0.178	0.212
	n	173	38	81	66	42	67	36	32

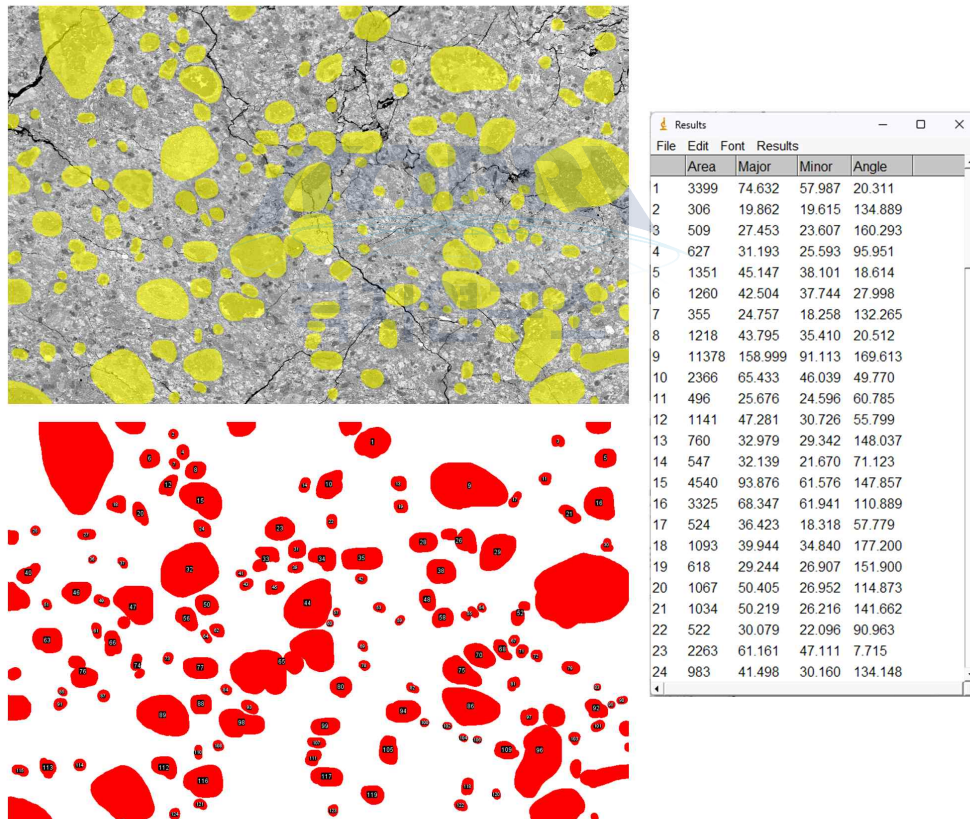


그림 129. CM 콘드라이트 EET 15059의 후방산란전자 영상을 이용한 콘드룰 크기 분석

- 2016-17 시즌 남극운석 총 460개의 기초 분류가 완료되었음. 암석학적 특징, 구성 광물 조합, 광물 조성 등 정보로 분류가 제한적이었던 일부 시료들에 대한 전암 산소동위원소 분석을 수행하였음

- EET 15004와 EET 16507은 LL 그룹의 오디너리 콘드라이트로 밝혀졌고, 금속 철과 규산염 광물이 혼재한 EET 16559는 IAB-IIICD 클랜의 철운석 범위에 도시되는 산소 동위원소 결과를 보임
- 에이콘드라이트 EET 16389는 기존 보고된 다른 에이콘드라이트 그룹들의 조성 범위에 도시되지 않고 화성 기원 동위원소 분별선에 도시되기는 하나 추가 분석이 필요함

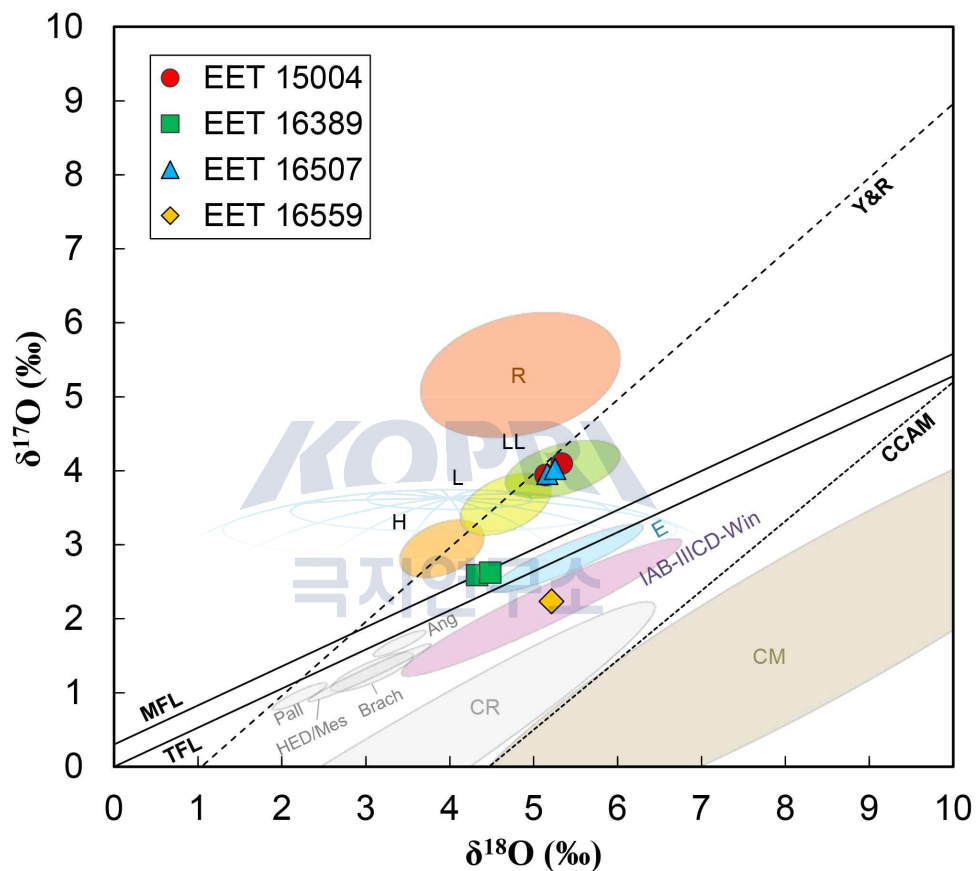


그림 130. 전암 산소동위원소 측정 결과를 이용한 운석 분류

- 2017-18 시즌 남극운석 총 139개 편광현미경 사진, 후방산란전자 이미지, 구성광물 화학조성 EPMA 분석 등 분류 기초자료 획득을 완료하였음
- 총 139개 중 121개의 평형화된 오디너리 콘드라이트는 감람석과 휘석의 Fe, Mg 조성을 통해 H 콘드라이트 25개, L 콘드라이트 94개, LL 콘드라이트 2개로 확인되었고, 카보네이셔스 콘드라이트, 시원적인 오디너리 콘드라이트, 철운석 등 나머지 18점에 대해서는 추가 분석을 통해 최종 분류와 등록 진행중
- 분류 완료된 운석 데이터는 KPDC KOREAMET 데이터베이스에 등재하여 남극 화산암, 기반암 데이터와 함께 지체구조 진화 모델 구축의 기반 자료로 활용

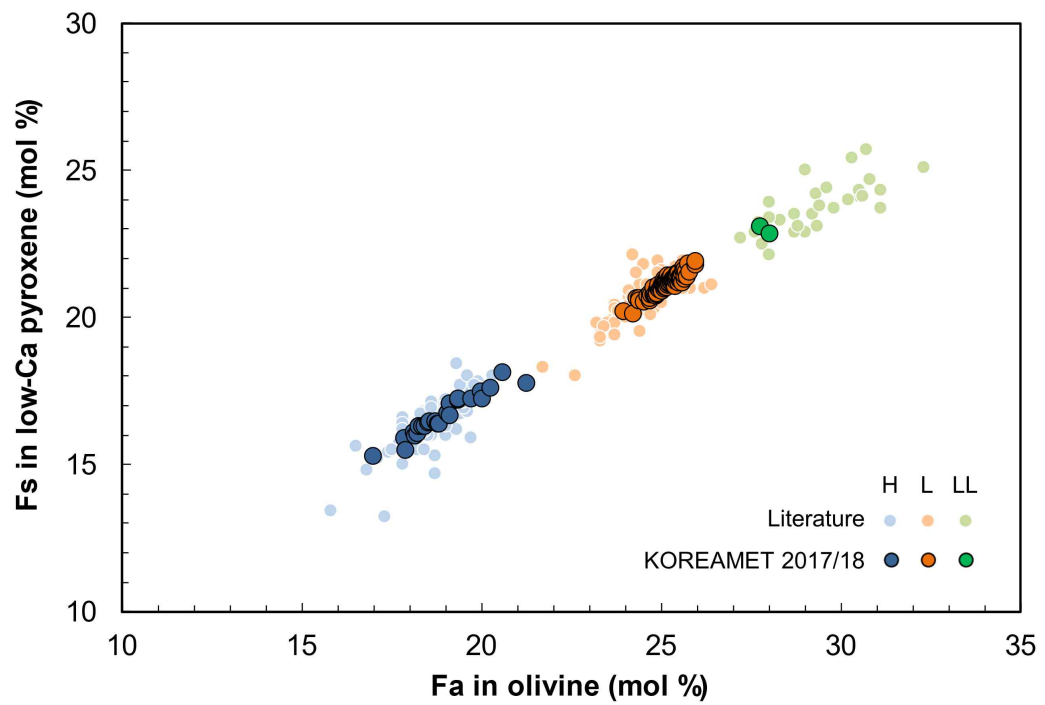
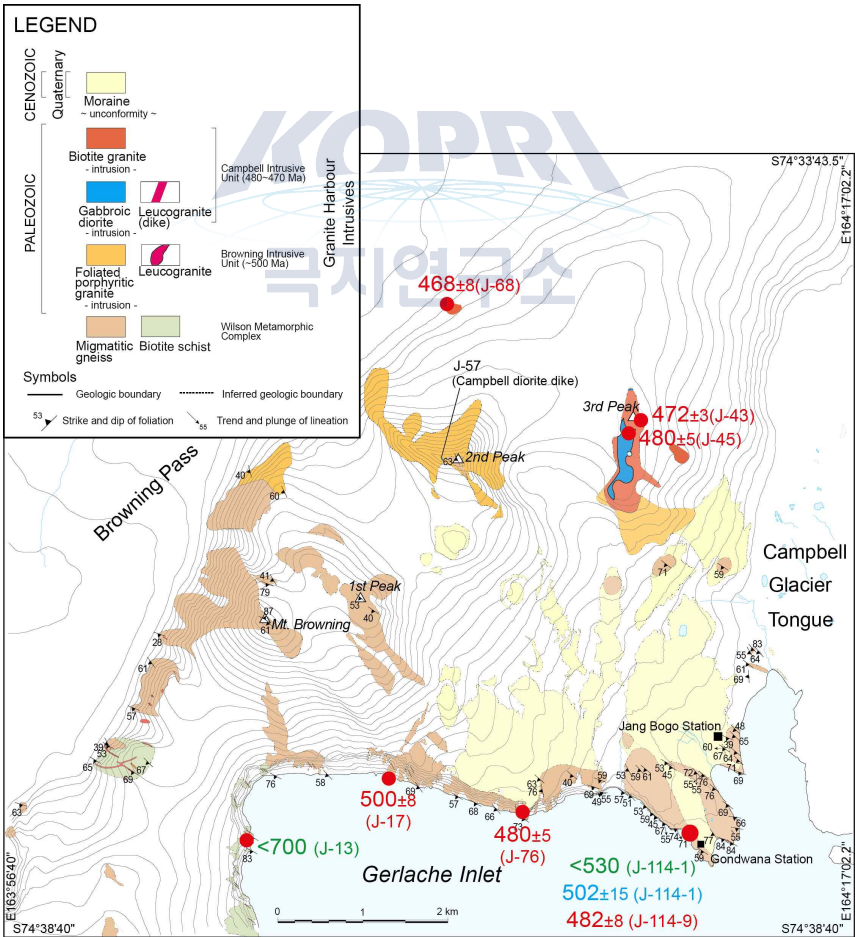


그림 131. KOREAMET 2017/18 남극운석 중 121개의 오디너리 콘드라이트의 감람석, 휘석 조성을 이용한 분류

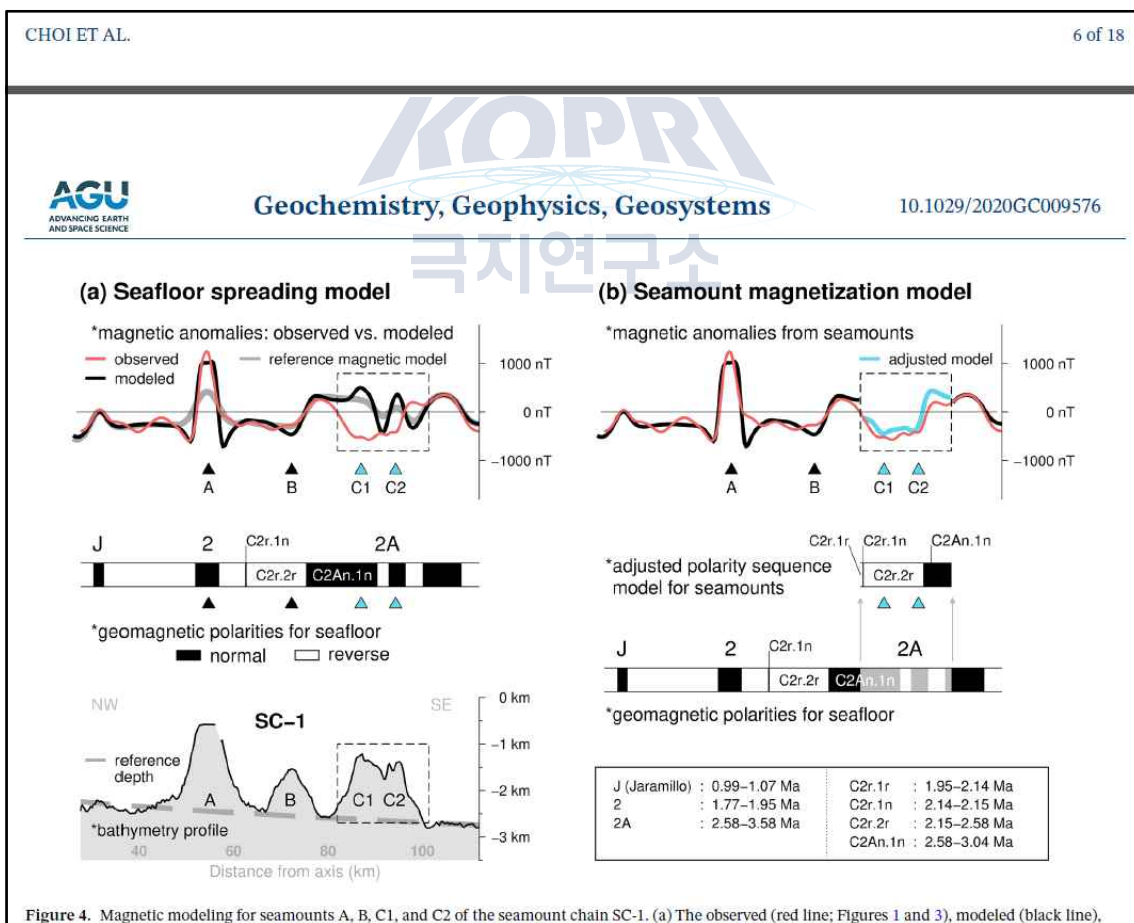


3.4절 대표적 우수성과

우수성과 -1. (2020)	호주-남극 중앙해령(AAR) 동편의 대형 균열대에 대한 지화학/지구물리 현장조사
성과 내용	○ 호주-남극 중앙해령(AAR)과 태평양-남극 중앙해령(PAR) 사이에 소규모 중앙해령 분절들과 복잡한 지형을 보이는 변환단층들로 이루어진 대형 균열대가 존재하는데 이에 대한 정밀 현장조사가 세계 최초로 수행됨 - 대형 균열대 지역에서 락코어/드렛지를 활용하여, 해저면 암석시료, 화산암, 해양퇴적물 등을 채취함 - 균열대를 구성하는 작은 중앙해령 분절들의 확장방향으로 추정되는 방향에 평행하도록, 해양지자기 및 지형조사를 수행함
성과의 우수성	○ 세계 최초로 호주-남극 중앙해령 동편의 대형 균열대로부터 화산암 및 해양퇴적물 등의 시료들을 채취하는데 성공함 - 대형 균열대 지역은 육지로부터의 접근성이 매우 떨어지고, 거친 해황과 날씨 등 때문에 해양탐사가 수행되기 어려운 지역임. 뿐만 아니라, 호주-남극 중앙해령과 태평양-남극 중앙해령을 잇는 아주 광범위한 지역이기 때문에 최근에 이르기까지 몇 차례의 해양지자기 조사 이외에는 시료 샘플링이나 체계적인 현장조사가 수행되지 않았던 지역이었으나, 아라온을 활용한 19-20 남극현장조사에서 해저면으로부터의 화산암/퇴적물 시료를 세계 최초로 획득하는데에 성공함 ○ 다수의 측선에 대한 해양지자기 및 지형조사 수행 - 균열대를 구성하는 작은 중앙해령 분절들의 확장방향 및 확장속도, 연령 등을 알아내기 위한 목적으로 각 중앙해령 분절들의 확장방향으로 추정되는 방향에 평행하도록 해양지자기 조사를 수행하였으며, 고해상도 정밀 수심자료 또한 함께 획득하였음. 균열대 지역 내, 동일 측선에 대해서 해양지자기 데이터와 함께 정밀 수심자료가 함께 획득된 것도 세계 최초임
	
증빙자료	○ 탐사에서 채취한 암석 시료 사진, 정밀 해저지형 및 지자기 이상도

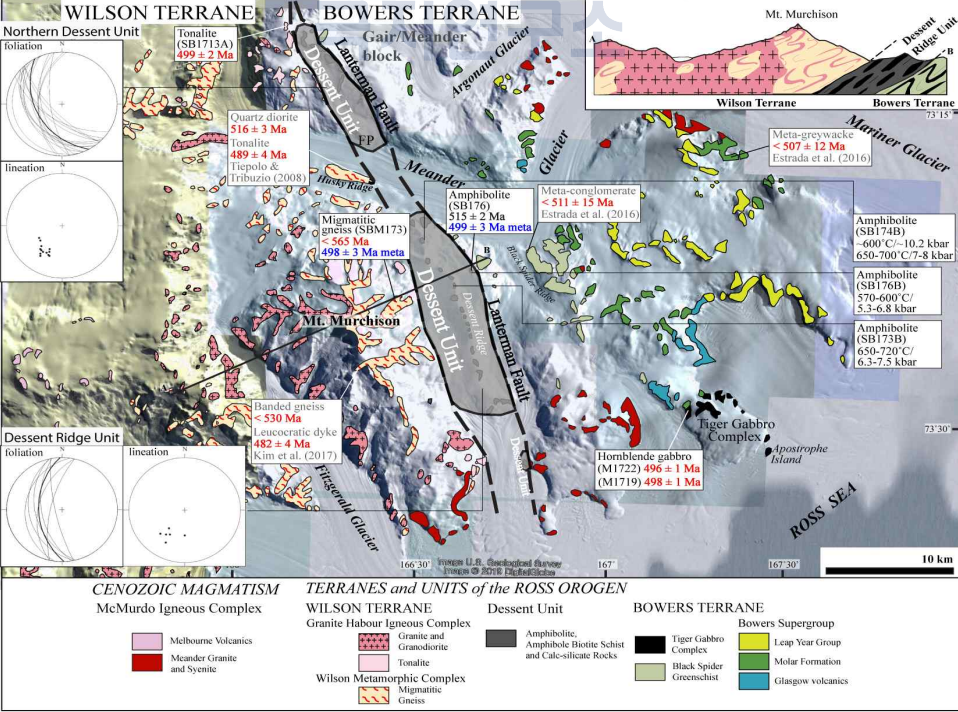
우수성과 - 2. (2021)	장보고기지 권역 테라노바만의 로스조산운동 화성활동 양상 해석 (Minerals 계제)
성과 내용	○ 장보고과학기지 권역 테라노바만 로스조산운동 관입암류의 형성연령과 지구화학 특성 규명 - 기존의 장보고과학기지 그레닛하버 관입암류를 브라우닝 유닛, 캠벨 유닛으로 세분 - 브라우닝 유닛, 캠벨 유닛의 형성 절대연령과 각 유닛 암체들의 Sr-Nd 동위원소 특성 규명
성과의 우수성	○ 장보고과학기지 주변 로스조산운동 관입암류의 동위원소 특성은 맨틀-고철질 지각-규장질 지각 근원물질을 가지는 매우 큰 다양성으로 평가되며, 기존의 테라노바만 관입암체의 동위원소 특징[Di Vincenzo and Rocchi, 1999]에 잘 부합함 - 기존의 테라노바만 관입암체 구성에 브라우닝 유닛과 캠벨 유닛의 실체를 추가 - 이들 관입암 유닛의 형성 매커니즘과 기존 관입암류와의 시공간적 관계 제시
	
증빙자료	○ 저자: <u>김대영</u>, <u>이상봉</u>, 김현철, 김태환, 김태훈, <u>이종익</u> ○ 논문명: Geochemistry and geochronology of early Paleozoic intrusive rocks in the Terra Nova Bay area, northern Victoria Land (Minerals, 2021.07.20)

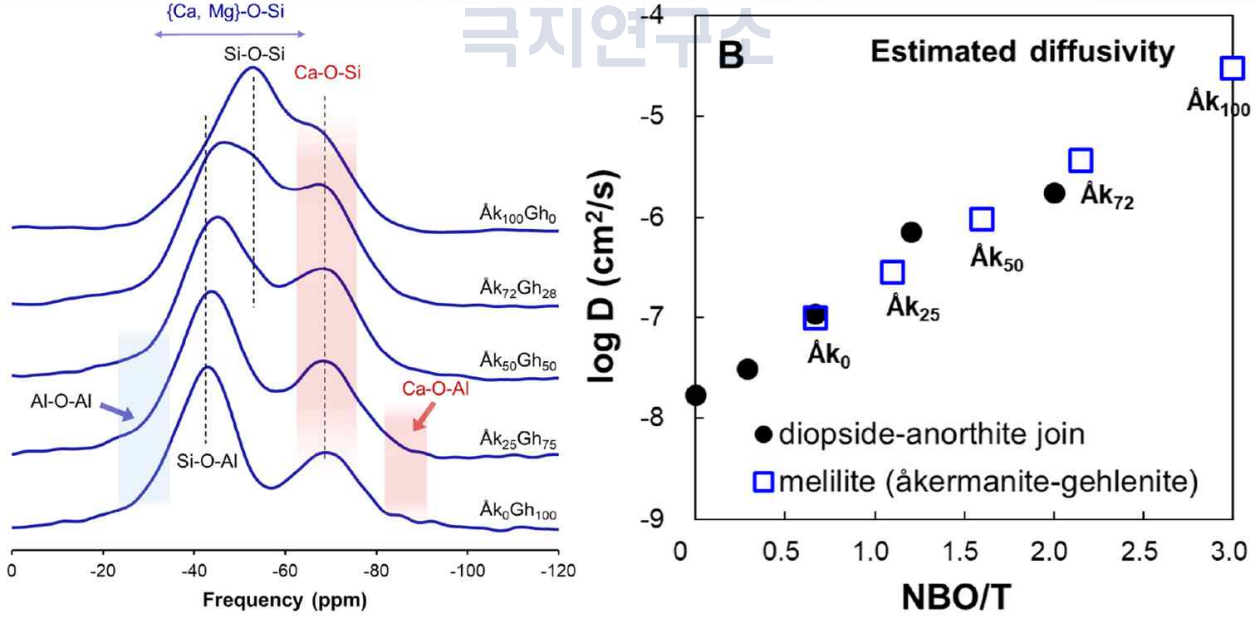
우수성과 -3. (2021)	남극 중앙해령 KR1 확장 축 주변 해저화산들의 지자기연령 추산 (G-cubed 계제)
성과 내용	○ 남극 중앙해령 KR1의 확장 축 주변 해저화산과 해저산맥의 연령 및 화산 활동기간을 해상 지자기데이터를 기반으로 추산 - 중앙해령 KR1의 해저면 확장방향과 평행한 형태로 배열되어 있는 대략 3개의 해저산맥과 그것을 구성하는 10여 개의 해저화산체들의 생성 시기 및 화산활동 기간을 지자기 관측 데이터를 기반으로 계산하였음
성과의 우수성	○ 중앙해령 확장 축 주변의 해저화산 연령 계산을 위한 새로운 지자기 모델 제시 - 해양지각이 형성되고 확장되는 중앙해령 주변에 많이 발달하는 해저화산들의 연령 계산을 위해 새로운 접근법 및 지자기 모델링 제시 - 이러한 접근과 모델링이 확장 방향에 평행하는 선형 분포의 해저산맥의 연령 및 화산활동시기 계산에 효과적임을 보여주었음 ○ 중앙해령 KR1 주변의 많은 해저화산체들이 해저 확장에 기초가 되는 대규모 맨틀 대류보다는 지화학적으로 불균질한 맨틀소스에서 유발된 소규모 맨틀대류로부터 기원하였음을 규명함

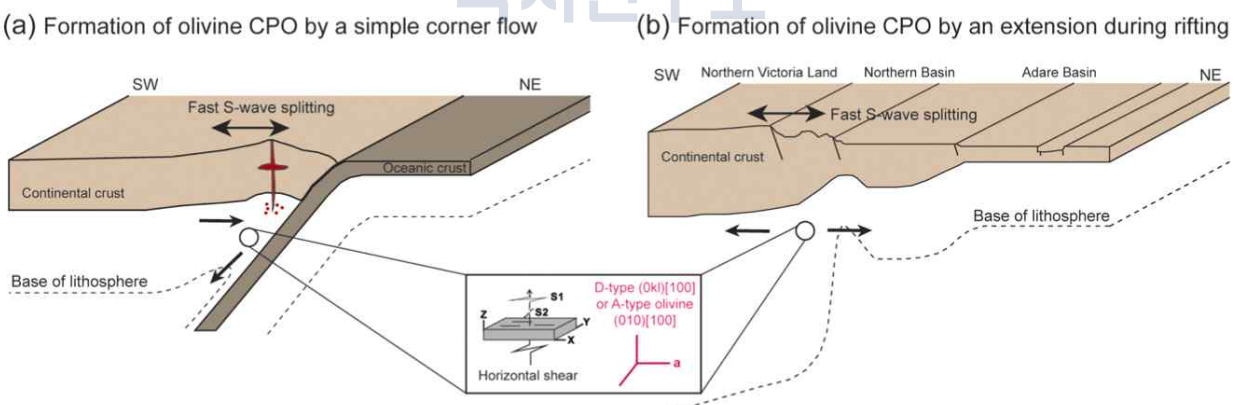


증빙자료	○ 저자: <u>최학걸, 김승섭, 박승현</u> ○ 논문명: Magnetic constraints on off-axis seamount volcanism in the easternmost segment of the Australian–Antarctic Ridge (G-cubed, 2021.09)
------	--

우수성과 - 4. (2021)	맨틀의 주 구성물질인 감람석의 변형 특성 규명
성과 내용	○ 철 함량이 맨틀암석의 미구조 특징의 진화에 미치는 영향 기술 - 함철 감람석의 변형실험 실시 - 미구조 진화 관찰
성과의 우수성	○ 변형실험 데이터 - 암석의 변형실험은 상대적으로 응력이 많이 필요하기 때문에 쉬운 기술이 아님 - 특히 변형(strain)을 높이는 원판전단시험(rotary shear experiment)의 경우, 데이터가 더 희귀함 - 변형실험 데이터는 자연상에서 발견되는 암석의 변형행동을 예측하는 기초자료가 되므로 맨틀포획암의 변형특성을 이해하는데 도움이 됨
	<div data-cs="2" data-kind="parent">  </div> <div data-cs="2" data-kind="parent"> <h3>JGR Solid Earth</h3> <p>RESEARCH ARTICLE 10.1029/2020JB019629</p> </div> <div data-cs="2" data-kind="parent"> <h4>Evolution of Microstructural Properties in Sheared Iron-Rich Olivine</h4> <p>Chao Qi¹, Yong-Hong Zhao², Mark E. Zimmerman³, Daeyeong Kim⁴, and David L. Kohlstedt¹</p> <p>¹Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, ²Department of Geophysics, Peking University, Beijing, China, ³Department of Earth & Environmental Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA, ⁴Division of Polar Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, South Korea</p> </div> <div data-cs="2" data-kind="parent"> <p>Key Points:</p> - The weakest slip system does not change with Fe content, such that CPO development is rich for Fe-rich and Fe-poor olivine - Seismic anisotropy due to the formation of CPOs in natural olivine aggregates can be modeled using CPOs obtained from iron-rich olivine - Recrystallized grain size at a given normalized stress increases with increasing Fe content <p>Supporting Information:</p> - Supporting Information S1 <p>Correspondence to: Y. Zhao, zhaoyh@pku.edu.cn</p> <p>Citation: Qi, C., Zhao, Y.-H., Zimmerman, M. E., Kim, D., & Kohlstedt, D. L. (2021). Evolution of microstructural properties in sheared iron-rich olivine. <i>Journal of Geophysical Research: Solid Earth</i>, 126, e2020JB019629. https://doi.org/10.1029/2020JB019629</p> <p>Received 20 FEB 2020 Accepted 15 JAN 2021</p> </div> <div data-cs="2" data-kind="parent"> <p>© 2021. American Geophysical Union. All Rights Reserved.</p> <p>QI ET AL.</p> <p>1 of 22</p> </div> <div data-cs="2" data-kind="parent"> <h4>1. Introduction</h4> <p>The rheological properties of olivine influence many geological processes on Earth and other planets in our solar system. Experimental studies demonstrate that the rheological behavior of olivine not only depends on thermomechanical parameters, such as stress, temperature (e.g., Carter & Ave'Lallemant, 1970; Chopra & Paterson, 1981), confining pressure (e.g., Borch & Green, 1989; Karato & Jung, 2003; Karato & Rubie, 1997), oxygen fugacity (e.g., Bai et al., 1991; Ricourt & Kohlstedt, 1985), melt content (e.g., Cooper & Kohlstedt, 1986; Hirth & Kohlstedt, 1995a, 1995b; Mei et al., 2002; Scott & Kohlstedt, 2006; Zimmerman & Kohlstedt, 2004) and water content (e.g., Karato et al., 1986; Mackwell et al., 1985; Mei & Kohlstedt, 2000a, 2000b; Tielke et al., 2017), but also on microstructural properties, such as the crystallographic preferred orientation (CPO) (e.g., Hansen et al., 2012a, 2012b) and grain size (e.g., Hansen et al., 2011; Hirth & Kohlstedt, 1995b; Karato et al., 1986). As an olivine single crystal exhibits strong viscous anisotropy (Bai et al., 1991; Durham & Goetze, 1977), the formation of a CPO in an olivine aggregate enhances plastic deformation in one crystallographic direction relative to the others (Hansen et al., 2012b, 2016). Thus, understanding the development of CPOs at different stresses, pressures and chemical conditions helps constrain microstructurally induced weakening/strengthening during deformation and is essential for the application of laboratory-derived flow laws to natural environments (Kohlstedt & Hansen, 2015). During plastic deformation, changes in grain size occur due to dynamic recrystallization and grain growth (Poirier, 1985, pp. 170–190). Experimental studies have determined the relationship between grain size and stress, that is, the grain-size piezometer, which is frequently used for estimating paleostresses in naturally deformed rocks (e.g., Kang & Jung, 2019; Kohlstedt & Weathers, 1980; Mercier et al., 1977; Park & Jung, 2017; Platt & Behr, 2011; Stipp & Tullis, 2003; Tokle et al., 2019; Warren & Hirth, 2006). As grain size plays an important role in flow laws for grain-size sensitive deformation mechanisms, such as diffusion creep and grain boundary sliding accommodated by dislocation</p> </div>
증빙자료	○ 저자: Chao Qi, Yong-Hong Zhao, Mark E. Zimmerman, 김대영, David L. Kohlstedt ○ 논문명: Evolution of microstructural properties in sheared iron-rich olivine (Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2021.03)

우수성과 - 5. (2022)	남극 북빅토리아랜드 마운티니어레인지에서의 고생대 로스조산운동 진화양상 해석 (Minerals 게재)
성과 내용	○ 북빅토리아랜드 마운티니어레인지에서의 고생대 로스조산운동 시기 규명 - 마운티니어레인지의 윌슨테레인/바워스테레인 경계부에서의 주요 암체 절대연령 측정 - 디센트유닛 각섬암의 로스조산운동 변성 온도-압력 조건과 변성 연령 획득 - 마운티니어레인지의 광역적인 전단구조 확인 및 변성진화양상 해석 ○ 북빅토리아랜드 마운티니어레인지의 원암 형성 과정 및 이들의 선캄브리아 지질환경 해석 - 머치슨 편마암에서 획득된 쇄설성 저어콘의 기원지 및 원암의 형성 시기 및 형성 지구조환경을 제시함 - 호주-인도-남아프리카와의 연관성에서 쇄설물의 기원지 해석 - 머치슨 편마암의 원암은 주변 대륙에서 확인되는 특징적인 연령을 간직하나 이들 쇄설물이 곤드와나 주변 대륙으로부터 유래되었을 가능성은 낮음 - 머치슨 편마암의 원암은 후기 신원생대에 발달한 대륙 연변부의 전호(forearc) 분지 퇴적물일 가능성이 높음
성과의 우수성	○ 북빅토리아랜드 마운티니어레인지에서의 고생대 로스조산운동 진화양상 및 주변 대륙과의 관련성 해석 - 북빅토리아랜드 마운티니어레인지에서 확인되는 로스조산운동의 정점 변성시기를 제시함 - 마운티니어레인지 디센트 유닛의 변성 진화 과정을 랜터만 전단대의 주요 암체의 변성 진화과정과 연합하여 해석 - 로스조산운동의 시기, 변성진화, 범위 등 남극중단산맥권역의 고생대 지구조진화 해석에 중요한 지질 정보를 제공함
	
증빙자료	○ 저자: <u>이상봉*</u>, <u>이미정</u>, <u>이종익</u>, <u>김화영</u> ○ 논문명: Timing and metamorphic evolution of the Ross Orogeny in and around the Mountaineer Range, northern Victoria Land, Antarctica [Minerals, 2020.10.13., mriF: 72.2]

우수성과 - 6. (2022)	운석 구성물질 조성 합성을 통해 태양계 초기 산소동위원소 변화 기작 제시 (Chemical Geology 게재)
성과 내용	○ 운석에 보존되어 있는 태양계 최초 물질 조성의 물질 합성 - 미분화 운석에 있는 태양계 최초 물질 중 원시 태양 근처에서 화성 작용에 의해 생성된 물질과 같은 조성의 물질을 합성 - Ca과 Al 함량이 높은 합성 물질의 고상 핵자기 공명 분광분석(Solid state NMR) 연구를 세계 최초로 실시하여 Al-O-Al 결합 구조를 밝힘 - 이 구조를 통해 추정되는 액(melt)의 점성도를 이용해 액의 조성 변화에 따른 산소동위원소 조성의 변화 기작을 최초로 제시
성과의 우수성	○ 운석 모사물질 합성을 통해 태양계의 진화 초기 물질의 동위원소 조성 변화 기작을 새롭게 제시 - 원시 태양 주변에서 화성 작용으로 생성된 물질내의 산소동위원소 조성의 불균질성은 아직 명확한 해답이 없음 - 이번 연구에서 최초로 분별 결정 작용에 따른 액의 조성 변화가 액의 구조 변화(점성도의 변화)를 이끌어 성운 가스와 액의 상호 작용시 동위원소 확산 속도에 영향을 줄 수 있음을 실험적으로 보임 - 이러한 해석은 이번 연구를 통해 최초로 제시한 개념이며 추가 연구를 통해 실제 분석 데이터를 재현하고, 나아가 태양계의 진화 모델 수립과 남극 맨틀/지각 진화 모델 구축에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상
	 Figure B: Estimated diffusivity. The plot shows log D (cm²/s) on the y-axis (ranging from -9 to -4) versus NBO/T on the x-axis (ranging from 0 to 3.0). Data points are categorized by sample type: diopside-anorthite join (black circles) and melilite (åkermanite-gehlenite) (blue squares). Samples include Ak₀, Ak₂₅, Ak₅₀, Ak₇₂, and Ak₁₀₀.
증빙자료	○ 저자: 박선영*, 박창근, 김현나, 이서영, 이성근 ○ 논문명: Structure of type A CAI-like melts: A view from multi-nuclear NMR study of melilite (Ca₂Al₂SiO₇-Ca₂MgSi₂O₇) glasses [<i>Chemical Geology</i>, 2020.12.01., mrnIF: 78.3]

우수성과 - 7. (2022)	남극 북빅토리아랜드 암석권 맨틀 진화 및 지진파 비등방성 해석 (Journal of Structural Geology 게재)
성과 내용	○ 북빅토리아랜드 암석권맨틀의 진화양상 규명 - 멜버른화산 인근에서 채취한 맨틀포획암 구조분석 실시 - 맨틀감람암의 미구조에서 메타소마티즘 양상 확인 - 암석권맨틀의 진화모델 제시 ○ 북빅토리아랜드 전반에서 관찰되는 지진파 비등방성 원인 규명 - 기존 연구에서는 지진파 자료로 남극종단산맥 북쪽에서 관찰되는 NW-SE 방향의 우세한 지진파비등방성을 보고함 - 관찰된 지진파비등방성은 암석권맨틀 또는 NE-SW 방향의 대규모 단층에서 유래한 것이라 추측함 - 암석권맨틀에서 유래하는 지진파비등방성을 최초로 계산함
성과의 우수성	○ 북빅토리아랜드에서 맨틀암석을 이용한 최초의 연구성과 - 기존 연구들은 지진파 자료를 이용해, 북빅토리아랜드 전반에서 우세한 NE-SW 방향의 지진파비등방성이 암석권맨틀에서 유래되었거나 NW-SE 방향의 대규모 단층에서 유래되었을 것이라 추측하였으나 직접적 증거가 부족함 - 맨틀포획암 분석으로 암석권맨틀의 직접적 분석이 가능하였음 - 암석권맨틀 진화모델을 제시함
	 (a) Formation of olivine CPO by a simple corner flow (b) Formation of olivine CPO by an extension during rifting
증빙자료	○ 저자: <u>김대영*</u>, 박문재, 박용철, Chao Qi, <u>김화영</u>, <u>이미정</u>, Katsuyoshi Michibayashi ○ 논문명: Upper mantle seismic anisotropy beneath the Northern Transantarctic Mountains inferred from peridotite xenoliths near Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica [<i>Journal of Structural Geology</i>, 2021.2.1., mrniF: 72.2]

우수성과 -8. (2022)	남극 로스해 외대륙주변부에서 저층해류의 작용에 의한 등수심 퇴적체 발달 특성 규명
성과 내용	○ 남극 북서부 로스해에 위치한 센트럴 분지에서 관찰되는 등수심 퇴적체의 발달 특성 규명 - 다중채널 탄성과 탐사자료에서 관찰되는 등수심 퇴적체의 최상부층을 천부지층 탐사자료, 다중빔 해저지형자료, 퇴적물 코어시료로 분석하고, 저층해류 순환 모델링 및 해양물리 측정 결과와 결합하여 퇴적체의 발달 특성을 규명함
성과의 우수성	○ 남극 빙상진화에 따른 로스해 대륙붕수의 유출과 남극사면류의 복합적인 작용이 등수심퇴적체의 형성에 미치는 영향 제시 - 로스해 대륙붕수의 유출로 인한 저층해류의 흐름이 센트럴 분지의 북서부 경계를 따라 등수심퇴적체 형성에 기여하였음을 제시 - 남극 빙상이 로스해 대륙붕단으로 진출 후 안정화 되었던 중-후기 플라이오세 이후 퇴적물 공급이 증가함에 따라 등수심퇴적체의 발달이 가속화되었음을 밝힘
그림 A. 천부지층 탐사자료에서 관찰되는 층상음향상 (a)과 투명음향상(b)의 두께분포와 주요 천부지층탐사 단면(c, d)	그림 B. 센트럴 분지 서편 경계에서 획득된 다중빔 해저지형 자료에서 관찰되는 등수심 퇴적체(a)와 후방산란강도자료(b). 경사면을 따라 북부로 연장된 등수심 퇴적체(c).
증빙자료	○ Influence of Bottom-current-controlled Processes on the Contourite Development in the Northwestern Ross Sea Margin, Antarctica [투고 예정] ○ Bottom-current-controlled sedimentary and geomorphic processes in the northwestern Ross Sea margin, Antarctica [26회 극지심포지움 ISPS2021, 2021.09.27.]

