

북극해 진화 및 빙하역사 복원을 위한
국제공동해저시추 기반연구

Based Research on International
Joint Drilling for Reconstructing Evolution and
Glacial History of the Arctic Ocean



한 국 해 양 과 학 기 술 원
부 설 극 지 연 구 소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “북극해 진화 및 빙하역사 복원을 위한 국제공동해저시추 기반연구”과제의 (최종)보고서로 제출합니다.

2021. 02. 26

연구책임자 : 남승일

참여연구원 : 김정현, 진영근, 장광철,
주영지, 손영주, 조영진,
박광규, 김다혜, 안영규



KOPRI
극지연구소

보고서 초록

과제관리번호	PE20350	해당단계 연구기간	2018.05.01. - 2020.12.31	단계 구분	(1단계)/(총3단계)
연구사업명	중 사업명	Seed형 창의연구과제			
	세부사업명				
연구과제명	중 과제명				
	세부(단위)과제명	북극해 진화 및 빙하역사 복원을 위한 국제공동해저시추 기반연구			
연구책임자	남 승 일	해당단계 참여연구원수	총 : 10 명 내부 : 6 명 외부 : 4 명	해당단계 연구비	정부: 300,000천원 기업: 천원 계: 300,000천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 빙하환경연구본부		참여기업명	해당사항 없음	
국제공동연구	상대국명 : 독일		상대국연구기관명 : Alfred-Wegener-Institute		
위탁연구	해당사항 없음				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	40
<p>“북극해 진화 및 빙하역사 복원을 위한 국제공동해저시추 기반연구”를 통해 다음과 같은 연구 성과를 도출함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 북극해에서 추진되는 국제공동해저시추프로그램에 참여하기 위한 공동시추제안서 3편 제출 <ul style="list-style-type: none"> - “Arctic Ocean Paleoceanography: Towards a continuous Cenozoic record from a Greenhouse to an Icehouse World (ArcOP)” 북극해 로모노소프 해령 국제공동해저시추를 위한 시추제안서 최종 수정본(#708-Full Proposal/Addendum)을 IODP (International Ocean Discovery Program)에 공동제출 - “The Opening of the Arctic-Atlantic Gateway: Tectonic, Oceanographic and Climatic Dynamics“ 북극해 프람해협이 열린 이후 전 지구적 기후변화에 미친 영향을 규명하기 위한 국제공동해저시추(IODP, International Ocean Discovery Program) 최종 시추제안서(Full Proposal-#979)을 IODP에 공동제출 - “Tectonic history and paleoceanography of the Amerasian Basin, Arctic Ocean; The Chukchi Borderland, Bering Strait and Canada Basin)” 북극 척치해 주변해역 국제공동해저시추를 위한 예비시추제안서(#987-Pre Proposal) IODP에 공동제출 ○ 아라온 시추코어를 활용한 서북극해 퇴적층서 정립 및 서북극해의 거대빙하 존재 시기 최초 규명 등 빙하역사 복원에 관한 논문 3편을 게재하여 극지 고기후/고해양 환경 분야에 기여함(북극전문 국외저널 1편, SCI 논문 2편 등 총 3편 게재) ○ 향후 수행될 북극해 국제공동심부시추는 쇄빙연구선 아라온을 이용한 북극해 탐사영역 확대와 국내 극지지구과학 연구 분야의 학문적 발전 기반 구축 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	북극해, 시추제안서, 국제공동해저심부시추, 아라온, 고기후, 고환경			
	영 어	Arctic Ocean, Proposal, IODP Drilling, ARAON, Paleoclimate, Paleoenvironment			

요 약 문

I. 제 목: 북극해 진화 및 빙하역사 복원을 위한 국제공동해저시추 기반연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성:

- 북극해 국제심부시추를 위해 대한민국을 비롯한 쇄빙선 보유국의 공동참여 필요
- 북극해 고기후/환경 변화를 이해함으로써 불확실한 미래 기후변화에 대한 이해도 증진

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 북극해 예비/시추 제안서 국제공동제출
- 북극해 동시베리아 해역의 거대빙하작용 시기 최초 규명 및 복원
- 시추제안서 작성을 위한 국제공동워크숍 개최 및 참석

IV. 연구개발결과

- 로모노소프 남부해령 국제공동해저심부시추 확정(2021. 09)
- 서북극 층서정립 및 동시베리아 엘리스 대지의 마지막 빙하작용의 시기 규명 및 복원
- 서북극해 심해시추코어 퇴적물의 다중프록시 분석

V. 연구개발결과의 활용계획

- 국제공동시추프로그램에 “아라온” 공동참여를 통한 북극해 탐사영역 확대
- 국제공동시추프로그램 참여를 통한 국내 극지지구과학 연구분야의 학문적 발전 도모
- 거대지구과학 프로그램 참여를 통한 차세대 쇄빙선 건조 필요성/당위성 확보
- 극지연구의 중요성에 대한 국민적 관심 및 공감대 형성
- 북극해 빅사이언스 연구분야에서 대한민국의 주도적 추진

S U M M A R Y

I. Title: Based Research on International Joint Drilling for Reconstructing Evolution and Glacial History of the Arctic Ocean

II. Purpose and Necessity of R&D

- Joint participation of the Republic of Korea for International Arctic Ocean Drilling Program
- A better understanding of uncertain future climate change from the reconstruction of paleoclimate and-environmental changes in the Arctic Ocean

III. Contents and Extent of R&D

- Joint submission of the proposal to International Arctic Ocean Drilling Program
- Constraining and reconstructing the last glaciation of the East Siberian margin, western Arctic Ocean
- Holding/attending international joint workshops to submit IODP proposals

IV. R&D Results

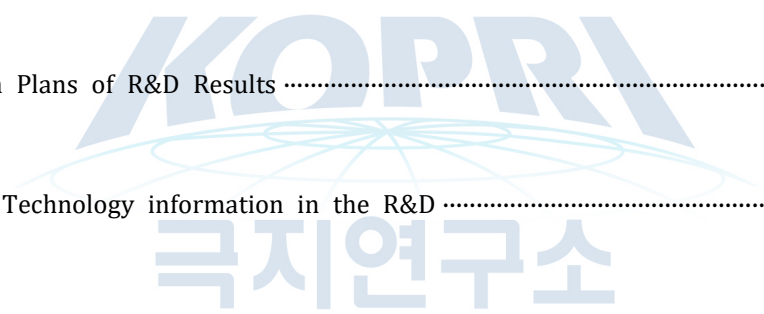
- Confirmation of International Arctic Ocean Drilling Program (2021/22. 09)
- Reconstruction of glacial history of the Arliss Plateau in the East Siberian margin, the western Arctic Ocean along with definition of western Arctic lithostratigraphy
- Multi-proxy analysis for western Arctic Ocean sediments

V. Application Plans of R&D Results

- Expansion of Arctic research areas from joint participation of "Araon" in the IODP
- Motivation on the national Earth Science community for the Arctic research through the IODP participation
- Securing the necessity/validity of building the next icebreaker through participation in the Big Earth Science Program
- Drawing public sympathy and interest in the importance of polar research
- Pursue initiative in the Arctic research of the Republic of Korea

C O N T E N T S

Chapter 1 Introduction	7
Chapter 2 Current R&D Status in Korea and Other Nations	10
Chapter 3 R&D Implementation Contents and Results	16
Chapter 4 Degree of R&D Goal Achievement and Degree of Contribution to Outside Research Institute	32
Chapter 5 Application Plans of R&D Results	35
Chapter 6 Science & Technology information in the R&D	36
Chapter 7 References	40



목 차

제 1 장 서론	7
제 1절. 연구개발의 필요성	7
제 2절. 연구개발의 목적과 범위	9
제 2 장 국내외 기술개발 현황	10
제 1절. 국내 기술개발 현황	10
제 2절. 국외 기술개발 현황	12
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	16
제 1절. 북극해 예비/시추 제안서 국제공동제출	16
제 2절. 거대빙하 기록 복원 및 시기규명	21
제 3절. 시추제안서 작성을 위한 국제공동워크숍 개최/참석	29
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	32
제 1절. 연구개발목표의 달성도	32
제 2절. 관련분야의 기술개발에의 대외기여도	34
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	35
제 1절. 기대 성과	35
제 2절. 연구개발결과의 활용방안	35
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	36
제 7 장 참고문헌	40

제 1 장 서론

제 1절. 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 2018년 현재 북극해 심부시추를 위한 예비시추제안서가 독일과 스웨덴, 미국 등에 의해 주로 제출되었으나, 최종 시추를 위한 공동시추제안서 작성을 위해 한국을 비롯한 쇄빙선을 보유한 국가들의 지속적인 참여를 요청받고 있음
- 아라온을 이용하여 북극해에서 탐사연구를 수행하고 있는 우리나라는 북극해에서 국제공동으로 추진하는 예비 및 최종시추제안서 작성에 공동참여가 필요함
- 향후 아라온 탐사를 통해 극지 해역의 주요 과학적 이슈 해결에 필요한 시추 제안서의 주도적 작성을 위해서 국제공동네트워크 구축 및 노하우 습득이 필요함
- 특히 시추제안서 작성에 필요한 시추지점 선정에 필요한 탄성과탐사자료 및 시추 코어 획득 기술 확보를 위해 북극해 국제공동해저시추제안서 공동작성에 참여가 필요함

2. 경제·산업적 측면

- 국제공동해저시추 프로그램에 아라온이 직접 참여함으로써 심부시추 및 탐사 활용기술 확보 필요
- 북극해역의 심부시추가 실현되면 시추선 보호를 위해 최소한 2척의 쇄빙선 투입이 필요하기 때문에 향후 아라온 재투입시 시추참여 노하우를 통해 경제적 효과 창출
- 북극해에서 수행되는 거대지구과학 프로그램에 참여 및 주요 과학적 이슈 해결을 통해 차세대 쇄빙선 건조 필요성 극대화 및 당위성 확보

3. 과학적 측면

- 아라온 시추 참여를 통해 향후 극지 해역의 주요 과학적 이슈 해결에 필요한 시추제안서의 주도적 작성 등 북극해에서 추진될 거대지구과학 프로그램 참여를 위한 국제공동네트워크 구축 노하우 등 습득 가능
- 특히 시추제안서 작성을 위한 시추지점 선정에 필요한 탄성과탐사자료 및 시추코어 획득 기술 확보를 통해 향후 북극해에서 추진되는 빅사이언스 연구분야에서 대한민국의 주도적 추진이 가능함
- 아라온을 활용한 북극해 탐사연구를 통해 과거의 기후변화를 이해함으로써 현재의 기후변화의 영향을 보다 중요하게 인식하여 불확실한 미래 기후변화에 대한 이해를 높일 수 있음

4. 사회·문화적 측면

- 아라온 활용한 북극해 탐사연구의 중요성에 대한 국민적 관심 및 공감대 형성
- 전 세계 26개국이 추진하고 있는 거대지구과학프로그램에 우리나라가 참여함으로써 극지연구의 중요성에 대한 대국민홍보강화를 통해 극지연구활동에 대한대국민인식 제고

- 북극해 주요 이슈인 기후변화가 한반도 기후에 미치는 영향에 대한 국민적 관심이 커지면서 전 세계에서 공동으로 추진하고 있는 거대지구과학 프로그램에 쇄빙선 아라온이 참여함으로써 국민의 자긍심 및 국가 브랜드제고



제 2절. 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 목적

- 북극해 생성 이후 지구조 운동에 의해 현재의 모습으로 북극해가 진화하면서 주변대륙에 빙하 형성 및 발달과 해빙생성 및 변화에 대한 기록복원을 위한 국제공동해저시추에 극지연구소가 아라온을 활용하여 참여할 수 있는 기반 구축을 목적으로 연구개발을 추진
- 아라온 및 타국의 쇄빙선 탐사자료를 활용한 예비/시추제안서 공동제출을 통한 북극해에서 추진되는 거대지구과학프로그램에 극지연구소의 능동적 참여 기회 확대
- 시추제안서 작성에 필요한 JPC 등 아라온 시추코어퇴적물의 정밀 층서정립을 통해 해저탐사자료와 함께 동시베리아 거대빙하흔적 기록복원 및 시기를 최초 규명

2. 연구개발의 범위

가. 북극해 예비/시추 제안서 국제공동제출

- 북극해 진화에 따른 북극해 빙하 및 해빙생성과 고기후환경변화규명을 위한 국제공동 예비 및 Full 시추 제안서제출
- 북극해 로모노소프 해령 국제공동심부시추에 아라온 JPC를 활용한 참여를 위한 추가제안서 (Addendum Proposal) 공동제출
- 기존 AWI 자료 기반 탐사지역 및 시추 위치 선정 등