우수성과 - 9. (2023)	뮤온 빔을 이용한 완전 비파괴 방식으로 달운석의 전암화학조성 측정 [Meteoritics & Planetary Science 게재]
성과 내용	- 달운석 DEW 12007의 전암화학조성을 완전 비파괴 방법으로 측정 - 국제공동연구를 통해 일본 양성자 가속기 센터의 뮤온 빔라인에서 분석 - 챔버를 He 가스로 채우는 방식의 개선을 통해 기존에는 분석이 불가능했던 Al 원소 분석 수행 - 완전 비파괴 방식인 뮤온빔 분석으로 얻은 전암화학조성은 기존에 파괴 방식으로 얻은 결과와 일치함을 확인
성과의 우수성	- 완전 비파괴 방식의 전암화학조성 분석법 확립 - 시료의 양이 매우 제한인 우주물질을 완전 비파괴 방식으로 전암화학조성을 분석할 수 있게 됨 - 향후 미국의 베누 소행성 시료 분석에 활용할 가능성이 높음

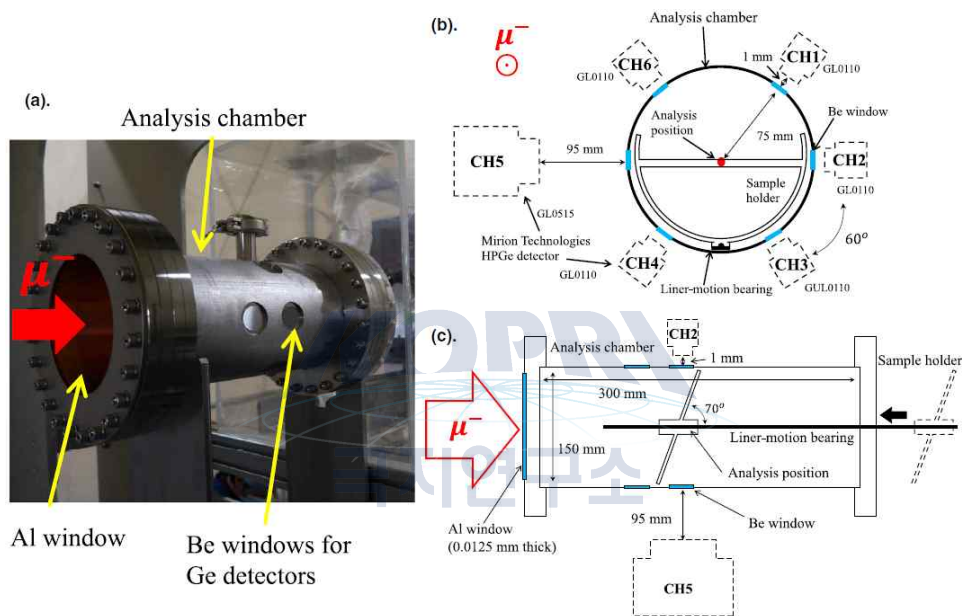


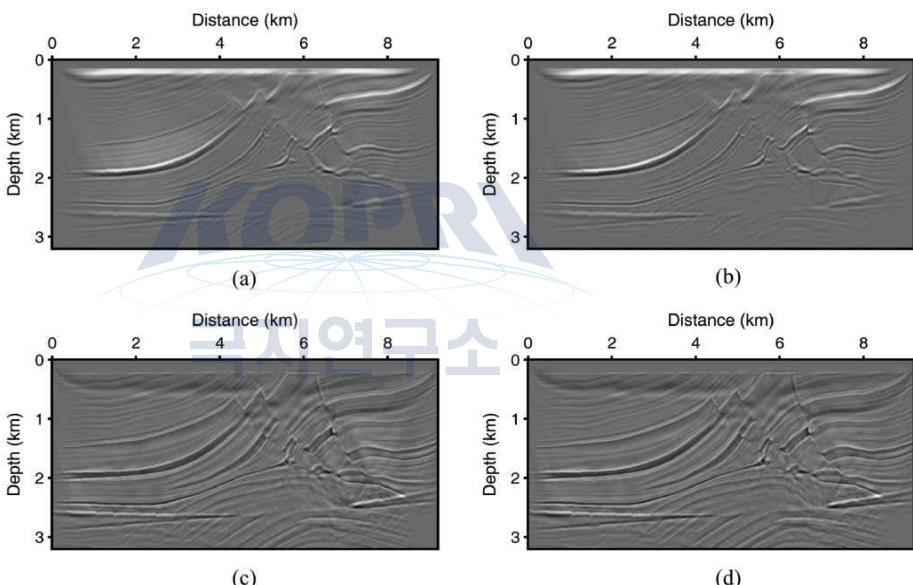
그림 81. 일본 양성자 가속기 센터의 뮤온빔 실험 라인. 챔버를 He으로 채우는 개선을 통해 기존에 분석이 불가능했던 Al을 성공적으로 분석

	This work			
	Front	Center	Back	Fusion XRF
Mg/Si	0.22 ± 0.02	0.22 ± 0.03	0.20 ± 0.02	0.23
Al/Si	0.47 ± 0.05	0.50 ± 0.06	0.50 ± 0.05	0.45
Fe/Si	0.42 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.41 ± 0.03	0.45
Ca/Si	0.43 ± 0.04	0.44 ± 0.05	0.43 ± 0.03	0.43

그림 82. 이번 연구에서 완전 비파괴 분석으로 얻은 달운석 DEW 12007의 전암화학조성이 과거 연구에서 파괴 방식으로 얻은 전암화학조성과 일치

증빙자료	- 논문명: Non-destructive elemental analysis of lunar meteorites using a negative muon beam [Meteoritics & Planetary Science, 2023년 9월 게재] - 저자: I.-H. Chiu, K. Terada, T. Osawa, 박창근, S. Takeshita, Y. Miyake, K. Ninomiya - mrnIF: 45.4
------	--

우수성과 - 10 (2023).	남극 로스 조산대 내 신원생대 화성활동의 호주 동부로의 지구조적 대비 [Terra Nova 게재]
성과 내용	○ 남극 북빅토리아랜드 터레인 경계부 에클로자이트의 화성모암 연대측정 - 변성기원 저어콘 영역의 내부에 남아있는 화성기원 저어콘 분석 - 고분해능이차이온질량분석기를 이용하여 신원생대 후기, 약 6억 년 전 연대 획득 ○ 반려암질 화성모암의 지구조환경 해석 - 전암 지화학조성 분석결과(아래 그림)로부터 섭입대보다는 대륙열곡대에 대비 ○ 호주 동부로의 지구조적 대비 - 같은 시기(신원생대 후기, 약 6억 년-5억 9천만 년 전) 호주 동부에 넓게 분포하는 대륙열곡대 화성활동과 대비함. 이는 에디아카라기, 즉 조산운동 이전에 수동형 대륙경계부 혹은 대륙열곡대 등 확장 환경에 놓여있었음을 시사함
성과의 우수성	○ 곤드와나-로디니아 초대륙에서의 남극-호주 대비 - 신원생대 중기(약 9억년 전)부터 분리된 로디니아 초대륙의 일부인 남극과 호주 동부에서 최후기 분열활동의 증거가 기록된다는 점에서 지구조적 의의가 큼 - 남극-호주와 북미대륙 사이의 초대륙 분열사건을 추적하는 기초 자료임 ○ 로스 조산운동 시기에 대한 의의 - 기존 연구결과에 따르면 로스 조산운동은 6억년 전 이전에 고태평양판의 섭입과 함께 시작되었다고 알려짐 - 그러나 적어도 로스 조산대의 북쪽 끝자락인 북빅토리아랜드에서는 6억 년 전에 섭입과 관련없는 대륙열곡대였음이 밝혀져 신원생대 후기부터 캄브리아기에 이르는 로스 조산운동의 전체적인 재해석과 시간에 대한 재검증이 요구됨
증빙자료	○ 논문명: Ediacaran mafic magmatism recorded in Cambrian eclogites of the Rossorogen, Antarctica: Implications for the Neoproterozoic rifting episodes along the Pacific- Gondwana margin [Terra Nova, 2023년 2월 게재] ○ 저자: <u>김태환</u>, 김윤섭*, 정원석, 조문섭, <u>이종익</u> ○ mrnIF: 44.3

우수성과 - 11. (2023)	높은 계산효율을 가지는 구조보정 탄성과 이미징 기술 개발 [<i>Geophysical Prospecting</i> 게재]									
성과 내용	○ 기존 최소제곱 역시간 구조보정의 실제 현장자료에 대한 실용적인 활용을 위해 본 연구에서는 여기진폭 영상화 조건 기반의 최소제곱 역시간 구조보정을 제안함 - 여기진폭과 시간을 활용함으로써 정방향 음원 파동장을 매우 효율적으로 컴퓨팅 메모리에 직접 저장함에 따라 정방향 음원 파동장을 위한 정방향 모델링을 1회로 줄일 수 있음 - 이러한 장점을 기반으로 제안된 최소제곱 역시간 구조보정은 기존 방법과 매우 유사한 결과를 아주 적은 메모리와 계산시간을 가지고 도출할 수 있음 ○ 해당 연구결과는 인공합성자료를 바탕으로 기존 기법과 결과를 비교하여 기술의 우수성과 높은 계산효율을 인정받아 관련분야 국제학술지에 게재됨									
성과의 우수성	○ 인공합성 자료에 대한 수치실험 결과를 바탕으로 소요된 계산시간과 필요 메모리를 비교한 아래의 표를 통해 제안된 기법이 약 2배 가량 빠르게 구조보정 단면을 구축해 낼 수 있음을 확인하였고, 약 99%의 메모리 용량을 절약할 수 있음을 확인함  그림 83. (a) 기존 기법의 첫 번째 반복계산 결과, (b) 제안된 기법의 첫 번째 반복계산 결과, (c) 기존 기법의 최종 결과, (d) 제안된 기법의 최종 결과									
표 6. 기존 최소제곱 역시간 구조보정과 제안된 기법의 메모리 및 계산시간 비교										
<table><tr><td></td><td>Memory consumption (GB)</td><td>Computing time (s)</td></tr><tr><td>Conventional method</td><td>0.210</td><td>36,373</td></tr><tr><td>Proposed method</td><td>0.00220</td><td>18,060</td></tr></table>			Memory consumption (GB)	Computing time (s)	Conventional method	0.210	36,373	Proposed method	0.00220	18,060
	Memory consumption (GB)	Computing time (s)								
Conventional method	0.210	36,373								
Proposed method	0.00220	18,060								
증빙자료	○ 논문명: Least-squares reverse time migration using the most energetic source wavefields based on excitation amplitude imaging condition [<i>Geophysical Prospecting</i>, 2023년 6월 게재] ○ 저자: 김수민, 김영서, 정우근* ○ mrnlF: 54.6									

우수성과 - 12. (2023)	맨틀포획암 Re-Os 연대측정 주제가 Europlanet 2024 Research Infrastructure 과제에 선정
성과 내용	○ 남극 멜버른화산 인근 맨틀포획암 연구 - 감람석 미구조가 맨틀암석의 변형환경과 연관있음을 기존연구에서 밝힘 (Kim et al., 2021, J. Strcut. Geol.) - 맨틀포획암 내 sulphide 광물의 Re-Os 동위원소를 이용해 연대를 측정하고, 암석 내 미구조와 연대의 상관관계를 직접적으로 밝히려 함 - 2023년 8월 16일부터 9월 8일간 국외출장을 통해 프랑스 낭시 CRPG를 방문하여 sulphide 내 Re-Os 동위원소를 측정함
성과의 우수성	○ Europlanet 2024 Research Infrastructure 과제에 선정(과제명: Isotopic constraints on deformation of olivine: a preliminary study on mantle peridotites from Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica, project number: 22-EPN3-113) - Europlanet은 국내 연구자의 경우, EU에서 분석비, 한국연구재단 과제(KBSI, PI: 이기옥박사)에서 출장비를 지원함 - 국내 연구자의 경우, EU에서 과제의 주제를 평가하기 때문에 연구주제의 우수성을 간접적으로 증명받음 - 특히 Os는 극미량 원소로 상대적으로 전처리가 까다로워 국내 연구기관 및 대학에서 전문가가 드문 상태로, 관련기술 습득은 소내 전문성 향상에 기여할 수 있음
Use of this Template is mandatory - Do NOT delete any of the sections and respect given page limit (3 PAGES) MAXIMUM file included: i.e. figures, tables, charts, etc., - provided as pdf - font size: A4 and 12 Please do NOT INCLUDE ANY PERSONAL INFORMATION IN TEXT - Applications will be assessed anonymously. PROJECT TITLE: Isotopic constraints on deformation of olivine: a preliminary study on mantle peridotites from Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica 1. List of 3-5 main scientific objectives of your project - Rhenium-osmium isotopes of 10 sulfides of 2 peridotite xenoliths to delineate the evolution of lithospheric mantle in northern Victoria Land, Antarctica - Calculation of sulfide rhenium-osmium model ages by the intersection of two isotopic evolution paths - Connecting the rhenium-osmium model ages of mantle peridotites to the Phanerozoic tectonic events inferred from olivine crystallographic preferred orientations (CPOs) 2. SCIENCE AND TECHNOLOGY Present the overall concept of your proposed work, show how it can be considered as innovative and/or original Olivine is one of the most interesting phases in the mantle due to its high abundance, diverse slip systems and strongly anisotropic character which may induce S-wave splitting. Since the first experimental results demonstrating that the slip system of olivine could be attributed to stress and water content (after Jung and Karato, 2001, Science), olivine has been used to explain specific seismic observations: a trench-parallel seismic anisotropy in the forearc and a trench-normal anisotropy in the backarc region beneath NE Japan (Fig. 1). The following studies have highlighted additional important factors such as deformation geometry (Tommasi et al., 1999, EPSL), the existence of partial melts (Holtzman et al., 2003, Science), grain shape alignment during diffusion creep (Sundberg and Cooper, 2008, JGR), and deformation history (Boness and Skemer, 2014, EPSL). The geological evolution of northern Victoria Land, Antarctica, involved several episodes of Phanerozoic tectonic events: the subduction of the oceanic lithosphere beneath the paleo-Pacific margin of Gondwana during the early Paleozoic, and amalgamated rifting started in the Cretaceous (West Antarctic Rift System) resulting in widespread denudation of the Transantarctic Mountains. We have collected six spinel peridotites (mantle xenoliths) from the Mt. Melbourne area and conducted microstructural investigations using an EBSD (published in J. Struct. Geol.). The results showed that olivine was mostly D-type (axial<100>), a cluster of [100] in the horizontal direction and a girdle of [010] in the vertical direction) except one A-type (orthorhombic, a cluster of [100] in the horizontal direction and a cluster of [010] in the vertical direction), that was > Europlanet 2024 Research Infrastructure 과제 제안서 첫페이지	
증빙자료	○ Europlanet 확정 이메일 eur PLANET 2024 Research Infrastructure Recipient: DaeYoung Kim dskim@kpri.ac.kr C.O.: Laurie Fleckberg laurie.fleckberg@univ-korlsruhe.fr Johann Villeneuve johann.villeneuve@univ-korlsruhe.fr Primary site: T32.30 South Korea Gas and Rockphysics Institute Facility (SGRI) 08 Title: Isotopic constraints on deformation of olivine: a preliminary study on mantle peridotites from Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica Length of the proposal: 10 Project number: 22-EPN3-113 Subject: Your 3rd call application transnational access visit sponsored by the Europlanet2024 research infrastructure Dear DaeYoung, We are pleased to inform you that your application for a transnational access visit sponsored by the Europlanet2024 research infrastructure has been successfully reviewed by the peer review committee. A summary of the review is attached. You are now requested to confirm the visit to the host facility by signing the research visit confirmation form (attached) and returning it to the host facility by the end of the month of May 2023. We have the flexibility to extend the period during which you can visit the host facility, but this must be agreed with the host facility. We have the flexibility to extend the period during which you can visit the host facility, but this must be agreed with the host facility. We have the flexibility to extend the period during which you can visit the host facility, but this must be agreed with the host facility. To all planning and ensure that the host facility has the required funding, we request you to provide a letter of support from your institution. This letter should be submitted to the host facility by the end of the month of May 2023. We have the flexibility to extend the period during which you can visit the host facility, but this must be agreed with the host facility. We have the flexibility to extend the period during which you can visit the host facility, but this must be agreed with the host facility. By sending the application to Europlanet you have agreed to: 1. Acknowledge funding from Europlanet when making presentations or publishing the data obtained from the TA visit. 2. This is to inform potential future funding applications. Please use the following reference in reports and the acknowledgment programme under grant agreement No 101019753 (EUROPLANET2024) to be found at: https://www.europlanet2024.eu/en/europlanet2024-research-infrastructure/ Your expenses for travel and accommodation will be covered for the visit. However, expenses will not be paid off-site. Submission of a short report about the visit. Please note that the visit is a virtual access (visit in a virtual environment) and we are only allowed by the European Commission to fund direct travel. Public transport needs to be used for the TA facility. For field sites, appropriate local transport and accommodation will be arranged by the host facility. 10. We will share the material provided as a report of the visit (12 pages, preferably with figures that can be used in the annual report submitted to the European Commission). This should include details of the general aspects of the visit, who visited and their details, the length of stay and travel data, a short summary of the scientific results and the results/figures. This report can be completed on-line at: https://www.europlanet2024.eu/en/europlanet2024-research-infrastructure/ Europlanet is willing and able to provide help with outreach in terms of publishing the potential scientific and societal impact of the TA visit and results. Members of the Europlanet 2024 RI team will therefore assist you to help you with outreach and may request an interview or images taken during the TA visit. Please cooperate with these requests. iv. Finally, we request that you confirm to the TA facility and the TA office at the VU Amsterdam that you accept the award of the TA visit. Please also keep the Amsterdam office informed of planning and any potential problems. It is explicitly accepted that some arranged visits will need to be re-scheduled due to illness, instrument failure etc. But it is important that the office is aware of such situations so that they can provide the required funds and explain to the European commission any delays. Congratulations with coming up with an interesting scientific proposal and we look forward to working with you in implementing the visit. With kind regards, Fenny Bosse: TA administrator Gareth Davies: Europlanet 2020-RI TA Coordinator

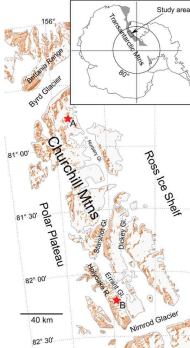
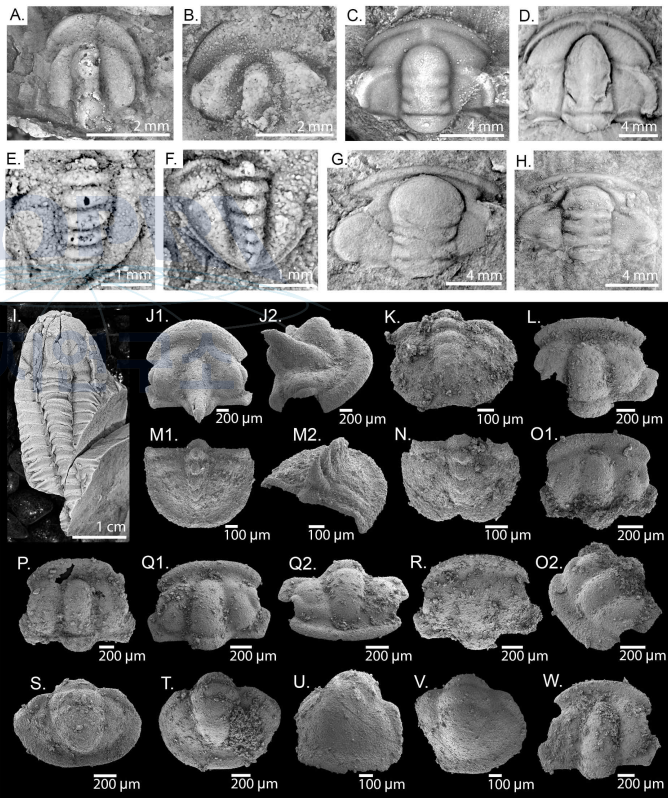
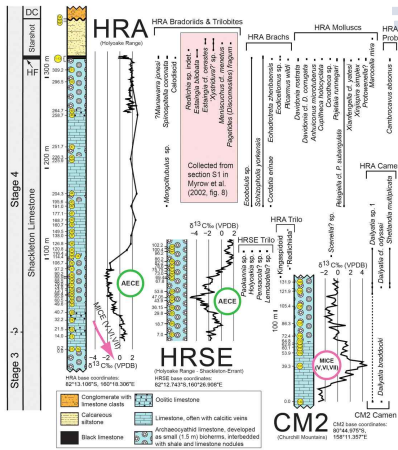
우수성과 - 13. (2023)	남극 북빅토리아랜드 The Pleiades 화산지대의 알칼리 마그마계에서 황화물광물과 친황원소의 거동을 종합적으로 규명
성과 내용	○ 남극 북빅토리아랜드 The Pleiades 화산지대의 알칼리 마그마계에서 황화물 광물과 친황 원소의 거동을 종합적으로 규명 - The Pleiades 화산지대의 소듐계(sodic) 및 칼륨계(potassic) 화산암과 집괴암(cumulates)를 대상으로, 황화물 광물화학, 전암 PGE 및 안정 동위원소 조성을 종합적으로 분석 - PGE, Cu, Au 등이 초기 황화물 침전에 의해 마그마계 내에서 고갈되었음을 입증하고, 두꺼운 대륙 지각을 통과하는 대륙 내 알칼리 마그마계에서 친황 금속 분포 특성을 해석
성과의 우수성	○ 암석학적 특성과 지화학 자료를 통해 대륙 내 알칼리 마그마계에서 초기 황화물 포화와 누적암체 내 황화물 집적에 따른 친황금속 고갈 과정을 규명 - The Pleiades 화산지대에 대한 최초의 황화물 및 PGE 원소 거동 연구로, 대륙권 마그마계 내 친황금속 분포 특성과 제어 요인 규명 - 화산암과 심성암 기록을 연계해 대륙 리프트 환경에서의 황화물-금속 거동과 금속 광화 잠재성 평가에 대한 새로운 근거 제시
<칼륨계(potassic, 좌측)와 소듐계(sodic, 우측) 마그마의 이상적인 누적암체 단열 내 암상 변화 개념도. 본 모식도는 화산암에서 관찰된 반정 조합을 기반으로 이상적인 누적암체 내 광물 조합의 상향 변화 경향을 나타낸 것으로, 하부에서 상부로 갈수록 염기성 조성에서 중간 조성을 거쳐 산성 조성으로 진화하는 특징을 보여줌>	
증빙자료	○ 저자: Jihyuk Kim, <u>Mi Jung Lee</u>, <u>Jong Ik Lee</u>, Philip R. Kyle, Xia Wang, Zaicong Wang and Jung-Woo Park ○ 논문명: Sulfide minerals and chalcophile elements in The Pleiades Volcanic Field, Antarctica: implications for the distribution of chalcophile metals in continental intraplate alkaline magma systems ○ mrnIF: 70.3 <23년 9월 게재>

우수성과 - 14. (2024)	남극 CV 콘드라이트의 그로싸이트 함유 내화물질에 기록된 소행성에서의 수성변질 [<i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> 게재]
성과 내용	○ 남극 CV 콘드라이트에 존재하는 그로싸이트 함유 내화물질이 소행성에서 물과 어떻게 상호작용하는지 밝힘 - 투과전자현미경, 이차이온질량분석기를 이용해 그로싸이트와 주변 광물 분석 - 그로싸이트는 고온광물이나 소행성에서 유체와 반응하여 크롬철석으로 변하고 산소동위원소 조성이 다른 광물에 비해 쉽게 변하는 것을 보고함
성과의 우수성	○ 태양계 초기 소행성에서 내화 광물이 물과 상호작용하여 구조와 동위원소 조성이 어떻게 변화하는지 연구 - 광물의 미세구조와 in-situ 산소동위원소분석을 동시에 수행하여 입체적인 해석이 가능 - 광물 물리, 광물 화학, 동위원소 연구를 통해 소행성에서 수성변질에 의한 내화 광물의 변화를 단계적으로 제시
(a) E-B-1 (b) mgt, gro, hc (c) mgt, hc, gro (d) hc, gro, am (e) hc, am, gro (a) $\delta^{17}\text{O}$ (‰) vs $\delta^{18}\text{O}$ (‰) (b) $\Delta^{17}\text{O}$ (‰) vs sample ID <남극 CV 콘드라이트의 내화광물 그로싸이트와 주변 광물이 소행성에서 수성변질에 의해 광물의 구조, 화학조성, 산소동위원소 조성이 단계적으로 변화하는 양상을 규명>	
증빙자료	○ 논문명: Grossite-bearing refractory inclusions from reduced CV chondrites: Mineralogical and oxygen isotopic constraints on the parent body alteration history [<i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i>, ○ 저자: Jangmi Han, Kazuhide Nagashima, 박창근, Alexander N. Krot, Lindsay P. Keller ○ mrnIF: 92

우수성과 - 15. (2024)	매우 시원적인 남극운석 EET 14017에 대한 암석학적 세분류 [Episodes 게재]
성과 내용	○ 남극운석 EET 14017이 전세계적으로 매우 희귀하고 시원적인 LL3.05임을 밝힘 - 극지연구소의 전자현미분석기를 이용한 광물의 정밀 정량화학분석과 기질부에 대한 Raman 분석 수행 - 암석학적 세분류 결과 전체 운석 중 약 0.03%에 해당하는 LL3.05로 판명됨 - 태양계 초기 콘드류의 생성과정과 소행성에서 수성변질의 초기 단계 기록을 제공할 것으로 기대
성과의 우수성	○ 매우 시원적인 운석에 대한 암석학적 세분류 방법 확립 - 앞으로 남극에서 발견되는 오디너리 및 CO 콘드라이트에 대해 정확한 암석학적 세분류 가능 - 매우 시원적인 운석(타입 3.0x)은 희귀하고 태양계 초기 기록을 고스란히 보존하고 있어 연구가치가 매우 높아 파급효과가 큼 - EET 14017을 포함한 운석 분석 데이터를 남극 기반암·화산암 DB와 통합하여 남극 지역 맨틀의 조성·진화 경향 연구의 비교 대조군으로 활용 가능
<다양한 광물에 대한 정밀 정량화학분석을 통해 EET 14017이 매우 희귀한 LL3.05임을 보임>	
증빙자료	○ 논문명: Petrography and classification of Elephant Moraine 14017 (EET 14017): a new primitive LL3. 05 ordinary chondrite from Antarctica [Episodes, 2024년 9월 게재] ○ 저자: <u>박창근*</u>, 박선영, 김화영, 이중익 ○ mrnIF: 52.8

우수성과 - 16. (2024)	전자현미분석기를 이용한 달의 저어코날라이트 비파괴 연대측정법 개발 [<i>Journal of Analytical Science and Technology</i> 게재]
성과 내용	○ 전자현미분석기를 이용하여 달의 저어코날라이트에 대해 비파괴 U-Th-Pb 연대측정법 개발 - 남극 달운석 DEW 12007의 화강암편에 존재하는 너비 약 3 μm의 저어코날라이트 비파괴 연대측정법 개발 - 전자현미분석법의 최신 기법(시뮬레이션, MAN 분석 등)을 동원하여 저어코날라이트의 U-Th-Pb 정밀 분석 수행 - 이차이온질량분석기(SHRIMP)로 분석한 저어콘의 연대와 일치하는 고정밀 연대 획득
성과의 우수성	○ 이차이온질량분석기로 분석이 불가능한 수 마이크로미터 크기의 미세광물에 대한 비파괴 연대측정법 개발 - 극지연구소의 전자현미분석기를 이용하여 이차이온질량분석기의 저어콘 분석에 버금가는 저어코날라이트 정밀 연대측정법 개발 - 그동안 저어콘이 없어 연대측정이 불가능했던 월석이나 달운석의 정밀 연대 측정 가능 - 이차이온질량분석기로 분석이 불가능한 미세광물의 비파괴 정밀 연대 측정 가능
Figure showing four panels (a, b, c, d) of electron microprobe analysis results. Panels (a) Th Ma, (b) U Mb, (c) Pb Ma, and (d) Eu La show spectra of various elements (Th, U, Pb, Eu) across different L values (mm). Panels (a), (b), (c), and (d) also show weighted mean age plots with error bars and MSWD values. <저어코날라이트에 대한 Th, U, Pb, Eu 파장 분석 시뮬레이션과 이에 기반한 파장 간섭 보정을 통한 연대측정 결과>	
증빙자료	○ 논문명: Electron microprobe dating of lunar zirconolite [<i>Journal of analytical science and technology</i>, 2024년 3월 게재] ○ 저자: <u>박창근*</u>, <u>김화영</u> ○ mrnIF: 45.7

우수성과 - 17. (2024)	남극 로스 조산대 함망간규암의 암석형성 진화과정 규명 [European Journal of Mineralogy 게재]
성과 내용	○ 에클로자이트와 함께 산출하는 함망간규암 암석 성인 규명 - 처트와 망간단괴 등의 혼합물인 심해 기원 퇴적암, 546 Ma 이후 형성 - 피몬타이트 등 산화환경을 지시하는 망간규산염광물 조합 정의 - 500 Ma에 터레인 봉합과 연관된 고압 변성작용 경험
성과의 우수성	○ 희소한 변성처트암(함망간규암) 성인을 다학제적으로 규명 - 망간규산염광물 조합에 대한 암석기재, 광물화학 분석, X선 맵핑 등 - 이차이온질량분석기를 이용해 퇴적모암 형성 및 변성시기 획득 - 삼가망간(Mn^{3+})을 함유한 광물조합 변화 열역학 모델링, 산소분압 계산
(a) (in wt%) Al_2O_3 - SiO_2 - $Fe_2O_3^T$ - Fe^T - MnO ($Cu + Ni + Co$) x 10 (b) (in wt%) Al_2O_3 - SiO_2 - $Fe_2O_3^T$ - Fe^T - MnO ($Cu + Ni + Co$) x 10 (c) 10^2 (c) NASC-norm. REE contents Legend: Mn-rich quartzose rock ☆ LR quartzite (this study) △ Otago schist (Coombs et al., 1985) ▲ Andros quartzite (Reinecke et al., 1985) ▲ Sanbagawa schist (Izadyar et al., 2003) ▲ Praborna ore (Tumiati et al., 2010) ▽ Belgian coticule (Herbosch et al., 2016) ▼ Venezuelan exhalite (Maresch et al., 2022) Ocean sediment ● Pacific (P)-Atlantic (A) chert (Murray et al., 1992) ○ Pelagic clay (Li, 2000) ● Fe-Mn nodule (N) & crust (C) (Li, 2000) Diagram (c) shows REE contents (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) for various samples, with a legend for LR quartzite, P-A chert, Praborna ore, Pelagic clay, Belgian coticule, and Fe-Mn N & C.	
증빙자료	○ 논문명: Sedimentary protolith and high-P metamorphism of oxidized manganiferous quartzite from the Lanterman Range, northern Victoria Land, Antarctica [European Journal of Mineralogy, 2024년 3월 게재] ○ 저자: 김태환*, Kim, Y., Tumiati, S., 김대영, Yi, K., 이미정 ○ mrnIF: 55.0

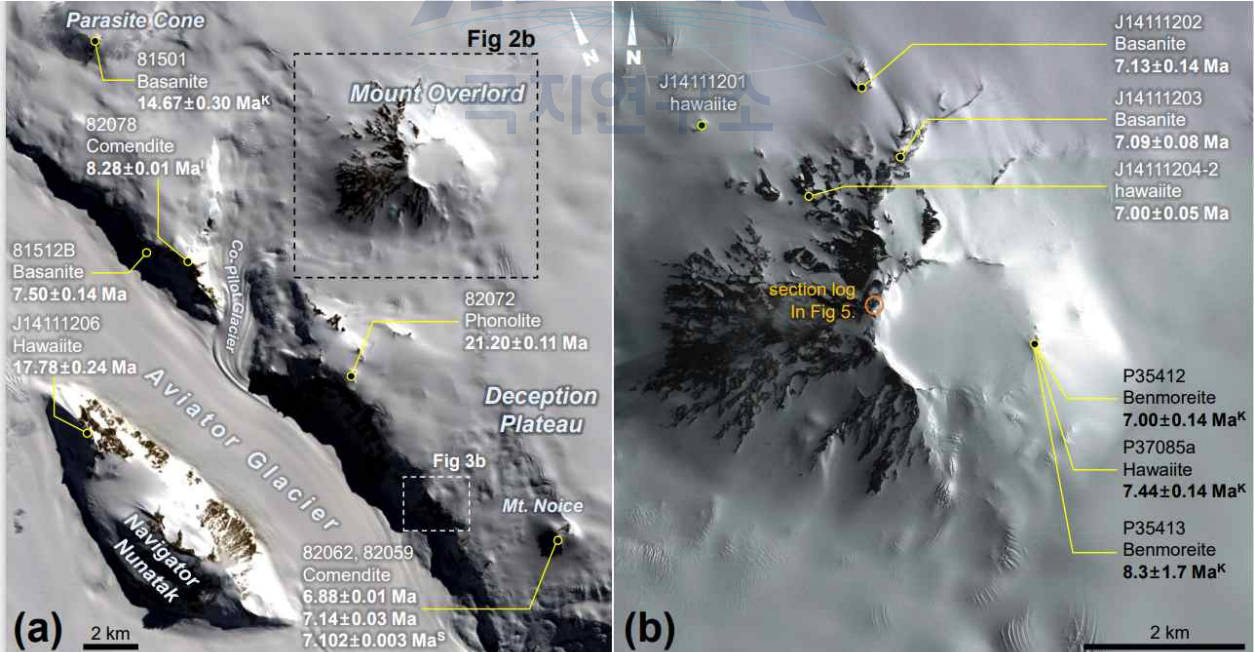
우수성과 - 19. (2024)	남극 Central Transantarctic Mountains 지역 하부 캄브리아기 층서 확립 [Gondwana Research 게재]
성과 내용	○ 남극 Central Transantarctic Mountains(CTM) 지역의 캄브리아기 지층의 multi-proxy 데이터를 바탕으로 다른 대륙과 층서 대비 - 불분명한 채로 남아있던 남극 CTM 지역의 Shackleton Limestone-Holyoake Formation-Starshot Formation과 다른 지역의 캄브리아기 층서 대비 - 지화학, 생층서, 및 연대 측정 데이터 등 다방면의 데이터를 활용해 호주 및 북중국과 층서 대비
성과의 우수성	○ 빙하로 덮여있기에 잘 알려지지 않았던 CTM 지역 최초의 층서 대비 - 장보고 기지에서 700 km 떨어진 곳에서 산출된 캄브리아기 화석을 이용한 고생물 연구 수행 - Shackleton Limestone 지역 최초의 Small Shelly Fossils 연구 - 극지연구소에서 장기적으로 연구 중인 CTM 지역 삼엽충 데이터를 층서 대비에 활용
  	
<연구지역의 위치(좌상); 여러 색션의 SSF 및 삼엽충 화석의 산출표(좌하); 생층서 대비에 활용된 삼엽충 화석들(우)>	
증빙자료	○ 논문명: First multi-proxy chronostratigraphy of the lower Cambrian Byrd Group, Transantarctic Mountains and correlation within East Gondwana [Gondwana Research, 2024년 12월 게재] ○ 저자: M.J. Betts, T.M. Claybourn, L.E. Holmer, C.B. Skovsted, P.M. Myrow, L. Stemmerik, T.P. Topper, 박태윤, N.C. Hughes, J.L. Clowley, E.A. Jagodzinski, G. A. Brock ○ mrnIF: 94.7

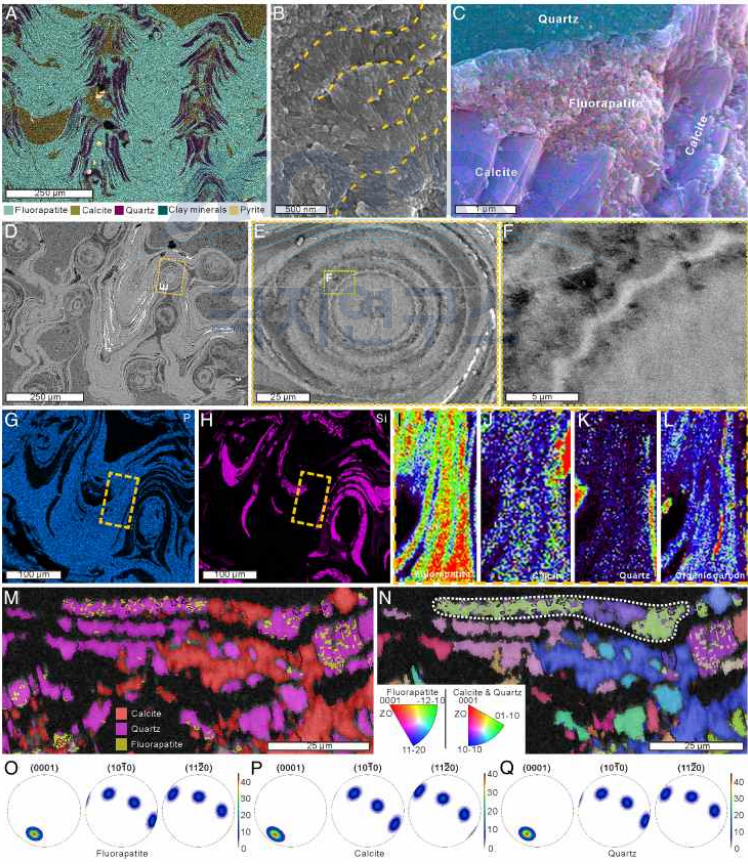
우수성과 - 20. (2024)	지구물리 탐사를 활용한 빅토리아랜드분지 해저진흙화산 군집지역 해저지형도 작성 및 활동성 확인
성과 내용	○ 빅토리아랜드 분지 지역에 분포하는 가스하이드레이트와 관련된 해저진흙화산을 대상으로 해저지형, 천부지층 및 과학적 어군탐지기를 활용한 음향자료 확보 - 2023-24 아라온 남극 3항차를 활용하여 로스해 빅토리아랜드 분지 지역에 대한 지구물리 탐사 진행 - 빅토리아랜드 분지 지역에 분포하는 가스하이드레이트 층 인근에 분포하는 가스가 이동하여 생성시킨 것으로 알려진 Iulia 그리고 Tergest 진흙화산 [Geletti et al., 2011]에 대한 활동성 확인과 해당 지역에 대한 해저지형 조사
성과의 우수성	○ 로스해 빅토리아랜드 분지지역 내 가스기원 해저 진흙화산에 대한 활동성 규명 - 해저지형 탐사를 통해 탐사지역 내 분포하는 해저진흙화산 군집 지역을 확인하였고 다수의 Flattop 해저진흙화산 구조를 확인하였고, Gelletti et al. (2011)에서 제시한 Tergest, Iulia 해저 진흙화산 인근에 대한 해저지형도를 완성함 - 가스의 이동에 의해 생성되었다고 알려진 Tergest, Iulia 해저 진흙화산에 대한 천부지층 자료와 활동성 확인을 위해 수행한 과학적 어군 탐지기 결과 제시 - 탐사 결과(과학적 어군 탐지기)로부터 기존 연구를 통해 알려진 가스의 이동에 의해 생성된 해저 진흙화산은 현재 활동성이 없는 것으로 확인
〈빅토리아랜드 분지 내 분포하는 해저진흙화산 군집지역에 대한 해저지형, 천부지층 단면, 그리고 해저 진흙화산의 활동성 확인을 위해 수행한 과학적 어군 탐지기 단면〉	
증빙자료	○ 해저지형, 천부지층 및 과학적 어군탐지기 자료 등 해당 항차 탐사기간 중 연구지역에서 획득한 해양지구물리 탐사자료 <ANA14C Sub-bottom profiler(SBP) data on the Southern Drygalski Ice Tongue, Ross Sea, KOPRI-KPDC-00002599>

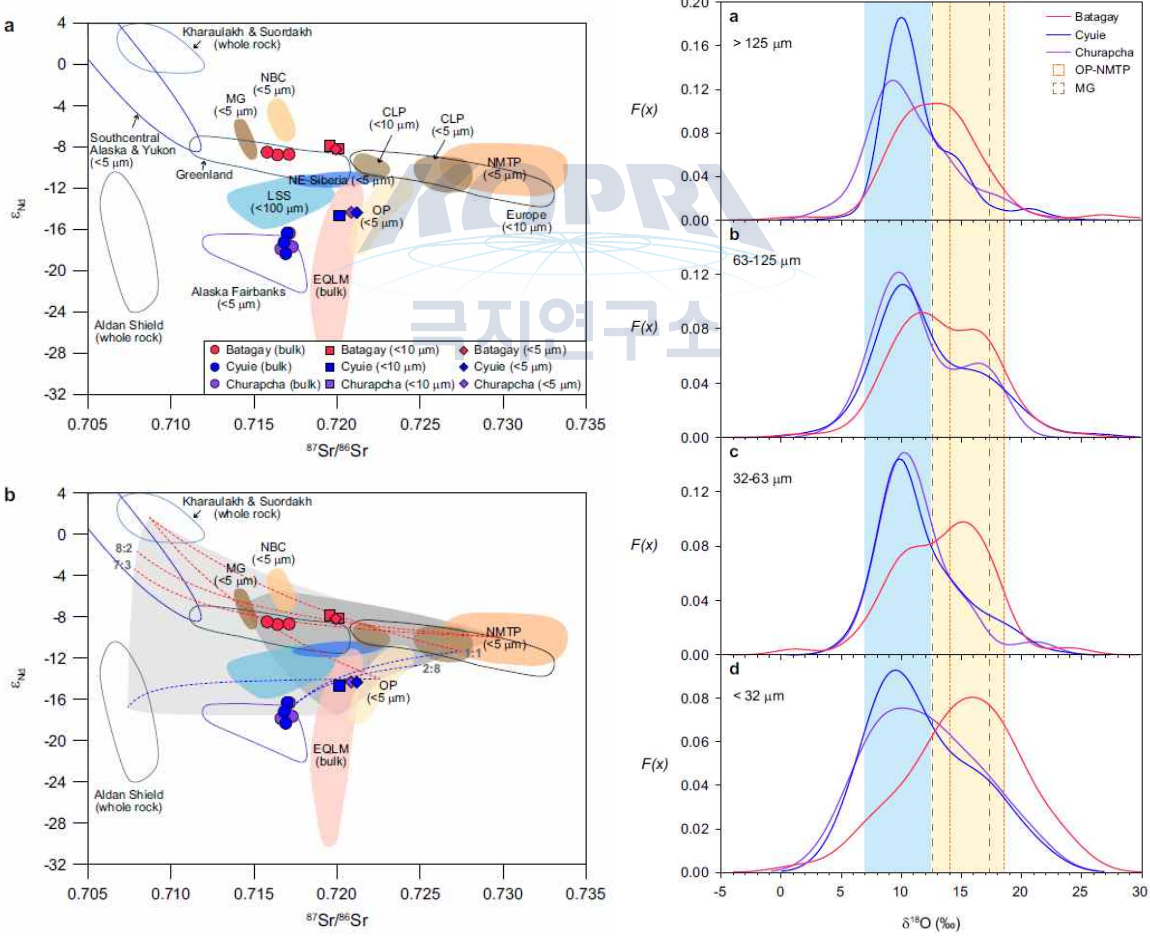
우수성과 - 21. (2025)	남극권 중앙해령, '확장-균열대'에 대한 다학제적 연구 수행을 통해 '확장-균열대'의 지구물리, 지화학, 생태계 등의 특성에 대한 세계 최초의 성과 획득 (연구 진행형)
성과 내용	○ '확장-균열대'에 대한 다학제적 연구결과 및 성과 확보 (진행형) - 19-20 시즌, 호주-남극 중앙해령 동편에 위치한 '확장-균열대' 지역에서 암석 시료 채취를 동반한 세계 최초의 다학제적 해양탐사가 수행된 이후, 본 과제 연구수행기간 동안, 해저면 암석시료 및 심해 생물, 열수 시료 등 확보 - 미지의 구간이었던 '확장-균열대'에 대한 해저지형 및 해양지자기 자료 확보
성과의 우수성	○ '확장-균열대' 지역에서 세계 최초의 성과들 확보 - 확장-균열대 전역을 훑고 지나가는 해저지형 및 지자기 탐사 측선을 따라 획득된 지구물리 데이터는 향후 이 지역의 생성과 진화에 대한 모델 수립에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있음 - 확장-균열대에서 획득된 해저면 암석시료에 대한 지화학 분석은 이 지역의 화산학적 특성 및 '질란디아-남극 맨틀'의 분포 범위를 규정할 수 있을 것 - 24-25 시즌 연구항해를 통해 이 지역 최초의 열수환경 발견 및 암석시료 확보, 심해 생물 시료를 확보하였음
Kores Polar Ridge Exploration 19-20 ANA10A (2019.12) 20-21 ANA11A (2020.11) 21-22 ANA12A (2021.12) 23-24 ANA14A (2023.12) 24-25 ANA15B (2025.01) - Rock Corer (2019.12) - Rock Corer (2021.12) - Rock Corer (2023.12) - Dredge (2019.12) - Dredge / NET (2025.01) Depth (m): -4000 -3000 -2000 -1000 Scale: 0 100 km Longitude: 160°E, 164°E, 168°E, 172°E, 176°E, 180°, 176°W, 172°W Latitude: 59°S, 60°S, 61°S, 62°S, 63°S, 64°S, 65°S, 66°S, 67°S, 68°S Inset Map: Victoria Land, Ross Sea, Ross Ice Shelf Magnetic Anomaly (nT) vs Longitude (162°E to 174°W)	
증빙자료	○ 확장-균열대 최초의 정밀 지형도 및 지자기 이상 데이터

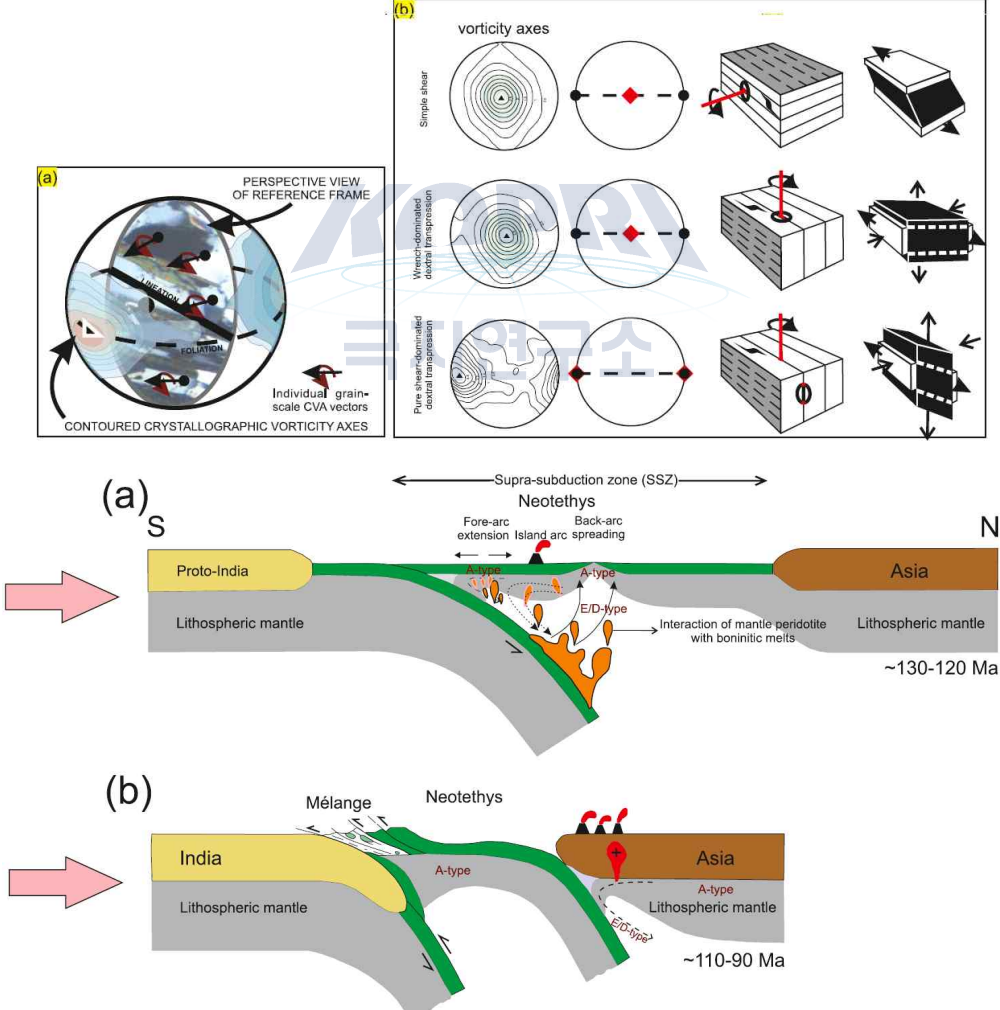
우수성과 - 22. (2025)	달 표면에서 충돌에 의해 일어나는 광물의 비정질화 기작 규명 [<i>Journal of Petrology</i> 게재]
성과 내용	○ 달운석 DEW 12007의 알칼리 장석에 대한 비정질화 연구 - 달운석 DEW 12007 내의 알칼리 장석을 라만 분광법과 전자 탐침 미세 분석(EPMA)을 사용하여 비정질화의 메커니즘 규명 - 비정질 경계 근처의 잔류 결정성 장석은 부분 용융 및 급냉 동안의 조성 재분배를 반영하여 증가된 K 함량을 나타냄
성과의 우수성	○ 결정학적 연구와 광물화학적 연구를 융합하여 충돌에 의한 비정질화 기작 규명 - 장석의 비정질화 메커니즘을 구별하는 진단 도구로서 화학 조성의 유용성을 입증하였음 - 고체 상태의 변형으로 형성된 마스켈라이트와 용융 및 급냉을 통해 생성된 일반 유리를 구분할 수 있는 연구 방법론은 행성 지각의 충격 이력과 열적 진화에 대한 중요한 통찰력을 제공
(a) Lunar meteorite - DEW 12007 (This study) - DEW 12007 (Kim et al., 2019) Ordinary chondrites (L6) - EET 13004 (This study) - Dar al Gani 355 (Chen & Goresy, 2000) - Peace River - Sixiangkou - Tenham - PI Msk (b) Sanidine-Albite system (c) Albite-Anorthite system	
증빙자료	○ 저자: 김형규(공주대), 박창근, 김은정(공주대), 박선영(지질자원연구원), 김화영, 김현나(공주대) ○ 논문명: Chemical and structural evidence for melt-induced amorphization of alkali feldspar in lunar meteorite dew 12007: insight into shock amorphization

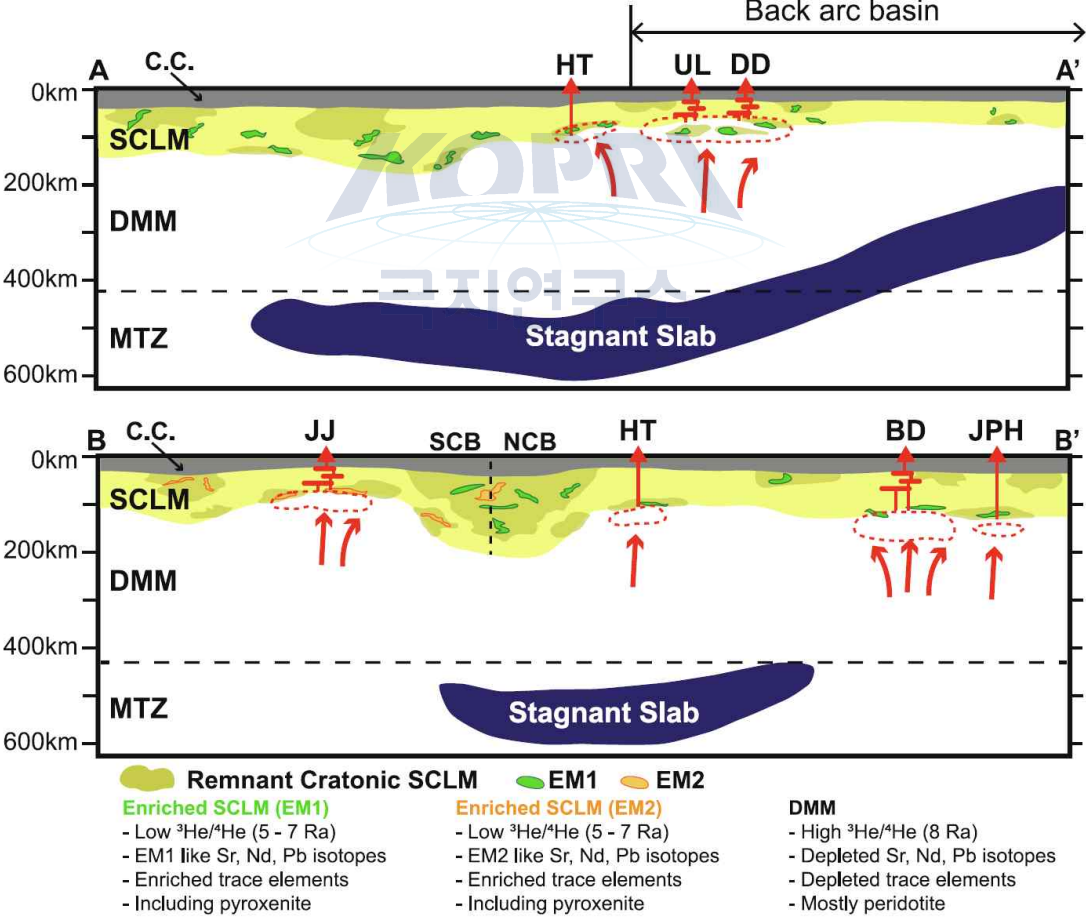
우수성과 - 23. (2025)	태양계 최초 생성물에 기록된 태양계 성운 가스의 산소동위원소 조성 연구 [<i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> 게재]
성과 내용	○ 투과전자현미경과 이차이온질량분석기를 이용한 태양계 최초 물질 구성 광물의 결정학, 광물화학, 동위원소 우주화학 연구 - 투과전자현미경 관찰로 태양계 성운 기록을 보존하고 있음을 확인 - 이차이온질량분석기를 이용한 산소 동위원소 분석으로 산소 동위원소 이질성과 태양계 최초 물질 광물 화학의 상관관계를 밝힘
성과의 우수성	○ 투과전자현미경과 이차이온질량분석기 동시 이용으로 태양계 최초물질에 대한 종합적 이해 시도 - 태양계 성운 단계에서 생성된 광물의 나노 스케일 관찰을 통해 초기 기록이 잘 보존되어 있음을 확인하고, 이를 근거로 동위원소 결과 해석 - Al-Mg 동위원소 분석을 통해 태양계 최초 물질 형성 시기와 시간 척도, 그리고 산소 동위원소 진화 과정을 제한
(a) diopside (b) melilite (c) $\Delta^{17}\text{O}$ (‰) of Al,Ti-diopside (d) $\Delta^{17}\text{O}$ (‰) of melilite	
증빙자료	○ 저자: Jangmi Han(NASA JSC), 박창근, Ming-Chang Liu(LLNL), Nozomi Matsuda(UCLA), Justin I. Simon(NASA JSC), Lindsay P. Keller(NASA JSC) ○ 논문명: Mineralogical and isotopic constraints on early, high-temperature events and reservoirs recorded in the interior of a type b ca-al-rich inclusion from the reduced cv3 chondrite vigarano

우수성과 - 24. (2025)	남극 북빅토리아랜드 알칼리 마그마계의 기원과 진화 과정 규명 [Gondwana Research 게재]
성과 내용	○ 남극 북빅토리아랜드 지역 Mount Overlord Volcanic Field(MOVF)의 마이오세 알칼리 화산암에 대한 지질학적·지화학적 종합 연구 수행 - 21.2~6.9Ma에 걸친 MOVF의 장기간 화산 활동 기록과 Basanite-Trachyte-Comendite로 이어지는 화산암 조성의 진화 과정 규명 - 지화학, 연대측정, 암석 석리·광물화학 자료를 종합하여, 대륙권 맨틀의 부분용융, 하부지각 내 분별결정, 지각 동화작용 등 복합적 마그마 진화 메커니즘 제시 - MOVF 화산암의 FOZO형 동위원소 특징과 이를 통해 대륙권 맨틀 두께가 다양한 알칼리 마그마 조성 형성에 핵심적임을 밝힘
성과의 우수성	○ 남극 북빅토리아랜드 지역에서 장기간 지속된 알칼리 마그마계의 기원과 진화 과정을 종합적으로 규명 - MOVF 지역의 화산암에 대한 최초의 체계적 연대·지화학·암석학적 연구를 통해, 서부 로스해 지역 내 가장 긴 마이오세 화산활동 기록 제시 - 대륙권 맨틀 하부에서의 부분용융, 하부지각 내 분별결정, 얇은 지각에서의 극단적 분화·동화작용 등 복합적인 마그마 진화 메커니즘 규명 - 대륙 리프트 환경 내 두꺼운 대륙권 맨틀의 존재가 다양한 알칼리 마그마 조성 형성에 핵심적임을 밝힘으로써, 대륙판 리프트 환경 마그마 발생과 진화과정 이해에 기여
 < MOVF 화산암류의 21.2~6.9 Ma에 걸친 연대자료 >	
증빙자료	○ 저자: Jihyuk Kim, Philip R Kyle, <u>Mi Jung Lee</u>, <u>Jong Ik Lee</u>, Matthew Heizler, Sunghwan Im, John A Gamble, Mark R Noll ○ 논문명: Origin and Evolution of Miocene Basanite to Comendite Lavas at the Mount Overlord Volcanic Field, Northern Victoria Land, Antarctica

우수성과 - 25. (2025)	고생대 스트로마토포로이드 해면동물의 골격형성 과정 규명 [<i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America</i> 게재]
성과 내용	○ 스트로마토포로이드의 골격 형성과정 규명 - 전자현미경, 질량분석기를 이용한 화석의 화학성분 지도 분석 - 후방산란전자회절장치(EBSD)를 이용해 결정방향성의 변화와 화학성분의 변화가 일치함을 확인
성과의 우수성	○ 미구조를 이용한 고환경 복원 연구 - 가장 오래된(4억 8천만년) 스트로마토포로이드 해면체의 형성에 미치는 환경적 요인을 규명 - 인산염의 존재가 해면체 골격형성 과정에 영향을 주었다는 점을 미구조를 이용해 최초로 밝힘
	 <스트로마토포로이드 해면체 화석의 화학성분 및 결정 방향성 분석결과>
증빙자료	○ 저자: 전주완, Simonet Roda, M., Chen, Z.-Y., Luo, C., Kershaw, S., 김대영, Ma, J., 이정현, Zhang, Y. ○ 논문명: Phosphatic stromatoporoid sponges formed reefs ~480 Mya

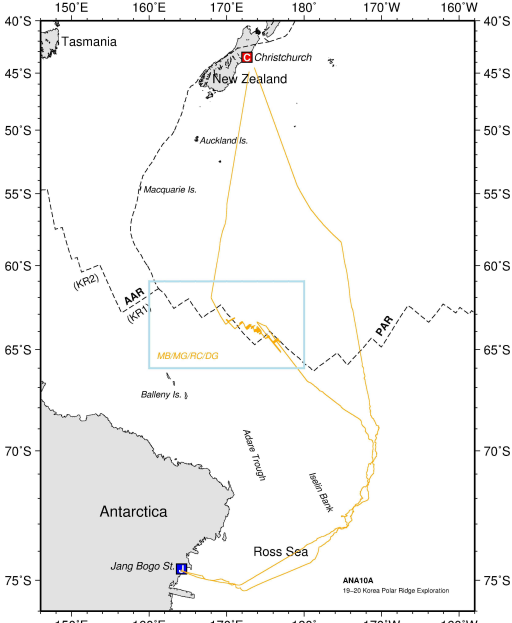
우수성과 - 26. (2025)	빙설째기를 이용한 후기 플라이스토세 장거리 먼지 수송 변동 규명 [<i>Nature Communications</i> 게재]
성과 내용	○ 동시베리아 빙설째기를 이용한 과거 먼지 수송 경로 규명 - 빙설째기 퇴적물의 희토류 · Sr-Nd · 산소 동위원소를 분석해 장거리 · 지역 기원 먼지를 구분 - 시기별(MIS 3, LGM)로 동아시아 사막 · 시베리아 기원의 비율과 대기 순환 변화를 재구성
성과의 우수성	○ 과거 먼지 · 기후 복원에 새로운 지표 제시 - 빙설째기를 “재퇴적 영향이 적은 대기 먼지 기록” 으로 활용하는 방법을 처음 제안 - 먼지 기원 변화와 편서풍 · 시베리아 고기압 강도 변화를 정량적으로 연결해 기후 해석에 기여
	 Figure showing dust transport variability during the Late Pleistocene. Panel (a) is a scatter plot of ϵ_{Nd} vs $^{87}Sr/^{86}Sr$ for various dust sources. Panel (b) is a similar plot with additional data points and shaded regions. Panels (c) and (d) show probability density functions $F(x)$ for $\delta^{18}O$ (‰) for different dust grain sizes and sources.
증빙자료	○ 저자: 김소연, 이현우, 김정민, 이유영, 최정현, 이미정, 권의진, Go Iwahana, Thomas Opel, Hanno Meyer, Sebastian Wetterich, Alexander Fedorov, 안진호 ○ 논문명: East Siberian ice wedges recording dust transport variability during the Late Pleistocene

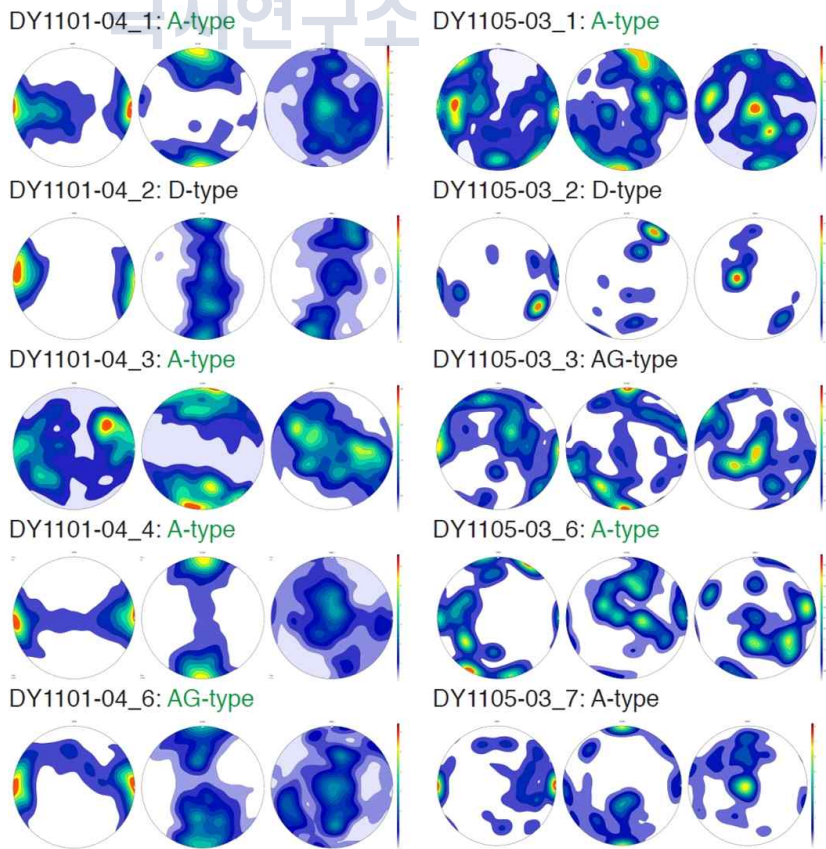
우수성과 - 27. (2025)	Harzburgite - dunite 전이와 감람석 CPO를 통한 상부 맨틀 변형양상 규명 [Physics and Chemistry of the Earth 게재]
성과 내용	○ Harzburgite-dunite 전이와 상부 맨틀 변형 · 용융 과정 규명 - Nidar 오피올라이트 초고철질암에 대해 EPMA · EBSD · 미세조직 분석을 수행해 부분용융 조건과 산화 상태 제시 - 감람석 CPO 유형을 통해 변형 방식과 용융-암석 상호작용 단계를 구분
성과의 우수성	○ 테티스 해양 섭입대 상부 맨틀 진화 복원 - 해당 초고철질암이 중앙해령 맨틀이 재가공된 fore-arc 상부 맨틀 잔존 체임을 밝혀 테티스 지각의 다단계 진화를 제시 - 감람석 CPO와 지진파 이방성의 연계를 통해 조산대 상부 맨틀 구조 해석에 활용 가능한 자연 자료 제공
	 The figure consists of two main parts. Part (a) is a perspective view of a reference frame showing 'CONTOURED CRYSTALLOGRAPHIC VORTICITY AXES' and 'Individual grain-scale CVA vectors'. Part (b) is a diagram illustrating the tectonic evolution of the Neotethys region. It shows the 'Supra-subduction zone (SSZ)' and 'Neotethys' basin. The diagram depicts the collision of 'Proto-India' and 'Asia' around ~130-120 Ma, followed by the formation of the 'Neotethys' basin and the 'Mélange' zone around ~110-90 Ma. Key features include 'Fore-arc extension', 'Island arc spreading', 'Back-arc extension', and 'Interaction of mantle peridotite with boninitic melts'. The diagram also shows the 'Lithospheric mantle' and 'A-type' and 'E/D-type' magmatic activity.
증빙자료	○ 저자: Swarnendu Roy, 김대영, Koushik Sen ○ 논문명: Harzburgite-dunite transition in the Nidar Ophiolitic Complex, Ladakh, NW India and its effect on olivine crystallographic fabric

우수성과 - 28. (2025)	관입판 화산암의 He - Sr - Nd - Pb - O 동위원소를 통한 동북아 상부 맨틀 규모의 부화 규명 [Gondwana Research 게재]
성과 내용	○ 동북아 상부 맨틀 조성파 화산활동 기원 규명 - 제주 · 울릉 · 백두산 등 화산암의 He-Sr-Nd-Pb-O 동위원소를 통합 분석해 맨틀 조성 평가 - DMM · EM1 · EM2 및 교대작용된 SCLM(대륙 하부 맨틀)의 혼합 비와 역할을 정량화
성과의 우수성	○ 관입판 화산활동에 대한 공통 맨틀 원천 모델 제시 - 깊은 맨틀 플룸보다 “교대된 상부 맨틀(SCLM)” 이 한반도 주변 화산활동의 주된 공급원임을 제안 - 동북아 intraplate 화산의 분포와 조성을 설명하는 맨틀 규모의 풍화 · 재활용 모델을 제공
	 Remnant Cratonic SCLM - Low $^3\text{He}/^4\text{He}$ (5 - 7 Ra) - EM1 like Sr, Nd, Pb isotopes - Enriched trace elements - Including pyroxenite Enriched SCLM (EM1) - Low $^3\text{He}/^4\text{He}$ (5 - 7 Ra) - EM2 like Sr, Nd, Pb isotopes - Enriched trace elements - Including pyroxenite Enriched SCLM (EM2) - Low $^3\text{He}/^4\text{He}$ (5 - 7 Ra) - EM2 like Sr, Nd, Pb isotopes - Enriched trace elements - Including pyroxenite DMM - High $^3\text{He}/^4\text{He}$ (8 Ra) - Depleted Sr, Nd, Pb isotopes - Depleted trace elements - Mostly peridotite
증빙자료	○ 저자: 김동환, 이현우, 이미정, 박창근, Andrea Luca Rizzo ○ 논문명: Upper mantle scale enrichment of Cenozoic intraplate magmatism in Northeast Asia: He-Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the basalts around the Korean peninsula

3.5절 연구성과 증빙자료

■ 2020

성과목표	성과지표	내용
질란디아-남극 맨틀의 동편 경계 규명	해저 지형 및 지자기 자료 획득	 <호주-남극 중앙해령 동편에 위치한 대형 균열대(lightblue box) 지역에 대한 19-20 남극현장조사 당시의 shiptrack(orange line)>
	해저면 암석시료 획득	 <19-20 남극현장조사에서 획득한 자료를 바탕으로 작성된 수심 및 지자기이상 지도> <락코어를 이용하여 채취한 화산암질 글라스들 (총 8정점에서 6정점에서 시료 채취 성공)>

		 <드래지를 이용하여 채취한 화산암들>
	중양해령 주변 해저화산 지구물리 자료 분석	<중양해령 KR1 주변의 해저산맥 분포 및 지자기 분석을 통해 계산된 해저면 및 해저산의 연령>
맨틀 고유의 특성 및 기원 규명	세계 여러곳의 맨틀포획 암 획득 및 박편 제작	 <맨틀포획암 10점의 결정방향성 데이터>

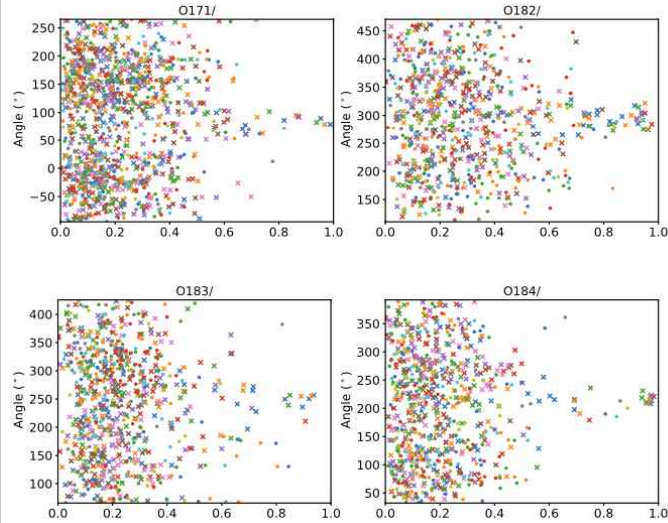
홍보	3회 이상	문화일보 14면 1단 2020.10.14. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 지구 핵이 만드는 자기장... 우주 방사성입... 1914년 獨 구텐베르크가 밝혀 철이 90% 이상... 나머지 니켈 부피는 지구 14%... 질량 30% 액체금속 상태라 자기장 생성 깊이 2900km 아래에 있는 지구의 핵이 우리  문화일보 14면 1단 2020.08.19. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 고체 상태에도 끊임없이 흐르는 맨틀대류..... 감람암, 맨틀 구성하는 알석 대류는 지구의 열 방출 과정 탄성파 탐사, 3차원 파악 가능... 소수론 세기... 이 물음이 의미가 있기 위해서는 지구의 구조에 대한  문화일보 15면 1단 2020.06.10. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 산소의 70% 만들어지는 바다는 진정한 '지'... 홍대용은 '의산문답'에서 흥미롭게도 지(地), 즉 지구를 洪(土)과 물(水)의 작용으로 이해한다. 여기서 물이 바다임은 물론이다. 홍대용에게 태양은 불(火)이었으며 만물  문화일보 15면 1단 2020.07.08. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 과학적 통찰 담은 천자문... 생명의 지구 '天'... 천자는 지구에 해당한다고 볼 수 있을 것 같다. '천지'는 하늘과 땅으로 구성돼 있다. 하늘은 어디고 땅은... 천지는 대기권을 포함하는 넓은 의미의 지구며 단순히 지  문화일보 17면 -1단 2020.05.18. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 대륙은 바다와, 해양은 중심에 가까울수록... 본래 洪을 의미하는 earth가 지구 전체를 뜻하는 개념으로 확장된 것도 이와 관련이 있을 것이다. '地球'도... 땅이라는 개념은 삶과 주변 환경에 대한 깊은 인식을 담  문화일보 17면 1단 2020.04.06. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 지구가 태양, 달이 지구를 도는 것은 압도... 달은 지구에서 계속 멀어지려 하지만 지구로 끊임없이 떨어지고 있기 때문에 지구를 돌게 된다는 것이다. 지구가 태양을 도는 이유 역시 마찬가지라 볼 수 있다. 우리  문화일보 18면 1단 2020.05.04. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 지구의 운동, 주기적이면서도 주변 천체와... 자전축 변하고 속도 느려지고 공전 궤도 찌그러짐 정도 변해 18세기 조선의 홍대용은 지구의 자전만 알고 공전은 몰랐지만 지구 중심설은 부정했다. 뉴턴의 운동  문화일보 18면 1단 2020.04.20. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> '지오이드'는 지표 전체가 물로 덮여있다 가... 8848m 산, 1만1034m 해면 최고·최저간 변이 20km 달해 지구, 해곤한 타원일 수 없어 '그래드 지구는 돈다' 화형이 무서워 종교 법원에서 자신의 신념인 지동설을 부  문화일보 16면 1단 2020.03.23. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 지구가 작다 믿었던 콜럼버스, '동방행 지름'... 지구는 동글다' 확고한 믿을 뒀던 항해술과 뚜렷한 의지 콜럼버스 신대륙 발견 가능 '인식·실천'... 당시 유럽 지식인에게 지구는 동글기 때문에 서쪽으로 항해해도  문화일보 16면 1단 2020.03.09. 네이비뉴스 <박승현의 지구문답> 동양 '천원지방' vs 서양 '지동설'... 지구에 눈... 이 코너의 제목인 '지구문답'의 전가가 된 철학 소설 '의산문답'의 저자인 담헌 홍대용 역시 하늘은 동글고 땅은 네모라는 인식에 갇혀 있던 조선 후기의 지식인이었 
<문화일보 10건 기고>		

■ 2021

성과목표	성과지표	상세내용
지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악	해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득	○ Orca 화산 지역 정밀 지형도 작성 (250km 이상)

	Home > 데이터 관리 > 승인완료 데이터 승인완료 데이터 상세 수정(새버전)복사하여 신규 데이터 등록이전으로 Multibeam data (around Orca seamount in Bransfield strait) / 2020&21 season ANA11B Since last year, the frequency of earthquakes has increased in the vicinity of Orca seamount in the Bransfield Strait. Accordingly, in order to confirm the change of the submarine topography due to the earthquake, a side line was set in the epicenter where earthquakes mainly occur and the area covering the Orca seamount, and multi-beam survey was conducted. The survey area shows a distribution of water depth of -300 to -2000m. The observation results that have been post-processed will be used as basic data to analyze geological and geophysical characteristics of the region in the future. 내 관심자료로 담기 데이터 공유 신청 2021-09-29 - 김형준
관측망 구축 및 연속 지진자료 DB	장보고 기지 관측소 및 주변 광대역 지진관측망 DB 구축 KPDC Home > 데이터 관리 > 승인완료 데이터 승인완료 데이터 상세 수정(새버전)복사하여 신규 데이터 등록이전으로 KPSN Seismic Data at Victoria Land, Antarctic 2020 To monitor the activities of Mt. Melbourne and glacier movements 내 관심자료로 담기 데이터 공유 신청 2021-09-29 - 김형준 Entry ID KPDC-KPDC0001781 DOI https://doi.org/10.22686/KOPRI.KPDC-0001781.1 Science Keyword EARTH SCIENCE > SOLID EARTH > TECTONICS > EARTHQUAKES EARTH SCIENCE > SOLID EARTH > TECTONICS > VOLCANIC ACTIVITY ISO Topic Geoscientific Information Related URL KPSN Seismic Data at Victoria Land, Antarctic 2019 KPSN Seismic Data at Victoria Land, Antarctic 2018 Platform IR 515 Land-based Platforms > SEISMOLOGICAL STATIONS
육상/해저 지진관측소 기본자료 분석	극지연구소 육상지진관측망 상시 잡음 분석 Frequency (Hz) 1010.10.01 Power [10 log₁₀(μm/sec²/Hz)] [dB] -50-70-90-110-130-150-170-190-200 Period (sec) 0.11100 KP JBG2 — HHZ 16434 PSDs : 2018-363 ~ 2019-340 HHZ HHZ HHZ Frequency (Hz) 1010.10.01 Power [10 log₁₀(μm/sec²/Hz)] [dB] -50-70-90-110-130-150-170-190-200 Period (sec) 0.11100 KP KP01 — HHZ 16498 PSDs : 2017-351 ~ 2019-330 HHZ HHZ HHZ Frequency (Hz) 1010.10.01 Power [10 log₁₀(μm/sec²/Hz)] [dB] -50-70-90-110-130-150-170-190-200 Period (sec) 0.11100 KP KDG01 — HHZ 18315 PSDs : 2018-348 ~ 2019-325 HHZ HHZ HHZ Frequency (Hz) 1010.10.01 Power [10 log₁₀(μm/sec²/Hz)] [dB] -50-70-90-110-130-150-170-190-200 Period (sec) 0.11100 KP KP05 — HHZ 15249 PSDs : 2017-352 ~ 2019-309 HHZ HHZ HHZ

해저면 지진관측소 센서 방위각 분석



암석
절대연령
측정

- 기반암 절대연령 측정 자료 (4개 시료 KPDC 등록)
- KOPRI-KPDC-00001790, -00001791, -00001792, -00001793

researcher.kopri.ac.kr/search/?q=이상봉

Home > 데이터 검색 > 검색

검색

Search Keyword is 이상봉 X Reset

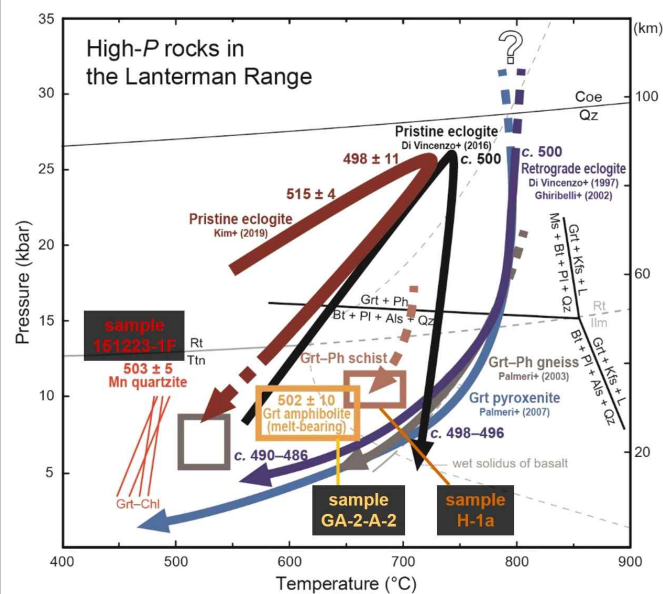
전체 16건

No.	제목	등록자	등록일
1	KOPRI-KPDC-00001793: SHRIMP zircon U-Pb age data for the Abbott alkali feldspar granite (SB17116-1) collected from the Terra Nova Bay area, no...	이상봉	2021-09-30
2	KOPRI-KPDC-00001792: SHRIMP zircon U-Pb age data for the Browning foliated leucogranite (SB17116-6C) collected from the Terra Nova Bay area, no...	이상봉	2021-09-30
3	KOPRI-KPDC-00001791: SHRIMP zircon U-Pb age data for the Browning foliated biotite granite (J-56) collected from the Terra Nova Bay area, northe...	이상봉	2021-09-30
4	KOPRI-KPDC-00001790: SHRIMP zircon U-Pb age data for the mylonitic paragneiss (SB17112-1D) collected from the Terra Nova Bay area, northern ...	이상봉	2021-09-30
5	KOPRI-KPDC-00014091: Metamorphic pressure (P)-temperature (T) condition of the Dessert Ridge amphibolite from the Mountaineer Range, north...	이상봉	2021-09-30
6	KOPRI-KPDC-00014081: SHRIMP U-Pb age data for the Mt. Murchison migmatitic gneiss (four samples) from the Mountaineer Range, northern Victo...	이상봉	2021-09-30
7	KOPRI-KPDC-00015281: SB171122-1G (rock sampling)	이상봉	2020-11-02

북빅토리아
랜드
지체구조
진화

변성암류
온도-압력
조건 계산

- 기반암 온도-압력 조건 계산 (3개 시료 KPDC 등록)



- KOPRI-KPDC-00001670

Home > 데이터 검색 > 검색

검색

검색

Search Keyword is

전체 8건

No.	제목	수	제출자	등록일
1	(KOPRI-KPDC-000014170) Metamorphic P-T conditions of garnet-bearing rocks (3 samples: 151223-10, GA-2-A-2, and H-1a)		김태환	2021-07-15
2	(KOPRI-KPDC-00001538) Crystallization age of mafic dike (494 ± 5 Ma (2σ), sample 141215-1)		김태환	2020-11-11
3	(KOPRI-KPDC-00001537) Crystallization age of deformed aplitic dike (472 ± 10 Ma (2σ), sample 141215-4)		김태환	2020-11-11
4	(KOPRI-KPDC-00001536) Metamorphic age (M1) of barroisite eclogite (515 ± 4 Ma, (1σ), sample E-1a)		김태환	2020-11-11
5	(KOPRI-KPDC-00001535) Metamorphic age (M2) of barroisite eclogite (498 ± 11 Ma, (1σ), sample E-1a)		김태환	2020-11-11
6	(KOPRI-KPDC-00001534) Metamorphic P-T conditions of garnet-phengite schist (sample H-1b)		김태환	2020-11-11
7	(KOPRI-KPDC-00001533) Crystallization age of eclogite protolith (sample E-1a)		김태환	2020-11-11
8	(KOPRI-KPDC-00001532) Crystallization age of eclogite protolith (sample E-1c)		김태환	2020-11-11

○ 암석 DB 구축 및 정보공개(20개 시료, KPDC 연계)

KOPRI Polar Rock Database

Home About Samples Links Sample Request 3D Models Map Search

Search / Rock search result

Rock search result

Sample No.	Date Collected	Region Name	Rock type	Stratigraphy	Geological age	Coordinate	Rack No
SB171127-1A	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6448, 164.047	3-3-2-1
SB171127-1B	2017-11-27	antarctica victoria land	Plutonic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6448, 164.047	3-3-2-1
SB171127-1C	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6448, 164.047	3-3-2-1
SB171127-1D	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6448, 164.047	3-3-2-1
SB171127-1E	2017-11-27	antarctica victoria land	Plutonic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6448, 164.047	3-3-2-1
SB171127-2A	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6355, 164.044	3-3-2-1
SB171127-2B	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6355, 164.044	3-3-2-2
SB171127-2C	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6355, 164.044	3-3-2-2
SB171127-2D	2017-11-27	antarctica victoria land	Plutonic	Granite Harbour Intrusives		-74.6355, 164.044	3-3-2-2
SB171127-2E	2017-11-27	antarctica victoria land	Plutonic	Granite Harbour Intrusives		-74.6355, 164.044	3-3-2-2
SB171127-3	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.6341, 164.044	3-3-2-2
SB171127-4A	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.5958, 163.839	3-3-3-1
SB171127-4B	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.5958, 163.839	3-3-3-1
SB171127-4C	2017-11-27	antarctica victoria land	Plutonic	Granite Harbour Intrusives		-74.5958, 163.839	3-3-3-1
SB171127-4D	2017-11-27	antarctica victoria land	Metamorphic	Wilson Metamorphic Complex	Cambrian	-74.5958, 163.839	3-3-3-1
SB171127-5	2017-11-27	antarctica victoria land	Plutonic	Granite Harbour Intrusives		-74.5959, 163.84	3-3-3-1
SB171130-1	2017-11-30	antarctica victoria land	Plutonic	Ferrar Volcanic Suite	Jurassic	-75.637, 159.066	3-3-3-1
J-45-1	2016-11-15	antarctica victoria land	Plutonic	Granite Harbour Intrusives	Ordovician	-74.5915, 164.195	
J-45-2	2016-11-15	antarctica victoria land	Plutonic	Granite Harbour Intrusives	Ordovician	-74.5915, 164.195	
J-58	2016-11-15	antarctica victoria land	Plutonic	Granite Harbour Intrusives	Cambrian	-74.5945, 164.122	

논문게재

mrnIF 80

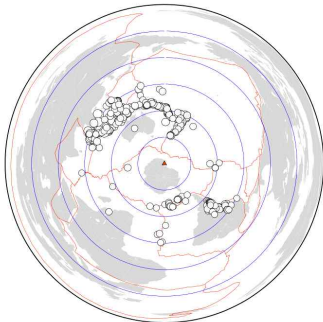
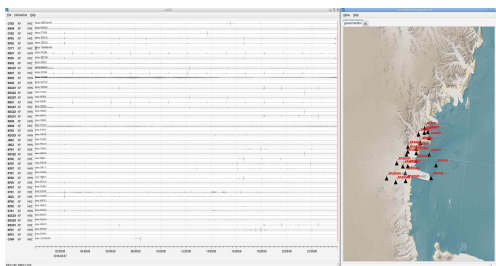
○ 저자: Obase T., Nakashima D., 최지수, Enokido Y., Matsumoto M., Nakamura T.

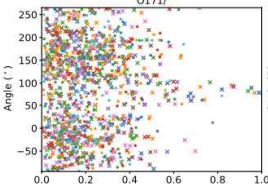
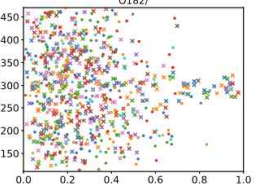
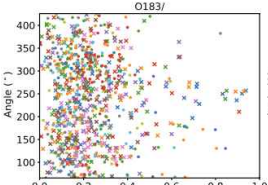
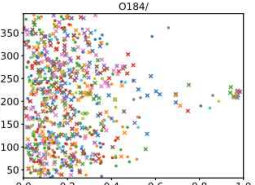
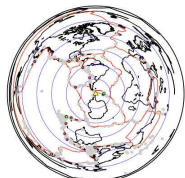
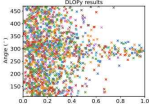
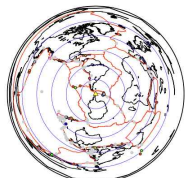
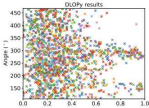
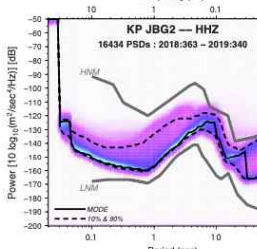
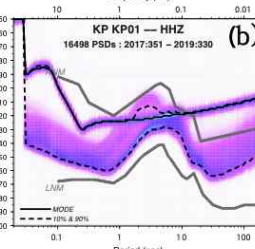
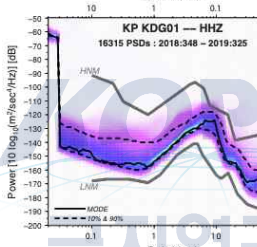
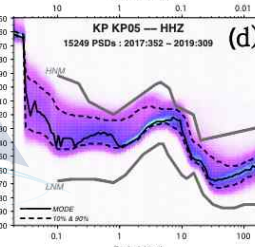
	이상	○ 논문명: Water-susceptible primordial noble gas components in less-altered CR chondrites: A possible link to cometary materials ○ 게재지: Geochimica et Cosmochimica Acta ○ 일시: 2021.11 ○ mrnIF: 90.5  Available online at www.sciencedirect.com ScienceDirect Geochimica et Cosmochimica Acta 312 (2021) 75–105 Geochimica et Cosmochimica Acta www.elsevier.com/locate/gca Water-susceptible primordial noble gas components in less-altered CR chondrites: A possible link to cometary materials Tomoya Obase^{a,b,*}, Daisuke Nakashima^a, Jisu Choi^{c,d}, Yuma Enokido^a, Megumi Matsumoto^a, Tomoki Nakamura^a ^a Division of Earth and Planetary Materials Science, Graduate School of Science, Tohoku University, Aoba, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan ^b Department of General Systems Studies, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, 3-8-1 Komaba, Meguro, Tokyo 153-0041, Japan ^c Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea ^d University of Science and Technology, 217 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34113, Republic of Korea Received 22 March 2021; accepted in revised form 11 August 2021; available online 19 August 2021 ACKNOWLEDGEMENTS We gratefully acknowledge the Meteorite Working Group (NASA) for providing the Antarctic meteorite samples (EET 92048 and MIL 090657) analyzed in this study. We thank J. M. Baek for his technical supports during noble gas analysis. We also thank R. Ogiore and two anonymous reviewers for their valuable comments and detailed reviews that helped to greatly improve this manuscript. This work was supported by JSPS KAKENHI (No. 19K14776 to MM and No. 20H00188 to TN) and Korea Polar Research Institute project (No. PE21050).
논문게제	mrnIF 80 이상	○ 저자: Chao Qi, Yong-Hong Zhao, Mark E. Zimmerman, 김대영, David L. Kohlstedt ○ 논문명: Evolution of microstructural properties in sheared iron-rich olivine ○ 게재지: Journal of Geophysical Research: Solid Earth ○ 일시: 2021.03 ○ mrnIF: 81.18  JGR Solid Earth RESEARCH ARTICLE 10.1029/2020JB019629 Evolution of Microstructural Properties in Sheared Iron-Rich Olivine Chao Qi¹, Yong-Hong Zhao², Mark E. Zimmerman³, Daeyeon Kim⁴, and David L. Kohlstedt¹ ¹Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China; ²Department of Geophysics, Peking University, Beijing, China; ³Department of Earth & Environmental Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA; ⁴Division of Polar Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, South Korea Abstract Iron-rich olivine is mechanically weaker than olivine of mantle composition, ca. Fo₉₀, and thus is more amenable to study under a wide range of laboratory conditions. To investigate the effects of iron content on deformation-produced crystallographic preferred orientation (CPO) and grain size, we analyzed the microstructures of olivine samples with compositions of Fo₉₀, Fo₈₀, and Fo₇₀ that were deformed in torsion under either anhydrous or hydrous conditions at 300 MPa. Electron backscatter diffraction (EBSD) observations reveal a transition in CPO from D-type fabric, induced by dislocation glide on both the (010)[100] and the (001)[100] slip systems, at low strains, to A-type fabric, caused by dislocation glide on the (010)[100] slip system, at high strains for all of our samples, independent of iron content and hydrous/anhydrous conditions. A similar evolution of fabric with increasing strain is also reported to occur for Fo₉₀. Radial seismic anisotropy increases with increasing strain, reaching a maximum value of ~1.15 at a shear strain of ~3.5 for each sample, demonstrating that the seismic anisotropy of naturally deformed olivine-rich rocks can be well approximated by that of iron-rich olivine. Based on EBSD observations, we derived a piezometer for which recrystallized grain size decreases inversely with stress to the ~1.2 power. Also, recrystallized grain size increases with increasing iron content. Our experimental results contribute to understanding the microstructural evolution in the mantle of not only Earth but also Mars, where the iron content in olivine is higher. 1. Introduction The rheological properties of olivine influence many geological processes on Earth and other planets in our Acknowledgments The authors thank to Lars Hansen, Zachary Michels, Amanda Dillman, Cameron Meyers and Harrison Wiesman for stimulating discussions. The authors are also grateful to Lars Hansen and Zachary Michels for sharing their codes for analyzing orientation data obtained by EBSD. Comments from Andrew Cross, Haemyeong Jung, an associate editor and two anonymous reviewers are appreciated. This research was supported by the Key Research Program of the Institute of Geology and Geophysics, CAS, grant IGGCAS-201905 (to CQ), National Key R&D Program of China grants 2018YFC1504203 and SQ2017YFSF040025 (to YHZ), KOPRI project PE21050 (to DK), and NSF grant EAR-1755805 (to DLK). EBSD analyses were done in the SEM laboratory at Korea Institute for Rare Metals (KIRAM), and in the laboratory at Beijing office of Oxford Instruments company.
논문게제	mrnIF 80	○ 저자: 이상봉, 이미정, 박승현, Keisuke Nagao, 한승희, 양윤석, 최학겸, 백종민,

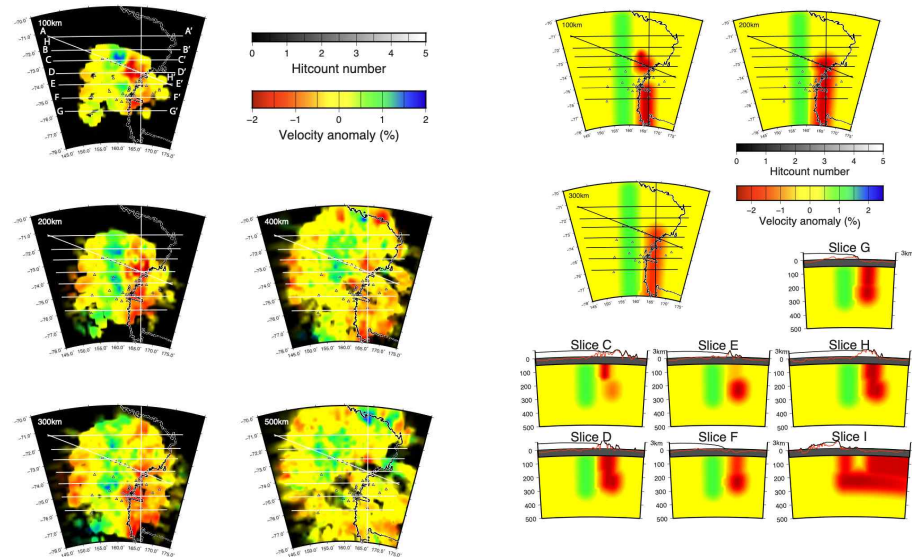
	이상	Hirochika Sumino ○ 논문명: Alkaline to tholeiitic magmatism near a mid-ocean ridge: petrogenesis of the KR1 Seamount Trail adjacent to the Australian-Antarctic Ridge ○ 게재지: International Geology Review ○ 일시: 2021.01 (*on-line: 2020.06) ○ mrnIF: 91.49 
논문게재	mrnIF 50 이상 80 미만	○ 저자: 김대영, 이상봉, 김현철, 김태환, 김태훈, 이종익 ○ 논문명: Geochemistry and geochronology of early Paleozoic intrusive rocks in the Terra Nova Bay Area, northern Victoria Land, Antarctica ○ 게재지: Minerals ○ 일시: 2021.07 ○ mrnIF: 71.43  Funding: This work was supported by the KOPRI project PE21050 and the principal Research Fund of Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (GP2021-006:21-3122).
논문게재	mrnIF 50	○ 저자: 최학겸, 김승섭, 박승현

	이상 80 미만	○ 논문명: Magnetic constraints on off-axis seamount volcanism in the easternmost segment of the Australian-Antarctic Ridge ○ 게재지: Geochemistry, Geophysics, Geosystems ○ 일시: 2021.09 ○ mrnIF: 70.59  Geochemistry, Geophysics, Geosystems RESEARCH ARTICLE 10.1029/2020GC009576 Key Points: - Off-axis seamounts in segment KR1 of the little-explored Australian-Antarctic Ridge mostly formed within 3 Myrs based on magnetic data - Simple 2-D magnetic modeling was effective for constraining the off-axis seamount formation period - Several seamounts formed later than the underlying seafloor were indicative of an extra melting supply in the KR1 region Correspondence to: S.-S. Kim, seungsep@cnu.ac.kr Citation: Choi, H., Kim, S.-S., & Park, S.-H. (2021). Magnetic constraints on off-axis seamount volcanism in the easternmost segment of the Australian-Antarctic Ridge. <i>Geochemistry, Geophysics, Geosystems</i>, 22, e2020GC009576. https://doi.org/10.1029/2020GC009576 Received 1 DEC 2020 Accepted 18 AUG 2021 Magnetic Constraints on Off-Axis Seamount Volcanism in the Easternmost Segment of the Australian-Antarctic Ridge Hakkyum Choi¹, Seung-Sep Kim², and Sung-Hyun Park¹ ¹Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea, ²Department of Geological Sciences, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea Abstract The Australian-Antarctic Ridge (AAR) is an intermediate-spreading rate system located between the Southeast Indian Ridge and Macquarie Triple Junction of the Australian-Antarctic-Pacific plates. KR1 is the easternmost and longest AAR segment and exhibits unique axial morphology and various volcanic structures. We identified three asymmetric seamount chains positioned parallel to the seafloor spreading direction, which were indicative of prevalent off-axis volcanism in the vicinity of segment KR1. Two-dimensional magnetic modeling was used to predict the magnetization polarity of the seamounts, as well as to constrain their formation time and duration. The magnetic modeling revealed that the majority of the examined seamounts were formed over a period of less than ~600 kyrs. The seamount formation primarily occurred during two distinct volcanic pulses from 0.16–1.14 to 1.58–2.69 Ma. A temporal gap of 200–650 kyrs between the formation time of the seamounts and seafloor was estimated for certain seamounts that were formed much later than their underlying seafloor and at a distance of 10–20 km from the KR1 axis. Typically, such off-axis seamount activity is related to axial mantle convection caused by excessive magma supply near the ridge crest. Considering the scale of off-axis volcanism and thickening lithosphere ~20 km away from the axis with intermediate-spreading rates, small-scale upwelling made feasible by the fertile mantle heterogeneity is proposed as the mechanism for the seamount formations at off-axis distances, and the geochemically enriched compositions of the seamounts support this alternative explanation.
논문게재	mrnIF 50 이상 80 미만	○ 저자: 최학겸, 김승섭, 박승현, 김형준 ○ 논문명: Geomorphological and spatial characteristics of underwater volcanoes in the easternmost Australian-Antarctic Ridge ○ 게재지: Remote Sensing ○ 일시: 2021.03 ○ mrnIF: 70.0  remote sensing Technical Note Geomorphological and Spatial Characteristics of Underwater Volcanoes in the Easternmost Australian-Antarctic Ridge Hakkyum Choi^{1,*}, Seung-Sep Kim², Sung-Hyun Park¹ and Hyoung Jun Kim³ ¹ Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21990, Korea; shpark314@kopri.re.kr ² Department of Geological Sciences, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea; seungsep@cnu.ac.kr ³ Office of Technology Development and Service, Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21990, Korea; jun7100@kopri.re.kr * Correspondence: hkchoi@kopri.re.kr Abstract: Underwater volcanoes and their linear distribution on the flanks of mid-ocean ridges are common submarine topographic structures at intermediate- and fast-spreading systems, where sufficient melt supplies are often available. Such magma sources beneath the seafloor located within a few kilometers of the corresponding ridge-axis tend to concentrate toward the axis during the upwelling process and contribute to seafloor formation. As a result, seamounts on the flanks of the ridge axis are formed at a distance from the spreading axis and distributed asymmetrically about the axis. In this study, we examined three linearly aligned seamount chains on the flanks of the KR1 ridge, which is the easternmost and longest Australian-Antarctic Ridge (AAR) segment. The AAR is an intermediate-spreading rate system located between the Southeast Indian Ridge and Macquarie Triple Junction of the Australian-Antarctic-Pacific plates. By inspecting the high-resolution shipboard multi-beam bathymetric data newly acquired in the study area, we detected 20 individual seamounts. The volcanic lineament runs parallel to the spreading direction of the KR1 segment. The geomorphologic parameters of height, basal area, volume, and summit types of the identified seamounts were individually measured. We also investigated the spatial distribution of the seamounts along the KR1 segment, which exhibits large variations in axial morphology with depth along the ridge axis. Based on the geomorphology and spatial distribution, all the KR1 seamounts can be divided into two groups: the subset seamounts of volcanic chains distributed along the KR1 Citation: Choi, H.; Kim, S.-S.; Park, S.-H.; Kim, H.J. Geomorphological and Spatial Characteristics of Underwater Volcanoes in the Easternmost Australian-Antarctic Ridge. <i>Remote Sens.</i> 2021, <i>13</i>, 997. https://doi.org/10.3390/rs13050997
논문게재		○ 저자: 최학겸, 김승섭, 박승현