나. 동시베리아에 존재한 것으로 알려진 거대빙하 기록 복원 및 시기규명

- MPT(Middle Pleistocene Transit) 이후 서북극해 퇴적물 코어 빙하기-간빙기 기록 정밀 층서정립
- 다중 프록시 적용 서북극해 50만 년 전 이후 빙하 역사기록 정밀복원
- 서북극해 퇴적층에 기록된 플라이스토세 밀란코비치 주기변동 복원

다. 시추제안서 작성을 위한 국제공동워크숍 개최/ 참석

- 시추제안서 공동작성을 위한 국제공동 워크숍 (Magellan Plus 등) 참석/개최

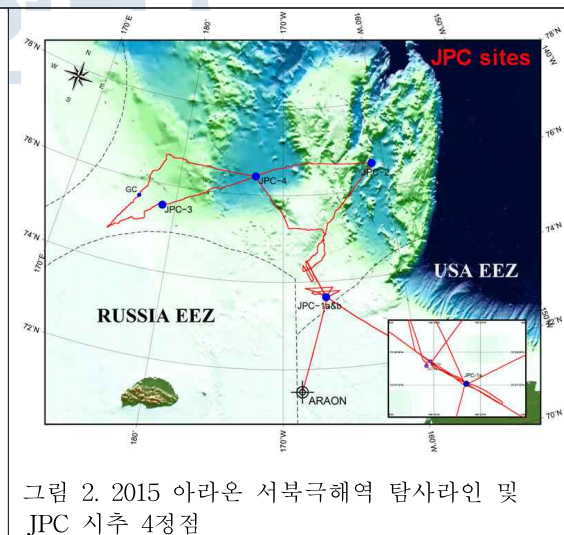
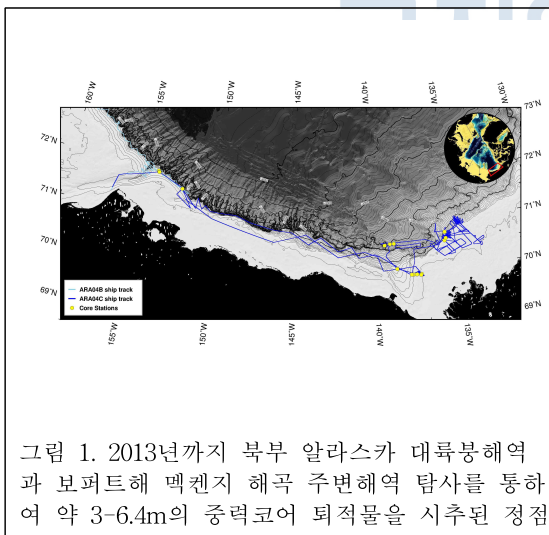
제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1절. 국내 기술개발 현황

1. 지금까지의 연구개발 실적

가. 쇄빙선 아라온에 장착된 중력코어시스템과 JPC 롱코어 시스템을 이용하여 빙·해양시추코어 퇴적물 획득이 가능함

- 아라온에 장착된 중력 코어 및 JPC 롱코어 시스템을 이용하여 서북극해역에서 약 3~14 m 길이의 빙·해양시추코어 퇴적물 획득 기술 확보
 - 2010년 아라온호 시험항해를 시작으로 2013년까지 척치해와 보퍼트해 탐사를통하여 최대 6.4m의 중력코어 퇴적물을 시추함
- 그러나 아라온에 장착된 JPC를 이용하여 2015년 최초로 14 m 길이의 빙·해양퇴적물 시추코어를 획득함으로써 서북극해의 빙하역사 및 고기후환경변화 정밀복원 수행 가능해짐
 - 독일 쇄빙선 “폴라스텐”호를 이용해 지난 33년 동안 북극해에서 시추된 최대 코어 길이는 8.8 m 임
 - 약 100만년의 빙하역사 및 빙하기-간빙기 기후변화 기록 확인
 - 북극해에서 거대 빙하기가 존재하였다고 추측되는 MIS 16과 12 동안에 서북극해에 거대 빙하가 존재했던 기록을 세계 최초로 밝히는 연구를 본 사업을 통해 현재 수행 중임



- 나. 동시베리아 대륙붕에서 독일 AWI와 공동으로 거대빙하흔적 발견 등 탐사기술 확보 및 국제공동해저시추 참여를 위한 시추제안서 공동제안자로 참여 중
- 북극해 시추를 위한 국제공동해저시추 제안서 작성에 부분적으로 참여하고 있으나 탐사자료가 전무한 현실에서 주도적인 참여는 어려운 실정임
 - 그러나 아시아 국가인 일본이나 중국에 비하여 북극해 시추를 위한 국제공동해저시추제안

서 공동작성에 필요한 활동 및 참여비율이 높은 편임

- 아라온 북극탐사 수행을 통해 북극해 시추제안서작성에 필요한 탐사자료 및 시추코어 획득을 추진하고 있으나 국제공동해저시추제안서 작성에 필요한 해역에서는 관련분야 연구지원이 매우 미흡한 상태임
- 현재 극지연구소 북극 고해양팀에서 북극해 생성 및 진화역사를 통해 북극해 해빙 형성 및 대륙빙하활동 복원을 위한 연구수행이 필요하지만 2016년 이후 연구소에서 수행되고 있는 주요과제 선정에서 계속해서 배제되어 연구비가 지원되지 않은 현실에서 기형적이고 비공식적인 형태로 연구를 수행하고 있는 안타까운 실정임

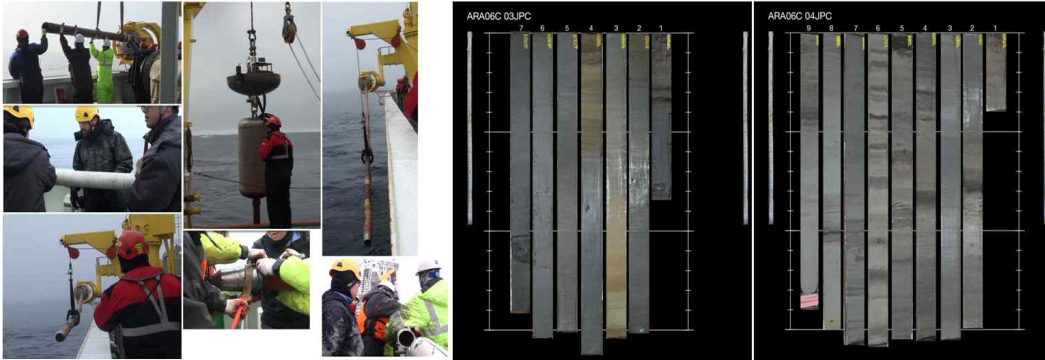


그림 3. 2015 아라온 서북극해 탐사동안 척치해의 심해분지(수심 약 2200 m) 정점 JPC04에서 획득한 약 14m 길이의 빙·해양퇴적물 코어는 갈색을 띠는 간빙기에 퇴적된 층과 암회색의 빙하기에 퇴적된 층이 뚜렷하게 대비됨.

극지연구소

제 2절. 국외 기술개발 현황

1. 지금까지의 연구개발 실적

가. 독일 AWI, 미국, 스웨덴, 러시아를 비롯한 북극해 국제공동탐사연구 추진

- 독일 AWI 극지·해양연구소는 1982년 18,000톤급 쇄빙선 폴라스틴 건조 이후 지난 35년간 남·북해를 총 300여회 탐사를 수하였으며 가장 많은 북극해 탐사를 추진하였음
 - 1991년 9월 7일 스웨덴 쇄빙선 RV Oden과 함께 처음으로 북극점에 도달한 이후 수차례에 걸쳐 북극점에 도달함
 - 2008년 8월초부터 10월 초까지 총 70일간 북서항로(Northwest Passage)를 통과하여 서북극해(캐나다분지, 척치주변해, 동시베리아 대륙붕 및 멘델레프해령 등) 국제공동탐사를 처음으로 수행한 후 북동항로(Northeast Passage)를 통과한 후 AWI가 위치한 브레머하펜으로 귀항하였음
 - 2014년과 2018년 로모노소프 해령 국제공동해저시추에 필요한 시추정점 선정을 위한 시추해역 탄성과 정밀 탐사 및 시추퇴적물을 획득함

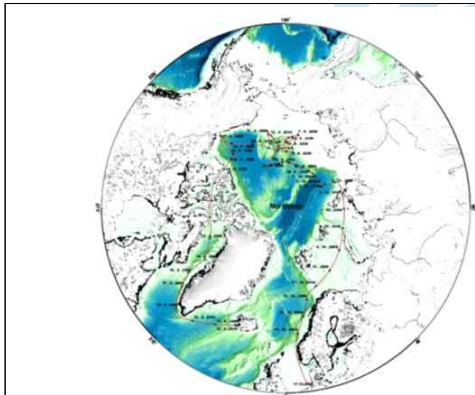


그림 4. 2008년 독일 AWI 폴라스틴은 최초로 북서항로를 통과하여 서북극해 해저지질탐사를 수행 후 북동항로를 통과하여 총 70일간의 탐사 루트 지도와 시추정점

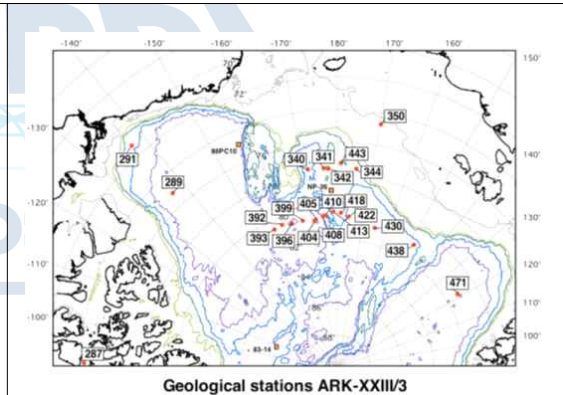


그림 5. 2008년 독일 AWI 폴라스틴은 최초로 서북극해 해저지질탐사를 수행한 시추정점을 나타내는 지도

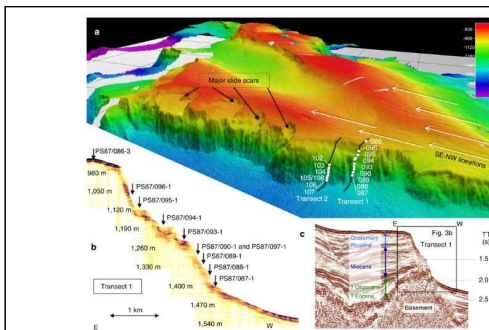


그림 6. 2014년 독일 AWI 폴라스틴은 로모노소프 남부해령 시추해역 탄성과자료 및 시추퇴적물 획득을 위한 정밀 탐사추진(Stein 2016)

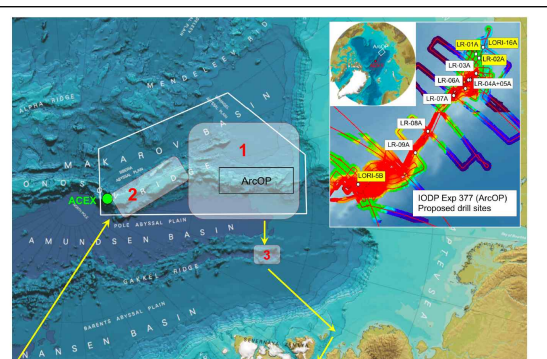


그림 7. 2018년 독일 AWI 폴라스틴은 로모노소프 남부해령 시추해역 탄성과자료 및 시추퇴적물 획득을 위한 정밀 탐사추진(Stein 2019)

- 2014년 스웨덴 쇄빙선 I/B Oden을 활용한 서북극해 대륙붕해역(북부 랍테프해-동시베리아-척치해) 탐사프로그램 “The SWERUS - C3; Climate-Cryosphere-Carbon Interactions”을 수행하여 ‘용해되고 있는 빙권(동토층)과 탄소시스템 그리고 기후시스템의 상호작용’에 관한 연구를 위해 추진하기 위한 스웨덴-러시아-미국 국제공동탐사를 수행함

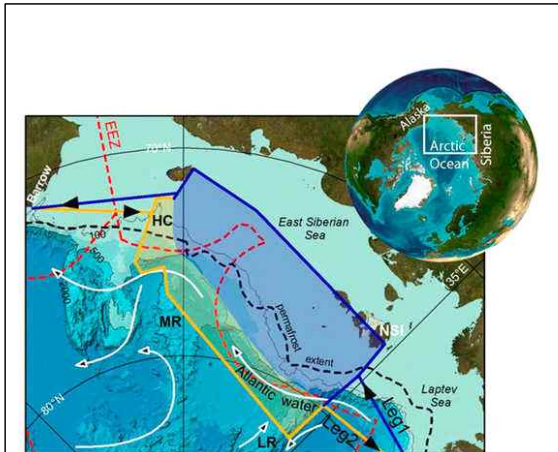


그림 8. 2014년 스웨덴 쇄빙선 RV Oden을 이용하여 스웨덴-러시아-미국 3개국 공동으로 서북극 동시베리아 대륙붕해역 주변해역에 대한 탐사가 수행됨



그림 9. 스웨덴-러시아-미국 3개국 공동으로 서북극 동시베리아 대륙붕해역 주변해역에 대한 탐사는 지구온난화에 의해 급격히 용해되고 있는 북극해 동토층-탄소시스템-기후시스템의 상호관계를 연구하기 위하여 탐사를 추진함

- 2019년 9월 20일부터 2020년 10월 4일까지 독일 AWI 연구소가 중심이 되어 총 20개국이 MOSAiC (Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate) 국제공동프로그램에 참여하여 최초로 북극해에서 겨울동안 해빙 가장자리에 플라스톤을 정선시키고 해빙 위에서 다양한 분야의 현장관측을 통해 자료를 획득하여 총 389일간 수행하였으며, 총 1400백만 유로의 경비와 플라스톤을 비롯한 중국의 실룡호 등 총 4척의 쇄빙선이 참여함

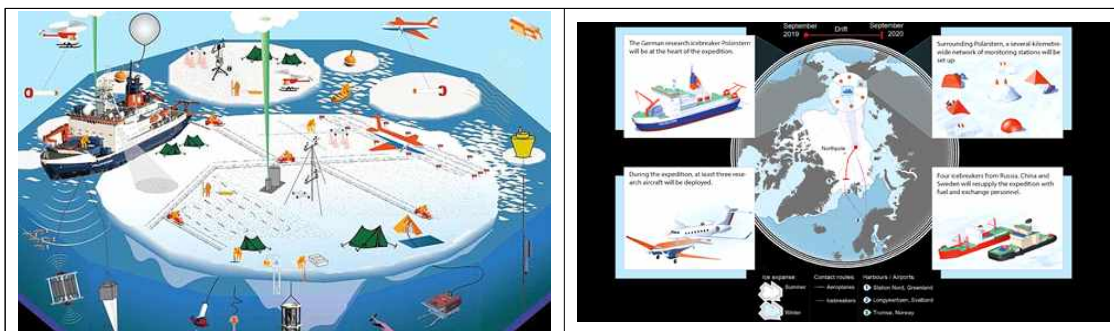


그림 10. 2019년 9월 20일부터 2020년 10월 4일까지 독일 AWI 극지연구소가 중심이 되어 전 세계 20개국이 참여한 MOSAiC 프로그램을 성공적으로 수행하였음

나. ACEX (2004): 북극점 로모노소프해령 국제공동해저심부시추 추진 및 IODP에 지속적인 시추제안서 제출

- 유럽 국제공동시추컨소시엄(ECORD, European Consortium for Ocean Research Drilling)은 2004년 북극점 주변의 로모노소프 해령에서 최초로 약440m의 퇴적층을 시추(ACEX)하여

중생대 후기 이후 북극해의 진화 역사를 처음으로 밝혔으나 제3기 중기에 오세(44.4 Ma)부터 중기 마이오세(18.2 Ma)까지 약 26백 만년에 걸친 결층으로 인해 추가해역 시추 필요성이 대두됨

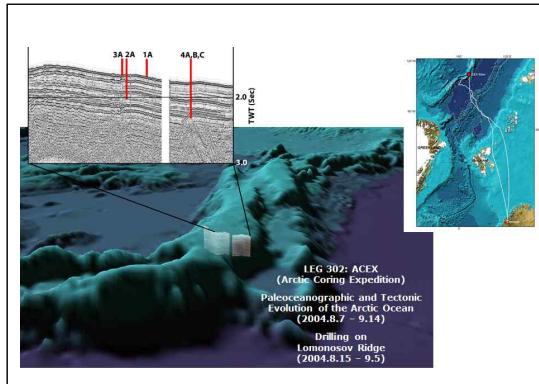


그림 11. 2004년 북극점에 인접한 로모노소프 해령에 대한 심부시추(ACEX)가 최초로 추진되어 약 440m 길이의 제3기 퇴적층에 기록된 북극해 진화에 의한 기후변화 기록이 최초로 밝혀짐

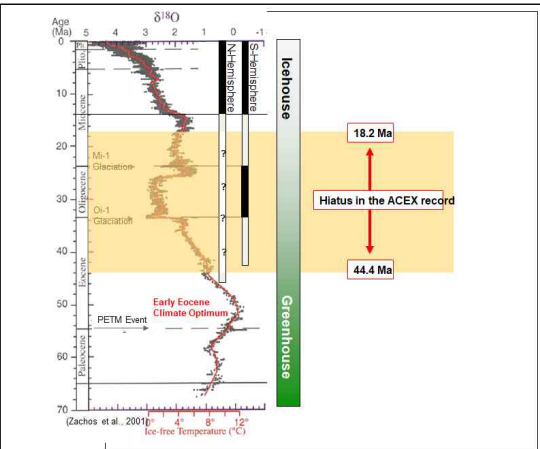


그림 12. 심부시추(ACEX) 코어 퇴적층에는 약 26백만 년의 결층이 존재하는 것으로 밝혀져 새로운 심부시추의 필요성이 제기되었음 (Stein, 2019)

- 북극해와 아북극해역에서 중생대 이후 북극해 생성 및 진화에 따른 전 지구적 기후변화 복원 및 그 원인을 규명하기 위한 다양한 시추 제안서가 제출되었음

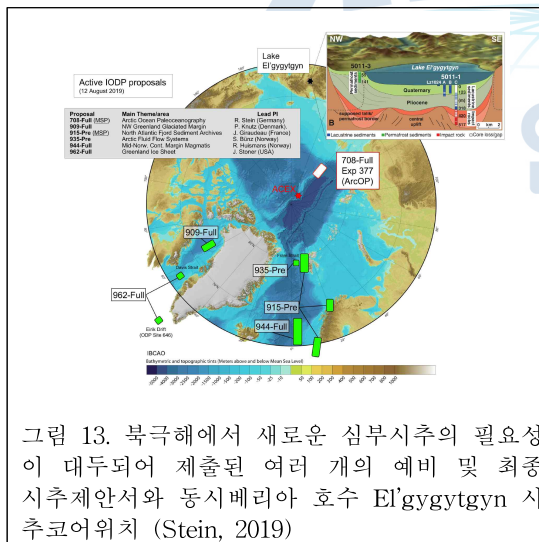


그림 13. 북극해에서 새로운 심부시추의 필요성이 대두되어 제출된 여러 개의 예비 및 최종 시추 제안서와 동시베리아 호수 El'gygytgyn 시추코어 위치 (Stein, 2019)

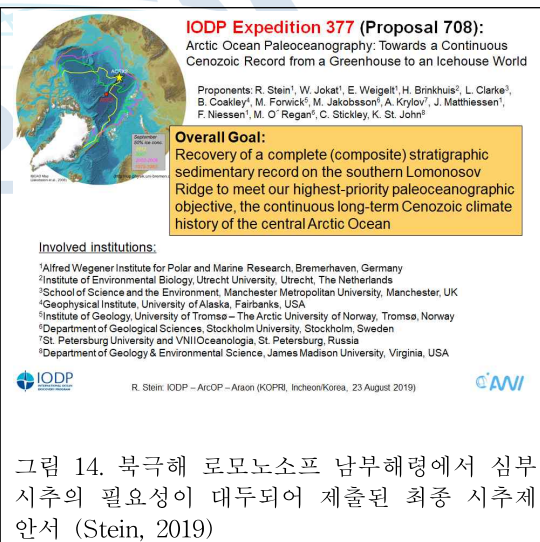


그림 14. 북극해 로모노소프 남부해령에서 심부시추의 필요성이 대두되어 제출된 최종 시추 제안서 (Stein, 2019)

다. 북극해 주요 이슈해역 국제공동해저시추를 위한 예비 및 최종 시추 제안서 제출과 결빙해역 탐사를 위한 쇄빙선 건조

- 주요 이슈해역에 대한 국제공동해저시추를 위한 예비 및 최종시추 제안서 공동 작성은 독일, 스웨덴, 미국 등이 자국 쇄빙선을 활용 해 수년간 획득한 탐사자료를 이용하여 주도적으로 제출함
- 최근 유럽 및 미국 등은 북극해 주요해역에서 과학적 이슈 해결에 필요한 심부 시추를 실현하기 위한 탐사 및 시추코어자료 확보를 위한 쇄빙선 건조에 경주하고 있음

- 2018년 노르웨이는 1만톤급 쇄빙선 RV Kronprins Haakon을 건조하여 2019년 하계부터 북극해 탐사를 추진하고 있음(그림 15a, b)



그림 15a. RV Kronprins Haakon을 이용하여 최초로 2018년 8월 북극해 해빙위에서 Nansen Legacy 프로그램의 일환으로 탐사활동을 수행 (<https://thebarentsobserver.com/en/node/6493>)

그림15b. 2018년 건조된 1만톤 급 노르웨이 쇄빙선 RV Kronprins Haakon

라. 제2차 북극해 로모노소프 남부해령 국제공동해저심부시추(ArcOP) 추진

- IODP는 회원국 중 독일의 AWI 극지해양연구소를 중심으로 러시아 대륙붕에 인접한 로모노소프 남부해령의 심부시추를 위한 예비시추제안서를 2006에 처음으로 제출한 후 수차례에 걸친 수정을 거쳐 2018년 시추가 결정된바 있음
- 그러나 막대한 시추경비와 다년빙의 위험에 따른 시추선의 안정성 확보에 필요한 제2 쇄빙선 확보에 어려움이 있어 2018년 시추계획은 무기한 취소되었음
- 2019년 11월 7일, 주요 시추공을 4공에서 1공으로 줄이는 대신, 약 20~30m 길이의 상부퇴적층은 아라운에 장착된 JPC 시추코어를 이용하여 시추 퇴적물 5점을 획득하는 전략을 바탕으로 2021년 8월말부터 6주간의 시추 일정이 결정되었으나 예산 및 아라운 참여의 미온적인 태도로 다시 연기된 상태임

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절. 북극해 예비/시추 제안서 국제공동제출

1. “The Opening of the Arctic-Atlantic Gateway” IODP Drilling Proposal

가. 2004년부터 14년간 총 8회에 걸쳐 평가심사단 권고에 의한 IODP (International Ocean Discovery Program) 시추제안서 최종 수정본 공동제출(2020년 4월)