		○ 논문명: Tectonic constraints on formation and evolution of microplates in the Indian and Pacific Oceans: reviews and statistical inferences ○ 게재지: Geosciences Journal ○ 일시: 2021.03 ○ mrnIF: 34.5 Article https://doi.org/10.1007/s12303-021-0005-7 pISSN 1226-4806 eISSN 1598-7477 Geosciences Journal GJ Tectonic constraints on formation and evolution of microplates in the Indian and Pacific Oceans: reviews and statistical inferences Hakkyum Choi¹, Seung-Sep Kim^{2*}, and Sung-Hyun Park¹ ¹Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea ²Department of Geological Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea ABSTRACT: Oceanic plates are growing through narrow boundaries, such as mid-ocean ridges and transform faults. However, the discovery of diffuse plate boundary suggests another type of plate boundary that accommodates difference in plate motion via internal deformation. Along the Central and Southeast Indian ridges, for example, the Capricorn and Macquarie microplates exhibit wide-spread diffuse boundaries and hence divide the Indo-Australian Plate further into the Indian, Australian, Capricorn, and Macquarie plates. As for microplates distributed along the East Pacific Rise and Pacific-Antarctic Ridge in the Pacific Ocean, however, the typical plate boundaries surrounding the given microplate are distinctly established. Global plate reorganization involving the changes in plate motion or in spreading direction can be accommodated by forming a microplate through ridge extinction, ridge propagation, and pseudofault formation. However, relations between these tectonic processes have not been quantitatively assessed. In particular, we aim to examine tectonic constraints on the formation processes of microplates with diffuse plate boundary. In this study, we compare plate size, plate age, full-spreading rates, thermal structures, total rotation, and rotation rate for the 9 microplates including extinct plates (i.e., Capricorn, Macquarie, and Mammerrickx* microplates in the Indian and Southern Oceans; Galapagos, Easter, Juan Fernandez, Bauer*, Friday*, and Sellkirk* microplates in the Pacific Ocean; extinct plates are denoted with asterisks). From this comparison, we find that the microplate formation would require certain tectonic conditions (e.g., full-spreading rates faster than 70–80 mm/yr and rotation rates faster than 5–6°/m.y.) to evolve into an independent and rigid plate with respect to the neighboring plates. If the conditions are not met, the same tectonic reorganization would result in a microplate with diffuse plate boundaries. Key words: microplate, ridge propagation, diffuse plate boundary, plate reorganization Manuscript received January 27, 2021; Manuscript accepted February 16, 2021
논문게재		○ 저자: 김낙균, 이미정, 이종익, 김지혁 ○ 논문명: Oxygen isotope record of magmatic evolution of alkaline volcanic rocks at the Pleiades, northern Victoria Land, Antarctica ○ 게재지: Geosciences Journal ○ 일시: 2021.03 ○ mrnIF: 34.5 Article https://doi.org/10.1007/s12303-021-0002-x pISSN 1226-4806 eISSN 1598-7477 Geosciences Journal GJ Oxygen isotope record of magmatic evolution of alkaline volcanic rocks at The Pleiades, northern Victoria Land, Antarctica Nak Kyu Kim^{1*}, Mi Jung Lee¹, Jong Ik Lee¹, and Jihyuk Kim² ¹Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea ²School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea ABSTRACT: Oxygen isotopes are used to examine the well-documented magmatic evolution of alkaline volcanic rocks at The Pleiades in northern Victoria Land (NVL), Antarctica. Oxygen isotopes were measured in olivine, clinopyroxene, and plagioclase phenocrysts to better understand the origin and evolution of the sodic and potassic differentiation lineages. The volcanic rocks at The Pleiades evolved from a parental basanite by fractional crystallization in crustal magma chambers. Olivine which crystallizes first in the mafic magmas provides the initial oxygen isotope composition of the magmatic lineages. The $\delta^{18}\text{O}_{\text{Ol}}$ values for the mafic lavas in the sodic lineage are lower than the potassic lineage. The primary melt derived from the metasomatized lithospheric mantle may have consumed a low-$\delta^{18}\text{O}$ amphibole metasome. Subsequently, the melt would have evolved to the normal-$\delta^{18}\text{O}$ potassic lineage magma by a large contribution from surrounding peridotite. In contrast, the sodic lineage magma might preserve low-$\delta^{18}\text{O}$ characteristics because of insufficient reaction with the surrounding mantle peridotite. Intermediate rocks of the potassic lineage exhibit a wide variation in their oxygen isotope compositions and it deviates from the theoretical normal-$\delta^{18}\text{O}$ trend. Hence, variable $\delta^{18}\text{O}_{\text{Ol}}$ values of the intermediate rocks suggest that high-$\delta^{18}\text{O}$ recorded in olivine could be reconciled with an assimilation of crustal rocks in NVL, and hydrothermally altered material may have contributed to low-$\delta^{18}\text{O}$ signature of the olivines. Key words: The Pleiades volcanic complex, McMurdo Volcanic Group, Antarctica, oxygen isotope, AFC process Manuscript received July 24, 2020; Manuscript accepted January 14, 2021

성과목표	성과지표	내용
지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악	3차원 속도 모델링을 위한 지진자료 원격지진파 형 및 목록 DB 구축	 
	해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득	○ Orca 화산 지역 정밀 지형도 작성 (647km) Home > 데이터 관리 > 승인완료 데이터 승인완료 데이터 상세 수정(새버전) 복사하여 신규 데이터 등록 이전으로 Multibeam data (around Orca seamount in Bransfield strait) / 2020&21 season ANA11B Since last year, the frequency of earthquakes has increased in the vicinity of Orca seamount in the Bransfield Strait. Accordingly, in order to confirm the change of the submarine topography due to the earthquake, a side line was set in the epicenter where earthquakes mainly occur and the area covering the Orca seamount, and multi-beam survey was conducted. The survey area shows a distribution of water depth of -300 to -2000m. The observation results that have been post-processed will be used as basic data to analyze geological and geophysical characteristics of the region in the future. 내 관심자료로 담기 담기 데이터 공유 신청 신청 2021-09-29 - 김형준
	관측망 구축 및 연속 지진자료 DB	○ 장보고 기지 관측소 및 주변 광대역 지진관측망 DB 구축 KPDC Home > 데이터 관리 > 승인완료 데이터 승인완료 데이터 상세 수정(새버전) 복사하여 신규 데이터 등록 이전으로 KPSN Seismic Data at Victoria Land, Antarctic 2020 To monitor the activities of Mt. Melbourne and glacier movements 내 관심자료로 담기 담기 데이터 공유 신청 신청 2021-09-29 - 김형준 Entry ID KCPFI-KPDC-00001781 DOI https://dx.doi.org/10.22693/KCPFI-KPDC-00001781 Science Keyword EARTH SCIENCE > SOLID EARTH > TECTONICS > EARTHQUAKES EARTH SCIENCE > SOLID EARTH > TECTONICS > VOLCANIC ACTIVITY ISO Topic Geoscientific Information Related URL KPSN Seismic Data at Victoria Land, Antarctic 2019 KPSN Seismic Data at Victoria Land, Antarctic 2018 Platform On Site Land-based Platforms > SEISMOLOGICAL STATIONS ○ 관측망 구축 - 세종기지 해저면 지진관측망 설치 (5곳) - Polar 3지역 육상 지진관측소 설치 (5곳)
	육상/해저 지진관측소 기본자료 분석	○ 자료 회수후에 센서 방향 방위각 형태로 보정 후 정보 DB화 ○ 관측소별 년단위로 배경잡음을 분석한 Power spectrum density 그림 표출

		O171/  O182/  O183/  O184/   Station KO02/ D-L mean, error, data included, unique events: 289.85, 9.23, 46, 22 D-L CC level: 0.800000   Station KO03/ D-L mean, error, data included, unique events: 287.27, 5.79, 74, 27 D-L CC level: 0.800000  Frequency (Hz) 10 1 0.1 0.01 Power [10 log₁₀(m²/sec²/Hz)] [dB]  KP JBG2 — HHZ 16434 PSDs : 2018:363 ~ 2019:340 (a) Frequency (Hz) 10 1 0.1 0.01 Power [10 log₁₀(m²/sec²/Hz)] [dB]  KP KP01 — HHZ 16498 PSDs : 2017:351 ~ 2019:330 (b) Frequency (Hz) 10 1 0.1 0.01 Power [10 log₁₀(m²/sec²/Hz)] [dB]  KP KDG01 — HHZ 16315 PSDs : 2018:348 ~ 2019:325 (c) Frequency (Hz) 10 1 0.1 0.01 Power [10 log₁₀(m²/sec²/Hz)] [dB]  KP KP05 — HHZ 15249 PSDs : 2017:352 ~ 2019:309 (d) 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원 화산암류 지화학 분석 KPDC Korea Polar Data Center NEWS BROWSE MY INFO Q Search 검색 데이터 검색 데이터 관리 승인완료 데이터 승인요청 데이터 임시저장 데이터 Home > 데이터 관리 > 승인완료 데이터 승인완료 데이터 목록 검색 Q 전체 3건 <table><tr><th>No.</th><th></th></tr><tr><td>3</td><td>[KOPRI-KPDC-00001849] Sr-Nd-Pb-Hf isotope data of volcanic rocks from Mt. Melbourne volcanic field</td></tr><tr><td>2</td><td>[KOPRI-KPDC-00001577] Sr-Nd-Pb-Hf isotope data of volcanic rocks from Mt. Melbourne summit area</td></tr><tr><td>1</td><td>[KOPRI-KPDC-00000732] Quaternary volcanic and and mantle xenolith specimens in Sverrefjell, NW Spitsbergen, 2</td></tr></table> 북빅토리아 랜드 지체구조 진화 판 구조적 속도구조/ 지자기연대 모델링 ○ 3차원 속도 모델링과 해상도 테스트 각1건	No.		3	[KOPRI-KPDC-00001849] Sr-Nd-Pb-Hf isotope data of volcanic rocks from Mt. Melbourne volcanic field	2	[KOPRI-KPDC-00001577] Sr-Nd-Pb-Hf isotope data of volcanic rocks from Mt. Melbourne summit area	1	[KOPRI-KPDC-00000732] Quaternary volcanic and and mantle xenolith specimens in Sverrefjell, NW Spitsbergen, 2
No.										
3	[KOPRI-KPDC-00001849] Sr-Nd-Pb-Hf isotope data of volcanic rocks from Mt. Melbourne volcanic field									
2	[KOPRI-KPDC-00001577] Sr-Nd-Pb-Hf isotope data of volcanic rocks from Mt. Melbourne summit area									
1	[KOPRI-KPDC-00000732] Quaternary volcanic and and mantle xenolith specimens in Sverrefjell, NW Spitsbergen, 2									



- 기반암 절대연령 측정 자료 (14개 시료 KPDC 등록)
 - KOPRI-KPDC-00001496, -00001552~1553, -00001555~1558, -00001790~1793, -00001994, -00001997

researcher.kopri.re.kr/search?eq=이상봉

Home > 데이터 검색 > 검색

검색

Search Keyword is 이상봉 X Reset

전체 16건

No.	제목	수	제출자	등록일
1	[KOPRI-KPDC-00001793] SHRIMP zircon U-Pb age data for the Abbott alkali feldspar granite (SB171116-1) collected from the Terra Nova Bay area, no...		이상봉	2021-09-30
2	[KOPRI-KPDC-00001792] SHRIMP zircon U-Pb age data for the Browning foliated leucogranite (SB171116-6C) collected from the Terra Nova Bay area, no...		이상봉	2021-09-30
3	[KOPRI-KPDC-00001791] SHRIMP zircon U-Pb age data for the Browning foliated biotite granite (J-58) collected from the Terra Nova Bay area, northe...		이상봉	2021-09-30
4	[KOPRI-KPDC-00001790] SHRIMP zircon U-Pb age data for the mylonitic paragneiss (SB171122-1D) collected from the Terra Nova Bay area, northern ...		이상봉	2021-09-30
5	[KOPRI-KPDC-00001495] Metamorphic pressure (P)-Temperature (T) condition of the Dessert Ridge amphibolite from the Mountaineer Range, north...		이상봉	2021-09-30
6	[KOPRI-KPDC-00001494] SHRIMP U-Pb age data for the Mt. Murchison migmatitic gneiss (four samples) from the Mountaineer Range, northern Victo...		이상봉	2021-09-30
7	[KOPRI-KPDC-00001528] SB171122-1G (rock sampling)		이상봉	2020-11-02

전체 8건

No.	제목	수	제출자	등록일
1	[KOPRI-KPDC-00001556] Metamorphic age (M1) of barroisite eclogite (515 ± 4 Ma, (to), sample E-1a)		김태환	2021-10-08
2	[KOPRI-KPDC-00001555] Metamorphic age (M2) of barroisite eclogite (498 ± 11 Ma, (to), sample E-1a)		김태환	2021-10-08
3	[KOPRI-KPDC-00001670] Metamorphic P-T conditions of garnet-bearing rocks (3 samples; 151223-1F, GA-2-A-2, and H-1a)		김태환	2021-07-15
4	[KOPRI-KPDC-00001558] Crystallization age of mafic dike (494 ± 5 Ma (2σ), sample 141215-1)		김태환	2020-11-11
5	[KOPRI-KPDC-00001557] Crystallization age of deformed aplitic dike (472 ± 10 Ma (2σ), sample 141215-4)		김태환	2020-11-11
6	[KOPRI-KPDC-00001554] Metamorphic P-T conditions of garnet-phengite schist (sample H-1b)		김태환	2020-11-11
7	[KOPRI-KPDC-00001553] Crystallization age of eclogite protolith (sample E-1a)		김태환	2020-11-11
8	[KOPRI-KPDC-00001552] Crystallization age of eclogite protolith (sample E-1c)		김태환	2020-11-11

1

암석
절대연령
측정

논문게재		JGR Solid Earth RESEARCH ARTICLE 10.1029/2020JB019629 Key Points: - The weakest slip system does not change with Fe content, such that CPO development is similar for Fe-rich and Fe-poor olivine - Seismic anisotropy due to the formation of CPOs in natural olivine aggregates can be modeled using CPOs obtained from iron-rich olivine - Recrystallized grain size at a given normalized stress increases with increasing Fe content Supporting Information: - Supporting Information S1 Correspondence to: Y. Zhao, zhaoyh@jgknu.edu.cn Citation: Qi, C., Zhao, Y.-H., Zimmerman, M. E., Kim, D., & Kohlstedt, D. L. (2021). Evolution of microstructural properties in sheared iron-rich olivine. <i>Journal of Geophysical Research: Solid Earth</i>, 126, e2020JB019629. https://doi.org/10.1029/2020JB019629 Evolution of Microstructural Properties in Sheared Iron-Rich Olivine Chao Qi¹, Yong-Hong Zhao², Mark E. Zimmerman³, Daeyeong Kim⁴, and David L. Kohlstedt¹ ¹Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, ²Department of Geophysics, Peking University, Beijing, China, ³Department of Earth & Environmental Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA, ⁴Division of Polar Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, South Korea Abstract Iron-rich olivine is mechanically weaker than olivine of mantle composition, ca. Fo_{90}, and thus is more amenable to study under a wide range of laboratory conditions. To investigate the effects of iron content on deformation-produced crystallographic preferred orientation (CPO) and grain size, we analyzed the microstructures of olivine samples with compositions of Fo_{90}, Fo_{80}, and Fo_0 that were deformed in torsion under either anhydrous or hydrous conditions at 300 MPa. Electron backscatter diffraction (EBSD) observations reveal a transition in CPO from D-type fabric, induced by dislocation glide on both the (010)[100] and the (001)[100] slip systems, at low strains, to A-type fabric, caused by dislocation glide on the (010)[100] slip system, at high strains for all of our samples, independent of iron content and hydrous/anhydrous conditions. A similar evolution of fabric with increasing strain is also reported to occur for Fo_{90}. Radial seismic anisotropy increases with increasing strain, reaching a maximum value of ~ 1.15 at a shear strain of ~ 3.5 for each sample, demonstrating that the seismic anisotropy of naturally deformed olivine-rich rocks can be well approximated by that of iron-rich olivine. Based on EBSD observations, we derived a piezometer for which recrystallized grain size decreases inversely with stress to the ~ 1.2 power. Also, recrystallized grain size increases with increasing iron content. Our experimental results contribute to understanding the microstructural evolution in the mantle of not only Earth but also Mars, where the iron content in olivine is higher. Acknowledgments The authors thank to Lars Hansen, Zachary Michels, Amanda Dillman, Cameron Meyers and Harison Wiesman for stimulating discussions. The authors are also grateful to Lars Hansen and Zachary Michels for sharing their codes for analyzing orientation data obtained by EBSD. Comments from Andrew Cross, Haemyeong Jung, an associate editor and two anonymous reviewers are appreciated. This research was supported by the Key Research Program of the Institute of Geology and Geophysics, CAS, grant IGGCAS-201905 (to CQ), National Key R&D Program of China grants 2018YFC1504203 and SQ2017YFSF040025 (to YHZ), KOPRI project PE21050 (to YHZ), and NSF grant EAR-1755805 (to DLK). EBSD analyses were done in the SEM laboratory at Korea Institute for Rare Metals (KIRAM), and in the laboratory at Beijing office of Oxford Instruments company.
논문게재		 Contents lists available at ScienceDirect Journal of Structural Geology journal homepage: http://www.elsevier.com/locate/jsg Upper mantle seismic anisotropy beneath the Northern Transantarctic Mountains inferred from peridotite xenoliths near Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica Daeyeong Kim^{a,*}, Munjae Park^b, Yongcheol Park^a, Chao Qi^c, Hwayoung Kim^a, Mi Jung Lee^a, Katsuyoshi Michibayashi^d ^a Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Republic of Korea ^b Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Republic of Korea ^c Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China ^d Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan ARTICLE INFO Keywords: Mantle xenolith Mt. Melbourne Seismic anisotropy Olivine Crystallographic preferred orientation Electron backscatter diffraction ABSTRACT Microstructural investigations of mantle xenoliths from the Mt. Melbourne area were undertaken to reveal the origin of S-wave splitting beneath northern Victoria Land, Antarctica. The six analyzed peridotites contain various deformation features. The rotated olivine maxima of [100] and [010] into horizontal and vertical orientations, respectively, are classified into five samples with a D-type crystallographic preferred orientation (CPO) and one sample as an A-type CPO. The D-type olivine fabric can be explained by multiple slip systems of {0kl} [100] at low-temperature and high-stress conditions; therefore, both compressional and extensional regimes during subduction and rifting, respectively, could be applied in this study. With an assumption that olivine a-axes are aligned along the direction of mantle flow to form maximum S-wave splitting, the observed delay time of 0.9–1.3 s beneath northern Victoria Land can be partially explained by the anisotropy in the mantle peridotites. The remaining seismic anisotropy can be explained by the presence of melt pockets trapped along tectonic faults that developed perpendicular to the fast S-wave splitting direction. This study therefore demonstrates that the NE–SW-trending S-wave splitting beneath northern Victoria Land, Antarctica, results from the existence of both mantle peridotites as well as melt pockets trapped along the tectonic faults. Acknowledgments The authors appreciate the technical support of Kyungtae Park and Heymi Cho for EBSD analyses. This research was supported by the Korea Polar Research Institute (KOPRI), Republic of Korea projects PE20210. The earlier version of the manuscript has been greatly improved by fruitful comments of an anonymous reviewer and Vasileios Chatzaras, and the considerate editorial work by Toru Takeshita.

논문게재	mrnIF 50 이상 80 미만	  Article Geochemistry and Geochronology of Early Paleozoic Intrusive Rocks in the Terra Nova Bay Area, Northern Victoria Land, Antarctica Daeyeong Kim ¹, Sang-Bong Yi ^{1,*}, Hyeoncheol Kim ², Taehwan Kim ¹, Taehoon Kim ³ and Jong Ik Lee ¹ ¹ Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Korea; dskim@kopri.re.kr (D.K.); taehwan.kim@kopri.re.kr (T.K.); jilee@kopri.re.kr (J.I.L.) ² Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea; hckim@kigam.re.kr ³ Geoscience Platform Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea; tkim@kigam.re.kr * Correspondence: handjive@kopri.re.kr Abstract: The Terra Nova Intrusive Complex (TNIC) in northern Victoria Land, Antarctica, results from widespread magmatism during the Early Paleozoic Ross Orogeny. According to field relationships, geochemistry, and geochronology data, the northern part of the TNIC comprises the Browning Intrusive Unit (BIU), which is associated with an arc crustal melting including migmatization of the Wilson Metamorphic Complex, and the later Campbell Intrusive Unit (CIU), which is attributed to the mantle and crustal melting processes. Zircon U-Pb ages suggest Late Neoproterozoic to Early Cambrian protolith with Late Cambrian metamorphism (502 ± 15 Ma) in the WMC, Late Cambrian formation (~500 Ma) of the BIU, and Early Ordovician formation (~480–470 Ma) of the CIU. Sr-Nd isotopic characteristics of the BIU indicate predominant crustal component ($\epsilon_{\text{Nd}(t)} = -8.7$ to -8.9), whereas those of the CIU reflect both mantle ($\epsilon_{\text{Nd}(t)} = 1.8$ to 1.6) and crustal ($\epsilon_{\text{Nd}(t)} = -4.0$ to -7.5) compositions. These results suggest that the northern TNIC magmatism occurring at ~500–470 Ma originated from partial melting of the mantle-mafic crust components and mixing with felsic crust components. By integrating the results with previous studies, the TNIC is considered to be formed by a combination of the mantle and mafic crust melting, crustal assimilation, felsic crust melting, and magma mixing during the Ross Orogeny. Citation: Kim, D.; Yi, S.-B.; Kim, H.; Kim, T.; Kim, T.; Lee, J.I. Geochemistry and Geochronology of Early Paleozoic Intrusive Rocks in the Terra Nova Bay Area, Northern Victoria Land, Antarctica. <i>Minerals</i> 2021, <i>11</i>, 787. https://doi.org/10.3390/min11070787 Academic Editors: Hans-Jürgen Förster and Sven Fuchs Received: 24 June 2021 Keywords: Ross Orogeny; Terra Nova Intrusive Complex (TNIC); northern Victoria Land (NVL); zircon U-Pb age; Sr-Nd isotopes Funding: This work was supported by the KOPRI project PE21050 and the principal Research Fund of Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (GP2021-006:21-3122).
논문게재	mrnIF 80 이상	 ○ 저자: Han J., 박창근, Brearley A. ○ 논문명: A record of low-temperature asteroidal processes of amoeboid olivine aggregates from the Kainsaz CO3.2 chondrite ○ 게재지: Geochimica et Cosmochimica Acta ○ 일시: 2022.4.1 ○ mrnIF: 90.8  ELSEVIER  Available online at www.sciencedirect.com ScienceDirect <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> 322 (2022) 109–128 Geochimica et Cosmochimica Acta www.elsevier.com/locate/geo A record of low-temperature asteroidal processes of amoeboid olivine aggregates from the Kainsaz CO3.2 chondrite Jangmi Han ^{a,b,c,*}, Changkun Park ^d, Adrian J. Brearley ^a ^a Department of Earth and Planetary Sciences, University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131, USA ^b Lunar and Planetary Institute, USRA, 3600 Bay Area Boulevard, Houston, TX 77058, USA ^c Astromaterials Research and Exploration Science, NASA Johnson Space Center, 2101 NASA Parkway, Houston, TX 77058, USA ^d Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21990, South Korea Received 25 August 2021; accepted in revised form 4 February 2022; Available online 12 February 2022 ACKNOWLEDGEMENTS This work was supported by NASA grants EW14-2-122 (JH) and NNX15AD28G (AJB); and KOPRI grant PE22050 (CP).

논문게재	mrnIF 50 이상 80 미만	○ 저자: Hayashi H., Mikouchi T., 김낙규, 박창근, Sano Y., Takenouchi A., Yamaguchi A., Kagi H., Bizzarro M. ○ 논문명: Unique igneous textures and shock metamorphism of the Northwest Africa 7203 angrite and its implication for the crystallization process and evolutionary history of the angrite parent body ○ 게재지: Meteoritics & Planetary Science ○ 일시: 2022.1.15 ○ mrnIF: 51.7 Meteoritics & Planetary Science 57, Nr 1, 105–121 (2022) doi: 10.1111/maps.13776 Unique igneous textures and shock metamorphism of the Northwest Africa 7203 angrite: Implications for crystallization processes and the evolutionary history of the angrite parent body Hideyuki HAYASHI ^{*1}, Takashi MIKOUCHI ², Nak Kyu KIM³, Changkun PARK³, Yuji SANO^{4,5}, Atsushi TAKENOUCHI ^{6,7}, Akira YAMAGUCHI ⁶, Hiroyuki KAGI⁸, and Martin RIZZARRO⁹ AB 31 1022 and AB 03 1004), and the KOPRI project (PE21050). M.B. acknowledges funding from the Carlsberg Foundation (CF18 1105) and the European Research Council (ERC Advanced Grant 833275-DEEPTIME). Detailed reviews by Drs. A. Zhang, S. McKibbin, and D. W. Mittlefehldt and editorial comments by Dr. C. A. Goodrich are gratefully acknowledged.
논문게재	mrnIF 50 이상 80 미만	○ 저자: 김지혁*, 박정우, 이미정, 임성환, 오창환 ○ 논문명: Petrogenesis of the Yeonhwa ultrapotassic intrusions in the Yeongnam Massif—Evidence for enrichment of the Triassic continental lithospheric mantle beneath the Korean peninsula ○ 게재지: Lithos ○ 일시: 2022.5.18 ○ mrnIF: 79.3 Petrogenesis of the Yeonhwa ultrapotassic intrusions in the Yeongnam Massif—Evidence for enrichment of the Triassic continental lithospheric mantle beneath the Korean peninsula Jihyuk Kim ^{*,1}, Jung-Woo Park ², Mi Jung Lee³, Sunghwan Im ³, Chang Whan Oh ³ ¹ School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 00526, Republic of Korea ² Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute (KOPRI), Incheon 406-740, Republic of Korea ³ Department of Earth and Environmental Science and The Earth and Environmental Science System Research Center, Chonbuk National University, Jeonju 54096, Republic of Korea Acknowledgement We are grateful to Seon-Gyu Choi for sharing a YUI sample so that we could initiate this research; and also to Sungjun Choi and Gyujeong Park who helped further sample collection. We acknowledge Kyeewook Yi and Shinae Lee for their assistance with the SHRIMP-He analyses in KRSI and detailed discussion on the uncorrected data interpretation. We also acknowledge Jeongmin Kim (KRSI) and Matthew T. Heizler (NMGRIL) for the mineral ⁴⁰Ar/³⁹Ar age determination. Also, we thank Mison Yi and Seol Ji Kim (NGIRF) for XRF and EPMA analyses, respectively. Sun Ki Choi (KIOST) is thanked for his assistance with the LA-ICP-MS analyses; and Seunghye Han, Seung-Ah Ha, and Jongmin Baek for their help in analyzing the Sr-Nd-Pb isotopic ratios using the TIMS facilities in KOPRI. We are also grateful to Yoonsup Kim and Albert Chang-ahk Cheong for their helpful comments on the tectonic environment of the Triassic Korean peninsula. We also thank John Greenough and Lukáš Krnec for their detail comments. This work was funded by the National Research Foundation of Korea (NRF-2017K1A1A201380) and KOPRI (PE22050).
논문게재	mrnIF 50 이상 80 미만	○ 저자: 김태환, 김윤섭*, 정원석, 조문섭, 이종익 ○ 논문명: Ediacaran mafic magmatism recorded in Cambrian eclogites of the Ross orogen, Antarctica: Implications for the Neoproterozoic rifting episodes along the Pacific-Gondwana margin ○ 게재지: Terra Nova ○ 일시: 2022.10.11. (승인)

		○ mrnIF: 57.3 22. 10. 11. 오후 5:12 메일 - taehwan.kim@kopri.re.kr TER-2022-0064.R2 - Accepted for publication in Terra Nova Terra Nova <onbehalf@manuscriptcentral.com> 2022-10-11 (화) 오후 4:51 받는 사람: yoonsup@cbnu.ac.kr <yoonsup@cbnu.ac.kr>; 원 yoonsup@cbnu.ac.kr <yoonsup@cbnu.ac.kr>; 김태환 지권연구본부 <taehwan.kim@kopri.re.kr>; metasedi@gmail.com <metasedi@gmail.com>; moonsup@snu.ac.kr <moonsup@snu.ac.kr>; 이종익 지권연구본부 <jilee@kopri.re.kr>; 첨부 파일 1개(34KB) Attached standard file: * Acceptance-notes.pdf; Dear Dr Kim Taehwan TER-2022-0064.R2 - Ediacaran mafic magmatism recorded in Cambrian eclogites of the Ross orogen, Antarctica: Implications for the Neoproterozoic rifting episodes along the Pacific-Gondwana margin I am pleased to inform you that your article is now acceptable for publication in Terra Nova.
논문게재	mrnIF 50 미만	○ 저자: Kim J. 박창근, Yi K., Lee S., Kim S., Jung M., Cheong C. ○ 논문명: COM-1 and Hongcheon: New monazite reference materials for the microspot analysis of oxygen isotopic composition ○ 게재지: Journal of Analytical Science and Technology ○ 일시: in print ○ mrnIF: 44.2
논문게재	계정 없음	 ○ 저자: Yokoyama T., Nagashima K., <u>The Hayabusa2-initial-analysis chemistry team(박창근)</u>, The Hayabusa2-project team, The Hayabusa2-curation team, Tachibana S., Yurimoto H. ○ 논문명: Samples returned from the asteroid Ryugu are similar to Ivuna-type carbonaceous meteorites (https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.abn7850) ○ 게재지: Science ○ 일시: in print ○ mrnIF: NSC

		Science RESEARCH ARTICLES Cite as: T. Yokoyama <i>et al.</i>, <i>Science</i> 10.1126/science.abn7850 (2022). Samples returned from the asteroid Ryugu are similar to Ivuna-type carbonaceous meteorites Tetsuya Yokoyama^{1,†}, Kazuhide Nagashima^{2,†}, Izumi Nakai³, Edward D. Young⁴, Yoshinari Abe⁵, Jérôme Aléon⁶, Conel M. O'D. Alexander⁷, Sachiko Amarfi⁸, Yuri Amelin⁹, Ken-ichi Bajo¹⁰, Martin Bizzarro¹¹, Audrey Bouvier¹², Richard W. Carlson¹³, Marc Chaussidon¹⁴, Byeon-Gak Choi¹⁵, Nicolas Dauphas¹⁶, Andrew M. Davis¹⁷, Tommaso Di Rocco¹⁸, Wataru Fujiya¹⁹, Ryota Fukai²⁰, Ikshu Gautam²¹, Makiko K. Haba²², Yuki Hibiya²³, Hiroshi Hidaka²⁴, Hisashi Homma²⁵, Peter Hoppe²⁶, Gary R. Huss²⁷, Kiyohiro Ichida²⁸, Tsuyoshi Izuka²⁹, Trevor R. Ireland³⁰, Akira Ishikawa³¹, Motoo Ito³², Shoichi Itoh³³, Noriyuki Kawasaki³⁴, Noriko T. Kita³⁵, O'Konki Kitajima³⁶, Thorsten Kleine³⁷, Shintaro Komatani³⁸, Alexander N. Krot³⁹, Ming-Chang Liu⁴⁰, Yuki Masuda⁴¹, Kevin D. McKeegan⁴², Mayu Morita⁴³, Kazuko Motomura⁴⁴, Frédéric Moynier⁴⁵, Ann Nguyen⁴⁶, Larry Nittler⁴⁷, Morihiko Onose⁴⁸, Andreas Pack⁴⁹, Changkun Park⁵⁰, Laurette Piani⁵¹, Liping Qin⁵², Sara S. Russell⁵³, Naoya Sakamoto⁵⁴, Maria Schönbehler⁵⁵, Lauren Taffa⁵⁶, Haolan Tang⁵⁷, Kentaro Terada⁵⁸, Yasuko Terada⁵⁹, Tomohiro Usui⁶⁰, Sohei Wada⁶¹, Meenakshi Wadhwa⁶², Richard J. Walker⁶³, Katsuyuki Yamashita⁶⁴, Qing-Zhu Yin⁶⁵, Shigekazu Yoneda⁶⁶, Hiroharu Yui⁶⁷, Ai-Cheng Zhang⁶⁸, Harold C. Connolly Jr.⁶⁹, Dante S. Lauretta⁷⁰, Tomoki Nakamura⁷¹, Hiroshi Naraoka⁷², Takaaki Noguchi⁷³, Ryuji Okazaki⁷⁴, Kanako Sakamoto⁷⁵, Hikaru Yabuta⁷⁶, Masanao Abe⁷⁷, Masahiko Arakawa⁷⁸, Atsushi Fujii⁷⁹, Masahiko Hayakawa⁸⁰, Naoyuki Hirata⁸¹, Naru Hirata⁸², Rie Honda⁸³, Chikatoshi Honda⁸⁴, Satoshi Hosoda⁸⁵, Yu-ichi Iijima⁸⁶, Hitoshi Ikeda⁸⁷, Masateru Ishiguro⁸⁸, Yoshiaki Ishihara⁸⁹, Takahiro Iwata^{90,91}, Kosuke Kawahara⁹², Shota Kikuchi⁹³, Kohei Kitazato⁹⁴, Koji Matsumoto⁹⁵, Moe Matsuoka⁹⁶, Tatsuhiro Michikami⁹⁷, Yuya Mimasu⁹⁸, Akira Miura⁹⁹, Tomokatsu Morota¹⁰⁰, Satoru Nakazawa¹⁰¹, Noriyuki Namiki¹⁰², Hirotomo Noda¹⁰³, Rina Noguchi¹⁰⁴, Naoko Ogawa¹⁰⁵, Kazunori Ogawa¹⁰⁶, Tatsuaki Okada^{107,108}, Chisato Okamoto¹⁰⁹, Go Ono¹¹⁰, Masanobu Ozaki^{111,112}, Takanao Saiki¹¹³, Naoya Sakatani¹¹⁴, Hirotaka Sawada¹¹⁵, Hiroki Senshu¹¹⁶, Yuri Shimaki¹¹⁷, Kei Shirai¹¹⁸, Seiji Sugita¹¹⁹, Yuto Takei¹²⁰, Hiroshi Takeuchi¹²¹, Satoshi Tanaka¹²², Eri Tatsumi¹²³, Fuyuto Terui¹²⁴, Yuichi Tsuda¹²⁵, Ryudo Tsukizaki¹²⁶, Koji Wada¹²⁷, Sei-ichiro Watanabe¹²⁸, Manabu Yamada¹²⁹, Tetsuya Yamada¹³⁰, Yukio Yamamoto¹³¹, Hajime Yano¹³², Yasuhiro Yokota¹³³, Kelsuke Yoshihara¹³⁴, Makoto Yoshikawa¹³⁵, Kent Yoshikawa¹³⁶, Shizuo Furuya¹³⁷, Kentaro Hatakeda¹³⁸, Tasuku Hayashi¹³⁹, Yuya Hiromi¹⁴⁰, Kazuya Kumagai¹⁴¹, Akiko Miyazaki¹⁴², Aiko Nakato¹⁴³, Masahiro Nishimura¹⁴⁴, Hiromichi Soejima¹⁴⁵, Ayako Suzuki¹⁴⁶, Toru Yada¹⁴⁷, Daiki Yamamoto¹⁴⁸, Kasumi Yagata¹⁴⁹, Miwa Yoshitake¹⁵⁰, Shogo Tachibana⁶⁵, Hisayoshi Yurimoto^{10,109} [*]Corresponding author. Email: yuri@ep.sci.hokudai.ac.jp [†]These authors contributed equally to this work. [‡]Deceased. [§]Present address: Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique, Observatoire de Paris, 92195 Meudon, France. Carbonaceous meteorites are thought to be fragments of C-type (carbonaceous) asteroids. Samples of the C-type asteroid (162173) Ryugu were retrieved by the Hayabusa2 spacecraft. We measure the mineralogy, bulk chemical and isotopic compositions of Ryugu samples. They are mainly composed of materials similar to carbonaceous chondrite meteorites, particularly the CI (Ivuna-type) group. The samples consist predominantly of minerals formed in aqueous fluid on a parent planetesimal. The primary minerals were altered by fluids at a temperature of $37 \pm 10^\circ\text{C}$. $5.2^{+0.2}_{-0.3}$ (Stat.) (Syst.) million years after formation of the first solids in the Solar System. After aqueous alteration, the Ryugu samples were likely never heated above $\sim 100^\circ\text{C}$. The samples have a chemical composition that more closely resembles the Sun's photosphere than other natural samples do.
논문게재	계정 없음	○ 저자: Barosch J., <u>The Hayabusa2-initial-analysis chemistry team(박창근)</u>, The Hayabusa2-project team, The Hayabusa2-curation team, Tachibana S., Yurimoto H. ○ 논문명: Presolar stardust in asteroid Ryugu (https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac83bd) ○ 게재지: Astrophysical Journal Letters ○ 일시: 2022.9 ○ mrnIF: 89.7
논문게재	계정 없음	○ 저자: Hopp T., <u>The Hayabusa2-initial-analysis chemistry team(박창근)</u>, The Hayabusa2-project team, The Hayabusa2-curation team, Tachibana S., Yurimoto H. ○ 논문명: Ryugu's nucleosynthetic heritage from the outskirts of the Solar System ○ 게재지: Science Advances ○ 일시: accepted ○ mrnIF: 94.4
논문게재	계정 없음	○ 저자: Moynier F., <u>The Hayabusa2-initial-analysis chemistry team(박창근)</u>, The Hayabusa2-project team, The Hayabusa2-curation team, Tachibana S., Yurimoto H. ○ 논문명: The Solar System calcium isotopic composition inferred from Ryugu samples ○ 게재지: Geochemical Perspectives Letters ○ 일시: accepted ○ mrnIF: 94.3

	지구조형성 모델	○ 지구조형성에 대한 지질모식도 1개 작성
	변형모델 1건	특별세션 논문초록 Sesismic anisotropy generated from lithospheric mantle beneath Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica Daeyeong Kim¹*, Munjae Park², Chao Qi³, Sung-Hyun Park¹ ¹Division of Polar Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, dskim@kopri.re.kr, ²Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, ³Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences
	변형모델 1건	KSEEG GSK KSPSG KIGAM KBSI KOMIR 2022.6.21.~24 김대중컨벤션센터 극지연구소 6월 23일 구두 제3 발표장 (210호) 구조지질학 Deformation processes of the lithospheric mantle beneath the Mt. Melbourne, northern Vitoria Land, Antarctica 김이정^{1,2}, 김대영^{1*}, 한래희² ¹극지연구소, ²경상국립대학교

■ 2023

성과목표	성과지표	
논문게재	mrnIF 50 이상 80 미만	○ 저자: 김수민, 김영서, 정우근* ○ 논문명: Least-squares reverse time migration using the most energetic source wavefields based on excitation amplitude imaging condition ○ 게재지: Geophysical Prospecting ○ 일시: 2023.06.

○ mrnIF: 54.6

Received: 7 December 2022 | Accepted: 5 June 2023
DOI: 10.1111/1365-2478.13387

ORIGINAL ARTICLE

Geophysical Prospecting EAGE

Least-squares reverse time migration using the most energetic source wavefields based on excitation amplitude imaging condition

Sumin Kim¹ | Young Seo Kim² | Wookeun Chung³

¹Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea
²EXPEC ARC, Saudi Arabian Oil Company, Dhahran, Saudi Arabia
³Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

Correspondence
Wookeun Chung, Department of Energy and Resource Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727 Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Republic of Korea.
Email: wkchung@kmou.ac.kr

Funding information
Korea Institute of Ocean Science and Technology, Grant/Award Number: PEA0089; KOPRI grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Grant/Award Number: PE23050

Abstract
Least-squares reverse time migration, a linearized inversion problem, can provide high-quality migration image by minimizing the misfit function, which is defined by predicted and observed data. According to the theory of data-domain least-squares reverse time migration, a forward source wavefield that is simulated with a fixed background velocity does not change during iterations. However, storing the forward source wavefield directly into computer memory involves substantial memory consumption. Although a source wavefield reconstruction technique can be applied during least-squares reverse time migration iterations, this approach can increase the computational cost because of the need for additional wavefield simulations. To alleviate this computational issue in storing the forward source wavefield, we propose an efficient least-squares reverse time migration scheme based on an excitation amplitude method. Unlike conventional excitation amplitude imaging conditions, the proposed least-squares reverse time migration scheme enables one to reconstruct the forward source wavefield by convolving a source wavelet with the excitation amplitude of Green's function at the excitation time. With this excitation amplitude method, the forward source wavefield can be efficiently stored in the computer memory because the sizes of the excitation amplitude and excitation time maps are equal to the size of one snapshot. To validate the feasibility of our least-squares reverse time migration scheme, we perform dot-product tests and compare forward source wavefields, demigrated data and gradient vectors obtained by conventional least-squares reverse time migration and our proposed least-squares reverse time migration. Using numerical tests on synthetic data, we confirm that our least-squares reverse time migration can produce high-quality migration results with a significant improvement in computational efficiency with respect to performance time and memory consumption.

- 저자: 김수관*, L. De Santis, 홍종국, E. Colizza, 김성한, A. Bergamasco, 이상훈, 강승구, 이민경, 김형준, 최연진, A. Geniram, 최형규, 이재일, 유규철, 박용철
- 논문명: Hunting paleoceanographic archives of ice sheet-ocean interaction in the northwestern Ross Sea, Antarctica
- 게재지: Frontiers in Earth Science
- 일시: 2023.08.
- mrnIF: 56.7

frontiers | Frontiers in Earth Science

TYPE Original Research
PUBLISHED 25 August 2023
DOI 10.3389/feart.2023.1214347

Check for updates

Hunting paleoceanographic archives of ice sheet-ocean interaction in the northwestern Ross Sea, Antarctica

OPEN ACCESS

EDITED BY
Ahmed M. Elborsouky,
Suez University, Egypt

REVIEWED BY
Amanda P. E. Lasabuda,
UIT The Arctic University of Norway,
Norway
Sayed Elhateeb,
South Valley University, Egypt

*CORRESPONDENCE
Sookwan Kim,
✉ skwan@kiostr.ac.kr

RECEIVED 04 June 2023
ACCEPTED 10 August 2023
PUBLISHED 25 August 2023

CITATION
Kim S, De Santis L, Hong JK, Colizza E,
Kim S, Bergamasco A, Lee S-H, Kang S-G,
Lee MK, Kim H, Choi Y, Geniram A,
Choi HG, Lee JI, Yoo H-C and Park Y
(2023) Hunting paleoceanographic
archives of ice sheet-ocean interaction in
the northwestern Ross Sea, Antarctica.
Front. Earth Sci. 11:1214347.
doi: 10.3389/feart.2023.1214347

Sookwan Kim^{1*}, Laura De Santis², Jong Kuk Hong³, Ester Colizza⁴,
Sunghan Kim⁵, Andrea Bergamasco⁵, Sang-Hoon Lee¹,
Seung-Goo Kang⁵, Min Kyung Lee⁵, Hyoungjun Kim⁵,
Yeonjin Choi⁵, Andrea Geniram⁴, Hyoung Gyu Choi⁵, Jæ Il Lee⁵,
Kyu-Cheul Yoo⁵ and Yongcheol Park³

¹Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan, Republic of Korea, ²National Institute of Oceanography and Applied Geophysics-OGS, Trieste, Italy, ³Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea, ⁴Department of Mathematics and Geosciences, University of Trieste, Trieste, Italy, ⁵Institute of Marine Sciences-National Research Council, Venice, Italy

The analysis of sedimentary deposits influenced by bottom currents in glaciated continental margins provides crucial insights into paleo-depositional and oceanographic conditions. These reconstructions enable the assessment of

Funding

This work was supported by grants from the Korea Polar Research Institute funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (PE23050 and PE23090). This work was partly funded by the Korea-Italy Bilateral Program (2019K1A3A1A25000116) by National Research Foundation of Korea and by the Italian National Antarctic Research Program (PNRA)-ROSSLOPE Project (2010/A2.07) and partly co-funded by the Italian Foreign Ministry

- 저자: 김태환, 김윤섭*, 정원석, 조문섭, 이종익
- 논문명: Ediacaran mafic magmatism recorded in Cambrian eclogites of the Ross orogen, Antarctica: Implications for the Neoproterozoic rifting episodes along the Pacific-Gondwana margin
- 게재지: Terra Nova
- 일시: 2023.02.