<p>IODP Proposal Cover Sheet</p> <p>Received 30 March 2004</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> New <input type="checkbox"/> Revised <input type="checkbox"/> Addendum</p> <p>645-Pre</p> <p>Please fill out information in all gray boxes</p> <p>Title: Arctic Ocean – North Atlantic Gateway: Tectonic and Paleooceanographic evolution of the Fram Strait and Yermak Plateau area during Cenozoic Times</p> <p>Proponent(s): Wilfried Jokar, Ruediger Stein, Seung-Il Nam, Jan-Inge Faleide, Jochen Knies, Jens Matthiessen, Morten Smelror</p> <p>Keywords: Arctic Gateway, Tectonic, North Atlantic Paleooceanography</p> <p>Area: Fram Strait N-E Greenland</p> <p>Contact Information: Wilfried Jokar</p> <p>Department: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research</p> <p>Organization: Columbusstrasse, D-27568 Bremerhaven, Germany</p> <p>Address: Columbusstrasse, D-27568 Bremerhaven, Germany</p> <p>Tel: +49-471-4831-1211 Fax: +49-471-4831-1149</p> <p>E-mail: jokar@awi-bremerhaven.de</p> <p>Permission to post abstract on iSAS Web site: <input checked="" type="checkbox"/> Yes</p> <p>Abstract: (400 words or less)</p>	<p>IODP PROPOSAL EVALUATION FORM</p> <table border="1"> <tr><td>Proposal no.</td><td>645-Full</td></tr> <tr><td>Proposal title</td><td>Arctic Ocean–North Atlantic gateway: Tectonic and paleoceanographic evolution of the Fram Strait, the Yermak Plateau area and the East Greenland margin during Cenozoic times</td></tr> <tr><td>Contact proponent</td><td>Wilfried Jokar</td></tr> <tr><td>Watchdogs</td><td>Ryuji Tada, Elisabetta Erba, Naohiko Ohkouchi, Greg Ravizza, Jens Kommerup-Madsen</td></tr> <tr><td>Date of review</td><td>18 November 2005</td></tr> <tr><td>Recommendation</td><td>Submit revised full proposal</td></tr> <tr><td>Revisions needed before external review</td><td>Moderate</td></tr> <tr><td>Suggested drilling platform(s)</td><td>Non-riser and mission specific</td></tr> <tr><td>Relevance to IODP Initial Science Plan</td><td>Environmental Change, Processes and Effects / Extreme Climates, Rapid Climate Change, tectonically induced changes</td></tr> <tr><td>Links to other global research programs</td><td>None identified</td></tr> </table> <p>Science Steering and Evaluation Panel Comments</p>	Proposal no.	645-Full	Proposal title	Arctic Ocean–North Atlantic gateway: Tectonic and paleoceanographic evolution of the Fram Strait, the Yermak Plateau area and the East Greenland margin during Cenozoic times	Contact proponent	Wilfried Jokar	Watchdogs	Ryuji Tada, Elisabetta Erba, Naohiko Ohkouchi, Greg Ravizza, Jens Kommerup-Madsen	Date of review	18 November 2005	Recommendation	Submit revised full proposal	Revisions needed before external review	Moderate	Suggested drilling platform(s)	Non-riser and mission specific	Relevance to IODP Initial Science Plan	Environmental Change, Processes and Effects / Extreme Climates, Rapid Climate Change, tectonically induced changes	Links to other global research programs	None identified
Proposal no.	645-Full																				
Proposal title	Arctic Ocean–North Atlantic gateway: Tectonic and paleoceanographic evolution of the Fram Strait, the Yermak Plateau area and the East Greenland margin during Cenozoic times																				
Contact proponent	Wilfried Jokar																				
Watchdogs	Ryuji Tada, Elisabetta Erba, Naohiko Ohkouchi, Greg Ravizza, Jens Kommerup-Madsen																				
Date of review	18 November 2005																				
Recommendation	Submit revised full proposal																				
Revisions needed before external review	Moderate																				
Suggested drilling platform(s)	Non-riser and mission specific																				
Relevance to IODP Initial Science Plan	Environmental Change, Processes and Effects / Extreme Climates, Rapid Climate Change, tectonically induced changes																				
Links to other global research programs	None identified																				
<p>IODP Proposal Cover Sheet</p> <p>Received 29-September-2005</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> New <input type="checkbox"/> Revised <input type="checkbox"/> Addendum</p> <p>645-Full</p> <p>Please fill out information in all gray boxes</p> <p>Title: ARCTIC OCEAN – NORTH ATLANTIC GATEWAY: TECTONIC AND PALEOOCEANOGRAPHIC EVOLUTION OF THE FRAM STRAIT, THE YERMAK PLATEAU AREA AND THE EAST GREENLAND MARGIN DURING CENOZOIC TIMES</p> <p>Proponent(s): Wilfried Jokar, Ruediger Stein, Morten Smelror, Lars Stemmerik, Seung-Il Nam, Carmen Gana, Bent Hjelstuen, Jan-Inge Faleide, Jochen Knies, Jens Matthiessen, Nalan Koc, Harald Brekke</p> <p>Keywords: Arctic Gateway, Tectonic, North Atlantic Paleooceanography</p> <p>Area: Fram Strait North Atlantic</p> <p>Contact Information: Wilfried Jokar</p> <p>Department: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research</p> <p>Organization: Columbusstrasse, D-27568 Bremerhaven, Germany</p> <p>Address: Columbusstrasse, D-27568 Bremerhaven, Germany</p> <p>Tel: +49-471-4831-1211 Fax: +49-471-4831-1149</p> <p>E-mail: jokar@awi-bremerhaven.de</p> <p>Permission to post abstract on IODP-MI Web site: <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No</p> <p>Abstract: (400 words or less)</p>	<p>IODP Proposal Cover Sheet</p> <p>PLEASE FILL OUT INFORMATION IN ALL GRAY BOXES</p> <p>Title: ARCTIC OCEAN – NORTH ATLANTIC GATEWAY: TECTONIC AND PALEO-OCEANOGRAPHIC EVOLUTION OF THE FRAM STRAIT, AND THE EAST GREENLAND MARGIN DURING CENOZOIC TIMES</p> <p>Proponent(s): Wilfried Jokar, Ruediger Stein, Jochen Knies, Jens Matthiessen, Carmen Gana, Nalan Koc, Harald Brekke, Jan-Inge Faleide, Berit Hjelstuen, Seung-Il Nam, Morten Smelror, Aradhna Tripathi, Wolfram Geissler</p> <p>Keywords: Arctic Gateway, Tectonic, North Atlantic Paleooceanography</p> <p>Area: Fram Strait North Atlantic</p>																				

그림 16. 2004년도 북극해 국제공동해저시추(IODP, International Ocean Discovery Program) 제안서 제출

<p>IODP Proposal Cover Sheet</p> <p><input type="checkbox"/> New <input checked="" type="checkbox"/> Revised <input type="checkbox"/> Addendum</p> <p>PLEASE FILL OUT INFORMATION IN ALL GRAY BOXES</p> <p>Title: ARCTIC OCEAN – NORTH ATLANTIC GATEWAY: TECTONIC AND PALEO-OCEANOGRAPHIC EVOLUTION OF THE FRAM STRAIT, AND THE EAST GREENLAND MARGIN DURING CENOZOIC TIMES</p> <p>Proponent(s): Wilfried Jokat, Ruediger Stein, Jochen Knies, Jens Matthiessen, Carmen Gaina, Nalan Koc, Harald Brekke, Jan-Inge Faleide, Berit Hjelstuen, Seung-II Nam, Morten Smeilor, Aradhna Tripati, Wolfram Geissler</p> <p>Keywords: Arctic Gateway, Tectonic, North Atlantic Paleooceanography</p> <p>Area: Fram Strait North Atlantic</p> <p>Contact Information:</p> <p>Contact Person: Wilfried Jokat</p> <p>Department: Geophysics</p> <p>Organization: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research</p> <p>Address: Columbusstrasse, D-27568 Bremerhaven, Germany</p> <p>Tel.: +49-471-4831-1211 Fax: +49-471-4831-1149</p> <p>E-mail: Wilfried.Jokat@awi.de</p> <p>Permission to post abstract on ISAS Web site: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	<p>THE OPENING OF THE ARCTIC-ATLANTIC GATEWAY: TECTONIC, OCEANOGRAPHIC AND CLIMATIC DYNAMICS</p> <p>Wolfram Geissler¹, Jochen Knies^{2,3}, Tove Nielsen⁴, Carmen Gaina⁵, Jens Matthiessen¹, Catalina Gebhardt¹, Volkmar Damm⁶, Matthias Forwick⁷, Berit Hjelstuen⁸, John Hopper⁹, Katrine Husum¹⁰, Jan-Sverre Laberg⁷, Wolfram Kirschner¹, Caterina Morigi¹⁰, Michael Schreck¹¹, Aradhna Tripati¹², Christoph Vogt¹³, Michele Rebesco¹⁴, Seung-II Nam¹⁵, Anders Carlson¹⁶, Stijn De Schepper¹⁶, Renata Lucchi¹⁴, Rune Mattingdal¹⁷, Cornelia Spiegel¹³, Wilfried Jokat¹, Ruediger Stein¹</p> <p>¹Early career scientists ¹⁸ lead proponents of IODP proposal ex-645</p> <p>¹Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, D-27568 Bremerhaven, Germany</p> <p>²Geological Survey of Norway, NO-7491 Trondheim, Norway</p> <p>³Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate, University of Tromsø, NO-9037 Tromsø, Norway</p> <p>⁴Geological Survey of Denmark and Greenland, 1350 København, Denmark</p> <p>⁵Center for Earth Evolution and Dynamics CoS, Department of Geosciences, University of Oslo, NO-0316 Oslo, Norway</p> <p>⁶Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, D-30655 Hannover, Germany</p> <p>⁷Department of Geology, University of Tromsø, NO-9037 Tromsø, Norway</p> <p>⁸Department of Earth Science, University of Bergen, NO-5007 Bergen, Norway</p> <p>⁹Norwegian Polar Institute, NO-9296 Tromsø, Norway</p> <p>¹⁰Department of Geosciences, University of Pisa, 56126 Pisa, Italy</p> <p>¹¹Korea Polar Research Institute (Arctic Research Centre), 406-840 Incheon, Republic of Korea</p> <p>¹²Department of Earth, Planetary, and Space Sciences, University of California, Los Angeles, California, USA, 90095</p> <p>¹³Crystallography, Geosciences, University of Bremen, D-28334 Bremen, Germany</p> <p>¹⁴IGS, 34010 Sgonico (TS) Italy</p> <p>¹⁵College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences, Oregon State University</p> <p>¹⁶Uni Climate, Uni Research AS and Bjerknes Centre for Climate Research, NO-5007 Bergen, Norway</p> <p>¹⁷Norwegian Petroleum Directorate, NO-4003 Stavanger, Norway</p>																								
<p>IODP Proposal Cover Sheet</p> <p>AAG-DRILL</p> <p>854 - Full</p> <p>Title: THE OPENING OF THE ARCTIC-ATLANTIC GATEWAY: TECTONIC, OCEANOGRAPHIC AND CLIMATIC DYNAMICS (AAG-DRILL – ARCTIC-ATLANTIC GATEWAY DRILLING CAMPAIGN)</p> <p>Proponents: W. Geissler, J. Knies, T. Nielsen, C. Gaina, J. Matthiessen, C. Gebhardt, V. Damm, M. Forwick, B. Hjelstuen, J. Hopper, K. Husum, J. Laberg, W. Kirschner, C. Morigi, M. Schreck, A. Tripati, C. Vogt, M. Rebesco, S. Nam, A. Carlson, S. de Schepper, R. Lucchi, R. Mattingdal, W. Jokat, R. Stein,</p> <p>Keywords: Arctic, Gateway, Cenozoic, Climate, Tectonic</p> <p>Area: Arctic Ocean, Nordic Seas</p> <p>Contact Information:</p> <p>Contact Person: Wolfram Hartmut Geissler</p> <p>Department: Geophysics</p> <p>Organization: Alfred Wegener-Institut</p> <p>Address: Am Alten Hafen 20 Bremerhaven 27568</p> <p>Tel.: +49 471 4831 1550 Fax: +49 471 4831 1020</p> <p>E-mail: Wolfram.Geissler@awi.de</p>	<p>IODP Proposal Cover Sheet</p> <p>Arctic Atlantic Gateway Paleoclimate</p> <p>979 - Full</p> <p>Received for: 2020-04-01</p> <p>Title: THE OPENING OF THE ARCTIC-ATLANTIC GATEWAY: TECTONIC, OCEANOGRAPHIC AND CLIMATIC DYNAMICS</p> <p>Proponents: Wolfram Geissler, Jochen Knies, Tove Nielsen, Carmen Gaina, Thomas Cronin, Christoph Vogt, Catalina Gebhardt, Jens Matthiessen, Katrine Husum, Caterina Morigi, Seung-II Nam, Jan-Sverre Laberg, John Hopper, Alexey Krylov, Renata Giulia Lucchi, Aradhna Tripati, Stijn De Schepper, Wolfram Kirschner, Michele Rebesco, Kai Berglar</p> <p>Keywords: Arctic, Gateway, Cenozoic, Climate, Tectonic</p> <p>Area: Norwegian Greenland Sea, NE Greenland Continental Margin, Boreas Basin</p> <p>Proponent Information:</p> <p>Proponent: Wolfram Geissler</p> <p>Affiliation: Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research</p> <p>Country: Germany</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Permission is granted to post the coversheet/site table on www.iodp.org</p>																								
<p>IODP Proposal Cover Sheet</p> <p>Arctic Atlantic Gateway Climate</p> <p>934 - Full</p> <p>Received for: 2018-04-02</p> <p>Title: THE OPENING OF THE ARCTIC-ATLANTIC GATEWAY: TECTONIC, OCEANOGRAPHIC AND CLIMATIC DYNAMICS ("AAG-DRILL" – ARCTIC-ATLANTIC GATEWAY DRILLING CAMPAIGN)</p> <p>Proponents: Wolfram Geissler, Jochen Knies, Tove Nielsen, Carmen Gaina, Christoph Vogt, Catalina Gebhardt, Jens Matthiessen, Katrine Husum, Caterina Morigi, Jan-Sverre Laberg, Renata Giulia Lucchi, Wolfram Kirschner, Aradhna Tripati, Michele Rebesco, Anders Carlson, Matthias Forwick, Seung-II Nam, Kai Berglar, John Hopper, Stijn De Schepper</p> <p>Keywords: Arctic, Gateway, Cenozoic, Climate, Tectonic</p> <p>Area: Norwegian-Greenland Sea, NE Greenland Continental Margin, Boreas Basin</p> <p>Proponent Information:</p> <p>Proponent: Wolfram Geissler</p> <p>Affiliation: Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research</p> <p>Country: Germany</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Permission is granted to post the coversheet/site table on www.iodp.org</p>	<p>IODP SEP Proposal Evaluation Form</p> <table border="1"> <tr> <td>Proposal number</td> <td>934-Full</td> </tr> <tr> <td>Proposal title</td> <td>The opening of the Arctic-Atlantic gateway: Tectonic, oceanographic and climatic dynamics ("AAG-DRILL" – Arctic-Atlantic gateway drilling campaign")</td> </tr> <tr> <td>Contact proponent</td> <td>Wolfram Geissler</td> </tr> <tr> <td>SEP science watchdogs</td> <td>Marci Robinson, Sarah Feakins</td> </tr> <tr> <td>SEP site survey data watchdogs</td> <td>Priyank Jaiswal, Helence Vital</td> </tr> <tr> <td>SEP operation watchdogs</td> <td>Carlos Alvarez-Zarikian</td> </tr> <tr> <td>Date of review</td> <td>June 28, 2018</td> </tr> <tr> <td>Overall rating (science + data)</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Recommendation</td> <td>Revise</td> </tr> <tr> <td>Suggested drilling platforms</td> <td>JOIDES Resolution</td> </tr> <tr> <td>Links to IODP Science Plan</td> <td>Challenge 1. 2</td> </tr> <tr> <td>Links to other global research programs</td> <td></td> </tr> </table> <p>SEP Comments</p> <p>1. Science</p>	Proposal number	934-Full	Proposal title	The opening of the Arctic-Atlantic gateway: Tectonic, oceanographic and climatic dynamics ("AAG-DRILL" – Arctic-Atlantic gateway drilling campaign")	Contact proponent	Wolfram Geissler	SEP science watchdogs	Marci Robinson, Sarah Feakins	SEP site survey data watchdogs	Priyank Jaiswal, Helence Vital	SEP operation watchdogs	Carlos Alvarez-Zarikian	Date of review	June 28, 2018	Overall rating (science + data)	N/A	Recommendation	Revise	Suggested drilling platforms	JOIDES Resolution	Links to IODP Science Plan	Challenge 1. 2	Links to other global research programs	
Proposal number	934-Full																								
Proposal title	The opening of the Arctic-Atlantic gateway: Tectonic, oceanographic and climatic dynamics ("AAG-DRILL" – Arctic-Atlantic gateway drilling campaign")																								
Contact proponent	Wolfram Geissler																								
SEP science watchdogs	Marci Robinson, Sarah Feakins																								
SEP site survey data watchdogs	Priyank Jaiswal, Helence Vital																								
SEP operation watchdogs	Carlos Alvarez-Zarikian																								
Date of review	June 28, 2018																								
Overall rating (science + data)	N/A																								
Recommendation	Revise																								
Suggested drilling platforms	JOIDES Resolution																								
Links to IODP Science Plan	Challenge 1. 2																								
Links to other global research programs																									

그림 17. IODP에 북극해 국제공동해저시추제안서 최종 수정본 제출

나. 북극해 로모노소프 남부해령 국제공동심추시추를 위한 극지연구소 아라운 공동 참여 추진 및 시추제안서 “Arctic Ocean Paleooceanography: Towards a Continuous Cenozoic Record from a Greenhouse to an Icehouse World (ArcOP)” 추가 수정본 (#708-Addendum) 공동 제출, 2019.09.28.)

<p>IODP Proposal Cover Sheet</p> <p>Central Arctic Paleocceanography</p> <p>Received for: 708 - Add</p>	
<p>Title: Arctic Ocean Paleocceanography, Towards a Continuous Cenozoic Record from a Greenhouse to an Icehouse World (ArcOP)</p> <p>Proponents: Ruediger Stein, Estella Weigelt, Frank Niessen, Wilfried Jokat, Jens Matthiessen, Seung-I Nam, Kristen St John, Martin Jakobsson, Matthew O'Regan, Matthias Forwick, Alexey Krylov, Catalina Gebhardt, Bernard Coakley, Henk Brinkhuis, Leon Clarke</p> <p>Keywords: Arctic Ocean, Paleocceanography, Cenozoic Area: Lomonosov Ridge</p> <p>Proponent Information</p> <p>Proponent: Ruediger Stein</p> <p>Affiliation: Alfred Wegener Institute Bremerhaven</p> <p>Country: Germany</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Permission is granted to post the coversheet/site table on www.iodp.org</p>	<p>Abstract</p> <p>Prior to 2004, geological sampling in the Arctic Ocean was mainly restricted to near-surface Quaternary sediments. Thus, the long-term Pre-Quaternary geological history is still poorly known. With the successful completion of the Arctic Coring Expedition - ACEX (IODP Expedition 302) in 2004, a new era in Arctic research has begun. Employing a novel multi-vessel approach, the first Mission Specific Platform (MSP) expedition of IODP has proven that drilling in permanently ice-covered regions is possible. During ACEX, 428 meters of Quaternary, Neogene, Paleogene and Campanian sediment on Lomonosov Ridge were penetrated, providing new unique insights into the Cenozoic Arctic paleo-oceanographic and climatic history. While highly successful, ACEX also has three important limitations. The ACEX sequence possibly contains a large hiatus spanning the time interval from late Eocene to middle Miocene (based on the original biostratigraphic age model) or an interval of strongly reduced sedimentation rates (new Os-Fe isotope-based age model). This is a critical time interval, as it spans the time when prominent changes in global climate took place during the transition from the early Cenozoic Greenhouse world to the late Cenozoic Icehouse world. Furthermore, generally poor recovery during ACEX prevented detailed and continuous reconstruction of Cenozoic climate history. Finally, a higher-resolution reconstruction of Arctic rapid climate change during Neogene to Pleistocene times, could not be reached during ACEX. We believe, this justifies a return to the Lomonosov Ridge for a second MSP - type drilling campaign within IODP to fill these major gaps in our knowledge on Arctic Ocean paleoenvironmental history through Cenozoic times and its relationship to the global climate history.</p> <p>Overall goal of the proposed drilling campaign is the recovery of a complete stratigraphic sedimentary record on southern Lomonosov Ridge to meet our highest priority paleoceanographic objective, the continuous long-term Cenozoic climate history of the central Arctic Ocean. Furthermore, sedimentation rates two to four times higher than those of ACEX permit higher-resolution studies of Arctic climate change. As demonstrated in the proposal, this goal can be achieved by careful site selection, appropriate drilling technology, and applying multi-prong approaches to paleoceanographic, paleoclimatic, and age-model reconstructions. We propose one primary deep drill site (LR-11A) with three APC/CB/RCB holes, supplemented by a short APC drill site (LR-10A), to recover multiple sections of the sediment sequence to ensure complete recovery for construction of a composite section.</p> <p>ArcOP objectives are key elements in the IODP New Science Plan, Theme 1 Climate and Ocean Change</p>
<p>Addendum to Proposal 708-Full1 (update of 24 September 2019)</p> <p>Arctic Ocean Paleocceanography: Towards a Continuous Cenozoic Record from a Greenhouse to an Icehouse World (ArcOP)</p> <p>Proponents: R. Stein, E. Weigelt, F. Niessen, W. Jokat, J. Matthiessen, S.-I. Nam, K. St. John, M. Jakobsson, M. O'Regan, M. Forwick, A. Krylov, C. Gebhardt, B. Coakley, H. Brinkhuis, L. Clarke</p> <p>Note: S.-I. Nam (KOPRI - Korean Polar Research Institute, Incheon, Korea, PI for Araon-IODP activities)</p> <p>Preface: This document, that is submitted here as an up-dated 708-Addendum, I sent on July 22 to Gilbert Camoin (EMA Director), Dave McIntroy (ESO Science Manager), and Gabi Uenzelmann-Neben (EFB Chair).</p> <p>Expedition 377 (ArcOP) up-date</p> <p>Dear all,</p> <p>on 21 June I sent you some information about my activities related to Expedition 377/ArcOP, dealing with (1) the ODEN as in-kind contribution, (2) the option of a BGR contribution for the ODEN fuel costs, and (3) the option getting the ARAON involved into the ArcOP program and - by this - changing the original drilling strategy in order to save time/money. I am very glad that meanwhile BGR has decided to contribute significantly to the ODEN fuel costs, and I hope that your further discussion with the head of the SPRS Katarina Gårdsfeldt about the in-kind contribution of the ODEN was/will be successful as well.</p> <p>Your comments related to Point (3) of my 21 June email, i.e., getting the ARAON involved in the program and possible consequences, can be summarized as follows:</p>	<p>708 - Add</p> <p>Scientific Objectives</p> <p>A complete stratigraphic sedimentary sequence representing the continuous Cenozoic climate history of the central Arctic Ocean will be added to answer the following key questions:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Did the Arctic Ocean climate follow the global climate evolution during its course from early Cenozoic Greenhouse to late Cenozoic Icehouse conditions? - Are the Early Eocene Climate Optimum (poor recovery in the ACEX record) and the Oligocene and Mid-Miocene warmings also reflected in Arctic Ocean records? - Did extensive glaciations (e.g., the O1-1 and M1-1 glaciations) develop synchronously in both the Northern and Southern Hemispheres? - What is the timing of repeated major (Pliocene-Pleistocene) Arctic glaciations, as postulated from sediment echocoupling and multi-channel seismic reflection profiling? - What was the variability of sea-ice in terms of frequency, extent and magnitude? - When and how did the change from a warm, fresh-water influenced, biotically rich and poorly ventilated Eocene ocean to a cold, fossil-poor, and oxygenated Neogene ocean occur? - What is the history of Siberian river discharge and how critical is it for sea-ice formation, water mass circulation and climate change? - How did the Arctic Ocean evolve during the Pliocene warm period and succeeding cooling? - How do the new ArcOP record correlate with the terrestrial record from the Siberian Lake El'gygytgyn? - What is the cause of the major hiatus recovered in the ACEX record? Does this hiatus in fact exist?

그림 18. IODP에 중앙 북극해 로모노소프 해령 국제공동해저시추를 위한 최종시추제안서 추가 수정본 제안서제출

- Ruediger Stein 교수 (독일 AWI 극지해양연구소)의 극지연구소 방문(2019.08.22.-27)을 통해 2021년 북극해 로모노소프 남부해령에서 추진하고자하는 국제공동심부시추프로그램에 아라운호의 공동참여방안 협의
- 2019.11.07. Irland Dublin에서 2021년 9월 로모노소프 남부해령 국제공동해저심부시추 확정
- 아라운호가 2020-2022년 사이에 IODP 로모노소프 심부시추 프로그램에 공동 참여하여 JPC 룡코어 시스템을 이용하여 상부 플라이스토세 층 20-30m 길의 3-5점 시추 추진: 극지연구소 최초로 “북극해에서 추진되는 지구과학분야의 Big-Science 연구를 수행할 수 있는 공동 참여 및 연구성과 제고 극대화”

다. 북극해 국제공동해저심부시추를 위한 IODP Full 시추제안서, 추가(Addendum) 시추제안서 및 예비(Pre)시추제안서 수정본 공동제출

- 로모노소프 해령 국제공동해저심부시추에 아라운호 공동참여를 위한 ECORD와 MoU 체결 추진
- 로모노소프 해령 IODP 추가 시추제안서 수정본 독일 AWI와 공동제출
- 동북극해 시추제안서 수정본 및 서북극해 예비시추제안서 수정본 공동제출

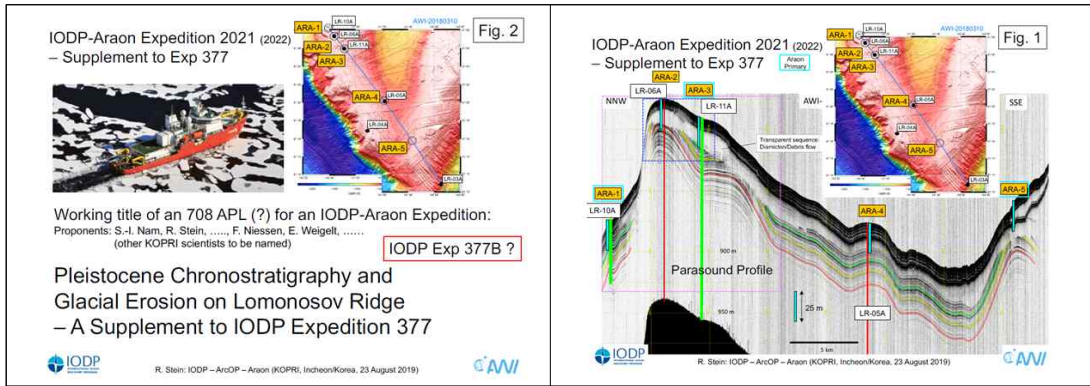


그림 19. 북극해 로모노소프 해령 시추에 아라온 공동참여를 위한 추가 시추제안서 제출 및 IODP 국제공동 해저심부시추 정점 (녹색) 및 아라온 시추 정점(하늘색)