○ mrnIF: 55.4

Received: 19 May 2022 | Revised: 27 September 2022 | Accepted: 11 October 2022
DOI: 10.1111/ter.12626

RESEARCH ARTICLE

Terra Nova WILEY

Ediacaran mafic magmatism recorded in Cambrian eclogites of the Ross orogen, Antarctica: Implications for the Neoproterozoic rifting episodes along the Pacific-Gondwana margin

Taehwan Kim¹ | Yoonsup Kim² | Wonseok Cheong² | Moonsup Cho² | Jong Ik Lee¹

- 저자: 김지혁*, 이미정, 이종익, P. R. Kyle, X. Wang, Z. Wang, 박정우
- 논문명: Sulfide minerals and chalcophile elements in The Pleiades Volcanic Field, Antarctica: implications for the distribution of chalcophile metals in continental intraplate alkaline magma systems
- 게재지: Contributions to Mineralogy and Petrology
- 일시: 2023.09.
- mrnIF: 70.7

Contributions to Mineralogy and Petrology (2023) 178:67
<https://doi.org/10.1007/s00410-023-02048-2>

ORIGINAL PAPER



Sulfide minerals and chalcophile elements in The Pleiades Volcanic Field, Antarctica: implications for the distribution of chalcophile metals in continental intraplate alkaline magma systems

Jihyuk Kim^{1,2} · Mi Jung Lee² · Jong Ik Lee² · Philip R. Kyle³ · Xia Wang⁴ · Zaicong Wang⁴ · Jung-Woo Park^{1,5}

Received: 2 March 2023 / Accepted: 28 August 2023
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2023



Meteoritics & Planetary Science 58, Nr 9, 1333–1344 (2023)
doi: 10.1111/maps.14059

Non-destructive elemental analysis of lunar meteorites using a negative muon beam

I-Huan CHIU^{1*}, Kentaro TERADA², Takahito OSAWA³, Changkun PARK⁴,
Soshi TAKESHITA⁵, Yasuhiro MIYAKE⁵, and Kazuhiko NINOMIYA¹

¹Institute Radiation Sciences, Osaka University, Osaka, Japan

²Graduate School of Science, Osaka University, Osaka, Japan

³Nuclear Science Research Institute, Japan Atomic Energy Agency, Ibaraki, Japan

⁴Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea

⁵High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Ibaraki, Japan

*Correspondence

I-Huan Chiu, Institute Radiation Sciences, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan.

Email: ichiu@irsc.osaka-u.ac.jp

Acknowledgments—This research was partially supported by the Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas (18H05460, “Development of new non-destructive 3-D elemental analysis method using negative muon”; 18H03739, “Development on non-destructive characterization of extraterrestrial materials including organics”) and by Korea Polar Research Institute (KOPRI) grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (KOPRI PE23050). The muon experiment at the Materials and Life Science Experimental Facility of the J-PARC was conducted under the proposals of no. 2019MS01 and no. 2020A0079.



Meteoritics & Planetary Science 58, Nr 3, 405–420 (2023)
doi: 10.1111/maps.13961

Mineralogical alteration of a type A CAI from Allende CV3 chondrite: Formation of secondary dmisteinbergite and its phase transition to anorthite

Yuma ENOKIDO ^{1*}, Tomoki NAKAMURA¹, Megumi MATSUMOTO¹, Akira MIYAKE², Takazo SHIBUYA³, Changkun PARK ⁴, and Mike ZOLENSKY ⁵

¹Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai, Japan

²Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University, Kyoto, Japan

³Super-cutting-edge Grand and Advanced Research (SUGAR) Program, Institute for extra-cutting-edge Science and Technology Avant-garde Research (X-Star), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokosuka, Japan

⁴Division of Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, Korea

⁵National Aeronautics and Space Administration, Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas, USA

*Corresponding author.

Yuma Enokido, Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, Aoba, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan.

E-mail: yuma.enokido.r8@dc.tohoku.ac.jp

Acknowledgments—We thank T. Miyazaki, I. Narita, and M. Nemoto for technical assistance. This work was supported by Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas Aqua planetology grant numbers JP17H06459 and JP17H06455, and Grant-in-Aid for Scientific Research Grant number 19K14776. MZ was supported by the NASA Emerging Worlds Program. CP was supported by KOPRI grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (PE23050).



Meteoritics & Planetary Science 1–10 (2023)
doi: 10.1111/maps.13989

²⁶Al–²⁶Mg chronology of high-temperature condensate hibonite in a fine-grained, Ca-Al-rich inclusion from reduced CV chondrite

Noriyuki KAWASAKI ^{1*}, Daiki YAMAMOTO², Sohei WADA¹, Changkun PARK ³, Hwayoung KIM³, Naoya SAKAMOTO⁴, and Hisayoshi YURIMOTO ^{1,4}

¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan

²Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, Fukuoka, Japan

³Division of Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea

⁴Isotope Imaging Laboratory, Creative Research Institution, Hokkaido University, Sapporo, Japan

*Corresponding author.

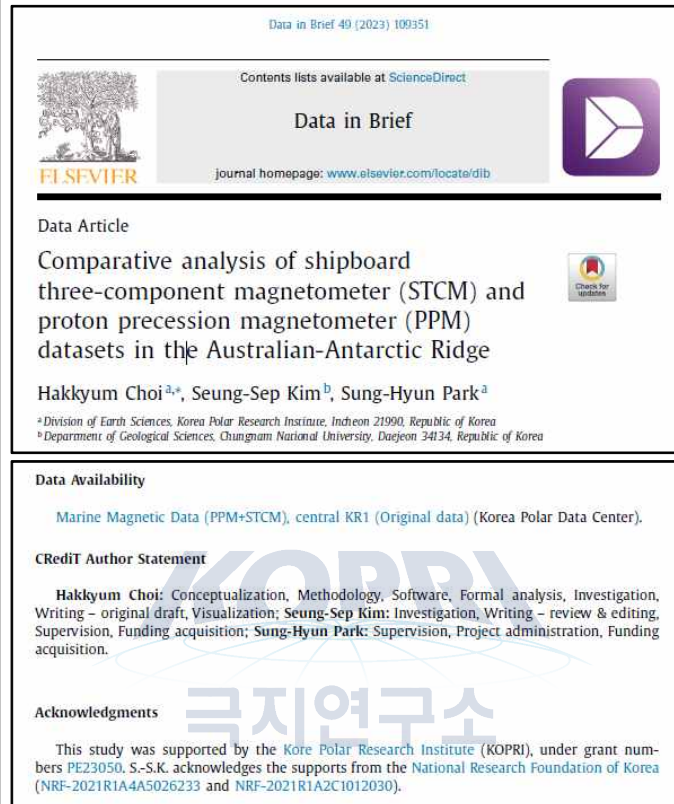
Noriyuki Kawasaki, Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, Sapporo 060-0810, Japan.

E-mail: kawasaki@ep.sci.hokudai.ac.jp

(Received 27 February 2023; revision accepted 20 April 2023)

Acknowledgments—This article is dedicated to Dr. Edward R. D. Scott for his outstanding contributions to meteoritics. The authors are grateful to Takashi Mikouchi for granting permission to use the one-atmosphere furnace and Shogo Tachibana for the vacuum furnace to synthesize the hibonite samples. We thank Jérôme Aléon, an anonymous reviewer, and associate editor Alexander. N. Krot for their constructive comments. This work was financially supported by Monka-sho grants and Korea Polar Research Institute (KOPRI) grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (KOPRI PE23050).

- 저자: 최학겸*, 김승섭, 박승현
- 논문명: Comparative analysis of shipboard three-component magnetometer (STCM) and proton precession magnetometer (PPM) datasets in the Australian-Antarctic Ridge
- 게재지: Data in Brief
- 일시: 2023.06.
- mrnIF: 45.15



- 저자: 최학겸*, 김승섭, 박승현, 이상목
- 논문명: Spreading rate, opening time, and kinematic history of the Ayu Trough
- 게재지: Geosciences Journal
- 일시: 2023.06.
- mrnIF: 12.6

Article

<https://doi.org/10.1007/s12303-023-0021-x>
pISSN 1226-4806 eISSN 1598-7477

Geosciences Journal

GJ

Spreading rate, opening time, and kinematic history of the Ayu Trough

Hakkyum Choi^{1*}, Seung-Sep Kim², Sung-Hyun Park¹, and Sang-Mook Lee³

¹Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea

²Department of Geological Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

³School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

ABSTRACT: The Ayu Trough, located in the equatorial western Pacific, is the only divergent boundary surrounding the Philippine Sea Plate. A mid-ocean ridge spreading in the N-S direction near low-latitude regions presents low geomagnetic anomalies, thereby complicating the constraining of the trough's spreading rate based on the geomagnetic signal from the magnetized seafloor. According to previous studies, the Ayu Trough has been open since ~25 Ma, with a half-spreading rate of 4.1–8.1 mm/yr. This implies that the trough belongs to the ultraslow-spreading mid-ocean ridge category with a full-spreading rate below 20 mm/yr. However, the geochemical signatures of the rock samples from the Ayu Trough do not exhibit the unique characteristics of ultraslow-spreading ridges, including the enriched mid-ocean ridge basalts (E-MORB) with high rare earth element (REE) concentrations and abundant light rare earth elements (LREE). Rather, the sampled rocks from the entire trough-axis exhibit the typical features of the normal mid-ocean ridge basalts (N-MORB) with low REE concentrations. The contradictory inferences made from geochemical results suggest that the Ayu Trough did not undergo an ultraslow-spreading but rather a considerably rapid spreading over a short period compared to the estimates made by previous studies. The modified interpretation for the spreading rate of the Ayu Trough can be associated with the global plate reconstruction model, considering the major plate reorganization in East Asia. Around 15 Ma, a series of significant tectonic events occurred in East Asia and the western Pacific. The global models for East Asia imply that the spreading of the Ayu Trough could have been initiated afterwards. Based on our geochemical analysis of the MORB on the Ayu Trough and the global plate model, we argue that the spreading of the Ayu Trough was initiated after ~15 Ma during the major plate reorganization in East Asia, and not in ~25 Ma as reported by previous studies. Therefore, the spreading occurred only for a period of about 10 Myr at a relatively rapid full-spreading rate of > 20 mm/yr. The massive sediments with a thickness of approximately 50–70 m on the spreading-axis of the Ayu Trough reinforce the estimated cessation time of the trough. In addition, the V-shaped seafloor of the Ayu Trough and the unclear transform fault may be interpreted as topography formed by a propagation of rift or mantle melting. Therefore, the trough does not have to be simultaneously opened throughout the axis, and its spreading rate could be higher than previously estimated.

Key words: Ayu Trough, Philippine Sea Plate, spreading rate, sedimentation rate, mid-ocean ridge basalts, rare earth elements, global plate reconstruction

ACKNOWLEDGMENTS

This study began as part of the MS thesis dissertation of H. Choi, and was supported by the Korea Polar Research Institute (KOPRI), under grant numbers PE23050. S.-S.K. acknowledges the supports from the National Research Foundation of Korea (NRF-2021R1A4A5026233 and NRF-2021R1A2C1012030). We would like to thank two anonymous reviewers for their constructive comments.

- 저자: 이승구*, T. Tanaka, 이미정
- 논문명: Geochemical implication of Eu isotopic ratio in anorthosite: new evidence of Eu isotope fractionation during feldspar crystallization
- 게재지: Geosciences Journal
- 일시: 2023.06.
- mrnIF: 12.6

Article

Vol. 27, No. 3, p. 271–284, June 2023
<https://doi.org/10.1007/s12303-023-0009-6>
pISSN 1226-4806 eISSN 1598-7477

Geosciences Journal

GJ

Geochemical implication of Eu isotopic ratio in anorthosite: new evidence of Eu isotope fractionation during feldspar crystallization

Seung-Gu Lee^{1*}, Tsuyoshi Tanaka², and Mi Jung Lee³

¹Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea

²Department of Earth and Environmental Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

³Division of Polar Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea

ABSTRACT: Rare earth element geochemistry (REE) can provide critical information on the evolution of the crust-mantle system. Europium (Eu) exists in divalent and trivalent states, and Eu²⁺ can substitute for Ca²⁺ during plagioclase feldspar crystallization in reducing magmas. This leads to positive Eu anomaly in Ca-plagioclase-rich anorthosite derived from the mantle and negative Eu anomalies in fractionated silica-rich crustal rocks. While many studies have addressed Eu anomalies in REE data, especially in igneous rocks, almost none have evaluated ratios of Eu's two stable isotopes (¹⁵¹Eu and ¹⁵³Eu) alongside Eu anomalies. Here we report systematic variation of the Eu isotopic ratio (¹⁵³Eu/¹⁵¹Eu) from igneous rocks including anorthosite. This study detected a correlation between Eu anomalies and Eu isotopic ratios. Rhyolites and highly fractionated granites exhibited large negative Eu anomalies and negative ¹⁵³Eu values while anorthosites exhibited large positive Eu anomalies and positive ¹⁵³Eu values. In the case of the highly fractionated igneous rocks with negative Eu anomaly, the Eu isotope fractionation slope varied according to the degree of magmatic differentiation for both volcanic (extrusive) and plutonic (intrusive) rocks. Our finding reveals that Eu isotope fractionation in igneous rocks can provide new information related to magmatic differentiation and plagioclase feldspar crystallization including anorthosite formation.

Key words: Eu isotope fractionation, Eu anomaly, magmatic differentiation, feldspar crystallization, anorthosite

Tanaka, and Mi Jung Lee

Resources (GP2020-003, GP2021-006) and the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2020R1F1A1075924, NP2020-012) to S.-G. Lee. This work was also partly supported by grants from Korea Polar Research Institute Project (PE23050) to M.J. Lee. We also would like to thank two anonymous reviewers and Associate Editor, S.R. Lee for suggesting substantial improvements of the manuscript. Special thanks are given to Drs. B.C. Lee and W.-S. Kee of KIGAM for providing two Taedö samples.

- 북빅토리아랜드 국부 화산군 시료 ³⁹Ar/⁴⁰Ar 연대

Table 2. ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of Neogene and Quaternary volcanic and hypabyssal rocks from northern Victoria Land, Antarctica.

Sample	Locality	Material	10 ⁴ ± 1σ	Plateau Age						Isochron Age						Integrated Age			
				K/Ca	±2σ	N	% ³⁹ Ar	Age (Ma)	±2σ	MSWD	N	Age (Ma)	±2σ	MSWD	% ³⁹ Ar/ ³⁶ Ar	±2σ	Age (Ma)	±2σ	
J22020902	Pinckard Table	Groundmass	15.43	1.79	0.24	0.00	7/10	81.9	0.64	0.08	1.45	6/10	0.63	0.14	2.00	295.8	3.48	0.61	0.22
J22020903	Random Hills	Groundmass	0.79	11.35	0.29	0.00	Step G	31.3	<0.56	0.01	-	10/10	0.64	0.02	553.72	297.2	3.81	0.64	0.00
J22022410-1	Random Hills	Groundmass	0.79	10.51	0.24	0.00	8/10	87.3	0.51	0.01	2.23	8/10	0.52	0.01	2.52	294.0	2.23	0.49	0.01
J22022410-2	Random Hills	Groundmass	0.79	11.62	0.26	0.00	3/3	100.0	0.58	0.03	0.05	3/3	0.59	0.08	0.03	295.0	3.03	0.58	0.03
J22020206	Arrowhead Range	Groundmass	15.41	1.60	0.16	0.00	10/10	100.0	2.27	0.06	1.91	10/10	2.23	0.06	1.87	297.1	1.8	2.40	0.12
J22020203-2	Berlin Dome	Groundmass	15.40	1.36	0.80	0.00	9/10	90.6	3.12	0.01	3.77	9/10	3.11	0.05	4.43	297.1	11.5	3.13	0.01
J22020508-1	Mt. Brobec	Groundmass	15.45	2.00	0.34	0.00	9/10	88.4	0.45	0.01	1.90	9/10	0.42	0.03	1.55	302.3	6.4	0.47	0.01
J22020508-2	Mt. Brobec	Groundmass	15.45	1.53	0.24	0.00	6/10	81.3	0.48	0.04	3.10	6/10	0.46	0.07	3.98	296.7	5.7	0.48	0.04
J22020503	Mt. McCarthy	Groundmass	0.79	17.98	0.18	0.00	4/9	58.8	0.94	0.04	12.66	6/9	0.89	0.03	12.41	301.0	3.2	0.88	0.02
J22020502	Mt. McCarthy	Groundmass	0.79	14.69	0.20	0.00	5/10	41.4	0.87	0.03	0.25	8/10	0.94	0.01	1.55	293.6	0.7	0.92	0.01
J22020501	Mt. McCarthy	Groundmass	0.79	13.74	0.22	0.00	Step G	39.9	-0.01	0.00	-	10/10	0.04	0.00	92.49	294.2	1.5	0.03	0.00
J22020505	Mt. Supernal	Groundmass	15.41	1.28	0.30	0.00	8/10	77.4	5.29	0.02	0.93	8/10	5.26	0.18	1.12	297.8	12.7	5.34	0.02
J22020507	Mt. Kinet	Groundmass	15.43	1.98	0.13	0.00	9/10	94.0	7.73	0.07	4.82	9/10	7.80	0.04	2.68	291.4	1.7	7.58	0.10
J22020906-2	Browning Pass	Groundmass	0.79	14.84	0.37	0.00	4/10	51.6	1.61	0.01	1.08	4/10	1.61	0.04	2.04	294.7	5.5	1.62	0.01
J22021604	Browning Pass	Groundmass	0.79	14.44	0.12	0.00	3/10	52.7	0.32	0.01	0.45	3/10	0.35	0.09	0.69	293.4	7.6	0.33	0.01
J22021603	Browning Pass	Groundmass	0.79	13.45	0.17	0.00	9/10	91.4	0.39	0.01	2.12	9/10	0.41	0.01	1.55	291.7	2.7	0.39	0.01
J22021601	Northern Foothills	Groundmass	0.79	15.07	0.25	0.00	9/10	97.2	0.28	0.01	1.10	9/10	0.28	0.01	1.35	295.1	1.1	0.27	0.01
J22022203C	Vulcan Hills	Groundmass	1.54	0.16	0.48	0.00	10/10	100.0	29.79	0.09	1.01	10/10	29.66	0.13	0.32	297.7	1.7	30.08	0.25
J22022202-1	Vulcan Hills	Groundmass	1.55	0.20	0.38	0.00	5/10	59.3	4.14	0.02	5.21	5/10	4.09	0.02	0.53	316.3	9.9	4.10	0.01
J22022202-2	Vulcan Hills	Groundmass	1.55	0.15	0.29	0.00	4/10	68.4	35.83	0.27	1.22	4/10	35.06	0.95	0.46	302.0	7.7	36.68	0.33

○ 중광물 희토류원소 분석 암석 시료 1개(저어콘, 시료 26-7)

Table 1. Whole rock and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of Neogene and Quaternary volcanic rocks from Northern Victoria Land, Antarctica.

	J22020902	J22020903	J22022410-1	J22022410-2	J22022202-1	J22022202-2	J22022203	J22020206	J22020203	J22020508-1	J22020508-2	J22020503	J22020502
	Pinokard Table	Random Hills	Random Hills	Random Hills	Vulcan Hills	Vulcan Hills	Vulcan Hills	Arrowhead Range	Berlin Dome	W. Mt. Brobec	W. Mt. Brobec	Mt. McCarthy	Mt. McCarthy
MAJOR ELEMENTS													
SiO ₂	45.13	49.81	48.44	48.21	47.95	55.12	49.89	45.20	52.94	47.96	48.72	45.86	44.59
TiO ₂	3.34	2.76	2.75	2.81	2.60	0.85	2.32	2.62	1.89	2.78	2.76	3.07	3.12
Al ₂ O ₃	15.02	15.91	15.67	15.12	15.77	13.70	14.82	13.48	16.30	16.22	16.29	14.98	14.65
FeO ^t	11.77	11.05	11.33	11.27	12.86	9.55	9.07	11.18	10.33	12.74	12.39	11.78	11.98
MnO	0.19	0.19	0.20	0.19	0.22	0.17	0.15	0.19	0.21	0.21	0.21	0.19	0.20
MgO	7.41	5.21	7.11	6.56	3.73	4.89	4.48	10.00	2.72	4.86	4.83	7.38	8.13
CaO	9.94	7.95	9.34	9.30	7.63	8.73	6.48	10.21	5.91	7.50	7.50	9.93	10.66
Na ₂ O	3.75	4.20	4.31	3.88	4.62	1.99	3.84	3.32	4.99	4.26	4.29	3.62	3.55
K ₂ O	1.53	1.90	1.77	1.71	1.75	1.28	2.10	1.24	2.21	1.56	1.53	1.43	1.34
P ₂ O ₅	0.77	0.71	0.80	0.78	1.30	0.13	0.85	0.67	0.75	0.52	0.55	0.93	0.81
LOI	-0.26	-0.11	-0.22	0.26	0.17	2.69	4.44	-0.06	0.09	0.25	-0.04	-0.27	-0.62
SUM	98.6	99.6	99.5	98.1	98.60	99.10	98.24	98.1	98.4	98.9	98.8	98.9	98.4
VOLATILE-FREE NORMALIZED													
SiO ₂	45.66	49.97	48.58	47.24	48.71	57.17	53.18	48.07	53.87	48.63	49.28	46.25	45.03
TiO ₂	3.38	2.77	2.75	2.87	2.64	0.89	2.47	2.67	1.93	2.82	2.79	3.09	3.15
Al ₂ O ₃	15.19	15.96	15.72	15.46	16.02	14.21	15.59	13.74	16.59	16.45	16.48	15.10	14.79
FeO ^t	11.91	11.08	11.38	11.52	13.06	9.91	9.67	11.40	10.51	12.91	12.54	11.88	12.10
MnO	0.19	0.19	0.20	0.20	0.22	0.18	0.16	0.19	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20
MgO	7.49	5.22	7.13	6.71	3.79	5.07	4.77	10.19	2.77	4.93	4.68	7.44	8.21
CaO	10.05	7.97	9.37	9.51	7.76	9.05	6.90	10.41	6.01	7.61	7.58	10.01	10.77
Na ₂ O	3.80	4.22	4.33	3.95	4.70	2.06	4.10	3.38	5.08	4.32	4.34	3.65	3.59
K ₂ O	1.55	1.91	1.77	1.75	1.78	1.33	2.24	1.27	2.25	1.58	1.55	1.45	1.36
P ₂ O ₅	0.78	0.71	0.80	0.80	1.32	0.13	0.91	0.69	0.77	0.53	0.55	0.93	0.82
Sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ALK	5.35	6.13	6.10	5.70	6.47	3.39	6.34	4.65	7.33	5.90	5.89	5.10	4.94
Mg#	0.53	0.46	0.53	0.51	0.34	0.48	0.47	0.61	0.32	0.40	0.40	0.53	0.55
TRACE ELEMENTS													
Sc	19.5	15.4	18.5	20.1	11.9	32.3	12.4	25.1	11.1	14.4	14.8	20.7	23.4
V	223.3	178.1	198.8	213.2	95.0	221.3	143.2	202.9	71.2	229.1	214.4	224.5	250.7
Cr	260.6	100.1	170.1	166.9	4.6	58.6	86.5	588.0	1.8	6.8	6.1	223.4	281.7
Co	41.0	34.5	40.9	44.8	27.6	36.8	31.2	52.2	21.3	37.4	35.6	42.5	47.3
Ni	93.7	51.2	104.0	97.9	4.0	53.7	70.4	232.5	1.9	10.6	9.1	93.7	114.5
Cu	47.5	36.6	45.2	49.6	28.9	94.8	31.9	69.1	16.3	30.6	30.1	55.4	62.0
Zn	93.8	97.1	104.9	101.1	149.9	83.4	119.7	90.5	110.7	103.8	99.9	87.4	90.1
Ga	18.8	19.7	20.4	19.4	24.7	15.0	21.8	17.2	20.2	17.7	17.9	16.5	16.8
Rb	33.5	52.5	43.1	41.4	39.1	43.7	55.0	27.2	49.4	29.6	30.0	31.5	30.7
Sr	771.5	730.4	714.0	715.0	769.5	166.7	858.7	668.7	454.4	622.9	608.5	902.1	786.2
Y	27.4	27.6	28.9	28.2	39.4	23.5	29.1	24.4	36.7	25.3	25.8	26.3	25.6
Zr	260.3	264.1	328.4	309.6		485.4	214.8	302.3	193.5	195.6	203.3	194.6	
Nb	70.1	76.8	82.2	78.3		85.1	59.0	70.6	45.5	46.6	65.3	64.5	
Cs	0.6	0.9	0.6	0.7	0.4	8.0	2.6	0.4	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4
Ba	401.1	440.8	432.1	415.3	493.9	283.1	640.5	363.6	536.4	431.7	435.4	484.2	462.5
La	47.0	51.0	58.8	55.3	60.9	14.9	69.6	39.8	52.8	32.6	33.2	46.6	43.9
Ce	95.0	99.6	112.8	106.8	132.5	33.2	135.0	79.8	103.0	65.6	67.8	93.2	87.9
Pr	10.7	11.3	12.5	12.0	15.3	4.1	14.9	9.3	11.6	7.7	7.9	10.8	10.1
Nd	45.0	45.4	50.3	47.0	63.7	16.2	57.4	39.0	46.7	32.7	33.2	44.9	42.8
Sm	8.7	8.6	9.4	8.9	12.5	3.8	10.5	7.8	9.2	6.5	6.8	8.7	8.2
Eu	2.7	2.6	2.8	2.7	4.0	1.0	3.1	2.4	2.6	2.2	2.2	2.7	2.6
Gd	7.7	7.4	8.0	7.6	12.0	4.1	8.5	6.8	8.1	5.8	6.0	7.3	7.1
Tb	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	0.7	1.1	0.9	1.1	0.9	0.9	1.0	1.0
Dy	6.0	5.9	6.2	5.8	8.2	4.2	6.2	5.4	7.1	5.0	5.4	5.6	5.4
Ho	1.0	1.1	1.2	1.1	1.5	0.9	1.1	1.0	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0
Er	2.7	2.9	3.0	2.8	4.4	3.0	2.8	2.5	3.8	2.7	2.7	2.7	2.6
Tm	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3
Yb	2.3	2.4	2.5	2.4	3.3	2.7	2.3	2.1	3.7	2.4	2.5	2.2	2.2
Lu	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5	0.3	0.4	0.3	0.3
Hf	5.7	6.3	6.8	6.3			9.6	4.9	6.5	4.3	4.3	4.4	4.5
Ta	4.3	4.7	5.2	4.8			5.3	3.5	4.3	2.7	2.8	4.0	3.9
Pb	2.5	3.2	2.9	5.0	4.1	6.0	4.2	2.2	5.3	2.7	2.8	2.6	1.0
Th	5.7	7.8	7.5	7.0	6.9	4.3	9.6	4.5	7.7	3.6	3.9	5.0	4.8
U	1.6	2.1	2.1	2.0	1.5	1.2	2.7	1.2	1.9	0.7	0.9	1.3	1.2
Sr-Nd-Pb RADIOISOTOPIC RATIOS													
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.703102	0.703356	0.702964		0.703907		0.704055	0.703169		0.703714	0.703731	0.703457	0.703293
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512949	0.512928	0.512948		0.512858		0.512875	0.512945		0.512885	0.512886	0.512876	0.512894
²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	19.580	19.466	19.699		19.417		19.946	19.389		19.899	19.893	19.576	19.728
²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	15.626	15.653	15.622		15.652		15.649	15.613		15.674	15.673	15.631	15.633
²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	39.273	39.349	39.337		39.648		39.871	39.192		39.742	39.736	39.483	39.593

남극
빅토리아랜드
대륙부
화산활동
및
지체구조
진화,
행성과학
이해

변성암
광물화학
및
동위원소
분석

○ 광물 동위원소 분석 암석 시료 2개(저어콘, 시료 23-1F,)

Table 1. Oxygen isotopic data of zircon and quartz from the manganiferous quartzite (sample 23-1F).

Spot no.	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	1 σ (%)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	1 σ	*Age (Ma)
Zircon					
13.1	0.00203582	0.01529694	18.37	0.31	537
14.1	0.00203541	0.01102941	18.17	0.22	506
15.1	0.00203618	0.01434423	18.55	0.29	515
16.1	0.00203619	0.01337370	18.55	0.27	502
17.1	0.00203611	0.00941997	18.51	0.19	546
20.1	0.00203578	0.00948018	18.35	0.19	507
21.1	0.00203455	0.01063566	17.73	0.21	498
22.1	0.00203688	0.01267178	18.90	0.25	507
25.1	0.00203456	0.01203961	17.74	0.24	485
27.1	0.00200603	0.01176440	3.51	0.24	487
28.1	0.00203584	0.00895455	18.38	0.18	
29.1	0.00203350	0.01074926	17.21	0.21	
30.1	0.00203501	0.00996298	17.96	0.20	
31.1	0.00203485	0.01150307	17.88	0.23	
32.1	0.00203526	0.01311666	18.09	0.26	
33.1	0.00203605	0.00990704	18.48	0.20	
34.1	0.00203341	0.01319575	17.16	0.26	
Quartz					
1.1	0.00203985	0.02050937	20.28	0.41	
2.1	0.00203995	0.01890670	20.33	0.38	
3.1	0.00204157	0.01928978	21.13	0.39	
4.1	0.00204197	0.02277499	21.33	0.46	
5.1	0.00204213	0.01849123	21.41	0.37	
6.1	0.00204189	0.01749889	21.29	0.35	
7.1	0.00204188	0.01878917	21.29	0.38	
8.1	0.00204182	0.01596430	21.26	0.32	
9.1	0.00204095	0.01482018	20.83	0.30	
10.1	0.00204122	0.02000032	20.96	0.40	
11.1	0.00204012	0.02238987	20.41	0.45	
12.1	0.00204049	0.02300209	20.60	0.46	
13.1	0.00204079	0.01680750	20.74	0.34	
14.1	0.00203976	0.01544009	20.23	0.31	
15.1	0.00204072	0.01933703	20.71	0.39	
16.1	0.00204040	0.01981263	20.55	0.40	
17.1	0.00203885	0.01991863	19.78	0.40	
18.1	0.00203862	0.01985488	19.66	0.40	
19.1	0.00203797	0.01083602	19.34	0.22	

* $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages obtained from SHRIMP data (Kim et al., 2022).

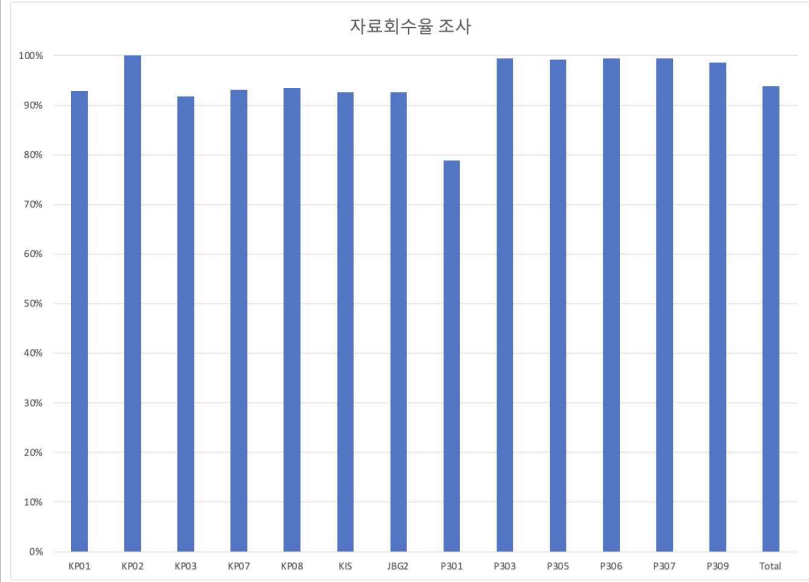
Table S2. The SHRIMP U–Th–Pb isotopic compositions of zircon from the quartz vein, Lanterman Range, Antarctica

Spot no.	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Common ^{206}Pb (%)	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age (Ma)	Discordance (%)
Sample 22-3C										
1.1	11	0.03	0.003	0.84	0.06012 ± 273	0.0741 ± 160	0.61445 ± 3067	608 ± 98	461 ± 10	25
2.1	281	0.01	0.000	0.05	0.05997 ± 49	0.0783 ± 81	0.64772 ± 849	602 ± 18	486 ± 5	20
3.1	137	0.04	0.000	0.08	0.08131 ± 81	0.0795 ± 120	0.89093 ± 1603	1229 ± 19	493 ± 7	62
4.1	15	0.15	0.011	0.62	0.05742 ± 326	0.0780 ± 146	0.61768 ± 3688	508 ± 125	484 ± 9	5
5.1	239	0.09	0.000	0.06	0.06483 ± 52	0.0816 ± 99	0.72953 ± 1057	769 ± 17	506 ± 6	36
6.1	23	0.04	0.002	0.62	0.05639 ± 390	0.0821 ± 220	0.63829 ± 4731	468 ± 153	509 ± 13	-9
7.1	107	0.05	0.000	0.15	0.10617 ± 103	0.0804 ± 134	1.17724 ± 2262	1735 ± 18	499 ± 8	74
8.1	263	0.02	0.000	0.05	0.06797 ± 55	0.0827 ± 86	0.77533 ± 1016	868 ± 17	512 ± 5	43
9.1	339	0.15	0.000	0.07	0.07130 ± 49	0.0803 ± 82	0.78950 ± 971	966 ± 14	498 ± 5	50
10.1	291	0.05	0.000	0.07	0.07330 ± 50	0.0807 ± 108	0.81578 ± 1218	1022 ± 14	500 ± 6	53
11.1	241	1.09	0.005	0.06	0.05694 ± 47	0.0814 ± 84	0.63923 ± 843	489 ± 18	505 ± 5	-3
12.1	20	0.05	0.003	0.54	0.05969 ± 168	0.0817 ± 205	0.67243 ± 2437	592 ± 61	506 ± 12	15
13.1	191	0.24	0.002	0.05	0.07744 ± 135	0.0795 ± 173	0.84934 ± 2365	1133 ± 35	493 ± 10	59
14.1	156	0.15	0.001	0.04	0.05775 ± 49	0.0825 ± 179	0.65704 ± 1526	520 ± 19	511 ± 11	2
15.1	36	0.08	0.001	0.28	0.05943 ± 113	0.0813 ± 217	0.66641 ± 2158	583 ± 41	504 ± 13	14
16.1	159	0.12	0.003	0.10	0.08069 ± 67	0.0786 ± 181	0.87440 ± 2140	1214 ± 16	488 ± 11	62
17.1	73	0.03	0.000	0.13	0.11857 ± 111	0.0795 ± 177	1.29949 ± 3127	1935 ± 17	493 ± 11	77
18.1	187	0.10	0.001	0.05	0.05792 ± 49	0.0784 ± 179	0.62601 ± 1521	527 ± 18	486 ± 11	8
19.1	641	64.00	0.104	0.19	0.05704 ± 96	0.0849 ± 212	0.66780 ± 1900	493 ± 37	525 ± 13	-7
19.2	51	0.02	0.000	0.28	0.12787 ± 147	0.0812 ± 185	1.43194 ± 3643	2069 ± 20	503 ± 11	79
20.1	24	0.05	0.002	0.23	0.05713 ± 128	0.0798 ± 194	0.62860 ± 2059	497 ± 49	495 ± 12	0
21.1	84	0.08	0.001	0.25	0.06815 ± 128	0.0821 ± 81	0.77115 ± 1636	873 ± 39	508 ± 5	43
23.1	163	0.07	0.000	0.10	0.06413 ± 91	0.0810 ± 68	0.71608 ± 1178	746 ± 30	502 ± 4	34
24.1	82	0.17	0.002	0.23	0.09584 ± 156	0.0777 ± 75	1.02715 ± 1946	1545 ± 31	483 ± 5	71
25.1	125	0.16	0.001	0.20	0.06843 ± 100	0.0831 ± 71	0.78383 ± 1327	882 ± 30	514 ± 4	43
26.1	97	0.10	0.001	0.23	0.07234 ± 126	0.0820 ± 77	0.81744 ± 1611	995 ± 35	508 ± 5	51
30.1	72	2.00	0.029	0.28	0.05395 ± 127	0.0824 ± 84	0.61288 ± 1560	369 ± 53	510 ± 5	-40
34.1	109	0.04	0.000	0.21	0.09515 ± 143	0.0781 ± 71	1.02418 ± 1789	1531 ± 28	485 ± 4	71
35.1	49	0.12	0.003	0.31	0.05932 ± 268	0.0805 ± 95	0.65846 ± 3082	579 ± 98	499 ± 6	14
36.1	473	0.71	0.002	0.06	0.06011 ± 50	0.0834 ± 60	0.69075 ± 754	607 ± 18	516 ± 4	16

Errors are 1 σ estimates. All the isotopic compositions were calculated using the ^{206}Pb common Pb correction method. Pb* denotes radiogenic Pb. Concordance was calculated from $^{207}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages.

남극
중양해령
및 로스해
맨틀과
해양지각의
진화

지각/맨틀
구조
연구를
위한
지진자료
DB



장보고기지, 화산, 리트만화산(Polar 3지역 포함) 지진동 관측 자료 회수율표

KPDC
Korea Polar Data Center

Home > 데이터 검색 > 데이터 상세

데이터 상세

KPSN Seismic Data at Victoria Land, Antarctic 2022

To monitor the activities of Mt. Melbourne and glacial movements

Entry ID
KOPRI-KPDC-00002200

DOI
<https://dx.doi.org/doi:10.22663/KOPRI-KPDC-00002200.2>

Science Keyword
EARTH SCIENCE > SOLID EARTH > TECTONICS > EARTHQUAKES
EARTH SCIENCE > SOLID EARTH > TECTONICS > VOLCANIC ACTIVITY

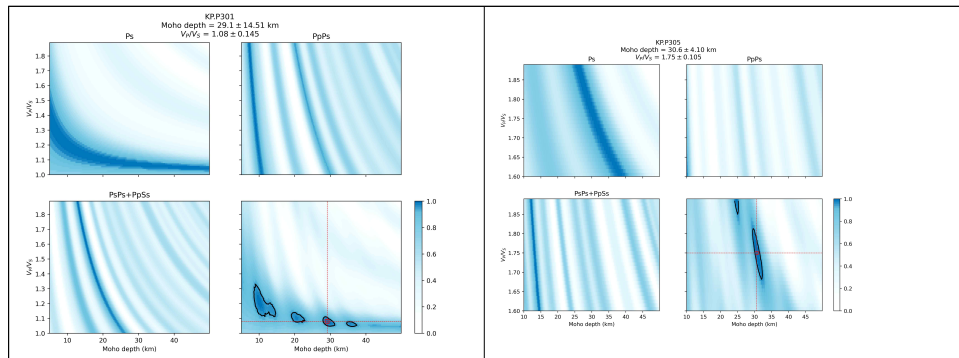
ISO Topic
Geoscientific Information

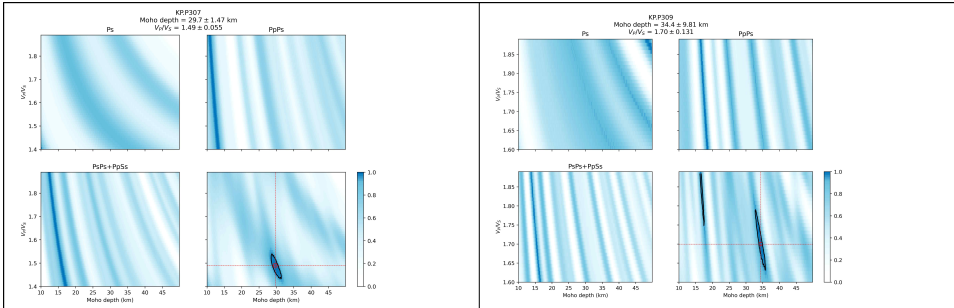
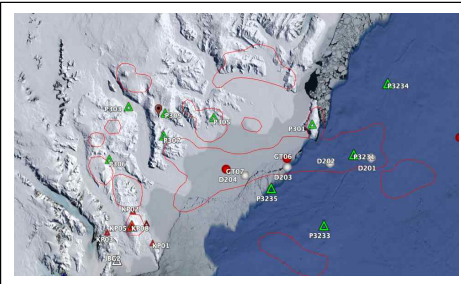
Personnel
Jinsuk Kim (koreaclimber@kopri.re.kr)
Yongcheol Park (ypark@kopri.re.kr)
Jinho Jung (jhjung87@kopri.re.kr)

KPDC 메타 자료 등록 페이지 발췌

남극
중양해령
및 로스해
맨틀과
해양지각의
진화

관측소
하부 지각
속도 및
모호 깊이
도출



		 P301, P305, P307, P309 관측소의 모호깊이 분석 결과
남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	리트만 화산 지역 지진관측망 구축	  (좌)현재 설치/운영되고 있는 지진관측소 현황(초록색 삼각형) (우) 2022-23 남극 하계 현장 조사 기간에 설치한 P307 관측소 모습

■ 2024

성과목표	성과지표	극지연구소
논문게재	mrnIF 80 이상	○ 저자: <u>최사랑*</u>, 박정우, 김종욱, 오지혜, 박창근, 한승희 ○ 논문명: Melt-rock reaction in the lower oceanic crust and the influence on the evolution of mid-ocean ridge basalts at the central Indian ridge (7° 50' -8° 30' S) ○ 게재지: Journal of Petrology ○ 일시: 2024. 6. ○ mrnIF: 84  Journal of Petrology, 2024, 65, egae057 https://doi.org/10.1093/ptrology/egae057 ADVANCE ACCESS PUBLICATION DATE 5 JUNE 2024 Original Manuscript Melt-Rock Reaction in the Lower Oceanic Crust and the Influence on the Evolution of Mid-Ocean Ridge Basalts at the Central Indian Ridge (7°50'–8°30'S) SARANG CHOI^{1,*}, JUNG-WOO PARK^{1,*}, JONGUK KIM², JIHYE OH², CHANGKUN PARK³ and SEUNGHEE HAN³ ¹School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Seoul 08826, Republic of Korea ²Ocean Georesources Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology, 385 Haeyang-ro, Busan 49111, Republic of Korea ³Division of Glacier & Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea

FUNDING

This study was financially supported by Korean Institute of Marine Science & Technology (KIMST) funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (RS-2021-KS211514, 20170411, and KOPRI PE24050) and the National Research Foundation (NRF) of Korea (2022R1A2C1011741 and 2022R1A5A1085103). We also acknowledge financial support from the Brain Korea (BK) 21 Project.

- 저자: Jangmi Han*, Kazuhide Nagashima, 박창근, Alexander N. Krot, Lindsay P. Keller
- 논문명: Grossite-bearing refractory inclusions from reduced CV chondrites: Mineralogical and oxygen isotopic constraints on the parent body alteration history
- 게재지: Geochimica et Cosmochimica Acta
- 일시: 2024. 11. (게재 예정)
- mrnIF: 92



Contents lists available at ScienceDirect

Geochimica et Cosmochimica Acta

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gca



Grossite-bearing refractory inclusions from reduced CV chondrites: Mineralogical and oxygen isotopic constraints on the parent body alteration history

Jangmi Han^{a,b,c}, Kazuhide Nagashima^c, Changkun Park^{d,e}, Alexander N. Krot^c, Lindsay P. Keller^b

^a Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, Houston, TX 77204, USA

^b ARES, NASA Johnson Space Center, 2101 NASA Parkway, Houston, TX 77058, USA

^c Hawai'i Institute of Geophysics and Planetary Science, University of Hawai'i at Mānoa, Honolulu, HI 96822, USA

^d Division of Glacier and Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-si, Jeonnam 54900, Republic of Korea

^e Polar Science, Korea National University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea

Acknowledgements

This study was supported in part by NASA grants 80NSSC21K1558 (JH) and 80NSSC23K0253 (ANK), NASA ISFM funding to the JSC Co-ordinated Analysis Work Package (LPK), and KOPRI grant PE24050 (CP). We thank Dr. Kimura and two anonymous reviewers for constructive reviews and Dr. Kita for editorial handling. We gratefully acknowledge the access to the Electron Microprobe Lab at KOPRI, the Electron Beam Analysis Labs at NASA JSC, and the W. M. Keck Cosmochemistry Laboratory at University of Hawai'i at Mānoa. We thank Dr. Zolensky for providing the Efremovka sample. Two TIL meteorite samples were loaned from the KOPRI Korea Curation of Antarctic Meteorites (KOREAMET) program.

- 저자: Simonet Roda, M., 김대영, Brasier, A.T., Griesshaber, E., Lee, J.-H.*
- 논문명: Exploring electron backscatter diffraction analysis as a tool for understanding stromatolite: Quantitative description of Cretaceous lacustrine stromatolite reveals formative processes and high-resolution climatic cycles
- 게재지: Sedimentology
- 일시: Early view (2024.07.16.)
- mrnIF: 90.8

Exploring electron backscatter diffraction analysis as a tool for understanding stromatolite: Quantitative description of Cretaceous lacustrine stromatolite reveals formative processes and high-resolution climatic cycles

MAR SIMONET RODA^{*}, DAEYEONG KIM[†], ALEXANDER T. BRASIER[‡],
ERIKA GRIESSHABER[§] and JEONG-HYUN LEE^{*¶}

^{*}Research Institute of Natural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea (E-mail: jeonghyunlee@cnu.ac.kr)

[†]Division of Glacier and Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea

[‡]School of Geosciences, University of Aberdeen, Aberdeen AB24 3UE, UK

[§]Department of Earth and Environmental Sciences, Ludwig-Maximilians-Universität München, Munich 80333, Germany

[¶]Department of Geological Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

Associate Editor – Mike Rogerson

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to the Associate Editor Mike Rogerson and two anonymous reviewers for their valuable insights and constructive feedback, which improved the quality of this manuscript. They also thank J. Dabkowski for providing Fig. 7F, R. Riding for discussing stromatolite and S. Choi for discussing EBSD. This study was supported by National Research Foundation of Korea grants to MMSR (2022R1I1A1A01064086) and

JHL (RS-2023-00209495), and Korea Polar Research Institute project to DK (PE24050).