2. 서북극해-북태평양해역 국제공동해저시추를 위한 예비시추제안서 공동제출

가. 2010년 이후 아라온 탐사를 통해 서북극해역에서 획득한 탐사/시추코어 자료를 활용한 극지연구소의 공동참여 추진

나. 서북극 척치해 및 베링해역의 국제공동해저시추에 필요한 예비시추제안서 작성을 위해 제2차 국제공동 워크숍 참석(2018.12.12. USGS. Reston. USA)

Scientific Exploration of the Arctic and North Pacific (SEA-NorP) IODP Workshop, September 25-27, 2018, Mt. Hood, Oregon, USA

Climate & Ocean Change (IODP 2013-2023 Theme)

Western Arctic Ocean

Major objectives

- Continental shelf growth
- Sea level, gateways, and ocean circulation
- History of glaciations
- Sea-ice response to climate change

Parallel questions to Bering Sea: opportunities for regional drilling strategy

Target areas

- **Chukchi Margin:** Cenozoic prograding deposits, Holocene accumulation
- **Beaufort margin:** sea level, glaciations, sea ice; gas hydrates
- **Mackenzie Trough:** deglacial history of the Laurentide Ice Sheet and drainage
- **Canada Basin:** turbidite depocenter






그림 20. 척치-베링해역 국제공동해저시추(IODP, International Ocean Drilling Program) 제안서 수정본 제출

다. 베링해협을 통해 이어지는 서북극해-북태평양해역 국제공동해저시추를 위한 예비시추제안서 제출(2019.04.02.): “Geological history and paleoceanography of the Western Arctic Ocean from Chukchi Borderland to Canada Basin (#957-Pre)”

<p style="text-align: center;">IODP Proposal Cover Sheet</p> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">957 - Pre</div> <p style="text-align: center;">Western Arctic Climate and Tectonics Received for: 2019-04-01</p> <hr/> <p>Title Geological history and paleoceanography of the Western Arctic Ocean from Chukchi Borderland to Canada Basin</p> <p>Proponents Bernard Coakley, David Houseknecht, Tabea Ahrband, Katherine Boggs, Julie Brigham-Grette, Jesse Colangelo, Chris Commons, Thomas Conin, Louise Farquharson, Catalina Gebhardt, Jenna Hill, Deborah Hattinon, Christian Maerz, David Mosher, Seung-il Nam, Leonid Polyak, Guillaume St-Onge, Wenzhen Xie, Masanobu Yamamoto</p> <p>Keywords Arctic, Chukchi Borderland, Climate, Tectonics Area: Southern Chukchi Borderland</p> <p style="text-align: center;">Proponent Information</p> <p>Proponent Bernard Coakley</p> <p>Affiliation Geophysical Institute, University of Alaska</p> <p>Country United States</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Permission is granted to post the coversheet/table on www.iodp.org</p>	<p style="text-align: center;">Abstract</p> <p>The Arctic Ocean is the bright white gap in our knowledge of ocean stratigraphy. While piston cores across the Arctic have revealed the Quaternary history of the region, the complete absence of scientific drilling in the western Arctic Ocean leaves us in the dark about its earlier history. The regional stratigraphy across the Chukchi Borderland includes inferred Paleozoic to Paleogene sediments at drillable depths with a condensed Cenozoic section. During Upper Paleocene, a large progradational system marched across the Chukchi Shelf and delivered sediments to the Borderland. Stratigraphy observed on Northwind Ridge and Chukchi Cap, likely pelagites or contourites, are prime drilling targets. The condensed section preserved on the bathymetric highs has suitable material for paleoclimatic and paleoceanography. The relatively thin sediments preserved here also make sampling and dating of the basement possible. The age and composition of the basement can be constrained from samples to the south on the Chukchi Shelf (e.g., Wrangell Island), to the east in northern Alaska, to the north from dredges, and on Northwind Ridge from rocks (possibly) covered. Identifying and dating basement will provide essential constraints for the reconstruction of the continental block to its pre-opening position. Multichannel seismic reflection data were collected across the northern Chukchi Shelf and southern Borderland in 2011, making it possible to select drilling sites and define a variety of objectives ranging from the youngest strata to basement rocks of diverse acoustic properties, stratification, and structure. Through drilling, we propose to examine the history of the western Arctic Ocean on the southern Chukchi Borderland during the Cenozoic and Mesozoic and perhaps earlier. With examples, it will be possible to compare the record of western Arctic ice to the Southern Hemisphere low record (e.g. Eocene-Oligocene shift, Mid-Miocene climate optimum, Greenhouse to icehouse transition) and the Eastern Arctic (ACEX1 land, hopefully ACEX II), the sea-level controlled history of connection with the Pacific and the tectonics of the region. Because stratigraphic ages are poorly constrained, once the bit penetrates the first unconformity, there will be surprises.</p> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">957 - Pre</div> <p style="text-align: center;">Scientific Objectives</p> <p>To sample Quaternary sediments and constrain the glacial history of the Western Arctic, the history of Bering Strait, and Arctic Ocean history and chemistry to complement the ACEX1 record from Lomonosov Ridge.</p> <p>To explore the complementary histories of the Western Arctic Ocean and the Northern Pacific, as revealed by previous DSDP/IODP/IODP drilling legs.</p> <p>To sample and date Cenozoic sediments and multiple unconformities beneath the simple stratified pelagites on the Chukchi Borderland and Northwind Ridge.</p> <p>To sample and date older Paleozoic-Mesozoic basement to establish affinities to ancient rocks known from the circum-Arctic continents and constrain the pre-opening position of the Chukchi Borderland.</p> <p>To establish a regional sea level record for the Arctic Ocean and link it to global glacio-eustatic sea level curves.</p> <p>To quantify the location of the Arctic to the global ocean, and its role as climatically relevant carbon sink during Cretaceous-Eocene greenhouse periods.</p> <p>To sample the microbial communities in the sediment section to evaluate biological persistence and selection, and to separate the influence of the Pacific and Atlantic waters.</p>
<p>Figure 1. Index map of the Chukchi Borderland region with bathymetry in 500-m contours. Yellow dots mark proposed drilling sites CHK 1-12; dark blue stars – Chukchi shelf exploration wells used for stratigraphy constraints. MCS lines: Healy 2005, green, Polarstern 2006, purple, Langseth 2011, red. Dark blue squares – Polarstern (AWI) sonobuoys used to estimate the velocity/depth function (Fig. 8). Yellow/red triangles – dredging sites with metamorphic/volcanic rocks. Dredge locations from Brumley (2014). Bathymetry from the International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) grid (Jakobsson, et al., 2012).</p>	<p>Figure 3. Chukchi Spur transect (see Figs. 1 and 2a for location). Three sites, CHK-01 to 03, proposed to sample the draped Cenozoic to possibly older sequence and the completely unknown underlying basement. CHK-01 would also penetrate a small graben, enabling constraint of some of the Borderland extensional history (Ithan and Coakley, 2018). Weakly laminated reflectors underlying the bright unconformity suggest laminated sediments, which could be sampled at CHK-02 and 03.</p>

그림 21. 척치해 주변해역 국제공동해저시추를 위해 제출된 예비시추제안서

제 2절. 거대빙하 기록 복원 및 시기규명

1. 서북극해 시추퇴적물코어 퇴적물 1차 층서 정립

가. 서북극해 후기 제4기 빙하역사 복원을 위한 시추코어 퇴적물 대비를 통한 정밀 층서확립

- 신뢰성 있는 암층서 정립을 위하여, AMS 14C 연대분석, 퇴적물성(밀도, 대자율), XRF 코어스캐닝 분석수행

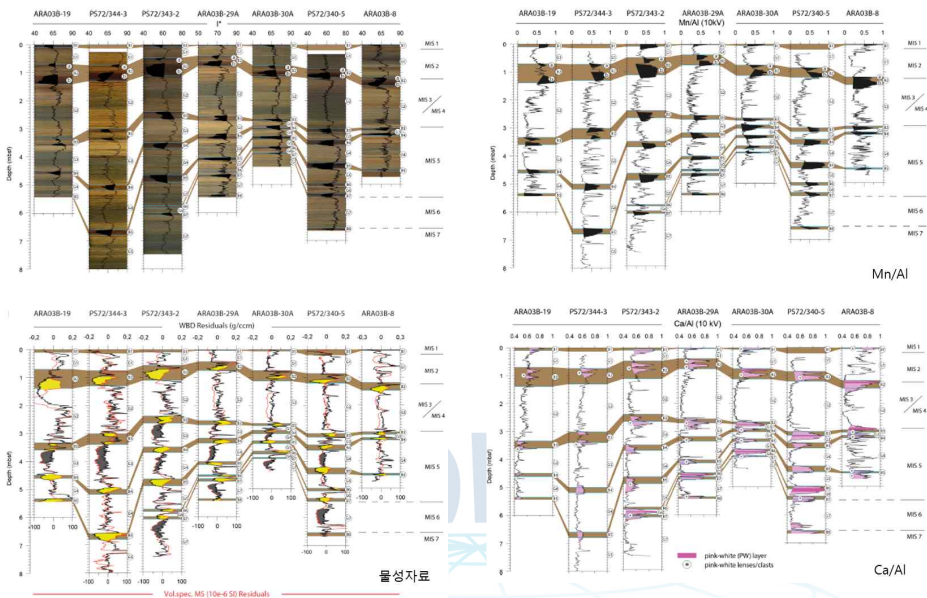


그림 22. XRF-core scanning 분석을 통해 획득한 퇴적물 색상, Mn/Al, Ca/Al 및 물성자료인 대자율과 습윤밀도(WBD) 값을 이용한 동-서 횡단(A-A') 코어대비 (Schreck et al., 2018).

- 서북극해역에서 시추된 퇴적물 코어를 기존의 암층서를 기반으로 대비하여 기본층서 수립 (Arktos 북극 전문저널에 논문게재, Schreck et al., 2018)
- Mn/Al, Ca/Al, WBD, MS 분석결과의 특성을 이용하여 보다 정확한 코어층서대비 및 동-서/남-북을 횡단하는 시추코어 간의 상호 대비 가능한 정밀한 층서를 처음으로 정립

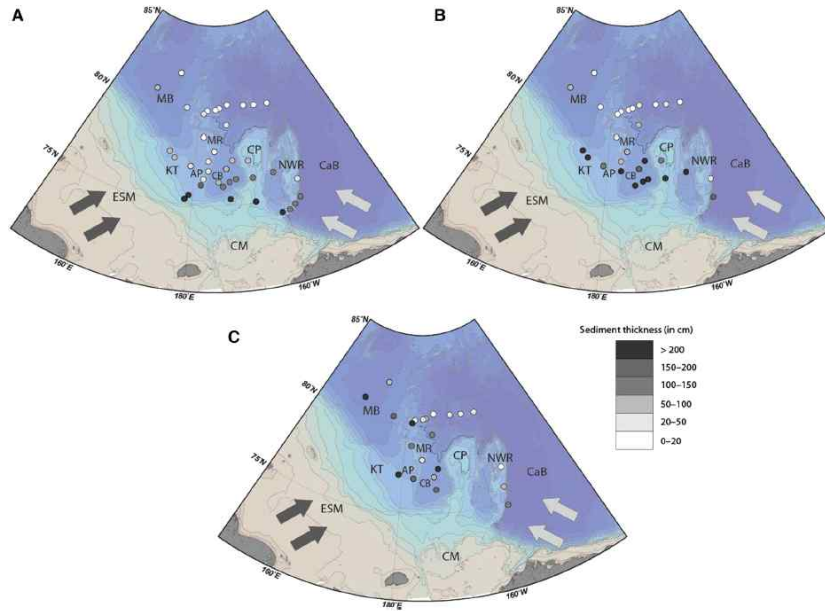


그림 23. XRF-core scanning 분석을 통해 획득한 퇴적물 색상, Mn/Al, Ca/Al 및 물성자료인 대자율과 습윤밀도(WBD) 값을 이용한 동-서 횡단(A-A') 코어대비 (Schreck et al., 2018).

2. 후기 제4기 동시베리아 대륙붕해역 퇴적층서 정립 및 빙하역사 복원

가. 동시베리아 대륙붕의 북서해역에 위치한 엘리스 대지의 마지막 빙하침식작용의 시기 규명 및 퇴적환경 복원을 위한 퇴적상 분석 및 탄성과 층서 분석

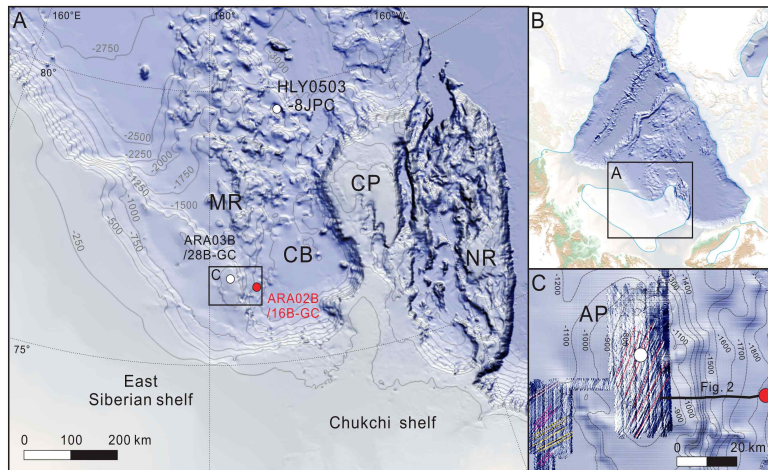


그림 24. A, 연구지역 지형도 및 연구대상 코어 정점; B, 후기 제 4기 빙하의 거대빙하의 최대 확장규모; C, 멀티빔 자료로 확인된 엘리스 대지의 대규모 빙하흔적 MSGL(mega-scale glacial lineation) 확인 (Niessen et al., 2013) (Joe et al., 2020).

나. 암석학적 다중프록시를 이용한 코어대비에 근거하여, 연구대상 코어의 주요 암층서 정립 및 연대모델 구축

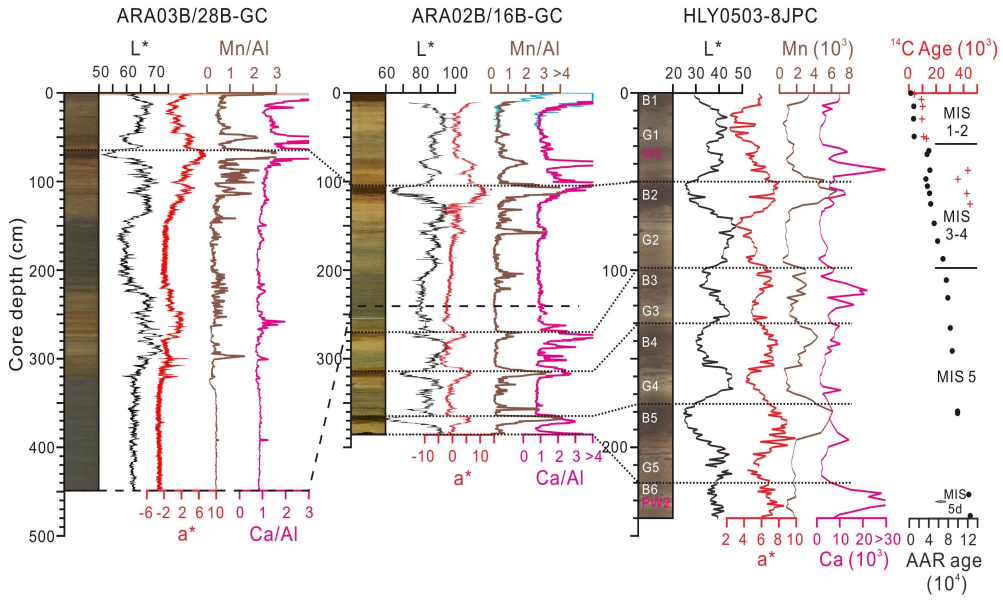


그림 25. 시추코어 퇴적물 ARA02B/16B-GC의 기준 암층서에 근거한 주변해역의 코어 대비 및 연대모델 정립.

다. 퇴적상 해석 및 코어-탄성과 대비를 통한 엘리스 대지의 마지막 빙하작용의 시기 해석 (MIS 4) 및 빙해양 퇴적환경 복원

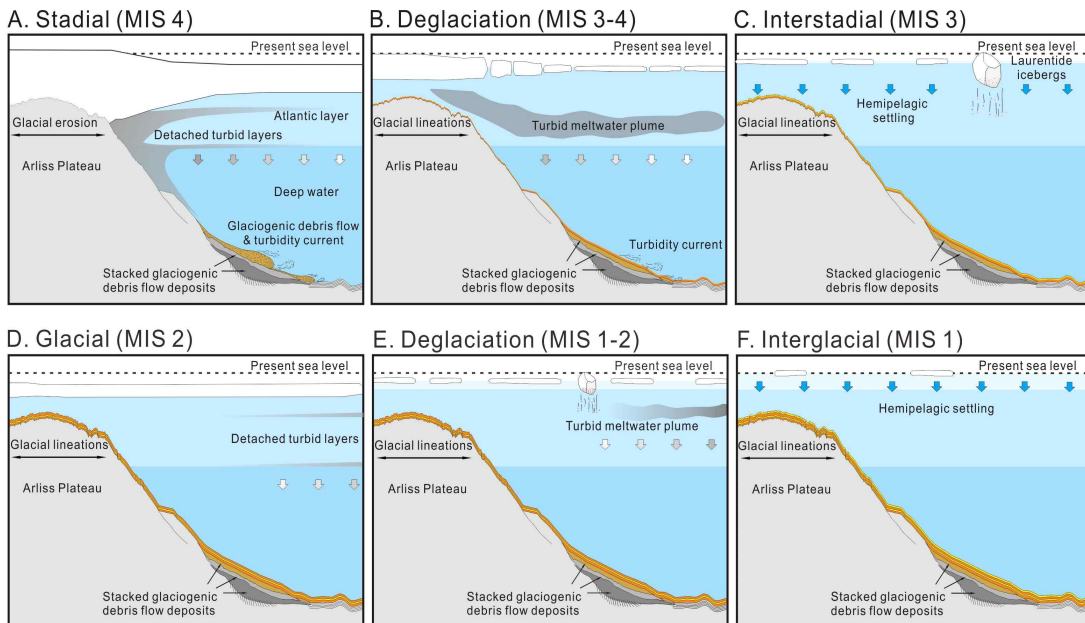


그림 26. 동시베리아 대륙붕 해역에 위치한 엘리스 대지와 주변해역에 대한 빙하작용 및 퇴적환경변화 모델.

라. 2020년 2월, 엘리스 대지 빙하침식 사건 시기규명 및 빙해양 퇴적환경 복원연구 내용 논문 게재(Quaternary Science Reviews, QSR)

3. 척치해 분지 주변지역의 빙하역사 복원 연구

가. 암층서 기반 연대모델을 적용한 제4기 후기 척치-동시베리아 주변해역 빙하역사 복원

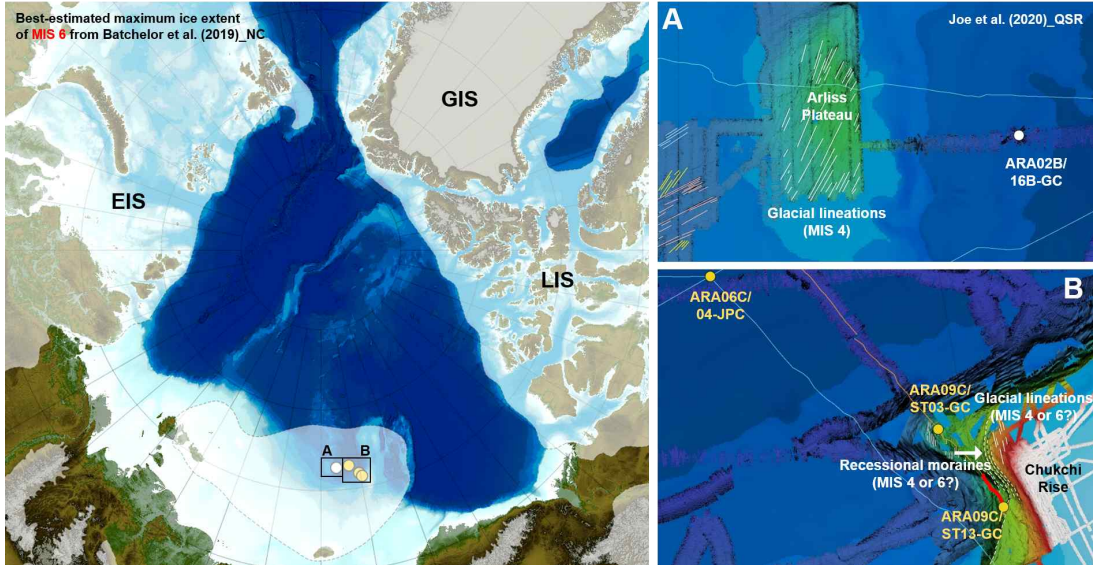


그림 27. MIS 6로 예측된 북극해 빙하 분포(좌). A) 멘델리프 해령 남부에 위치한 엘리스 대지의 빙하기원 지형(Joe et al., 2020). B) 척치해 대륙주변부 빙하기원 지형의 분포와 연구대상 코어정점

나. 퇴적물 시추코어의 암층서 정립

- 총 4점의 시추코어의 주요 암층서를 이용하여 층서 및 연대모델 설정

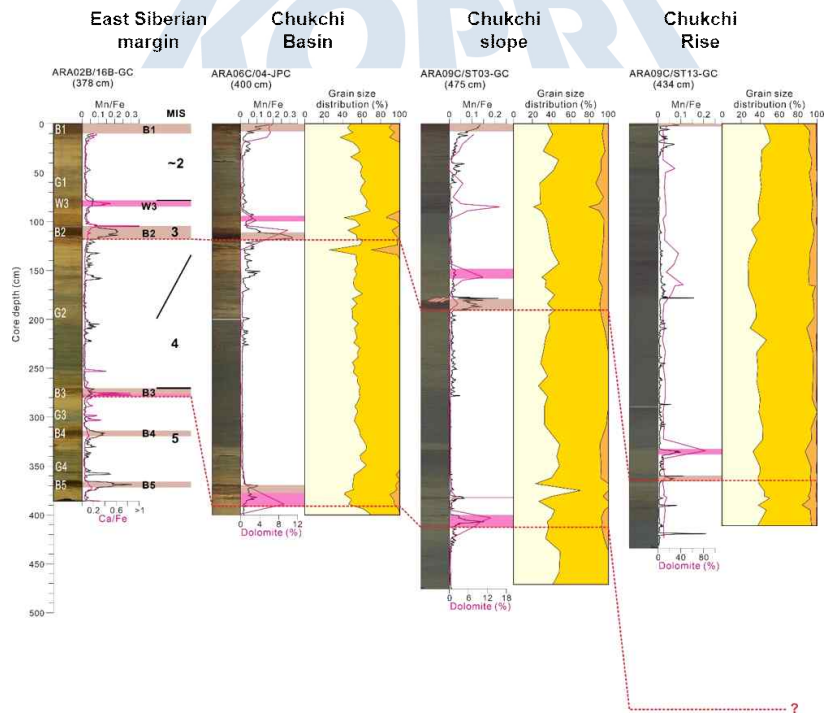


그림 28. 분석 코어 4점에 대한 암층서 구분 및 연대모델(Joe et al., 2020의 연대모델 적용). Chukchi Rise 코어 ST13-GC는 MIS 3 혹은 MIS 4의 일부기록만 확보된 것으로 확인

다. 탄성과 층서단위 정의 및 코어-탄성과 층서대비

- 기존 연구결과(Joe et al., 2020)와 동일한 탄성과 층서단위가 척치 주변해역에 적용가능
- 코어-탄성과 1차 대비결과 엘리스 대지의 빙하침식 사건과 동시기적으로 예상되는 후퇴 빙퇴구의 시기 예측