- 저자: Marissa J. Betts^{*}, Thomas M. Claybourn, Lars E. Holmer, Christian B. Skovsted, Paul M. Myrow, Lars Stemmerik, Timothy P. Topper, 박태윤, Nigel C. Hughes, James L. Crowley, Elizabeth A. Jagodzinski, Glenn A. Brock
- 논문명: First multi-proxy chronostratigraphy of the lower Cambrian Byrd Group, Transantarctic Mountains and correlation within East Gondwana
- 게재지: Gondwana Research
- 일시: Early view (2024.07.16.)
- mrnIF: 94.7

Gondwana Research 136 (2024) 126–141



Contents lists available at ScienceDirect

Gondwana Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gr



First multi-proxy chronostratigraphy of the lower Cambrian Byrd Group, Transantarctic Mountains and correlation within East Gondwana



Marissa J. Betts^{a,*}, Thomas M. Claybourn^{b,c}, Lars E. Holmer^{c,d}, Christian B. Skovsted^{d,e}, Paul M. Myrow^f, Lars Stemmerik^g, Timothy P. Topper^{d,e}, Tae-Yoon S. Park^{h,i}, Nigel C. Hughes^j, James L. Crowley^k, Elizabeth A. Jagodzinski^l, Glenn A. Brock^b

^a LLN/Palaeoscience Research Centre, Division of Earth Sciences, School of Environmental and Rural Science, University of New England, Armidale, NSW, 2351 Australia

^b School of Natural Sciences, Macquarie University, Sydney, 2109 NSW, Australia

^c Department of Earth Sciences, Palaeobiology, Uppsala University, Villavägen 16, SE-75236, Uppsala, Sweden

^d State Key Laboratory of Continental Dynamics, Shaanxi Key Laboratory of Early Life and Environments and Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

^e Department of Palaeobiology, Swedish Museum of Natural History, Box 50007, SE-10405 Stockholm, Sweden

^f Department of Geology, Colorado College, Colorado Springs, CO 80903, USA

^g Geological Survey of Denmark and Greenland, Øster Voldgade 5–7, DK-1350 Copenhagen, Denmark

^h Division of Sciences, Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea

ⁱ Polar Science, Korea National University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea

^j Department of Earth and Planetary Sciences, University of California, Riverside, CA 92521, USA

^k Department of Geosciences, Boise State University, Boise, ID 83725, USA

^l Geological Survey of South Australia, GPO BOX 320, Adelaide, SA, 5001, Australia

		Acknowledgements Fieldwork in Antarctica was supported by operational support for polar research (RFI Polar VR 2010-6176 to LEH and GAB) and the Swedish Polar Secretariat in collaboration with the United States Antarctic Program and US National Science Foundation. MJB is supported by research funds from the University of New England, Armidale and the Australian Research Council (DE220101558). TMC was supported by a CTIMRTP scholarship at MQU and a Betty Mayne grant from the Linnean Society of NSW. LEH and TPT was supported by grants from the Swedish Research Council (VR 2009-4395, 2012-1658, 2018-03390, 2021-04295). TPT was also supported by NSFC grant 42072003. GAB was supported in Antarctica by a Trans-Antarctic Association Grant. TYPSP was supported by Korea Polar Research Institute grant (KOPRI project No. PE23050). We thank D. Taylor for fieldwork logistics and support in Antarctica. Thanks to D. Mathieson (Macquarie University) and T. Hultgren (Uppsala University) for acid processing. The authors thank John Paterson, Jim Jago, Patrick Smith, James Holmes and Peter Jell for discussions regarding trilobite identifications, occurrences and correlations. Thanks to Jikhan Jung (KOPRI) for imaging trilobite and <i>Marocella mira</i> specimens. Isotopic analyses were carried out in Copenhagen and with the help of M. Roland and at the Mawson Analytical Spectrometry Services (M.A.S.S.), Faculty of Sciences, Engineering and Technology, University of Adelaide under the supervision of Dr. Tony Hall. The authors acknowledge the Pantjikali, Wanyupariku, Wilyakali and Malyangapa people who are the traditional owners of the land where the Cymbric Vale Formation tuff was collected, and Mick and Britt Anderson of Cymbric Vale Homestead. Thanks to Luoyang Li and two anonymous reviewers for their very helpful reviews.
mrnIF 50 이상 80 미만		○ 저자: 박창근*, 박선영, 김화영, 이종익 ○ 논문명: Petrography and classification of Elephant Moraine 14017 (EET 14017): a new primitive LL3.05 ordinary chondrite from Antarctica ○ 게재지: Episodes ○ 일시: 2024. 9. ○ mrnIF: 52.8 Article by Changkun Park^{1,2*}, Sun Young Park^{1,3}, Hwayoung Kim¹, and Jong Ik Lee¹ Petrography and classification of Elephant Moraine 14017 (EET 14017): a new primitive LL3.05 ordinary chondrite from Antarctica ¹Division of Glacier & Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea; *Corresponding author, E-mail: changkun@kopri.re.kr ²University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea ³Petroleum Energy Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea (Received: March 31, 2024; Revised accepted: June 4, 2024) https://doi.org/10.18814/epiiugs/2024/02403s11 Acknowledgement This work was supported by Korea Polar Research Institute project PE24050. We thank an anonymous reviewer and Dr. Jin-Yong Lee for their constructive comments. ○ 저자: Ray D.*, Misra S., 박창근, Newsom H., Peterson E. ○ 논문명: Maskelynite - as seen in shocked Lonar target basalt, India, and martian and lunar meteorites ○ 게재지: Geochemistry ○ 일시: 2024. 5. ○ mrnIF: 66



Maskelynite- as seen in shocked Lomar target basalt, India, and martian and lunar meteorites

Dwijesh Ray^{a,*}, Saumitra Misra^{b,*}, Changkun Park^c, Horton E. Newsom^{d,1}, Eric J. Peterson^d

^a Planetary Sciences Division, Physical Research Laboratory, Ahmedabad 380 009, India

^b Discipline of Geological Sciences, SAEPs, University of KwaZulu-Natal, Durban 4000, South Africa

^c Korean Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea

^d Institute of Meteoritics and Department of Earth and Planetary Sciences, University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131, USA

Acknowledgement

Department of Space (Govt. of India) is thankfully acknowledged for financial help. This work was supported by KOPRI grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (PE23050). SM is grateful to NRF Rated Researcher Grant (no. 150817) for this research. The ANSMET provided the EET79001 sample for this study. Critical reviews by Jörg Fritz, John Spray and an anonymous reviewer and editorial handling of Susanne P. Schwenzer, Associate Editor and Astrid Holzheid, Editor-in-Chief are greatly appreciated. DR, SM and EJP are forever grateful to our coauthor Horton E. Newsom who was an admirable mentor on Lomar Impact Crater Research in India. We regret that he could not see this work to its completion and hope to honor his memory with this publication.

- 저자: Noriyuki Kawasaki*, Daiki Yamamoto, Sohei Wada, 박창근, 김화영, Naoya Sakamoto, Hisayoshi Yurimoto
- 논문명: ^{26}Al - ^{26}Mg chronology of high-temperature condensate hibonite in a fine-grained, Ca-Al-rich inclusion from reduced CV chondrite
- 게재지: Meteoritics & Planetary Science
- 일시: 2024. 4.
- mrnIF: 61



Meteoritics & Planetary Science 59, Nr 4, 630–639 (2024)
doi: 10.1111/maps.13989

^{26}Al - ^{26}Mg chronology of high-temperature condensate hibonite in a fine-grained, Ca-Al-rich inclusion from reduced CV chondrite

Noriyuki KAWASAKI^{1,*}, Daiki YAMAMOTO², Sohei WADA¹, Changkun PARK³, Hwayoung KIM³, Naoya SAKAMOTO⁴, and Hisayoshi YURIMOTO^{1,4}

¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan

²Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, Fukuoka, Japan

³Division of Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea

⁴Isotope Imaging Laboratory, Creative Research Institution, Hokkaido University, Sapporo, Japan

*Corresponding author.

Noriyuki Kawasaki, Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, Sapporo 060-0810, Japan.
E-mail: kawasaki@ep.sci.hokudai.ac.jp

(Received 27 February 2023; revision accepted 20 April 2023)

Acknowledgments—This article is dedicated to Dr. Edward R. D. Scott for his outstanding contributions to meteoritics. The authors are grateful to Takashi Mikouchi for granting permission to use the one-atmosphere furnace and Shogo Tachibana for the vacuum furnace to synthesize the hibonite samples. We thank Jérôme Aléon, an anonymous reviewer, and associate editor Alexander. N. Krot for their constructive comments. This work was financially supported by Monka-sho grants and Korea Polar Research Institute (KOPRI) grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (KOPRI PE23050).

- 저자: 김태환*, Kim, Y., Tumiat, S., 김대영, Yi, K., 이미정
- 논문명: Sedimentary protolith and high-*P* metamorphism of oxidized manganiferous quartzite from the Lanterman Range, northern Victoria Land, Antarctica
- 게재지: European Journal of Mineralogy
- 일시: 2024.03.27
- mrnIF: 55

Eur. J. Mineral., 36, 323–343, 2024
<https://doi.org/10.5194/ejm-36-323-2024>
 © Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



European Journal of
Mineralogy
Open Access



Sedimentary protolith and high-*P* metamorphism of oxidized manganiferous quartzite from the Lanterman Range, northern Victoria Land, Antarctica

Taehwan Kim^{1,2}, Yoonsup Kim³, Simone Tumiat⁴, Daeyeong Kim¹, Keewook Yi⁵, and Mi Jung Lee¹

¹Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, 21990, Republic of Korea

²Department of Earth Science Education, Korea National University of Education, Cheongju, 28173, Republic of Korea

³Department of Earth and Environmental Sciences, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Republic of Korea

⁴Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Milano, via Mangiagalli 34, 20133, Milan, Italy

⁵Research Center for Geochronology and Isotope Analysis, Korea Basic Science Institute, Cheongju, 28119, Republic of Korea

Correspondence: Taehwan Kim (taehwan.kim@knue.ac.kr)

Received: 30 April 2023 – Revised: 4 January 2024 – Accepted: 22 January 2024 – Published: 27 March 2024

Financial support. This work was supported by Korea Polar Research Institute (KOPRI) grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (KOPRI PE24050).

- 저자: 김대영*
- 논문명: Microstructures of spinel peridotite xenoliths from Baker Rocks in northern Victoria Land, Antarctica: evolution of lithospheric mantle around the Transantarctic Mountains
- 게재지: Episodes
- 일시: 2024.10.01 (Early view)
- mrnIF: 52.8

by **Daeyeong Kim**

Microstructures of spinel peridotite xenoliths from Baker Rocks in northern Victoria Land, Antarctica: evolution of lithospheric mantle around the Transantarctic Mountains

Division of Glacier and Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Republic of Korea; *Corresponding author, E-mail: dkim@kopri.re.kr

(Received: March 18, 2024; Revised accepted: September 13, 2024)

<https://doi.org/10.18814/epiugs/2024/024021>

Acknowledgments

The author appreciates the technical support of Jong Ik Lee, Jung-Woo Park, Austin Arias, and Junhee Park during the fieldwork in the

2018–2019 season, Hwayoung Kim for EPMA analysis, and Jaeseok Lee for EBSD analysis. The fruitful and constructive reviews of Yuval Boneh and two anonymous reviewers, along with the considerate editing of Andrea Festa, greatly improved the earlier version of the manuscript. This research was financially supported by the **Korea Polar Research Institute project PE24050**.

- 저자: Luca Zurli*, Giovanni Pio Liberato, Matteo Perotti, 우주선, 이미정
- 논문명: A multi-proxy detrital study from Permian-Triassic fluvial sequences of Victoria Land (Antarctica): Implications for the Gondwana basin evolution
- 게재지: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology
- 일시: 2024. 2.
- mrnIF: 61.5



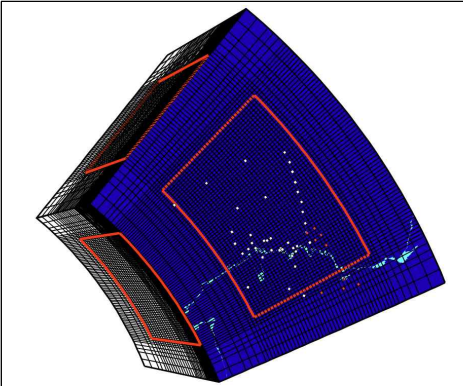
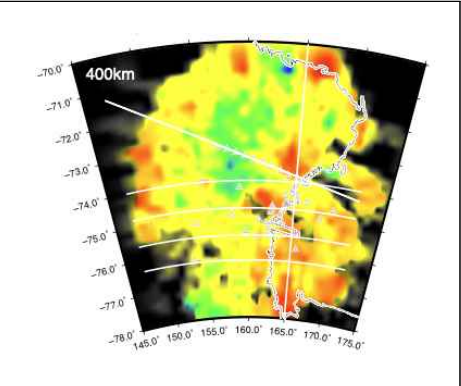
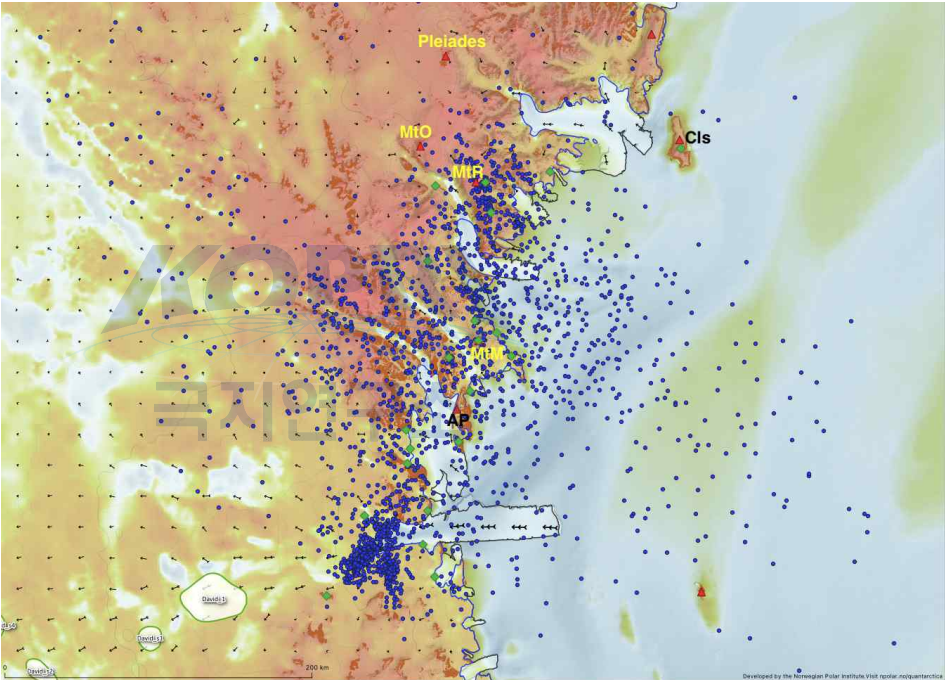
A multi-proxy detrital study from Permian-Triassic fluvial sequences of Victoria Land (Antarctica): Implications for the Gondwanan basin evolution

Luca Zurli^a, Giovanni Pio Liberato^a, Matteo Perotti^{a,*}, Jusun Woo^b, **Mi Jung Lee^c**,
Gianluca Cornamusini^{a,d}

^a Department of Physical, Earth, and Environmental Sciences, University of Siena, Siena, Italy
^b School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea
^c Division of Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea
^d Museo Nazionale dell'Antartide, University of Siena, Siena, Italy

Acknowledgments

This work was mainly supported by the Italian “Programma Nazionale di Ricerca in Antartide” [grant number PNRA AZ2.08/2013], the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIT) [grant number 2022R1A5A1085103], and the **Korea Polar Research Institute (KOPRI) [project number PE23050]**. We thank the personnel of the ENEA and of the whole Mario Zucchelli Station for their support for base and field activities, and the KOPRI and the Chungbuk National University staffs for their great support during the data acquisition and sample preparation. Analyzed samples are stored at the Museo Nazionale dell'Antartide – Siena Section; we wish to acknowledge its staff. We wish to thank the Editor Lucia Angiolini and the reviewers Sergio Andò and Benjamin Bomfleur for their precious revisions and comments that helped us to improve the manuscript.

	확장된 지각/맨틀 3차원 속도구조 모델	○ 3차원 속도구조 모델 개발   (좌)확장된 3차원 모델 격자 구조. (우) 격자구조를 기본으로 역산된 3차원 속도 구조 중 400km 깊이 단면도.
남극 중양해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	리트만 화산 지역 지진 발생현황 연구	○ 2020년에 대한 지진원 위치/발생시간 역산 및 DB  2020년에 관측된 국지 지진. 약 2000개 지진에 대한 파형, 발생시간과 위치 목록 구축
남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	화산암 지화학분석	○ 북빅토리아랜드 국부 화산군 시료 전암과 Sr-Nd-Pb 동위원소 조성

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

■ 2025

성과목표	성과지표	
논문게재	mrnIF 80 이상	○ 저자: 김동환, 이현우, 이미정, 박창근, Andrea Luca Rizzo ○ 논문명: Upper mantle scale enrichment of Cenozoic intraplate magmatism in Northeast Asia: He-Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the basalts around the Korean peninsula ○ 게재지: Gondwana Research ○ 일시: 2025. 1. ○ mrnIF: 94.9



Contents lists available at ScienceDirect

Gondwana Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gr



Upper mantle scale enrichment of Cenozoic intraplate magmatism in Northeast Asia: He-Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the basalts around the Korean peninsula

Donghwan Kim^a, Hyunwoo Lee^{a,*}, **Mi Jung Lee^b**, **Changkun Park^b**, Andrea Luca Rizzo^{c,d}

^aSchool of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

^bDivision of Glacier and Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon, 21990, Republic of Korea

^cDepartment of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1, 20126 Milano, Italy

^dIstituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano, Via Alfonso Corti 12, 20133 Milano, Italy

Acknowledgments

This study was sponsored by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean Ministry of Science and ICT (2022R1C1C1007104 and 2022R1A5A1085103) and the Korean Ministry of Oceans and Fisheries (grant no. PG53500 and **PE24050**).

- 저자: 김형규, **박창근**, 김은정, 박선영, **김화영**, 김현나
- 논문명: Chemical and structural evidence for melt-induced amorphization of alkali feldspar in lunar meteorite DEW 12007: insight into shock amorphization
- 게재지: Journal of Petrology
- 일시: 2025. 8.
- mrnIF: 80



Journal of Petrology, 2025, 66, egaf074

<https://doi.org/10.1093/petrology/egaf074>

ADVANCE ACCESS PUBLICATION DATE 20 AUGUST 2025

Letter

Chemical and Structural Evidence for Melt-Induced Amorphization of Alkali Feldspar in Lunar Meteorite DEW 12007: Insight into Shock Amorphization Mechanisms

HYEONG-GYU KIM¹, **CHANGKUN PARK^{2,3}**, EUN JEONG KIM⁴, SUN YOUNG PARK⁵, **HWAYOUNG KIM²** and HYUN NA KIM^{1,4,*}

¹Department of Geoenvironmental Sciences, Kongju National University, 56 Gongjudaehak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, 32588, Republic of Korea

²Division of Glacier and Earth Sciences, Korea Polar Research Institute (KOPRI), 26 Songdomirae-ro, Yeosu-si, Jeonnam-do, 59526, Republic of Korea

³Polar Science, Korea National University of Science and Technology, 217 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34113, Republic of Korea

⁴Yellow Sea Institute of Geoenvironmental Sciences Laboratory, Kongju National University, 56 Gongjudaehak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, 32588, Republic of Korea

⁵Petroleum and Future Energy Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 124 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34132, Republic of Korea

*Corresponding author: Telephone: +82-41-850-8513. E-mail: hkim@kongju.ac.kr

[†]Handling Editor: Prof. Takashi Mikouchi

FUNDING

This research was supported by the National University Development Project of the Ministry of Education, Korea, in 2024 (Kongju National University; 2024-0832-01); KOPRI (PE25050) funded by the Korean Ministry of Oceans and Fisheries, which are gratefully acknowledged; and Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government (MOTIE; 20214000000500, training program of CCUS for the green growth).

- 저자: Jangmi Han, 박창근, Ming-Chang Liu, Nozomi Matsuda, Justin I. Simon, Lindsay P. Keller
- 논문명: Mineralogical and isotopic constraints on early, high-temperature events and reservoirs recorded in the interior of a type B Ca-Al-rich inclusion from the reduced cv3 chondrite vigarano
- 게재지: Geochimica et Cosmochimica Acta
- 일시: 2025. 8.
- mrnIF: 92

Geochimica et Cosmochimica Acta 404 (2025) 25–40



Contents lists available at ScienceDirect

Geochimica et Cosmochimica Acta

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gca



Mineralogical and isotopic constraints on early, high-temperature events and reservoirs recorded in the interior of a Type B Ca-Al-rich inclusion from the reduced CV3 chondrite Vigarano



Jangmi Han^{a,b,*}, Changkun Park^{c,d}, Ming-Chang Liu^{e,f}, Nozomi Matsuda^g, Justin I. Simon^h, Lindsay P. Keller^g

^a Amentum, NASA Johnson Space Center, Houston, TX 77058, USA

^b Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, Houston, TX 77204, USA

^c Division of Glacier and Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea

^d Polar Science, Korea National University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea

^e Department of Earth, Planetary, and Space Sciences, UCLA, Los Angeles, CA 90095, USA

^f Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA 94550, USA

^g Astromaterials Research and Exploration Science, NASA Johnson Space Center, Houston, TX 77058, USA

Acknowledgements

This study was supported in part by NASA grants 80NSSC21K1558 (JH) and 80NSSC20K0759 (MCL); KOPRI grant PE24050 (CP); and JSC Coordinated Analysis (LPK) and Geochemistry and Cosmochemistry (JIS) Work Packages funded by the NASA Internal Scientist Funding Model. We acknowledge the access to the Electron Microbeam Analysis Labs at NASA JSC, the Electron Microprobe lab at KOPRI, and the UCLA ims-1290 ion microprobe facility that is partially supported by a grant

- 저자: 김지혁, Philip R Kyle, 이미정, 이종익, Matthew Heizler, 임성환, John A Gamble, Mark R Noll
- 논문명: Origin and Evolution of Miocene Basanite to Comendite Lavas at the Mount Overlord Volcanic Field, Northern Victoria Land, Antarctica

- 게재지: Journal of Petrology
- 일시: 2025. 3.
- mrnIF: 80



Journal of Petrology, 2025, 66, egaf014
<https://doi.org/10.1093/ptrology/egaf014>
 ADVANCE ACCESS PUBLICATION DATE 19 FEBRUARY 2025
 Original Manuscript

Origin and Evolution of Miocene Basanite to Comendite Lavas at the Mount Overlord Volcanic Field, Northern Victoria Land, Antarctica

JHYUK KIM^{1,2,*}, PHILIP R. KYLE³, MI JUNG LEE⁴, JONG IK LEE⁵, MATTHEW HEIZLER⁶, SUNGHWAN IM², JOHN A. GAMBLE⁶ and MARK R. NOLL^{3,7}

¹Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 46241, Republic of Korea
²Center for Deep-Surface Coupling of Earth, Seoul National University, Gwanak-gu, Gwanak-ro 1, Seoul 08826, Republic of Korea
³Department of Earth and Environmental Science, New Mexico Institute of Mining and Technology, 801 Leroy Place, Socorro, NM 87801 USA
⁴Division of Glacier and Earth Sciences, Korea Polar Research Institute (KOPRI), 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21993, Republic of Korea
⁵New Mexico Bureau of Geology and Mineral Resources, New Mexico Institute of Mining and Technology, 801 Leroy Place, Socorro, NM 87801, USA
⁶School of Geography, Environment and Earth Sciences, Victoria University of Wellington, Kelburn Parade, Wellington, New Zealand
⁷Earth Sciences, SUNY Brockport, 350 New Campus Drive, Brockport, NY 14420, USA

*Corresponding author. Tel: +82 051-510-2760, E-mail: jhyuk@pusan.ac.kr, jhyuk008@gmail.com
 †Handling Editor: Prof. Valentin Troll

ACKNOWLEDGEMENTS

The field work described here was undertaken as part of the 1981–1982 United States Antarctic Research Program, North Victoria Land field camp. Additional samples were collected using helicopter support out of the Korean Jang Bogo station. Assistance in the field from William (Bill) McIntosh ensured smooth and safe travel during the extended ski-doo travel and camp moves. Excellent support from helicopters of the VXE-6 squadron allowed visits to some isolated locations. Thanks to Ken Foland of The Ohio State University for K/Ar dates, Hwayoung Kim and Changkun Park were essential for the smooth operation of the electron microprobe at the KOPRI. Seunghee Han is thanked for the ICP-MS and TIMS analyses, and Yunseok Yang for the XRF. We thank Sangbum Park and Pilmo Kang for assistance with sample preparation of some bulk rock analyses. We also thank Jake Ross, Julia Ricci, and Siânin Spaur for their support of the ⁴⁰Ar/³⁹Ar age determinations. J. A. Gamble acknowledges the support of the Antarctic Research Centre, Victoria University. P. R. Kyle acknowledges support over many years from the U.S. National Science Foundation, Office of Polar Programs and KOPRI. Some of the analyzed samples are based on services provided by the Polar Rock Repository with support from the National Science Foundation, under Award OPP-2137467. This study was funded by KOPRI (PE25050) and the Basic Science Research Program (2022R1A6A3A03055829) and the Ministry of Science and ICT grant (2022R1A5A1085103) through National Research Foundation of Korea (NRF). The authors thank Kurt Panter and anonymous reviewers for their careful reviews of the manuscript.

- 저자: 전주완, Simonet Roda, M., Chen, Z.-Y., Luo, C., Kershaw, S., 김대영, Ma, J., 이정현, Zhang, Y.
- 논문명: Phosphatic stromatoporoid sponges from reefs ~480 Mya
- 게재지: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America
- 일시: 2025. 3.
- mrnIF: 90.7

PNAS

RESEARCH ARTICLE

EARTH, ATMOSPHERIC, AND PLANETARY SCIENCES
EVOLUTION



Phosphatic stromatoporoid sponges formed reefs ~480 Mya

Juwan Jeon^{a,b,c}, Mar Simonet Roda^d, Zhong-Yang Chen^{b,e}, Cui Luo^{b,e}, Stephen Kershaw^f, Daeyeong Kim^g, Jun-Ye Ma^{b,e}, Jeong-Hyun Lee^{d,h,i}, and Yuan-Dong Zhang^{b,e,i}

Affiliations are included on p. 9.

Edited by Geerat Vermeij, University of California, Davis, CA; received December 12, 2024; accepted February 19, 2025

		Raman spectroscopy analyses were conducted using a RE04 (Renishaw), equipped with software WIRE 5.5 at Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources, Daejeon, South Korea. A 532 nm solid-state laser (2.5 mW power, 1 μm resolution) collected spectra at 266.10 to 2006.58 cm^{-1} (centered at 1,200 cm^{-1}) with 1 s acquisition time. Data, Materials, and Software Availability. Fossil specimens have been deposited in Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, China (NIGP 201817-201819 and 203640-203736). ACKNOWLEDGMENTS. This work partly derives from the first author's Ph.D. dissertation, supervised by Y.-D.Z. We thank J. Ge, Q. Chen, X. Fang, W.-J. Li, and X.-J. Wu for field assistance, Y. Fang and Y.-F. Hu for SEM imaging, A.C. Lee and S.Y. Park for Raman imaging, E. Manzanero Criado for drawing the artistic life restoration, Y. Li, R.-B. Zhan, J.-B. Liu, B.-Y. Jiang, J. Botting, L. Muir, A. Munnecke, T.-Y. Park, M. Lee, Y. Oh, I. Percival, and C. Stock for helpful comments in the early stages of this study, and C.-B. Wang and K.-W. Zhang for permitting sample collection at the Xiwan Quarry. We also thank the editor, the anonymous reviewer, and O. Vinn for their constructive feedback. This study was supported by the National Natural Science Foundation of China to Y.-D.Z. (Grant No. 42030510, 42311540148) and C.L. (Grant No. 41921002), the National Research Foundation of Korea grants to J.-H.L. (RS-2023-00209495, RS-2023-NR119893), M.S.M. (RS-2022-NR074911, RS-2024-00462466) and J.J. (RS-2021-NR058441), and Korea Polar Research Institute project to D.K. (PE25050). This study is a contribution to IGCP Project 735 "Rocks and the Rise of Ordovician Life: Filling knowledge gaps in the Early Palaeozoic Biodiversification." Author affiliations: ^aDepartment of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea; ^bState Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, People's Republic of China; ^cThe Institute of Basic Science, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea; ^dResearch Institute of Natural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea; ^eUniversity of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, People's Republic of China; ^fDepartment of Life Sciences, Brunel University, Uxbridge UB8 3PH, United Kingdom; ^gScience Group, Natural History Museum, London SW7 5BD, United Kingdom; ^hDivision of Glacier & Earth Sciences, Korea Polar Research Institute, Incheon 21990, Republic of Korea; and ⁱDepartment of Geological Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea ○ 저자: Swarnendu Roy, 김대영, Koushik Sen ○ 논문명: Harzburgite-dunite transition in the Nidar Ophiolitic Complex, Ladakh, NW India and its effect on olivine crystallographic fabric ○ 게재지: Physics and Chemistry of the Earth ○ 일시: 2025. 11. ○ mrnIF: 82.0 Physics and Chemistry of the Earth 141 (2025) 104210 Contents lists available at ScienceDirect Physics and Chemistry of the Earth journal homepage: www.elsevier.com/locate/pce Harzburgite-dunite transition in the Nidar Ophiolitic Complex, Ladakh, NW India and its effect on olivine crystallographic fabric Swarnendu Roy ^{a,b}, Daeyeong Kim ^c, Koushik Sen ^{a,b} ^a Wadia Institute of Himalayan Geology, 33 GMS Road, Dehradun, 249001, India ^b Academy of Scientific and Innovative Research, Ghaziabad, 201002, India ^c Korea Polar Research Institute, Incheon, 21990, South Korea Acknowledgments Director, WIHG is thanked for his support. Funding for this research work is provided by Science and Engineering Research Board through a project (CRG/2020/004855) to KS and Korea Polar Research Institute grant (PE25050) to DK. CP Dorje provided logistic support in LEH. This work is part of ongoing doctoral research work of SR. We thank three anonymous reviewers for their thorough and constructive reviews that greatly improved this manuscript. Hongbo Su is thanked for editorial handling. ○ 저자: 김소연, 이현우, 김정민, 이유영, 최정현, 이미정, 권의진, Go Iwahana, Thomas Opel, Hanno Meyer, Sebastian Wetterich, Alexander Fedorov, 안진호 ○ 논문명: East Siberian ice wedges recording dust transport variability during the Late Pleistocene ○ 게재지: Nature Communications ○ 일시: 2025. 11. ○ mrnIF: 94.4
--	--	--

		nature communications  Article https://doi.org/10.1038/s41467-025-65772-2 East Siberian ice wedges recording dust transport variability during the Late Pleistocene Received: 16 January 2025 Accepted: 23 October 2025 Published online: 10 November 2025  Check for updates Soyeon Kim¹, Hyunwoo Lee¹ , Jeongmin Kim², Yuyoung Lee², Jeong-Heon Choi², Mi Jung Lee³, Ui-Jin Kwon¹, Go Iwahana⁴, Thomas Opel⁵, Hanno Meyer⁵, Sebastian Wetterich^{5,6}, Alexander Fedorov⁷ & Jinho Ahn¹ During the Late Pleistocene, a severely cold and dry climate strengthened dust production across the Northern Hemisphere. Despite many studies examining aridification and dust production, there is a lack of understanding about dust transportation during global climate variability. Long-range transported (LRT) dust can be traced by comparing global geochemical signatures and constraining provenance relationships. Here we report rare earth element abundances and strontium, neodymium, and oxygen isotope compositions of inorganic substances in ice wedges from Batagay and Central Yakutia (Cyuie and Churapcha), which comprise Yedoma deposits that formed in unglaciated Beringia. Distinct geochemical properties reflect differences between local and LRT dust contributions. Particles in the Batagay ice wedges show higher similarities to Chinese aeolian deposits, while those in Central Yakutia indicate stronger local input. These provenance constraints highlight variability in atmospheric circulation transporting dust to the Arctic during the Late Pleistocene, linking climate changes to aerosol distribution. Acknowledgements This research was supported by the R&D Program for Oceans and Polar Regions of the National Research Foundation (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (RS-2020-NRO45823). J.K. and Y.L. were supported by the Korea Basic Science Institute grant (C511000). M.J.L. was financially sponsored by the Ministry of Oceans and Fisheries of Korea (PE25050). T.O. was funded by the Leverhulme Trust under Grant RPG-2020-334 and by the MARUM Cluster of Excellence “The Oceans Floor – Earth’s Uncharted Interface” (German Research Foundation DFG, Project number 390741603). We thank Kwangjin Yim, Sarang Choi, Seolhui Bang, and Hyeonjeong Jeong for preparing samples. We are grateful to Kongtae Ra and Seung Hee Han for helping analyses of trace elements and radiogenic isotopes, respectively. We would like to thank the staff at the AWI facility MICADAS for their support with the analysis.
	mrnIF 50 이상 80 미만	○ 저자: 이현우, 이원희, 이미정, 이용문, 박종훈, 차혜린 ○ 논문명: Diffuse Soil Degassing in Hydrothermal Areas of Mt. Melbourne, Antarctica: Insights for the Understanding of Cryovolcanism on Earth ○ 게재지: ACS Earth and Space Chemistry ○ 일시: 2025. 7. ○ mrnIF: 73.0

Diffuse Soil Degassing in Hydrothermal Areas of Mt. Melbourne, Antarctica: Insights for the Understanding of Cryovolcanism on Earth

Published as part of ACS Earth and Space Chemistry special issue "Reika Yokochi Memorial".

Hyunwoo Lee,* Wonhee Lee, Mi Jung Lee, Yongmoon Lee, Jonghoon Park, Hyerin Cha, Naoto Takahata, Yuji Sano, and Tobias P. Fischer

Cite This: ACS Earth Space Chem. 2025, 9, 2092–2101

Read Online

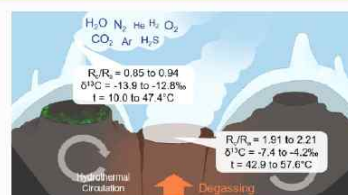
ACCESS |

Metrics & More

Article Recommendations

Supporting Information

ABSTRACT: Cryovolcanism is a phenomenon reported in dwarf planets and satellites in the solar system and is characterized by the eruptions of volatiles under low-temperature conditions. However, there are clearly limitations to understanding it fully from observations far from Earth. From this point of view, Antarctica is one of the most extreme environments on Earth and is a very important region for modeling the extraterrestrial environment. Here, we report a maximum soil CO₂ flux value of 6120 g m⁻² d⁻¹ and a total CO₂ output of 8355 t d⁻¹ from the hydrothermal environment (up to 57.6 °C) of Mt. Melbourne, an active volcano located in Antarctica. In addition, fumarolic gases have δ¹³C values of −13.9 to −4.2‰ with CO₂ concentrations of 21.2–36.2 vol %. The corrected helium isotope ratios (R_c/R_a) of the gases are up to 2.21, indicating the magma degassing of Mt. Melbourne. However, hydrogen and oxygen isotopes of the ice samples inside the ice caves and ice towers in the hydrothermal region, similar to their surroundings, suggest that they are of largely atmospheric origin. Nevertheless, the circulated water caused hydrothermal alteration, producing minerals such as kaolinite and gibbsite, which greatly affected the moss habitat and microbial distribution of small greenhouse systems. Thus, the observations in this Antarctic hydrothermal system could potentially provide clues about extraterrestrial biological activity through cryovolcanism.



KEYWORDS: hydrothermal degassing, carbon dioxide, helium, cryovolcanism, Mt. Melbourne, Antarctica

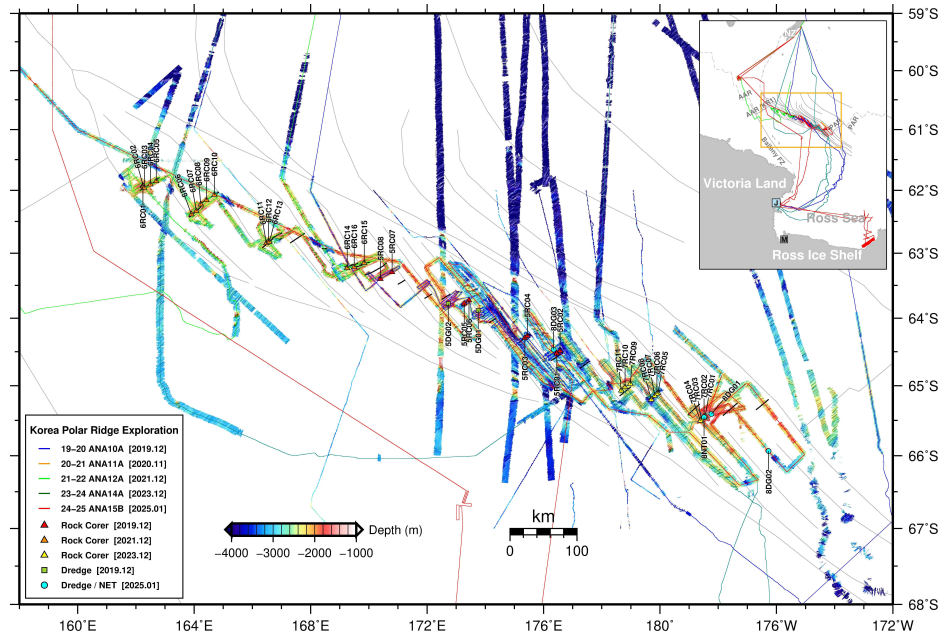
ACKNOWLEDGMENTS

This study was sponsored by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Science and ICT (RS-2022-NR070842 and RS-2020-NR045823). This work was financially supported by the Ministry of Oceans and Fisheries of Korea (PE25050). This research was supported by the Global-Learning & Academic Research Institution for Master's PhD Students and Postdocs (LAMP) Program of the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Education (no. RS-2023-00301938). We deeply thank the cooperation in the field research from the Jangbogo Station Operation Team and Korea Polar Research Institute. We appreciate the two anonymous reviewers for their constructive comments and the editor for handling this manuscript kindly.

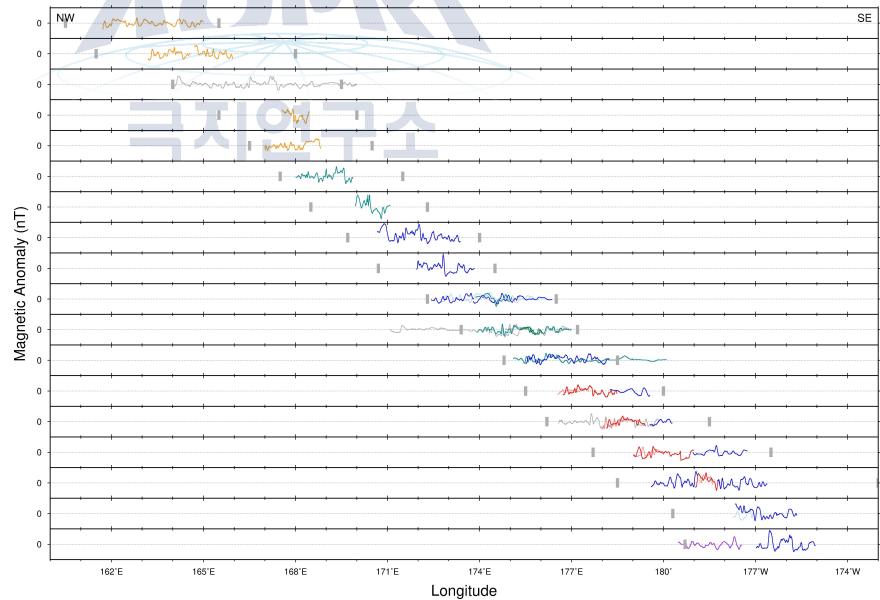
- 저자: Aranya Sen, Swarnendu Roy, 김대영, Koushik Sen
- 논문명: Quartz microstructures and crystallographic preferred orientation analysis across the Himalayan metamorphic core reveal exhumation through changing taper angle and strain partitioning along discrete fault zones
- 게재지: Journal of Structural Geology
- 일시: 2025. 8.
- mrnIF: 62.1

		Journal of Structural Geology 197 (2025) 105446 Contents lists available at ScienceDirect Journal of Structural Geology journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsg Quartz microstructures and crystallographic preferred orientation analysis across the Himalayan metamorphic core reveal exhumation through changing taper angle and strain partitioning along discrete fault zones Aranya Sen ^{a,b}, Swarnendu Roy ^{a,c}, Daeyeong Kim ^d, Koushik Sen ^{a,c,*} ^a Wadia Institute of Himalayan Geology, 33 GMS Road, Dehradun, 249001, India ^b Sakariya Mines and Minerals, 1402 Ecstasy Business Tower, Salt Lake, Kolkata, India ^c Academy of Scientific and Innovative Research, Ghaziabad, 201002, India ^d Korea Polar Research Institute, Incheon, 21990, South Korea Acknowledgment Funding for this research is provided by Institute Research Grant Fund by the Wadia Institute of Himalayan Geology to KS and by the Korea Polar Research Institute grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (KOPRI PE25050) to DK. We thank the editors, María Gema Llorens and Ian Alsop for giving us this opportunity to contribute to this special volume on <i>Observation, Quantification, and Simulation of Rock Deformation and Mountain Building Processes</i>. Richard D. Law and Luiz Morales are thanked for thorough and constructive reviews.
남극 중양해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	24-25 시즌 연구항해를 통해 남극권 중양해령에 서 새로운 열수시스템 발견 추정 및 열수 변질 암석시료 채취	

세계 최초,
남극권
중앙해령,
확장-균열
대 지역의
정밀
지형도
(진행형)

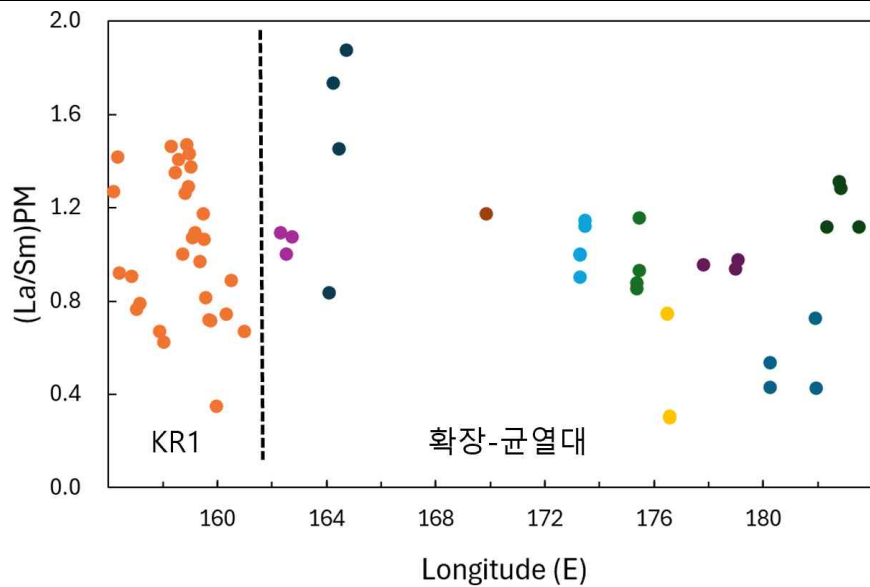


세계 최초,
남극권
중앙해령,
확장-균열
대 지역의
지자기이상
데이터
확보
(진행형)



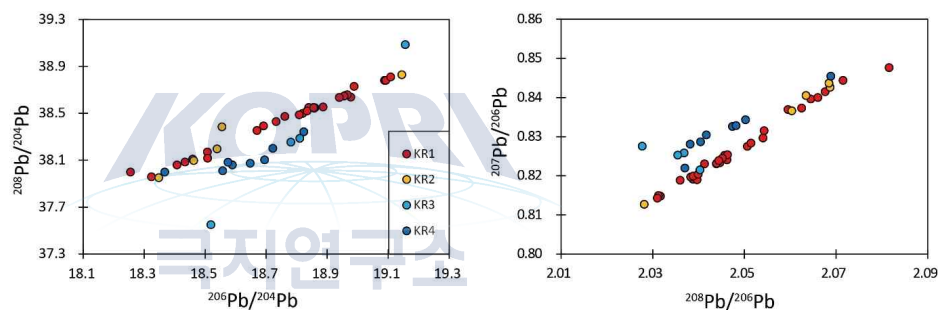
지화학
분석을
통한 맨틀
성인 및
진화 규명

- 확장-균열대 획득 현무암질 글래스 주원소 및 미량원소 분석
- 1. 남극 중앙해령의 지화학 특성 연구
 - 확장-균열대 글래스 시료 La/Sm 분석



2. 납 동위원소 분석

- KR1, 2, 3, 4 시료의 Pb 동위원소 분석



○ 열수분출구 서식 미생물 5종 유전체 분석

심해
생물의
적응/진화
기작 규명

종명	채집 지역	특징	출처
<i>Halomonas</i> sp. SS10-MC5	인도양	탈질소화 가능 호 염성 세균	Wang, L., & Shao, Z. (2021) <i>Marine Genomics</i> , 58
<i>Marinobacter</i> sp.LQ44	동태평양	페놀 분해. 알칼리 환경	Zhou, M., Dong, B., & Shao, Z. (2020) <i>Marine Genomics</i> , 50
<i>Exiguobacterium</i> <i>mexicanum</i> A-EM	대서양 Caifan	독성물질 분해	Lei, J., et al. (2021) <i>Marine Genomics</i> , 55
<i>Lutibacter</i> <i>profundus</i> LP1T	북극 중앙해 령 Loki's castle	탈질소화, 황화물 산화 효소	Wissuwa, J., et al., (2017) <i>Standards in Genomics Sciences</i> , 12,5
<i>Thermosulfurimo</i> <i>nas marina</i> strain SU872 T	Kunashir Island	호열성, 혐기성	Allioux, M., et al. (2021) <i>Marine Genomics</i> , 55

확장-균열 대 운동역학적 진화과정 규명	○ 확장-균열대의 남쪽으로 이어지는 남극 로스해 센트럴분지에 대한 운동역학적 진화과정 모델 제시 & 지판운동 모델 수립 [in revision, Nature Communications]
남극 로스해 지구물리탐 사	○ 남극 로스해 빅토리아 분지 해저지형, 천부지층, 과학적어군탐지기 탐사 
탐사자료 처리 및 해석	○ 로스해 빅토리아 분지 다중채널 탄성과 자료 정밀분석 및 해석을 위한 MOU 체결 완료 및 자료 처리 : 100% ○ 로스해 빅토리아랜드 분지 다중채널 탄성과 자료에 대한 정밀 속도분석 및 심도구조보정 구축 및 해석 - 남극 로스해 빅토리아랜드 분지에 분포하는 가스하이드레이트의 특성과 메탄가스 방출에 대한 연구의 진행을 위해서는 고정밀 탄성과 속도 모델과 구조보정을 통한 심도 탄성과 단면이 필요하며 이를 위해서는 다중채널 탄성과 원시자료가 요구됨

- 남극 로스해 가스하이드레이트 관련 다중채널 탄성과 원시자료는 이태리 OGS에서 1991년 취득하여 보유 중임
- 이에 이태리 OGS와의 국제공동연구를 통해 해당 원시자료를 확보, 파형역산 알고리즘과 기계학습 기반 단층해석 기술을 통한 빅토리아랜드 분지에 분포하는 가스하이드레이트 특성과 해저진흙화산 및 메탄방출과 연관된 천부 미세단층구조에 대한 연구를 계획함
- 2025년 2월, 이태리 OGS에 방문하여, 다중채널 탄성과 자료를 활용한 탄성과 속도모델 구축 기술(파형역산 알고리즘)과 기계학습을 활용한 단층해석 기술을 소개하고, 로스해 빅토리아 분지 가스하이드레이트 및 해저진흙화산 특성 규명에 대한 공동연구 추진을 제안함
- 이태리 OGS측에서는 다중채널 탄성과 원시자료를 제공, 탄성과 속도모델 구축과 기계학습을 활용한 단층해석에 대한 공동연구를 추진하는 데에 동의, 이태리 측에서는 2025년 4월 이에 대한 양자간 양해각서 작성 진행 중

This message contains remote content. Display Remote Content

mbuseti@ogs.it
 Re: Thank you for initiating our collaborative research on the Ross Sea (FWI and DL)
 To: ksg9322@kopri.re.kr, Cc: Riccardo Galletti, Chiara Sauli, vipari@ogs.it, eforlin@ogs.it, gbrancatelli@ogs.it, Laura De Santis,, Fausto Ferraccioli, 홍콩국가지질연구소
 March 31, 2025

Dear Kang
 sorry for my late reply.
 Regarding your visit to OGS, the period from mid-October to November is also the best for us.
 You will shortly receive an email directly from Chiara Sauli regarding the collaboration on Deep Learning.
 We are preparing the Memorandum of Understanding, which we will send to you after it has been checked by our administration (hopefully as soon as possible).
 Best regards
 Martina

Il giorno ven 14 mar 2025 alle ore 08:06 kanggu@kopi.re.kr ha scritto:
 Dear Martina and everyone,
 Thank you for your thoughtful response and for considering the best time for our collaboration. We are excited to begin the next phase of our work together.
 We understand your commitments to fieldwork in May, June, and early July. Consequently, we will adjust our plans and propose scheduling the visit for September, October, or November, in line with availability. However, September may be challenging for us due to the Arctic cruise. Our available dates are from mid-October to November. This timeline suits us well, and we will coordinate with our researchers to finalize the arrangements.
 Regarding the Deep Learning research, similar to our collaboration on FWI, we could conduct the study through an in-person visit and utilize the available data. However, we would like to initiate our collaborative research with Dr. Sauli as soon as possible to expedite results. If feasible, we would greatly appreciate your consideration in sharing data remotely to facilitate the DL research. Please know your thoughts on this approach. For the DL research, we only need the migrated seismic sections or images and detailed information on fault interpretation results (Sauli's work), rather than the data. If remote data sharing and online collaboration are feasible for the DL research, our DL researcher will introduce you to a detailed proposal and an overview of the research plan.
 Additionally, please let us know if we need to take any steps regarding the preparation of the Memorandum of Understanding (MoU) for collaboration between our institutes.
 We look forward to strengthening the collaboration between our institutes.
 Best regards,
 Kang

On Mar 11, 2025, at 20:21, Buseti, Martina <mbuseti@ogs.it> wrote:
 Dear Kang
 thank you for your email.
 We are also pleased to have met you in person and thank you for travelling all this way to visit us.
 We are glad to know that the two PhD students are enthusiastic about coming to the OGS for a period of time to work with us on the Ross Sea data. Unfortunately, many of us will be busy with field surveys in May, June and early July, especially the colleagues working on processing of MCS and myself, so our presence at the OGS will be very irregular during this period.
 We therefore propose the months of September, October and November and hope that this period will also be suitable for you.
 For DL we can also arrange a period for the early next year, as you propose.
 The SCAR Fellowship is a good opportunity, but if you prefer to come with your own funds, that's fine too, of course. As you said, in this way we can start our collaboration earlier.
 In the meantime, we will prepare a Memorandum of Understanding for collaboration between our institutes.
 Best regards
 Martina

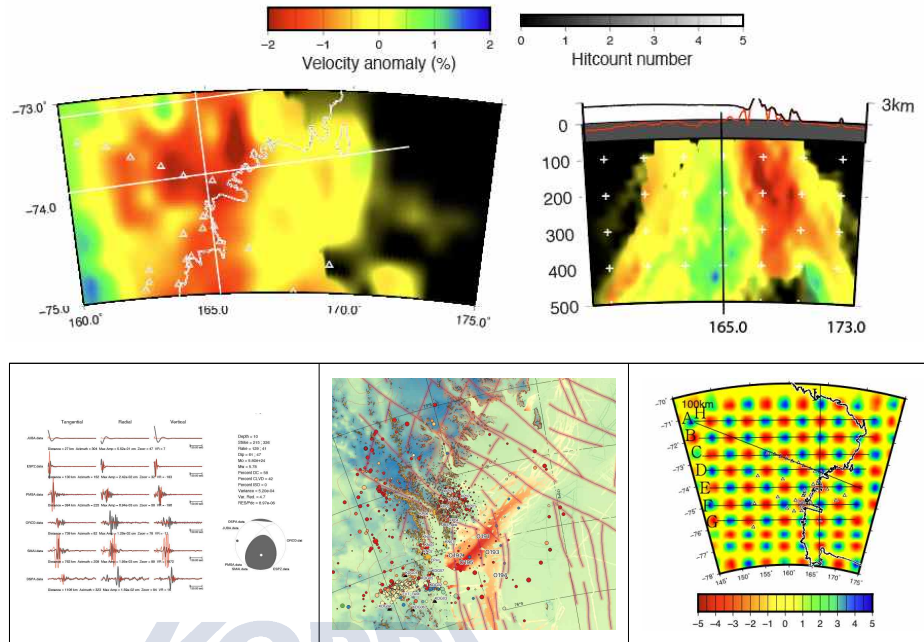
Il giorno mar 4 mar 2025 alle ore 17:21 kanggu@kopi.re.kr ha scritto:
 Dear Martina Buseti, Riccardo Galletti, Chiara Sauli, and Edy Forlin,
 It was truly a pleasure to meet you. Having previously known you only through your papers, it was an honor to finally meet in person at OGS.
 I would also like to express my sincere gratitude for your warm hospitality and kindness during my visit. JongKuk and I have returned home safely, and I am now back in the office. Upon my return, I spoke with two of our postdocs involved in our collaborative research. They are excited about working with OGS, and we are eager to take the next step forward.
 As an initial step, we plan to apply for two SCAR Fellowships—one for Full Waveform Inversion (FWI) and one for Deep Learning (DL). If successful, both researchers will visit OGS for one month to conduct joint research utilizing FWI, which would be the best-case scenario.
 Alternatively, if the fellowships are not granted, we can send one FWI researcher to OGS for about a month using our research funding (KOPRI funding). If we proceed with KOPRI funding, our visit would take place sooner than the SCAR Fellowship visit, potentially in June or July this year. For the DL component, we are considering two possible approaches: conducting the collaborative research remotely via email and online communication if feasible, supporting an OGS visit early next year through our research funding.
 I personally prefer proceeding with KOPRI funding, as it allows us to start the collaboration earlier. If we are awarded the SCAR Fellowship, we can utilize it for the next step of our research.
 We would appreciate hearing OGS's thoughts on this plan.
 Additionally, if you are interested, we would be happy to collaborate with you on Arctic research, whether on gas hydrates or other topics related to the geophysical field.
 I look forward to continuing our discussions and working together. Please let me know your thoughts.
 Best regards,
 Kang

관측자료와

○ Polar 3 자기이상의 형성 원인과 서남극 열개구조의 연결 모델 제

맨틀구조에
부합하는
Polar 3
형성 모델
도출

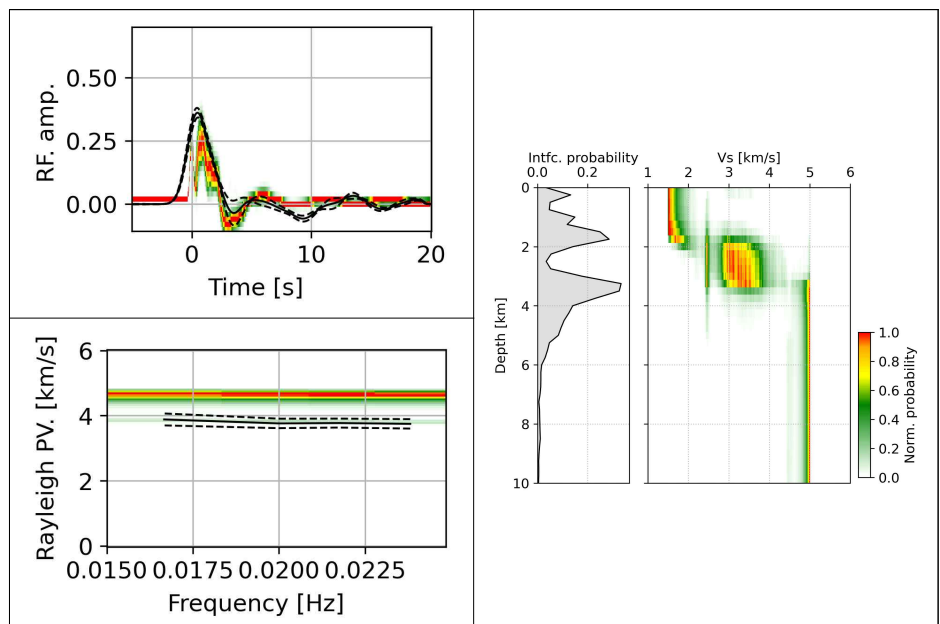
- 시
- 새롭게 추가된 P3 지역 육상 지진관측 자료와 해저면 지진계 자료를 추가하여 지각과 상부 맨틀 3차원 속도 구조 모델링 제시
 - 현재 3차원 모델을 기반으로 논문 작성중



Polar 3 지자기 이상 형성 모델 개발을 위하여 수행 중인 연구. (좌) 지진파형 모델링을 이용한 단층면해 연구들 (좌): 단층을 발생하는 스트레스/스트레인 방향 결정, (중) 데이비드 빙하, 화산, 리트만 화산 지역의 지진 발생도 연구: 단층 지역과 연계하여 지체구조적으로 활발한 지역 구분, (우) 연구지역인 남극 빅토리아랜드 지역의 3차원 속도 구조 해상도 테스트 연구: 속도 구조에서 맨틀의 물리적 성질 유추.

신규
관측소
하부 지각
속도 및
모호 깊이
도출

○ 신규 관측소 2곳의 관측소 하부 지각속도 및 모호면 모델링



베이시안 역산 방법을 이용하여 모델링된 KP01관측소에 대한 수신

함수 (좌상), 표면과 분산 곡선 (좌하), 그리고 이를 이용하여 역산된 1차원 지각 속도 구조 및 모호 깊이 (우).

- 빅토리아랜드 화산암류 38개 시료의 주성분, 미량원소 조성 및 18개 시료 Sr-Nd-Pb 동위원소 분석

Shore																										Black																										White																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Shore (Median values)																										Black (Median values)																										White (Median values)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Run Type	Type	1000		1500		2000		2500		3000		3500		1000		1500		2000		2500		3000		3500		1000		1500		2000		2500		3000		3500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Black	1000	41.94	40.80	45.55	41.74	45.41	46.05	45.36	46.36	45.66	45.92	47.10	46.20	44.01	43.07	46.37	45.27	43.50	42.90	44.54	42.99	44.55	46.06	44.76	45.10	41.94	40.80	45.55	41.74	45.41	46.05	45.36	46.36	45.66	45.92	47.10	46.20	44.01	43.07	46.37	45.27	43.50	42.90	44.54	42.99	44.55	46.06	44.76	45.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Black	1500	42.00	41.01	45.11	41.34	44.91	45.55	44.81	45.61	44.91	45.17	46.35	45.45	43.07	42.14	45.48	44.38	42.66	42.06	43.69	42.14	43.69	45.20	43.87	44.19	42.00	41.01	45.11	41.34	44.91	45.55	44.81	45.61	44.91	45.17	46.35	45.45	43.07	42.14	45.48	44.38	42.66	42.06	43.69	42.14	43.69	45.20	43.87	44.19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Black	2000	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Black	2500	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Black	3000	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Black	3500	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
White	1000	41.94	40.80	45.55	41.74	45.41	46.05	45.36	46.36	45.66	45.92	47.10	46.20	44.01	43.07	46.37	45.27	43.50	42.90	44.54	42.99	44.55	46.06	44.76	45.10	41.94	40.80	45.55	41.74	45.41	46.05	45.36	46.36	45.66	45.92	47.10	46.20	44.01	43.07	46.37	45.27	43.50	42.90	44.54	42.99	44.55	46.06	44.76	45.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
White	1500	42.00	41.01	45.11	41.34	44.91	45.55	44.81	45.61	44.91	45.17	46.35	45.45	43.07	42.14	45.48	44.38	42.66	42.06	43.69	42.14	43.69	45.20	43.87	44.19	42.00	41.01	45.11	41.34	44.91	45.55	44.81	45.61	44.91	45.17	46.35	45.45	43.07	42.14	45.48	44.38	42.66	42.06	43.69	42.14	43.69	45.20	43.87	44.19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
White	2000	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
White	2500	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
White	3000	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
White	3500	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12	41.98	40.37	45.22	41.54	45.23	45.10	45.28	45.20	45.49	45.34	47.22	46.39	43.08	42.16	45.58	44.48	42.74	42.14	43.78	42.24	43.80	45.30	44.02	44.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Mean	1000	46.17	46.50	46.44	46.50	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.17	46.50	46.44	46.50	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58	46.58

화산암
지화학분석

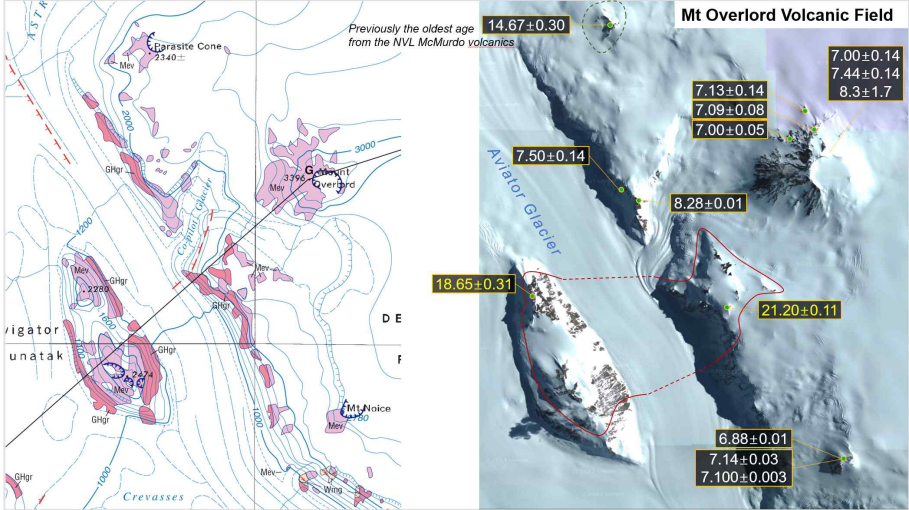
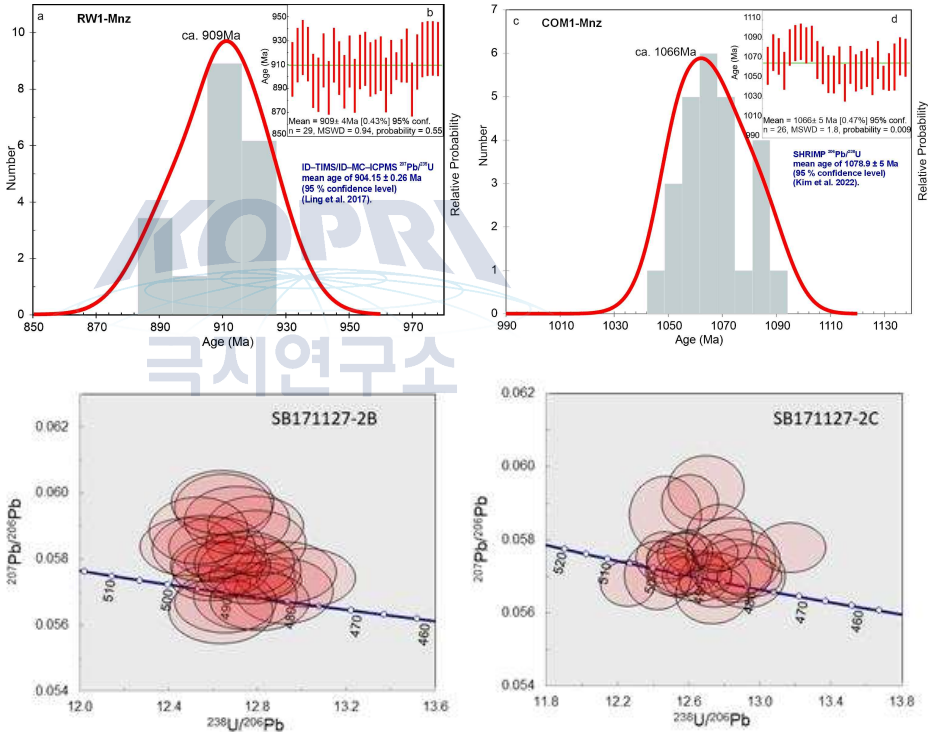
남극
빅토리아랜드
대륙부
화산활동 및
지체구조
진화,
행성과학
이해

[illegible]

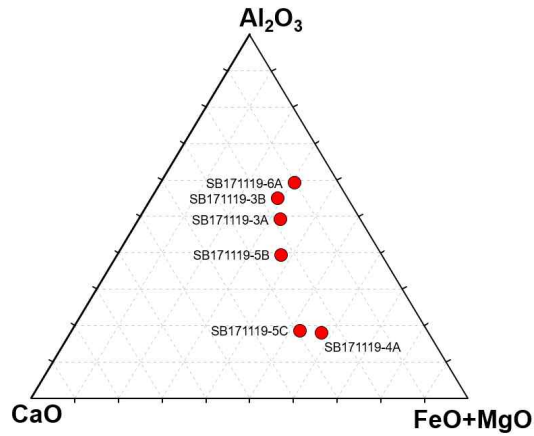
1. 화산암류 절대 연령 측정(39Ar/40Ar 연대)

- 뉴멕시코 광산공과대학(NM Institute of Mining and Technology, NMT) 내에 있는 뉴멕시코 지질조사국(NM Bureau of Geology)의 연대 측정 연구실(NM Geochronology Research Laboratory, NMGRL)에 설치된 질량분석기를 통해 북빅토리아랜드 국부 화산군 시료 6점에 대해 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 정밀연대 측정

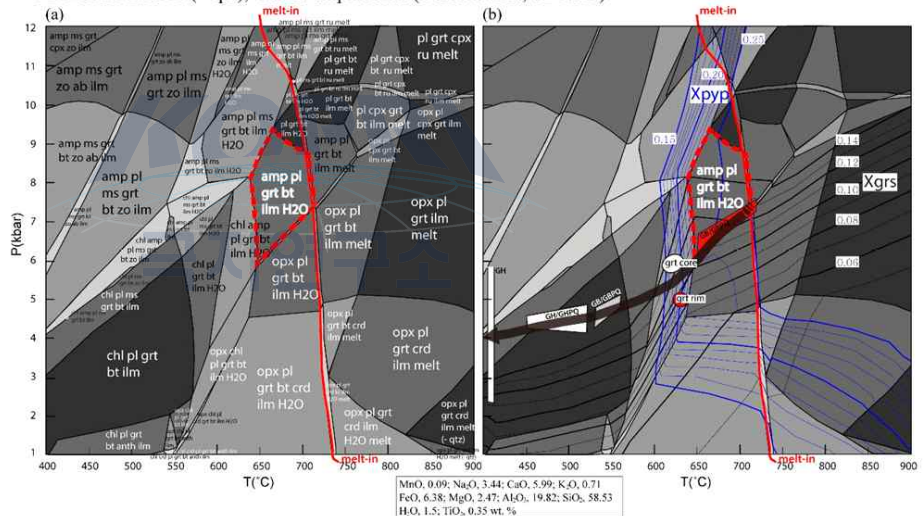
화산암류
절대 연령
측정

		
변성암 광물화학 및 동위원소 분석		○ 광물 동위원소 분석 암석 시료 2건 1. 모나자이트 2개 시료 동위원소 분석 결과 제시 
터레인 경계부 지질진화 규명		○ 변성암류 압력-온도 조건 계산 암석 시료 2건 1. 터레인 경계부 고압 변성암류의 섭입대 진화사 규명 - 딥프리즈 산맥에서 흔히 나타나는 변성암 암석 유형은 석류석을 포함한 변성 퇴적성 백립암이며, 이들 암석에서는 부분용융의 흔적과 석영-장석질 우백대와 우흑대가 교대로 분포하는 특징 확인. 이 외에도 휘석, 각섬석을 포함한 규장질 백립암과 이를 관입하는 화강암~화강섬록암 역시 대규모로 분포하는 것을 확인하였고 일부 지역에서는 층상의 고철질 백립암도 발견됨. - 테라노바만 해안 장보고기지 인근, 곤드와나 기지 인근, 그리고 제를라슈 내만에는 혼성 편마암과 석류석-흑운모 편암, 각섬암,

각섬석 편암, 흑운모-각섬석 편마암이, 마운티니어 산맥 (Mountaineer Range) 지역은 각섬암과 함께 변성 퇴적암이 분포 - 남극 데센트 산맥 (Dessent Ridge)의 석류석 각섬암의 전암 주 원소 정량분석을 통해 모암의 종류와 화학조성 범위를 확인하였음



MnNCKFMASHT (+ qtz), Garnet amphibolite (Dessent Unit, SB173B)

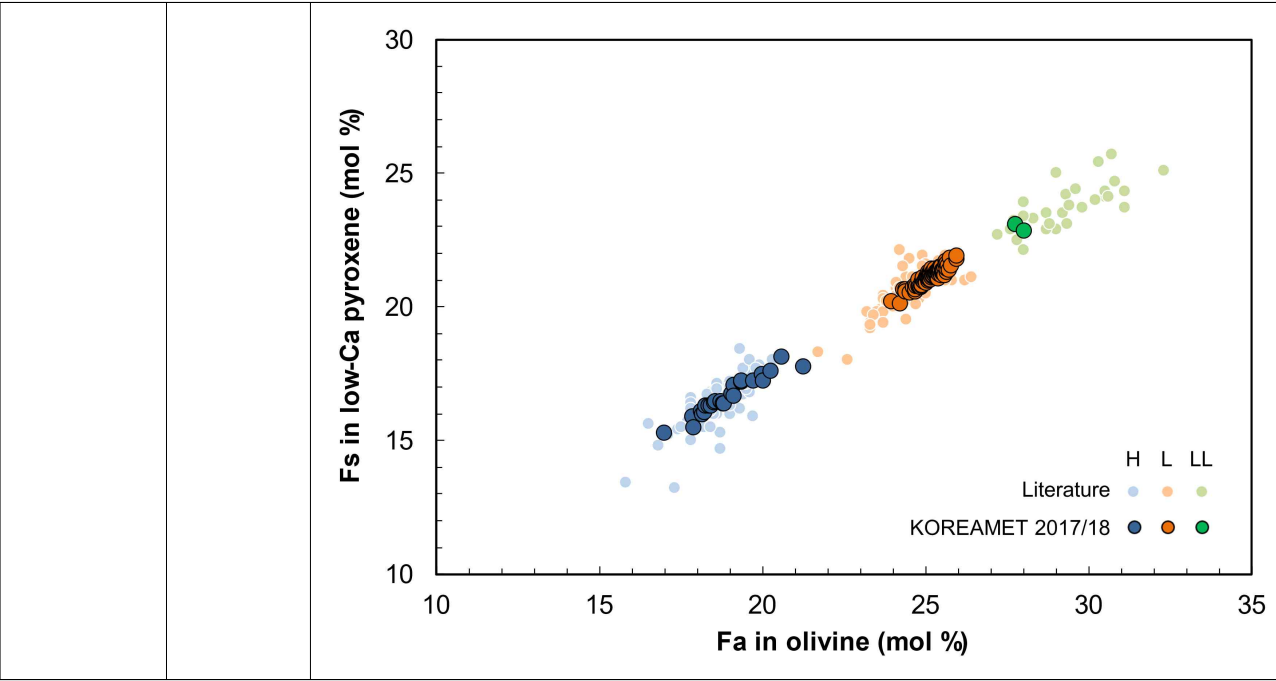


<데센트 산맥 일대 각섬암의 온도 온도 압력 계산>

북빅토리아
아랜드
지각
변형역사
규명

- 지각 변형역사 모델 수립
 - 1. EBSD를 이용한 결정 방향성 구조 분석
 - 2. EPMA, SHRIMP 등을 이용한 화학분석 및 연대추정
 - 전단대 발달이 높은 온도에서의 변형작용과 밀접한 관계 확인

	암석권맨 틀 메타소마 티즘 특성 파악	○ 맨틀포획암 분석으로 암권맨틀의 변형 정보 및 지화학 특성 해석 1. EBSD를 이용한 결정 방향성 구조 분석 2. ICP-MS를 이용한 Os 동위원소 성분 분석 3. REE 성분을 이용한 메타소마티즘 특성 파악
	달과 소행성 표면물질 특성 분석	○ KOREAMET 2017/18 남극운석 중 121개의 오디너리 콘드라이트 분석 : 1. 달운석 DEW 12007의 알칼리 장석에 대한 비정질화 연구 2. CM 콘드라이트에 대한 산소, 황 동위원소 전암 분석 3. 이차이온질량분석기를 이용한 황화물의 in-situ 동위원소 분석법 수립 4. 사장석 포함 콘드라의 산소 및 알루미늄-마그네슘 동위원소 연구 5. 남극운석 분류 최종 정리 및 국제운석학회 명명위원회에 보고 6. 암석 DB



제 4 장

연구개발목표 달성도



제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

4.1절 연구개발목표 성과 달성도

구분	연구목표 달성내용				계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
	세부연구목표	연구내용	가중치 (A)	달성실적	
1단계 1년차 (2020)	1. 질란디아-남극 맨틀의 동편 경계 규명	1-1. 해저 지형 및 지자기 자료 획득	0.15	- 250 km 이상의 측선에 대해 해저 지형 및 지자기 자료 획득	100
		1-2. 해저면 암석시료 획득	0.15	- 샘플 정점 5개 이상의 해저면 암석시료 획득	100
	2. 맨틀 고유의 특성 및 기원 규명	2-1. 중앙해령 주변 해저화산 지구물리 자료 분석	0.15	- 해저화산 지형 및 분포도 작성	100
		2-2. 세계 여러곳의 맨틀포획암 획득 및 박편 제작	0.15	- 맨틀포획암 시료 및 박편 샘플 10개	100
	(1+2) 공통	논문게재	0.20	SCI(E) ($50 \leq \text{mrnIF} < 80$) 1편	100
		홍보	0.20	신문칼럼 연재 및 도서출판	100
	계		1		100
	3. 해저면 지진관측망 구축	3-1. 해저면지진계 5곳 설치	0.25	- Orca 화산 지역 설치 예정	100
		3-2. 해저면 지진계 방위각 편차 보정		- 해저면 지진계에 대한 방위각 보정 완료	100
	4. 지각 및 상부맨틀 속도 구조	4-1. 연속지진자료 및 원격지진자료 DB 구축	0.35	- Seiscomp를 이용한 DB 구축 완료	100
		4-2. 관측망 배열에 대한 최적의 모델 격자 구조		- 3차원 격자 구조 및 잠정적인 해상도 분석 완료	
	5. 화산암 분석	5-1. 19-20 현장조사에서 확보된 화산암 분석	0.1	- 3 site의 화산암의 화학 조성 특성 분석 완료	100
	(3+4+5) 공통	논문게재	0.1	Scientific report 게재	100
		상위수준논문	0.2		0
	계		1		80
	6. 남극 북빅토리아랜드 형성과 신생대 화산활동 기록복원	6-1. 주요 변성암/화성암체 절대 연령 분석 및 온도-압력 조건 계산	0.6	- 중광물의 U-Pb 동위원소 조성 분석치로부터 연령 도출 - 광물 주원소 분석치, 지온지압계, 열역학 모델링을 통해 변성 온도-압력 조건 계산	100
		6-2. 멜버른, 리트만 화산의 최근 분출사 복원을 위한 OSL 절대연령 자료 획득 및 층서 정립		- 전암 주성분, 미량원소, Sr, Nd, Pb, Hf 4종 동위원소 분석 - 멜버른, 리트만 최근 분출물 OSL 연대 측정	100
	7. 소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및	7-1. 운석 모천체 물질에 미치는 태양풍, 우주선의 영향 평가 및 노출연대	0.15	- 우주선 기원 핵종 ^3He , ^{21}Ne 로부터 우주선 노출연대 측정	100

	화산 기작 규명	계산			
	8. 남극지질·운석정보 활용기반 구축	8-1. 남극 암석시료 관리 시스템 공개 및 운영	0.25	- 주요 암석 DB(샘플 위치, 연대, 암석명 등 포함) 구축	100
		8-2. 미분류된 남극운석의 암석학적, 광물학적 기재를 통한 분류		- 남극운석 분류결과 보고서 제시	
		8-3. 연구가치가 높은 남극운석의 초고해상도 이미지 제작 및 공개		- 초고해상도 이미지 koreamet.kopri.re.kr에 공개	
계			1		100
1단계 2년차 (2021)	1. 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악	1-1. 해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득	0.23	- 측선 ~647 km 구간에 대해 지형자료 획득	100
		1-2. 관측망 구축 및 연속 지진자료 DB		- 측선 ~130 km 구간에 대해 지형 및 지자기자료 획득	
		1-3. 육상/해저 지진관측소 기본자료 분석		- 장보고기지 기반 12곳 DB 구축 및 21-22 현장조사 기간 중 자료회수 및 DB 구축 예정 (100% 예정)	
	2. 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원	2-1. 화산암류 지화학 분석	0.23	- 전암(20개), Sr-Nd-Pb-Hf(15set) 동위원소분석	100
		2-2. 화산분출사 복원모델		- 북빅토리아랜드 화산암류 ³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar 연대 측정(12개시료)	
		2-3. 해저면 암석시료 획득		- 21-22남극하계탐사에서 채취	
		2-4. 소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 화산 기작 규명 (동위원소 화산 모델링)		- 남극운석의 원소 이동 및 화산 모델링 개발	
	3. 북빅토리아랜드 지체구조 진화	3-1. 3차원 속도구조 모델링	0.23		100
		3-2. 암석학적 기재 및 열평형 온도 획득		- 12건 샘플에 대해 열평형온도 계산 완료	
		3-3. 암석절대연령측정		- 중광물(저어콘) U-Pb 연령도출	
		3-4. 변성암류 온도-압력 조건 계산		- 지온지압계, 열역학모델링 적용	
		3-5. 암석 및 운석 DB 구축, 분류, 등록, 정보공개		- 남극운석 분류 결과 및 초고해상도 이미지, KOREAMET 홈페이지에 공개 (koreamet.kopri.re.kr)	
	홍보	9회	0.05	5회 달성	56
	논문게재	mrnIF 80 이상 4편	0.20	3편 작성	75
		mrnIF 50 이상 80미만 2편	0.06	7편 작성	100
계			1		92.8
1단계 3년차 (2022)	1. 지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악	1-1. 해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득	0.16	- 250 km 이상의 측선에 대해 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득 완료	95

		1-2. 관측망 구축 및 연속 지진자료 DB		- 육상관측소 5개 신설 - 회수된 연속지진자료는 DB화 중	
		1-3. 육상/해저 지진관측소 기본자료 분석		- 센서 방위각 보정 완료 - 관측소별 배경잡음 분석중	
	2. 남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원	2-1. 화산암류 지화학 분석	0.14	- 육상 화산암류 성분 분석 결과 확보 (주원소 15점, 미량원소 22점, Sr-Nd-Pb 동위원소비 17점).	90
		2-2. 화산분출사 복원모델		- 육상 화산암류 28점에 대한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대 측정 결과 확보	
		2-3. 소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 화산 기작 규명(동위원소 화산 모델링)		- 카보네이셔스 콘드라이트와 오디너리 콘드라이트에 대한 모델링	
	3. 북빅토리아랜드 지체구조 진화	3-1. 판 구조적 속도구조/지자기연대 모델링	0.36	- 판구조 모델링을 위한 지형 및 지자기 데이터 후처리 진행 중, 추가적인 광역데이터 확보 필요	85
		3-2. EBSD 데이터 획득 및 변형모델 수립		- EBSD 정밀 맵 데이터 20건 완료 - 변형모델 고안하고 논문 작성 중	
		3-3. 암석절대연령측정		- 장보고 기지 주변 변성암 (1건), 화성암 (1건) U-Pb 저어콘 연대분석 완료	
		3-4. 지구조형성 모델 계산		- KPDC 등록 - 로스 조산운동 지체구조 모델 관련 자료 취합 중 - 지질도 및 단면도 작성함	
		3-5. 암석 및 운석 DB 구축, 분류, 등록, 정보공개		- 암석 데이터베이스(10개) KPDC 등록 - 지질노두 3D모델 2건 제작, KOPRI Polar Rock Database 홈페이지에 공개 - 운석 166개 분류 - 운석의 초고해상도 이미지 제작 완료 및 홈페이지 공개	
	홍보	9회	0.05	9회 이상	100
	논문게재	mrnIF 80 이상 5편	0.23	1편	30
		mrnIF 50 이상 80미만 3편	0.06	3편	100
	계		1.0		74.2
2단계 1년차 (2023)	1. 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	1.1.무인잠수정을 활용한 열수 및 심해 영상/암석/생물 시료 획득	0.04	- 무인잠수정(ROV) 분실로 인해 탐사수행 및 시료획득 불가 - 2-3차년도 탐사에서 만회할 예정	0
		1.2.심해생물 생명정보 수집	0.05	- 심해 생물 특이적인	100

		전수		발광단백질 발굴을 위한 발광어류 시료 확보 후 전사체 분석 - 심해 및 열수 환경 서식 생물 특이적 진화를 규명하기 위한 비교생물종 선정 및 비교생물종의 유전체 데이터베이스 구축	
		1.3. 확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명	0.04	- 기획특된 해저지형 및 지자기 자료 처리와 분석 진행 - 정밀 해저지형도 및 지자기이상도 작성	100
		1.4. 북부 로스해 진화과정 규명	0.04	- 기획특된 해저지형 및 지자기 자료 처리와 분석 진행 - 지자기 모델링 수행, 북부 로스해 일대의 과거 지판운동 복원 모델 제시	100
		1.5. 남극 로스해 빅토리아랜드 분지 지역 다중채널 탄성과 원시자료 확보	0.08	- 이태리OGS와의 국제공동연구 추진을 위한 화상회의 진행 - 양 측간의 중복 연구수행 방지, 24-25년 남극 로스해 국제공동탐사 및 향후 협업 계획 수립을 위한 대면회의 추진 예정 - 2024년 상반기 KOPRI-OGS간 대면회의 진행 후 두 기관 간 연구범위가 정해진 후 빅토리아랜드 분지지역 다중채널 탄성과 원시자료 공유가 진행될 것으로 예상됨	50
		1.6. 탄성과 원시자료에 대한 자료처리, 자료해석을 위한 구조보정 단면 구축	0.08	- 다중채널 탄성과 원시자료 확보 일정이 차년도 대면회의 이후로 미뤄짐에 따라 이번 1차년도에 원시자료에 대한 자료처리가 불가능함 - 이에 대한 대안으로 인공합성자료를 활용한 신기술 개발에 착수 - 최종 탄성과 단면 구축에 필요한 구조보정 단계에서 계산량을 획기적으로 줄여줄 수 있는 새로운 탄성과 이미징 기술을 개발, 기존의 기술과 비교, 인공합성자료에 대한 수치예제를 활용하여	100

				논문을 작성, 국제학술지에 출판함	
		1.7.지각/맨틀구조 연구를 위한 지진자료 DB	0.08	- 2022년 자료 회수 및 연속지진자료 DB 구축	100
		1.8.관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 도출	0.08	- 관측소 4곳 지각 속도/모호 깊이 역산	100
		1.9.리트만 화산 지역 지진관측망 구축	0.08	- 리트만 화산 주변 지진관측망 구축 및 자료 회수 예정	100
	2. 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	2.1.화산암 지화학분석	0.05	- 북빅토리아랜드 국부 화산군 화산암류 전암(주성분, 미량원소 20 set)과 Sr-Nd-Pb동위원소 분석(15 set)	100
		2.2.화산암류 절대 연령 측정	0.05	- 북빅토리아랜드 국부화산군 화산암류 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 절대연령 측정(20set)	100
		2.3.변성암 광물화학 및 동위원소 분석	0.05	- 광물 동위원소 분석 - 암석 시료 2개 / 저어콘, 모나자이트, 석영 등의 우라늄-납-산소 동위원소 자료 개수	100
		2.4.터레인 경계부 지질진화 규명	0.05	- 중광물 희토류원소 분석 - 암석 시료 1개 / 저어콘의 희토류원소 자료 개수	100
		2.5.달과 소행성 표면물질 특성 분석	0.05	- 달운석 DEW 12007에 대한 라만, TEM, X-ray 맵핑, 뮤온 빔 분석을 수행	100
		홍보	3회 이상	- 유튜브 채널 <보다(BODA)> 출연, 남극연구 및 해양탐사 소개 (07.01, 07.08, 07.15)	100
	논문게재	mrnIF 80 이상	0.08	- 0편	0
		mrnIF 50 이상 80 미만	0.05	- 7편 게재	100
	계		1		84
2단계 2년차 (2024)	1. 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	1.1.지화학 분석을 통한 맨틀 성인 및 진화 규명	0.05	- 23-24 남극항해 1항차 현장탐사 수행, 확장-균열대에서 해저면 암석시료 11점 확보 - 주성분 및 미량원소 분석 11건	100
		1.2.심해 생물 특이적 유전자원확보 건수	0.05	- 확장-균열대 서식 생물 4종 확보 - 심해 환경 특이적 변이 유전자 3건 확보	100
		1.3.확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명	0.05	- 23-24 남극항해 1항차 현장탐사 수행, 총 400 km 이상의 지구물리 탐사 측선에 대해 해저지형 및 해양지자기 자료 획득, 자료 처리 및 분석 수행	100

				- 확장-균열대의 다른 구역에서 획득한 해저지형 자료와의 병합을 통해 정밀 해저지형도 업데이트 - 총 8개의 탐사 측선으로부터 획득한 지자기 자료를 보정, 후처리 계산하여 지자기이상 도출 및 그래프 작성	
		1.4.북부 로스해 진화과정 규명	0.05	- 센트럴분지 형성과 관련된 동남극 및 서남극 간의 분리와 북부 로스해 진화에 대한 새로운 판구조복원 모델 제시 - 논문 투고를 위한 막바지 논의 및 토론 진행 중	100
		1.5.빅토리아랜드 분지 지역 탄성과 자료에 대한 파형역산 알고리즘을 통한 정밀 속도모델 구축	0.05	- Advanced Signal Processing모듈을 활용한 잡음 및 겹반사파 등 자료 내 포함된 자료처리 및 해석 방해요소 제거 - Migration Velocity Analysis를 통한 정밀 속도모델 구축	100
		1.6.탄성과 단면, 정밀 속도모델 해석	0.05	- 이태리 OGS와의 공동연구 및 자료공유를 위한 추가 협의 재차 시도 - OGS자료 확보 후 해당 자료에 대한 정밀 속도모델 구축 및 심도 구조보정 작성 - 정밀 속도모델 및 심도 구조보정 단면을 바탕으로 해당 연구지역 신기 지체구조 특성, 가스하이드레이트 및 해저 진흙화산에 대한 지구물리학적 특성규명연구 진행 예정	50
		1.7.확장된 지각/맨틀 3차원 속도구조 모델	0.06	- 3차원 모델 스페이스 개발 - 3차원 속도 모델링위한 원격 지진 DB 구축 - 확장된 3차원 속도 모델 개발	100
		1.8.리트만 화산 지역 지진 발생현황 연구	0.06	- 연속지진자료에서 국지지진 신호 추출 및 지진원 위치 분석 - 2022년에 발생한 지진원 위치 결정 및 DB 구축	100
	2. 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화,	2.1.화산암 지화학분석	0.06	- 북빅토리아랜드 국부 화산군 화산암류 전암(주성분, 미량원소 14 set)과 Sr-Nd-Pb동위원소 분석(30	100

	행성과학 이해	2.2.화산암류 절대 연령 측정	0.06	- 북빅토리아랜드 화산암류 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 절대연령 측정(11 set)	100
		2.3.변성암 광물화학 및 동위원소 분석	0.06	- 우라늄-납 동위원소 분석 3개 시료	100
		2.4.테레인 경계부 지질진화 규명	0.06	- 지질진화 모식도 1개 작성	100
		2.5.북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명	0.05	- 장보고과학기지 주변 화성암류 미구조 분석 중	100
		2.6.암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악	0.05	- 맨틀포획암 희토류원소 성분 분석완료 - 암석권맨틀 내 감람석 AG-type fabric이 존재함을 밝혀 새로운 변형 환경조건 제시	100
		2.7.달과 소행성 표면물질 특성 분석	0.05	- 소행성 Vesta 기원 유크라이트와 디오제나이트에 대한 Raman, CT, XRD, X-ray 맵핑	100
	홍보	3회 이상	0.05	- 도서출판 1편 - 대중강연 16회 - 인터뷰 3회(KBS, 유튜브 2회)	100
	논문게재	mrnIF 80 이상 3편	0.08	- 4편 게재	100
		mrnIF 50 이상 80 미만 3편	0.06	- 6편 게재	100
	계			1	
2단계 3년차 (2025)	1. 남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	1.1.지화학 분석을 통한 맨틀 성인 및 진화 규명	0.06	- 지화학분석 7건 이상 수행 (예상)	100
		1.2.심해 생물의 적응/진화 기작 규명	0.06	- 남극 심해 서식 생물 확보 - 심해 환경 적응 관련 유전자 확보	100
		1.3.확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명	0.06	- 지형 및 지자기 자료 획득 및 통합 분석 수행 - 지판운동 모델링 진행 중	100
		1.4.남극 로스해 지구물리탐사	0.06	- 2023/24 남극 3항차를 활용, 천부탄성과, 해저지형 자료 약 700km 획득 - 해양지열탐사는 미 실시	100
		1.5.탐사자료 처리 및 해석	0.05	- 탐사자료 처리 및 해석 완료	100
		1.6.관측자료와 맨틀구조에 부합하는 Polar 3 형성 모델 도출	0.05	- 현재 모델 도출을 위한 연구들이 80% 정도 수행	80
		1.7.신규 관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 도출	0.05	- 2곳에 대한 지각 속도 및 모호면 깊이 도출	100
	2. 남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	2.1.화산암 지화학분석	0.06	- 북빅토리아랜드 국부 화산암 시료 분석 10세트 이상 수행 (예상)	100
		2.2.화산암류 절대 연령 측정	0.06	- 북빅토리아랜드 국부 화산암 시료 6개 이상 절대연령자료 획득과 연대 지질도 1건	100

				이상 (예상)	
		2.3.변성암 광물화학 및 동위원소 분석	0.06	- 광물 동위원소 분석 암석 시료 2개 이상 (예상)	100
		2.4.터레인 경계부 지질진화 규명	0.06	- 변성암류 압력-온도 조건 계산 암석 시료 2개 이상 (예상)	100
		2.5.북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명	0.06	- 지각변형 관련 데이터 해석중 (예상)	100
		2.6.암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악	0.06	- 지화학 특성 정리중 (예상)	100
		2.7.달과 소행성 표면물질 특성 분석	0.06	- 콘드라이트 스펙트럼 분석 완료 (예상)	100
	홍보		0.05	- 홍보 6건	100
	논문게재	mrnIF 80 이상 3편	0.08	- 7편 게재	100
		mrnIF 50 이상 80 미만 3편	0.06	- 2편 게재 (mrnIF 80 이상 초과 달성이므로 mrnIF 50 이상 80 미만 항목도 100% 달성으로 표기)	100
	계		1		99



4.2절 정량적 연구성과 달성도

년도 (과제연차)	성과목표	지표	목표치(A)	달성(B)	가중치(C)	평가기준	달성도(%)	
							(D=B/A)	(D*C)
2020 (1단계 1차년도)	질란디아-남극 맨틀의 동편 경계 규명	해저 지형 및 지자기 자료 획득	측선 250 km 이상	250 km 이상	15	자료획득 여부	1	15
		해저면 암석시료 획득	샘플정점 5개 이상	정점 5개 이상	15	자료획득 여부	1	15
	맨틀 고유의 특성 및 기원 규명	중양해령 주변 해저화산 지구물리 자료 분석	1건	지형 및 분포도 작성	15	해저화산 지형 및 분포도 작성	1	15
		세계 여러곳의 맨틀포획암 획득 및 박편 제작	샘플 10개		15	맨틀포획암 시료수 및 박편수	1	15
		홍보	3회	3회 이상	20	도서 출판, 신문 칼럼 연재	1	20
		논문게재	SCI(E) 1편	1	20	논문게재	1	20
	계				100			100
2021 (1단계 2차년도)	지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악	해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득	측선 250 km 이상	647 +130 km	12	자료획득 여부 (KPDC 등재)	1	12
		관측망 구축 및 연속 지진자료 DB	1건(최소 10관측소, 연간 자료 회수율 ≥ 80%)	1건 (예정)	7	자료회수율	1	7
		육상/해저 지진관측소 기본자료 분석	관측소당 1건	1건 (관측소 10곳)	4	○센서방향 보정 후 정보 DB화 ○관측소별 배경잡음 분석	1	4
	남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원	화산암류 지화학 분석	중양해령 5건 빅토리아랜드 15건	5+15건	11	○드렛지 샘플 ○관입연령, 화학특성 분석 ○주성분, 미량원소, 동위원소 분석 ○자료획득 시료 개수 (KPDC 등록)	1	11
		화산분출사 복원모델	3건	12건	3	Ar 연대 측정 시료 개수	1	3
		해저면 암석시료 획득	샘플정점 5개 이상	5개 (예정)	6	자료획득 여부	1	6
		소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 확산 기작 규명 (동위원소 확산 모델링)	2건	2건	3	확산 모델링 계산 코드와 결과 제시	1	3

	북빅토리아 랜드 지체구조 진화	3차원 속도구조 모델링	1건 (3차원모델)	1건	5	기존 지진자료 활용 속도구조 모델링	1	5
		암석학적 기재 및 열평형 온도 획득	10건	12건	4	열평형 온도	1	4
		암석절대연령 측정	4개	4개	4	동위원소 연령 도출 시료 개수 (KPDC 등록)	1	4
		변성암류 온도-압력 조건 계산	3개	3개	4	변성 온도-압력 조건 계산 시료 개수 (KPDC 등록)	1	4
		암석 및 운석 DB 구축, 분류, 등록, 정보공개	35개	암석20 + 운석25	6	○데이터베이스 구축 ○운석학회 및 KPDC 등록 등	1	6
	홍보		9회	5회	5	○도서 출판 ○신문칼럼 연재 ○대중강연 1회	0.56	2.8
	논문게재	mrnIF 80 이상	SCI(E) 4편	3편	20	논문게재(승인)	0.75	15
		mrnIF 50 이상 80 미만	SCI(E) 2편	3편	6	논문게재(승인)	1	6
	계				100			92.8
2022 (1단계 3차년도)	지각 및 상부맨틀 지구물리적 특성 파악	해저 지형, 지자기 및 탄성과 자료 획득	측선 250 km 이상	250+ km	7	자료획득 여부 (KPDC 등재)	1	7
		관측망 구축 및 연속 지진자료 DB	1건 (최소 10관측소, 년간 자료 회수율 ≥ 80%)		7	○자료회수율 - 관측소별 회수율은 기록시간/관측기 간으로 계산 - KPDC 자료 업로드 여부	80%	7
		육상/해저 지진관측소 기본자료 분석	관측소당 1건		2	○자료 회수후에 센서 방향 방위각 형태로 보정 후 정보 DB화 ○관측소별로 년단위로 배경잡음을 분석한 Power spectrum density 그림 표출	1	2
	남극 맨틀 특성 규명과 화산활동 기록복원	화산암류 지화학 분석	중앙해령5건 빅토리아랜 드 5건	육상 화산암 류 성분 분석 15 set+28 점 절대연 령측정	7	○샘플에 대한 관입 연령과 화학 특성 분석 ○육상 및 해저 드렛지 샘플 ○샘플에 대한 관입 연령과 화학 특성 분석	1	7
		화산분출사	1건	1건	3	○셜드누나탁	1	3

		복원모델				단성화산체 주요 지질 유닛에 대한 화산층서 해석을 포함한 층서 모식도 1건 작성		
		소행성에서 일어나는 동위원소 분별 및 화산 기작 규명(동위원소 화산 모델링)	2건		4	○오디너리 콘드라이트 1건, 카보네이셔스 콘드라이트 1건에 대한 화산 모델링 계산 코드와 결과 제시	1	4
	북빅토리아 랜드 지체구조 진화	관 구조적 속도구조/지자 기연대 모델링	-관구조 모델링 1건 -3차원 속도 모델링 1건 -면적 200*200km 이상 (누적)		14	○관구조모델링 ○가장 해상도가 높을 것으로 예상되는 깊이에서의 모델 영역이 200km*200km 이상	0.83	11.6
		EBSD 데이터 획득 및 변형모델 수립	EBSD 정밀 맵 데이터 20건 변형모델 1건		10	지구조 모델 수립	1	10
		암석절대연령측 정	2개		3	○중광물의 U-Pb 동위원소 조성 분석치로부터 연령 도출, 연령 획득한 시료 개수 (KPDC 등록)	1	3
		지구조형성 모델	1건		4	○빅토리아랜드 터레인과 연령자료가 표시된 지질도 개수	1	4
		암석 및 운석 DB 구축, 분류, 등록, 정보공개	35개		5	○주요 암석 데이터베이스 구축 10개/년 (지질노두 3D 모델제작 1건/년 포함) (KPDC 등록) ○운석학회 Bulletin에 공식 게시 및 KPDC 등록 ○DeepZoom기술 활용 초고해상도 이미지 제작 후 koreamet.kopri.r e.kr에 공개(5개/년) 및 KPDC 등록	2015-16 시즌 남극운석 중 철운석의 분류가 정확히 되지 않아 운석학회 정식 등록을 보류한 상태임	0
	홍보		9회		5	도서 출판, 신문	1	5

						칼럼 연재, 대중강연 연1회 이상		
	논문게재	mrnIF 80 이상	SCI(E) 5편	1	23		0.2	4.6
		mrnIF 50 이상 80미만	SCI(E) 3편	3	6		1	6
	계				100			74.2
2023 (2단계 1차년도)	남극 중양해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	무인잠수정을 활용한 열수 및 심해 영상/암석/생물 시료 획득	7건 이상	0	4	○자료획득 여부 (KPDC 등재)	0	0
		심해생물 생명정보 수집 건수	3건	3	5	○KPDC등록	1	5
		확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명	해저지형 및 지자기 자료 처리 및 분석, 그림/그래프 자료 2건 이상	2건	4	○축적된 지형 및 지자기 자료처리 및 분석	1	4
		북부 로스해 진화과정 규명	해저지형 및 지자기 자료 처리 및 분석, 그림/그래프 자료 2건 이상	2건	4	○기확보된 지형 및 지자기 자료처리 및 분석	1	4
		남극 로스해 빅토리아랜드 분지 지역 다중채널 탄성과 원시자료 확보	국제협력을 통한 다중채널 탄성과 탐사자료 확보	미확보 (2024 대면회 의 통해 확보 예정)	8	○이태리 OGS에서 보유한 다중채널 탄성과 탐사자료 확보	0	0
		탄성과 원시자료에 대한 자료처리, 자료해석을 위한 구조보정 단면 구축	탄성과 자료처리를 통한 구조보정 단면 획득	미확보 (대신, 새로운 고효율 구조보정 기술 개발 논문 출판함)	8	○OGS에서 제공한 탄성과 원시자료에 대한 정밀 탄성과 자료처리	0	0
		지각/맨틀구조 연구를 위한 지진자료 DB	연간 연속 지진관측 율 80%	90% 이상	8	○가동 지진 관측소 자료 회수율	1	8
		관측소 하부 지각 속도 및 모호 깊이 도출	관측소 4곳	4곳	8	○관측소 하부 지각 속도와 모호면 깊이 제공 여부	1	8
		리트만 화산 지역 지진관측망	기존 관측망 자료 연간 80%이상	90% 이상 / 22-23	8	○지진관측소 설치 및 기존 관측소 자료	1	8

		구축	관측 및 관측소 2개소 신설	현장조 사 기간 관측소 2개 신설		수집		
	남극 빅토리아랜 드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	화산암 지화학분석	북빅토리아 랜드 국부 화산군 시료 10 set	전암 20 set / Sr-Nd- Pb 15 set	5	○화산암류 주원소, 미량원소, Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소, 광물화학 자료 획득 여부	1	5
		화산암류 절대 연령 측정	북빅토리아 랜드 국부 화산군 시료 7개	20개	5	○북빅토리아랜 드 국부 화산군 절대연령자료 획득	1	5
		변성암 광물화학 및 동위원소 분석	광물 동위원소 분석 암석 시료 2개	2개	5	○저어콘, 모나자이트, 석영 등의 우라늄-납-산소 동위원소 자료 개수	1	5
		터레인 경계부 지질진화 규명	중광물 희토류원소 분석 암석 시료 1개	1개	5	○저어콘의 희토류원소 자료 개수	1	5
		달과 소행성 표면물질 특성 분석	달운석 스펙트럼 분석	라만 분석, x-ray 맵핑, 뮤온빔 분석, TEM 분석 수행	5	○분석한 각종 스펙트럼 3건 이상	1	5
	홍보		3회	유튜브 채널 <보다(BODA) > 3회 출연	5	○도서출판 ○신문칼럼 연재 ○대중강연 연1회 이상	1	5
	논문게재	mrnIF 80 이상	SCI(E) 2편	0편	8		0	0
		mrnIF 50 이상 80 미만	SCI(E) 2편	7편	5		1	5
	계				100			72
2024 (2단계 2차년도)	남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	지화학 분석을 통한 맨틀 성인 및 진화 규명	추가적인 탐사 및 암석시료 확보, 지화학분석 7건	7	5	○현장탐사 수행을 통한 해저면 암석시료 추가 확보 ○지화학분석 수행 여부	1	5
		심해 생물 특이적	3건 이상	3	5	○유전체 정보 획득 3건 이상	1	5

		유전자원 확보 건수						
		확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명	추가적인 탐사 및 자료 획득 측선 100 km 이상, 지구물리자 료 처리 및 그림/그래프 자료 2건 이상	2건	5	○현장탐사 수행을 통한 해저지형 및 해양지자기 자료 추가 확보 ○모델링작업을 위한 자료처리 및 분석 진행	1	5
		북부 로스해 진화과정 규명	해저지형 및 지자기 자료 활용, 지판운동 모델 수립	1건	5	○북부 로스해 및 센트럴분지 진화과정 모델 제시	1	5
		빅토리아랜드 분지 지역 탄성과 자료에 대한 파형역산 알고리즘을 통한 정밀 속도모델 구축	신기 지체구조에 대한 정밀 속도모델 구축	1건	5	○파형역산 알고리즘을 이용한 정밀 속도모델 구축	1	5
		탄성과 단면, 정밀 속도모델 해석	탄성과 단면, 속도모델 제시	1건	5	○정밀 속도모델과 탄성과 단면을 이용한 연구지역 신기 지체구조 해석	1	5
		확장된 지각/맨틀 3차원 속도구조 모델	최고 해상도 깊이에서 250*250km 속도 모델 제공	1건	6	○3차원 모델 제공 여부	1	6
		리트만 화산 지역 지진 발생현황 연구	년간 자료중 300일에 대한 지진 발생도 분석	360일 분석 완료	6	○북빅토리아 지역 지진 목록 구축 여부	1	6
	남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	화산암 지화학분석	북빅토리아 랜드 국부 화산군 시료 10 set	전암 20 set / Sr-Nd- Pb 30 set	6	○화산암류 주원소, 미량원소, Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소, 광물화학 자료획득 여부	1	6
		화산암류 절대 연령 측정	북빅토리아 랜드 국부 화산군 시료 7개	11개	6	○북빅토리아랜 드 국부 화산군 절대연령자료 획득	1	6
		변성암 광물화학 및 동위원소 분석	변성암 지화학 분석 암석 시료 3개	3개	6	○우라늄-납-산 소 동위원소 자료 및 압력-온도 다이아그램 개수	1	6
		터레인 경계부 지질진화 규명	지질단면도 1개	1개	6	○고압 변성암류의 섭입대	1	6

						진화사를 재구성한 지질모식도 개수			
		북빅토리아랜 드 지각 변형역사 규명	EBSD 맵데이터 획득	분석 수행	5	○맵데이터 5점 이상	1	5	
		암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악	희토류원소 분석	분석 수행	5	○샘플분석 5점 이상	1	5	
		달과 소행성 표면물질 특성 분석	HED 운석 스펙트럼 분석	Raman , CT, XRD, EBSD 분석	5	○분석한 각종 스펙트럼 3건 이상	1	5	
	홍보		3회	도서 출판 1회, 강연 16회, 인터뷰 3회	5	○도서출판 ○신문칼럼 연재 ○대중강연 연1회 이상	1	5	
	논문게재	mrnIF 80 이상	SCI(E) 3편	4편	8		1	8	
		mrnIF 50 이상 80 미만	SCI(E) 3편	6편	6		1	6	
	계				100			100	
	2025 (2단계 3차년도)	남극 중앙해령 및 로스해 맨틀과 해양지각의 진화	지화학 분석을 통한 맨틀 성인 및 진화 규명	지화학분석 7건	7건 이상	6	○지화학분석 수행 여부	1	6
			심해 생물의 적응/진화 기작 규명	심해 적응 기작 관련 유전자 발굴 3건 이상	5건	6	○유전자 발굴 여부	1	6
확장-균열대 운동역학적 진화과정 규명			해저지형 및 지자기 자료 활용, 지판운동 모델 수립	지형 및 지자기 자료 획득/ 처리	6	○확장-균열대 진화과정 모델 제시	1	6	
남극 로스해 지구물리탐사			심부/천부 탄성파, 해저지형, 해양지열 탐사 수행 (측선 250 km 이상)	심부/ 천부 탄성파 , 해저 지형, 해양 지열 탐사 수행 (측선 250 km 이상)	6	○남극 로스해 빅토리아 분지 혹은 로스해 동쪽 미답해역에 대한 해양지구물리 탐사 수행	1	6	
탐사자료 처리 및 해석			지구물리자 료 처리	지구물 리자료 처리	5	○지구물리 자료처리를 통한 신기체구조	1	5	

						규명		
		관측자료와 맨틀구조에 부합하는 Polar 3 형성 모델 도출	Polar 3 형성 모델 제공		5	○Polar 3 형성 모델 제공 여부	1	5
		신규 관측소 하루 지각 속도 및 모호 깊이 도출	신규관측소 2곳에 대한 지각 속도 및 모호 깊이 분석		5	○신규관측소 2곳의 지각 속도 및 모호 깊이 제고 여부	1	5
	남극 빅토리아랜드 대륙부 화산활동 및 지체구조 진화, 행성과학 이해	화산암 지화학분석	북빅토리아랜드 국부 화산군 시료 10 set		6	○화산암류 주원소, 미량원소, Sr-Nd-Pb-Hf 동위원소, 광물화학 자료획득 여부	1	6
		화산암류 절대연령 측정	북빅토리아랜드 국부 화산군 시료 6개 절대연령자료 획득과 연대 지질도 1건		6	○북빅토리아랜드 국부 화산군 절대연령자료 ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) 획득과 맥머도 화산암그룹 연대 지질도 작성 개수	1	6
		변성암 광물화학 및 동위원소 분석	광물 동위원소 분석 암석 시료 2개		6	○저어콘, 모나자이트, 석영 등의 우라늄-납-산소 동위원소 자료 개수	1	6
		터레인 경계부 지질진화 규명	변성암류 압력-온도 조건 계산 암석 시료 2개		6	○광물화학과 지온지압계 등을 이용하여 계산한 압력-온도 다이어그램 개수	1	6
		북빅토리아랜드 지각 변형역사 규명	모델수립		6	○모델수립 1건	1	6
		암석권맨틀 메타소마티즘 특성 파악	지화학 특성 해석		6	○해석 1건	1	6
		달과 소행성 표면물질 특성 분석	콘드라이트 스펙트럼 분석		6	○각종 스펙트럼 3건 이상	1	6
	홍보		3회	6	5	○도서출판 ○신문칼럼 연재 ○대중강연 연1회 이상	1	5
	논문게재	mrnIF 80 이상	SCI(E) 3편	7편	8		1	8
		mrnIF 50 이상 80 미만	SCI(E) 3편	2편	6	(mrnIF 80 이상 초과 달성이므로 mrnIF 50 이상 80 미만 항목도 100% 달성으로 표기)	1	6
	계				100			100

4.3절 국내·외 공동 연구협력 실적

연구협력 파트너	수행형태	연구협력 내용(목표)	수행 결과 및 우수성
■ 2020			
○ 중국과학원	공동	○ 맨틀포획암 분석결과 해석	○ 논문 제출
■ 2022			
○ 이태리 OGS	공동/협동	○ 멀티채널 탄성과 층서 해석 및 지체구조 규명	○ 로스해 대륙주변부에 발달된 퇴적층을 구분하는 주요 탄성과 층서 경계면(RSU)을 센트럴 분지 중부의 퇴적층으로 연장하여 기존 해석을 확장함 ○ 탄성과 탐사자료 해석을 통해 활발한 저층해류의 흐름이 센트럴 분지의 북서부 경계를 따라 등수심퇴적체 형성에 기여하였음을 규명함 ○ 탄성과 탐사자료를 통해 분지 중심부의 함몰구조(graben), 동쪽 경계의 평탄한 정상부를 가지는 지괴, 서쪽 경계의 좁은 정상부를 가지는 기울어진 지괴들을 통해 센트럴 분지가 리프팅에 의해 형성되었던 것으로 추정함 ○ 탄성과 단면상에서 주요 심부 단층이 중기 마이오세 이후 퇴적된 중-천부 퇴적층으로 연장되지 않으며, 이는 리프팅에 의한 센트럴 분지의 확장 이후, 안정된 지구조환경에서 남극 빙상의 진화와 저층해류의 흐름에 의한 퇴적작용이 센트럴 분지에서 지배적이었음을 지시함
○ 일본 북해도대학	공동/협동	○ 남극운석을 포함한 미분화 운석을 분석하여 태양계 생성 초기 Al 동위원소 불균질성을 전자현미분석기(극지연), 이차이온질량분석기(북해도대학)을 이용하여 규명	○ 논문 게재 Kawasaki N., Wada S., <u>Park C.</u> , Sakamoto N., Yurimoto H. (2020) Variations in initial $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ ratios among fine-grained Ca-Al-rich inclusions from reduced CV chondrites. <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> 279: 1-15. (게재일 20.06.15, mrnIF 90.5)
○ 일본 북해도대학	공동/협동	○ 태양계 성운 가스의 산소동위원소 조성 변화가 미분화 운석의 멜릴라이트 광물에 보존되어 있음을 이차이온질량분석기를 이용하여 규명	○ 논문 게재 Wada S., Kawasaki N., <u>Park C.</u> , Yurimoto H. (2020) Melilite condensed from an ^{16}O -poor gaseous reservoir: Evidence from a fine-grained Ca-Al-rich inclusion of Northwest Africa 8163. <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> 288: 161-175. (게재일 20.11.01, mrnIF 90.5)
○ 연세대/미국LLNL/포항 가속기센터 등	공동/협동	○ 포항 4세대 가속기를 이용한 초고압 실험을 통해 핵의 구성물질인 철의 상변화를 나노초 이하에서 관찰. 극지연에서 시료 전처리와 분석	○ 논문 게재 Hwang H., Galtier E., Cynn H., Eom I., Chun S. H., Bang Y., Hwang G., Choi J., Kim T., Kong M., Kwon S., Kang K., Lee H. J.,

		전후 전자현미경 관찰 주도	Park C., Lee J. I. , Lee Y., Yang W., Shim S.-H. D., Vogt T., Kim S., Park J., Kim S., Nam D., Lee J. H., Hyun H., Kim M., Koo T.-Y., Kao C.-C., Sekine T., Lee Y. (2020) Sub-nanosecond phase transition dynamics in laser-shocked iron. Science Advances 6(23): eaaz5132. (게재일 20.06.05, mrnIF 95.7)
○ 일본 동경대학	공동/협동	○ 2016년 구마모토 지진과 관련된 지하수의 산소동위원소 이상 변화를 레이저불화 산소동위원소 질량분석 시스템(극지연)을 활용하여 규명	○ 논문 게재 Sano Y., Onda S., Kagoshima T., Miyajima T., Takahata N., Shibata T., Nakagawa C., Onoue T., Kim N. K. , Lee H., Kusakabe M., and Pinti D. L. (2020) Groundwater oxygen anomaly related to the 2016 Kumamoto earthquake in Southwest Japan. Proceedings of the Japan Academy, Series B 96: 322-334 (게재일 20.07.31, mrnIF 68.6)
○ 일본 동경대학	공동/협동	○ 앵그라이트 운석의 산소동위원소 분석을 통해 감람석의 성인 규명	○ 논문 게재 Hayashi H., Mikouchi T., Kim N. K. , Park C. , Sano Y., Takenouchi A., Yamaguchi A., Kagi H. and Bizzarro M. (2022) Unique igneous textures and shock metamorphism of the Northwest Africa 7203 angrite: Implications for crystallization processes and the evolutionary history of the angrite parent body. Meteorit. Planet. Sci. 57, 105-121. (게재일 22.01.15. mrnIF 51.7)
○ 일본 도야마대학	공동/협동	○ 지구와 태양계의 주요 원소인 산소의 동위원소 정밀 분석(ppm 수준)에서 가장 정확한 방법인 동위원소비 질량분석 결과가 실험실간 상이함을 밝히고 최소 2개의 표준광물을 이용한 교정을 통해 비교해야 함을 극지연 주도로 제시	○ 논문 게재 Kim N. K. , Park C. , Kusakabe M. (2020) 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. Journal of Analytical Science and Technology (출판중, mrnIF 29.4)
○ 영국 케임브릿지 / Herzog Film	공동/협동	○ 영국 케임브릿지 대학의 Clive Oppenheimer 교수와 다큐멘터리 제작자 Werner Herzog와 함께 운석과 인류 문화의 관계에 대한 고찰을 담은 다큐멘터리 제작에서 남극운석탐사와 장보고기지 및 탐사현장 촬영 수행	○ 다큐멘터리 필름 “Fireball: Visitors From Darker Worlds” 가 Apple TV+를 통해 공개됨

			
○ 한국기초과학지원연구원	공동/협동	○ 첨단연구장비 공동활용과 연구교류 활성화를 위한 극지연구소와 한국기초과학지원연구원간 실행약정 체결	○ 2020년 2월 6일 약정 체결 - 지구환경/우주물질 연구분야의 첨단연구장비 공동활용과 연구교류 활성화
			
○ 일본 JAXA 및 국제공동연구팀	공동	○ 소행성 류구 초기 화학 분석	○ 소행성 류구 회수 시료 분석 ○ 우수 논문 창출 Science 논문 1편 포함 다수의 저명 학술지 논문 출판 예정 ○ Yokoyama T., Nagashima K., The Hayabusa2-initial-analysis chemistry team, The Hayabusa2-project team, The Hayabusa2-curation team, Tachibana S., Yurimoto H. (2022) The first returned samples from a C-type asteroid show kinship to the chemically most primitive meteorites. <i>Science (in print)</i> https://doi.org/10.1126/science.abn7850 ○ Moynier F., The Hayabusa2-initial-analysis chemistry team, The Hayabusa2-project team, The Hayabusa2-curation team, Tachibana S., Yurimoto H. (2022) The Solar System calcium isotopic composition inferred from Ryugu samples. <i>Geochemical Perspectives Letters (accepted)</i> ○ Hopp T., Dauphas N., The

			Hayabusa2-initial-analysis chemistry team. The Hayabusa2-project team, The Hayabusa2-curation team, Tachibana S., Yurimoto H. (2022) Ryugu' s nucleosynthetic heritage from the outskirts of the Solar System. <i>Science Advances</i> (<i>accepted</i>) ○ Barosch J.,The Hayabusa2-initial-analysis chemistry team. The Hayabusa2-project team, The Hayabusa2-curation team (2022) Presolar stardust in asteroid Ryugu. <i>Astrophysical Journal Letters</i> 935: L3.(https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac83bd)
○ 미국 휴스턴 대학/NASA	공동	○ 초기 태양계 진화	○ NASA Emerging World 프로젝트 수행 ○ 우수 논문 창출 Han J.,Park C., Brearley A. J. (2022) A record of low-temperature asteroidal processes of amoeboid olivine aggregates from the Kainsaz CO3.2 chondrite. <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> 322: 109-128 (https://doi.org/10.1016/j.gca.2022.02.007)
View Proposal Title: COORDINATED MICROANALYSES OF REFRACTORY INCLUSIONS AND INSIGHTS INTO THEIR CONDENSATION ORIGIN Solicitation Announcement: NNH21ZDA001N-EW:C.2 Emerging Worlds Proposal No.: 21-EW21-0004 PI: Jangmi Han Submittal Type: Electronic Submissions Only Proposal Due: 03/29/2022, 11:59 PM EDT Status: Selected Submitting Organization: UNIVERSITY OF HOUSTON SYSTEM 4800 W CALHOUN ST STE 316, HOUSTON, TX 77004 UEI: QKWEF8XLMIT3 DUNS No.: 036837920- CAGE Code: 9B955 ORCID:			
■ 2023			
○ 일본 오사카 대학/양성자 가속기 센터	공동	○ 달운석에 대한 뮤온빔 분석	○ 완전 비과괴 방식의 전암화학조성 분석법 수립
○ 미국 NASA JSC	공동	○ 달운석내 저어콘의 광물 구조 분석	○ 비정질화와 재결정화에 대한 나노 스케일 분석 결과 획득
○ 일본 북해도대학	공동	○ 원소비에 따른 이차이온 질량분석기의 이온화율 차이가 미치는 영향 평가	○ Al/Mg값에 따라 이온화율이 차이가 나 연대가 잘못될 수 있음을 보임
■ 2024			
○ 서울대학교	공동	○ 중앙인도양해령 하부지각 암석에서 관찰되는 펄트-암석 반응의 증거와 펄트-암석 반응이 중앙해령 현무암의 진화과정에 미치는 영향	○ 중앙해령 시료에 대한 매우 세밀한 암석학적 기재, 해양 하부지각에서 마그마의 진화 모델 수립
○ 충남대학교	공동	○ EBSD를 이용한 화석 결정방향성과 응용	○ stromatolite의 결정방향성이 다양한 인자에 의해 바뀔 수 있음을 최초로 밝힘 [Simonet Roda et al., 2024, <i>Sedimentology</i>]
○ 미국 NASA JSC/미국 하와이대학	공동	○ 남극 CV 콘드라이트 내화광물의 수성변질 단계별 변화 규명	○ 소행성에 내화광물과 물의 상호작용에 의한 광물 미세구조 및 산소동위원소 변화 연구
○ 일본 북해도대학	공동	○ 원소비에 따른 이차이온질량분석기의 이온화율 차이가 미치는 영향 평가	○ Al/Mg값에 따라 이온화율이 차이가 나 연대가 잘못될 수 있음을 보임
○ 일본 동북대학	공동	○ 카보네이서스 콘드라이트 암편이 포함된 유크라이트(EET 15101)의 CT 및 XRD 연구	○ 최소한 2 종류 이상의 카보네이서스 암편이 EET 15101에 존재

○ 인도 국립물리연구소	공동	○ 충돌에 의해 생성된 달, 화성, 지구의 마스컬리나이트 비교 연구	○ 달운석, 화성운석, 지구의 충돌 크레이터에 발견되는 마스컬리나이트의 생성 기작 규명
■ 2025			
○ 공주대학교	공동	○ 달운석내 장식의 비정질화 규명	○ 충격에 의한 달 표면에서의 광물 비정질화 기작 규명 ○ 우수 논문 창출 - 김형규, 박창근, 김은정, 박선영, 김화영, 김현나 (2025) Chemical and structural evidence for melt-induced amorphization of alkali feldspar in lunar meteorite DEW 12007: insight into shock amorphization, Journal of Petrology, 66, egaf074
○ 경국대학교/서울대학교	공동	○ CM 콘드라이트내 석고의 생성 기작 규명	○ CM 콘드라이트 석고의 생성 기작 규명을 위해 석고의 황산염 추출 후 산소, 황동위원소 분석. 소행성 기원일 가능성이 높아 소행성 물과 황 동위원소 조성 규명 기대
○ 서울대학교/미국 New Mexico Institute of Mining and Technology	공동	○ 남극 장보고기지 주변 화산 분출사 및 마그마 진화	○ 우수 논문 창출 - Jhyuk Kim, Philip R Kyle, Mi Jung Lee, Jong Ik Lee, Matthew Heizler, Sunghwan Im, John A Gamble, Mark R Noll (2025) Origin and Evolution of Miocene Basanite to Comendite Lavas at the Mount Overlord Volcanic Field, Northern Victoria Land, Antarctica. J. Petrology, 66, https://doi.org/10.1093/petrology/egaf014
○ 고려대학교/충남대학교 /중국과학원/영국브루넬대학	공동	○ 미구조를 이용한 고환경 복원 연구	○ 미구조를 이용해 가장 오래된(4억8천만년) 스트로마토포이로이드 해면제 형성에 미치는 인산염의 영향을 최초로 밝힘 [Simonet Roda et al., 2024, Sedimentology]
○ 이태리 National Institute of Oceanography and Applied Geophysics (OGS)	공동	○ 남극 로스해 빅토리아랜드분지 가스하이드레이트의 분포 특성과 해저진흙화산의 성인과 활동성 규명 연구	○ 국제협력을 통해 남극 미답지에 대한 지구물리 원시자료를 확보, 보유하고 있는 탄성과 파형역산 기술과 인공지능 기반 해석 기술을 적용하여 최초로 남극 로스해 가스하이드레이트 2차원 물성 모델 제시 ○ 기존 탄성과 해석도와 지질정보를 기반으로 기계학습을 활용, 생성형 AI 기반 남극 로스해에 특화된 단층해석 모델 제시

제 5 장

연구개발결과의 활용계획

극지연구소

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

5.1절 향후 연구방향

- 질란디아-남극 맨틀은 극지연구소에서 세계 최초로 발견한 새로운 타입의 맨틀로서 그 큰 규모로 볼 때 지구 시스템에서 차지하는 비중이 매우 큰 것으로 판단되며 이 맨틀의 기원과 진화 활동에 대한 규명은 지구과학계에 매우 큰 기여로 생각됨
- 호주-남극 중앙해령의 열수 환경은 최근까지도 생물상이 보고되지 않았던 지역으로서, 무인잠수정(ROV)을 활용한 영상 및 생물 시료의 확보를 통해 남극 심해 생태계 및 서식 생물상에 대한 세계 최초의 보고가 가능하게 할 뿐 아니라, 생물 시료에 대한 유전체 정보 분석을 통해 남극 심해 생물들의 진화와 지리적 연결성 이해에 크게 기여할 수 있음
- 최근 진화된 지구물리 탐사 및 자료처리 기법을 활용하여 남극 빅토리아랜드 분지 지역 신기 지체구조에 대한 심도있는 지구물리학적 이해와 정밀관측 가능
- 미답해역 지구물리자료 확보를 통한 우리나라 남극해 연구영역 확대 도모
- 지구 온난화에 따른 극지방 해저환경변화 관측자료 제공
- 지각과 상부 맨틀의 3차원 속도/밀도 모델은 서남극 열개구조 연구뿐만 아니라 남극의 화산 활동의 원인을 규명하는데 활용할 수 있음
- 연속 지진관측 자료는 3차원 속도 구조 모델링만이 아니라 열개구조의 갈라짐, 화산 하부 마그마의 움직임에 의한 지진 활동을 모니터링하여 지체구조의 활동도 감시에 활용할 수 있음
- 연구지역에서의 암석권이 빙권에 열량을 제공하는 빙하 동역학 모델의 정확성 향상에 활용
- 북빅토리아랜드 전단대/단층 연구를 통해 캄브리아기 섭입대 형성시기 또는 이후의 후퇴변성과정 동안 일어난 응력의 변화 추적
- 북빅토리아랜드 맨틀포획암의 메타소마티즘 연구를 통해 암석권맨틀의 진화과정 규명
- 달운석의 분석 자료를 기초로 다누리에서 얻어질 달의 데이터 해석에 활용
- 남극운석 연구 결과를 소행성 탐사 후보 선정에 활용
- 연구 결과들은 남극 및 남극해를 대상으로 한 기후변화 영향 평가와 적응 전략 수립, 극지·해양 자원 잠재구조 파악을 위한 탐사 연구, 지진·화산 등 자연재해 위험도 평가와 방재 정책 수립의 기초 자료로 활용 가능하며, 아래와 같은 다양한 사회·정책·교육 분야로도 확장하여 활용
 - 학교·대학·대중을 대상으로 한 과학 교육 및 대국민 홍보·전시 콘텐츠
 - 극지 환경 변화와 연계된 기후변화 인식 제고
 - 우리나라 극지·해양 정책 수립과 국제 협력 전략
 - 민간 연구기관·산업계와의 연계를 통한 극지 인프라·기술 개발 수요 발굴

5.2절 성과 활용계획

- 질란디아-남극 맨틀의 기원, 진화, 활동 양상 규명은 지구과학계에 매우 큰 기여임
- 남극 확장-균열대 일대 운동역학적 진화 과정과 지판운동 복원에 대한 새로운 모델 제시
 - 호주-남극 중앙해령 동편의 대형 확장-균열대는 태평양판과 남극판 간의 상대적인 운동 변화가 그대로 지각 변형의 형태로 반영된 지역으로서, 이 지역에서의 고해상도 지형 및 지자기 자료 축적은 확장-균열대 내부의 지각 변형과 후기 마이오세 이후 태평양판 및 남극판 간의 상대적인 지판운동에 대한 새로운 모델을 제시할 수 있음.
 - 극지 해저지형·지구물리 자료 DB 구축, 향후 극지 자원 탐사 및 항로·탐사선 조사 설계의 기초 자료로 활용
- 남극 대륙 주변부 중앙해령 및 열수 환경, 생태계에 대한 최초의 무인잠수정(ROV) 탐사
 - 극한의 환경인 남극 중앙해령 열수 환경 및 생태계를 영상자료 확보를 통해 시각적으로 확인함으로써 지구과학계에 큰 이슈가 될 것이라 기대함
 - 고위도 지역 심해 환경 및 생물 연구는 접근성 및 기술적 어려움으로 인해 연구 결과가 미미한 편이었으나, 극지연구소의 첨단 채빙연구선 인프라와 극지연구소 연구진의 노하우가 더해져 심해 생물 연구 분야의 선도 기관으로 자리매김 할 수 있을 것으로 예상함
 - 남극 심해 생물들의 진화와 지리적 연결성 이해에 크게 기여할 수 있으며, 심해 환경 적응 과정 중 확보 및 변이된 심해 생물 특이적 유전자, 단백질, 대사산물은 다양한 산업분야로의 활용이 가능하고 그 활용 가치가 매우 클 것으로 예상됨
- 북부 로스해 진화 및 동남극-서남극판 간의 지판운동 복원에 대한 새로운 모델 제시
 - 원시 로스해의 진화와 관련된 센트럴분지에서의 지형 및 지자기 자료를 통해서 북부 로스해의 진화와 동남극-서남극판 간의 초기 지판운동에 대한 새로운 모델을 제시할 수 있음
- 남극 로스해 빅토리아 분지에 대한 정확한 해저지질구조 및 신기 지체구조 특성 제시
 - 정밀한 탄성과 속도모델과 심도 보정된 탄성과 단면은 빅토리아랜드 분지 내 가스하이드레이트의 공간 분포 및 물리적 특성을 파악하는 데 핵심적인 기초자료로 활용, 해저지층 내 가스 포화도 및 압력·온도 변화에 따른 물성 반응을 예측하는 데 사용되며, 향후 기후변화에 따른 해저환경 변화의 정량적 예측 연구에도 중요한 기초정보로 활용될 수 있음
 - AI와 파형역산 알고리즘을 결합해 생성된 고정밀 지질·구조 정보는 기존의 지층구조 해석보다 해상도가 월등히 향상된 분석 결과를 제공할 수 있다고 판단되며, 이를 통해 남극 로스해 지역의 정밀 해저지질지도 및 천부 지체구조에 대한 보다 정확한 해석도를 작성해 낼 수 있을 것으로 기대함. 이는 향후 극지과학연구, 국제 공동시추계획(ISP) 기획, 남극자원 보호정책 수립 등에 필수적으로 활용될 가능성이 있음
 - 해당 구역의 지질구조에 관한 정보는 남극 지각의 후기 신생대 변형사, 열적 진화과정,

그리고 해령 확장 이후 침강 이력 등을 재구성하는 데 필요한 신기 지체구조 연구의 핵심 근거자료로 활용

- 빙상-지각 상호작용 및 지각 안정성 평가, 극지 지진위험도 평가 및 지구동역학 모델 개선에 활용

○ 지구 온난화에 따른 남극해 해저환경변화 및 신기 지체구조 변동성 제시

- 남극 로스해 지역에 대한 정밀한 단층구조 및 해저지질 해석은 기후변화에 따른 가스하이드레이트의 불안정화 그리고 이로 인한 메탄가스 방출 가능성을 평가하는 데 기여하며 궁극적으로 기후변화 리스크 예측모델의 정밀도 향상과 대응전략 수립을 위한 과학적 근거 자료로도 활용될 수 있음
- AI 기반의 단층해석과 파형역산을 통해 확인된 천부 미세단층 및 해저진흙화산 구조는 메탄 배출 통로로 작용하는 주요 경로로 인식되고 있으며, 이는 향후 기후변화에 따른 해저지질환경 변화 예측, 해저사면 붕괴 위험 분석, 해양생태계 영향 평가 등 다학제적 연구 영역으로의 확장을 가능케 함
- 해당 연구결과는 IPCC 보고서나 국가 온실가스 감축 시나리오(NDC) 등 국제 협약 대응 자료로도 활용될 수 있으며, 남극 환경변화의 전 지구적 파급영향을 설명하는 과학적 증거 기반으로 정책 제안, 대국민 홍보자료, 국제협력과제 제안서 작성 등에도 광범위하게 활용될 수 있다고 판단됨

○ 남극 대륙 형성의 이해와 지질 환경 변화 예측

- 서남극 열개구조와 남극 종단 산맥은 남극에서 나타나는 가장 큰 지체구조임
- 서남극 열개구조는 남극 종단 산맥의 형성 원인과 밀접한 관계가 있는 것으로 현재까지의 연구 결과가 보여줌
- 하지만 아직까지 이들의 형성원인은 명확하게 규명되지 못했음
- 본 연구를 통해 제공될 3차원 속도/밀도 모델은 암석권이 빙권에 어떠한 영향을 줄 수 있는 가를 여러 가지 가능성 있는 시나리오를 제공하여 빙권 동역학 모델링의 정확도를 향상 시킬 수 있을 것으로 기대됨

○ 달·소행성 탐사 및 뉴스페이스 시대 대비를 위한 우주탐사 역량 강화

- 태양계 기원·진화 연구 및 행성과학 연구의 기초 자료로 활용하고, 극지 시료 기반 과학 교육·대국민 과학소통 자료로 확장
- 2030년 예정된 한국 달 착륙선 미션에서 착륙 후보지 선정과 탐재 과학임무 주제 도출에 필요한 과학적 근거 제공
- 2035년 이후 추진될 대한민국 독자 소행성 탐사에서 목표 천체 선정, 관측·시료획득 전략 수립 등에 핵심 참고자료로 활용
- 뉴스페이스 시대에 대비한 태양계 탐사 전략 수립을 위해 우리나라 우주개발 중장기 로드맵을 구체화하는 데 기초 자료 제공
- 달과 소행성 기원 운석의 정밀 분석을 통해 한국형 달 착륙 및 소행성 탐사 임무의 과학적 목표를 정교화하고, 임무 설계 시 고려해야 할 우주환경 및 표면물질 특성 제시
- 극미량 우주물질 분석기술을 개발함으로써 향후 달·소행성·화성 회수 시료의 국제

공동연구에 주도적으로 참여할 수 있는 실험·분석 인프라 확보

- 남극 및 주변 해양 지질·지구과학 연구를 통한 극지 과학영토 및 정책 기반 확충
 - 북빅토리아랜드의 화산성인 규명과 분출사 복원을 통해 향후 화산재해 예측 및 위험평가에 활용 가능한 정량 자료 제공
 - 북빅토리아랜드 지각 진화 모델 고도화, 남극 및 주변 환경계 해석, 극지 지질도·지체구조 해석 고도화에 활용
 - 기존에 고생대로 한정되었던 빅토리아랜드 지질역사 연구를 신원생대 및 호주대륙 지질과의 연계 연구로 확장하여 곤드와나 및 남극 대륙의 진화사를 통합적으로 이해하는데 기여
 - 대한민국 남극내륙진출 정책 수립에 필요한 지질·지구물리·환경 기초자료를 제공하여 내륙 기지 후보지 선정과 장기 탐사 전략 수립에 직접 활용



제 6 장

참고문헌

극지연구소

제 6 장 참고문헌

- Bosum, W., Damaske, D., Roland, N.W., Behrendt, J.C., Saltus, R., (1989). The GANOVEX IV Victoria Land/Ross Sea aeromagnetic survey: interpretation of the anomalies. *Geologisches Jahrbuch E38*, 153 - 230.
- Cande, S.C., Stock, J.M., Müller, R.D., Ishihara, T., (2000). Cenozoic motion between East and West Antarctica. *Nature* 404, 145 - 150.
- Chizmadia, L.J., Rubin, A.E., Wasson, J.T., (2002). Mineralogy and petrology of amoeboid olivine inclusions in CO₃ chondrites: Relationship to parent body aqueous alteration. *Meteoritics & Planetary Science*, 38, 1781 - 1796.
- Choi, H., Kim, S.-S., Dymant, J., Granot, R., Park, S.-H., Hong, J.K., (2017). The kinematic evolution of the Macquarie Plate: A case study for the fragmentation of oceanic lithosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 478, 132-142.
- Choi, H., Kim, S.-S., Park, S.-H., (2021). Magnetic constraints on off-axis seamount volcanism in the easternmost segment of the Australian-Antarctic Ridge. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22.
- Crowley, J.W., Kats, R.F., Huybers, P., Langmuir, C.H., Park, S.-H., (2015). Glacial cycles drive variations in the production of oceanic crust. *Science*, 347. Davey, F.J., Cande, S.C., Stock, J.M., (2006). Extension in the western Ross Sea region-links between the Adare Basin and Victoria Land Basin. *Geophysical Research Letters*, 33.
- Davidson, J., Alexander, C.M.O'D, Stroud, R.M., Busemann, H., Nittler, L.R., (2019). Mineralogy and petrology of Dominion Range 08006: A very primitive CO₃ carbonaceous chondrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 265, 259-278.
- Grossman, J.N., Brearley, A.J., (2005). The onset of metamorphism in ordinary and carbonaceous chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, 40, 87-122.
- Hahm, D., Baker, E.T., Rhee, T.S., Won, Y.J., Resing, J.A., Lupton, J.E., Lee, W.K., Kim, M., Park, S.-H., (2015). First hydrothermal discoveries on the Australian-Antarctic Ridge: Discharge sites, plume chemistry, and vent organisms. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16.
- Jones, R.H., Rubie, D.C., (1991). Thermal histories of CO₃ chondrites: Application of olivine diffusion modelling to parent body metamorphism. *Earth and Planetary Science Letters*, 106. 73-86.
- Kim, D., Park, M., Park, Y., Qi, C., Kim, H., Lee, M.J., Michibayashi, K., (2021). Upper mantle seismic anisotropy beneath the Northern Transantarctic Mountains inferred from peridotite xenoliths near Mt. Melbourne, northern Victoria Land, Antarctica. - 110 *Journal of Structural Geology*, 143.
- Maus, S., Barckhausen, U., Berkenbosch, H., Bournas, N., Brozena, J., Childers, V.,

- Dostaler, F., Fairhead, J.D., Finn, C., von Frese, R.R.B., Gaina, C., Golynsky, S., Kucks, R., Lühr, H., Milligan, P., Mogren, S., Müller, R.D., Olesen, O., Pilkington, M., Saltus, R., Schreckenberger, B., Thébault, E., Tontini, F.C., (2009). EMAG2: A 2 - arc min resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10.
- Park, M., Jung, H., Kil, Y., (2014). Petrofabrics of olivine in a rift axis and rift shoulder and their implications for seismic anisotropy beneath the Rio Grande rift. *Island Arc*, 23.
- Park S.-H., Langmuir, C.H., Sims, K.W.W., Blichert-Toft, J., Kim, S.-S., Scott, S.R., Lin, J., Choi, H., Yang, Y.-S., Michael, P.J., (2019). An isotopically distinct Zealandia - Antarctic mantle domain in the Southern Ocean. *Nature Geoscience*, 12, 206-214.
- Park, S.Y., Park, C., Kim, H.N., Lee, S., Lee, S.K., (2020). Structure of type A CAI-like melts: A view from multi-nuclear NMR study of melilite ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ - $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$) glasses. *Chemical Geology*, 558.
- Park, Y., Yoo, H.-J., Lee, W.S., Lee, J., Kim, Y., Lee, S.-H., Shin, D., Park, H., (2014). Deployment and Performance of a Broadband Seismic Network near the New Korean Jang Bogo Research Station, Terra Nova Bay, East Antarctica. *Seismological Research Letters*, 85(6), 1341-1347.
- Park, Y., Yoo, H.-J., Lee, W.S., Lee, C.-K., Lee, J., Park, H., Kim, J., Kim, Y., (2015). P-wave velocity structure beneath Mt. Melbourne in northern Victoria Land, Antarctica: Evidence of partial melting and volcanic magma sources. *Earth and Planetary Science Letters*, 432, 293-299.
- Rocchi, S., Armienti, P., D'Orazio, M., Tonarini, S., Wijbrans, J.R., Di Vincenzo, G., (2002). Cenozoic magmatism in the western Ross Embayment: role of mantle plume versus plate dynamics in the development of the West Antarctic Rift System. *Journal of Geophysical Research*, 107.
- Satsukawa, T., Katsuyoshi, M., Anthony, E.Y., Stern, R.J., Gao, S.S., Liu, K.H., (2011). Seismic anisotropy of the uppermost mantle beneath the Rio Grande rift: Evidence from Kilbourne Hole peridotite xenoliths, New Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*, 311.
- Scott, E.R.D., Jones, R.H., (1990). Disentangling nebular and asteroidal features of CO_3 carbonaceous chondrite meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 2485 - 2502.
- Selvans, M.M., Clayton, R.W., Stock, J.M., Granot, R., (2012). Using overlapping sonobuoy data from the Ross Sea to construct a 2D deep crustal velocity model. *Marine Geophysical Research*, 33 (1), 17 - 32.- 111
- Yi, S.-B., Lee, M.J., Lee, J.I., Kim, H., (2020). Timing and metamorphic evolution of the Ross Orogeny in and around the Mountaineer Range, northern Victoria Land, Antarctica. *Minerals*, 10(10).

뒷 면

(국내 과제용)

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.