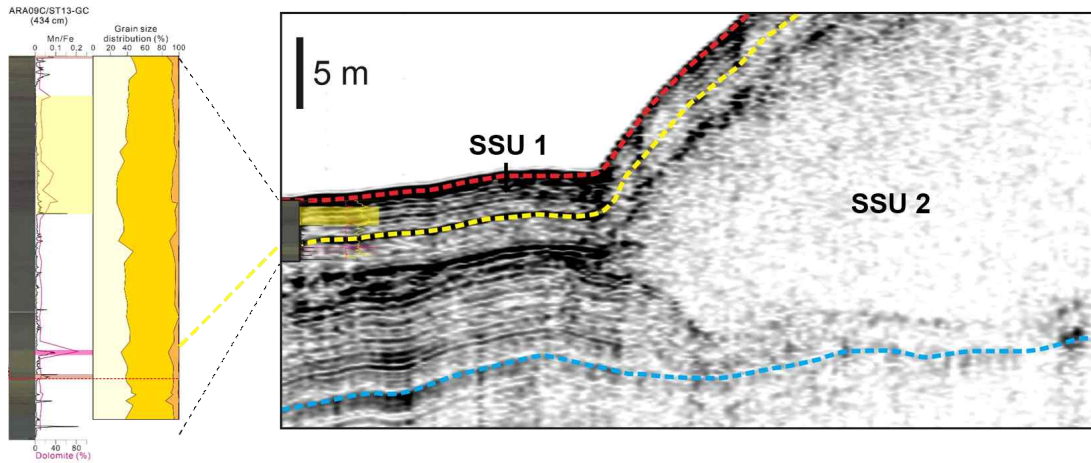


그림 29. 코어-탄성과 대비결과

4. 북극 중앙해역 마카로프 심해분지 중기 제4기 층서정립 및 빙하역사 연구

가. 서북극해 코어퇴적물의 마카로프 심해분지 시추코어의 망간 변동성을 이용한 제4기 주기층서 연대모델 설정

- 온난기 층서로 해석되는 망간 함량이 높은 갈색/암갈색의 주기성을 이용

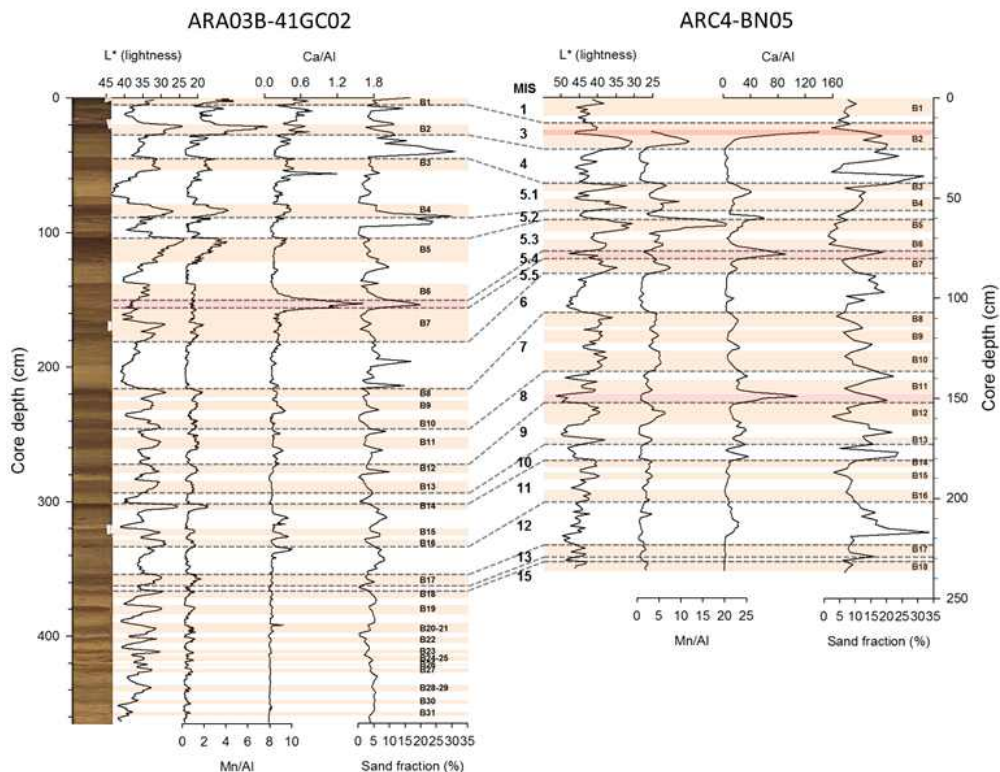


그림 30. 연구 코어 ARA03B-41GC02(좌)와 레퍼런스 코어 ARC4-BN05(우, Dong et al., 2017)의 층서대비 (Park et al., 2020)

- 현재, 장주기적인 플라이스토세 중-후기 연대모델을 제시한 사례가 제한적임
- 소프트웨어를 이용하여 연대모델 설정: 4.65 m 길이의 41GC는 약 100만년의 과거기록이 있

은 것으로 해석

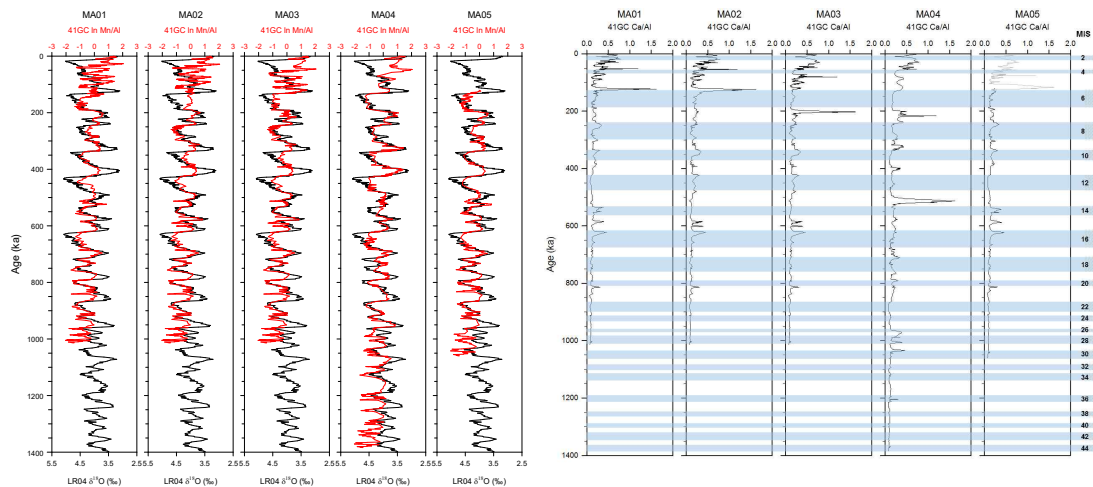


그림 31. 다양한 조건하에 컴퓨터 프로그램으로 도출된 연구 코어 ARA03B-41GC02(붉은 실선)와 전 지구적 기후변화 지시자인 저서성 유공충의 산소동위원소 비인 LR04(검은 실선)의 대비(좌); 도출된 연대모델에 따른 북미대륙 빙하활동 지시자인 Ca/Al 변화(우)

나. 2020년도 연대모델정립에 대한 논문 게재(Quaternary Geochronology) 및 설정된 연대모델을 기반으로 마카로프 해저퇴적물의 기원지 추적을 위한 광물학적 특성변화 연구

- Bulk 퇴적물에 대한 광물정량분석 및 결과 확보
- 주요 광물 기원지 특정 및 새로운 정밀 연대 모델에 기반한 빙하기-간빙기에 따른 광물함량 변화 파악

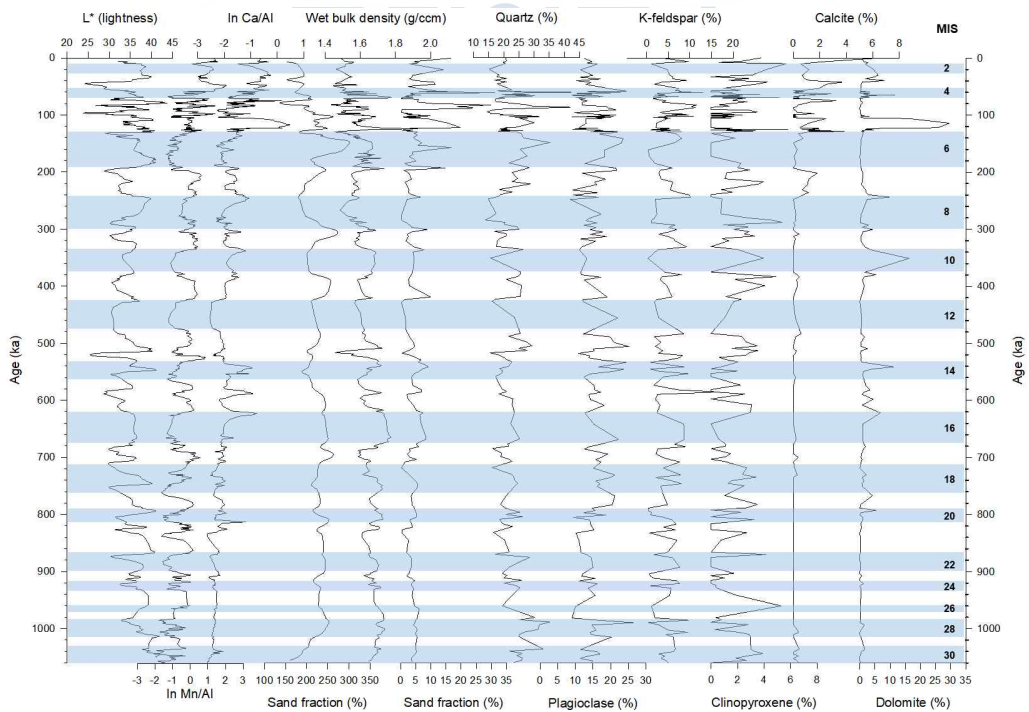


그림 32. Bulk 퇴적물에 대한 광물정량분석 결과

5. 04-JPC 시추코어 퇴적물 다중 프록시 분석

가. 네오디뮴 동위원소 비 기반 퇴적물 및 수괴 기원지 변화추적

- 퇴적물 내 자생성분은 퇴적 후 초기 숙성과정동안 해수로부터 형성, 이에 따라 과거 해수성분의 아카이브(archive)로 활용

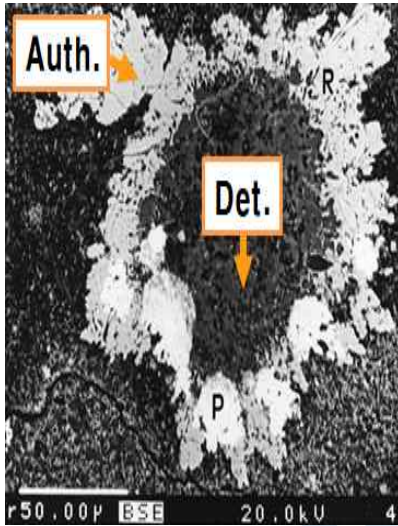


그림 33. 퇴적물 내 자생성분 (authigenic) 및 쇄설성분 (detrital) 현미경 사진 (출처: Chow et al., 2000)

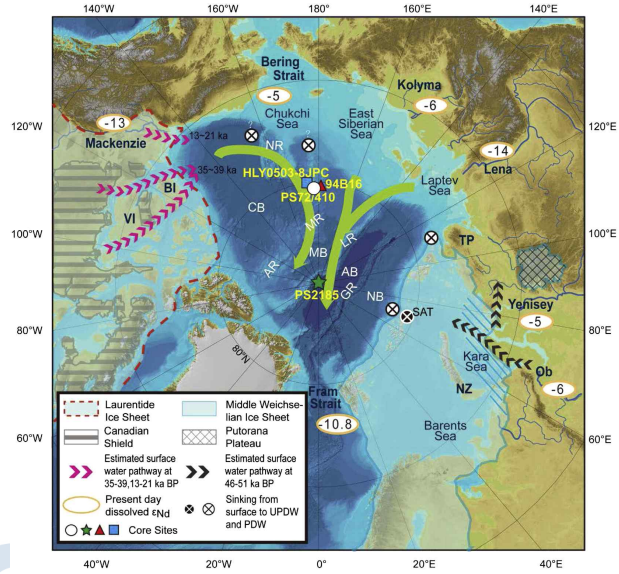


그림 34. 북극해 주변 강물에서 분석된 네오디뮴 동위원소 (ϵ_{Nd}) 값 분포(타원 내 숫자). 북미 지역에서 유입되는 ϵ_{Nd} 은 유라시아 지역에서 유입되는 것에 비해 상대적으로 낮다 (출처: Jang et al., 2013)

- 자생성 퇴적물 내 네오디뮴 동위원소 비 변동은 과거 퇴적 당시의 수괴 변화를 대변하며, 과거 북극해 해수순환 변의 추적자로 활용가능
- 척치분지에서 확보한 04-JPC 코어에 대한 네오디뮴 동위원소 분석 수행

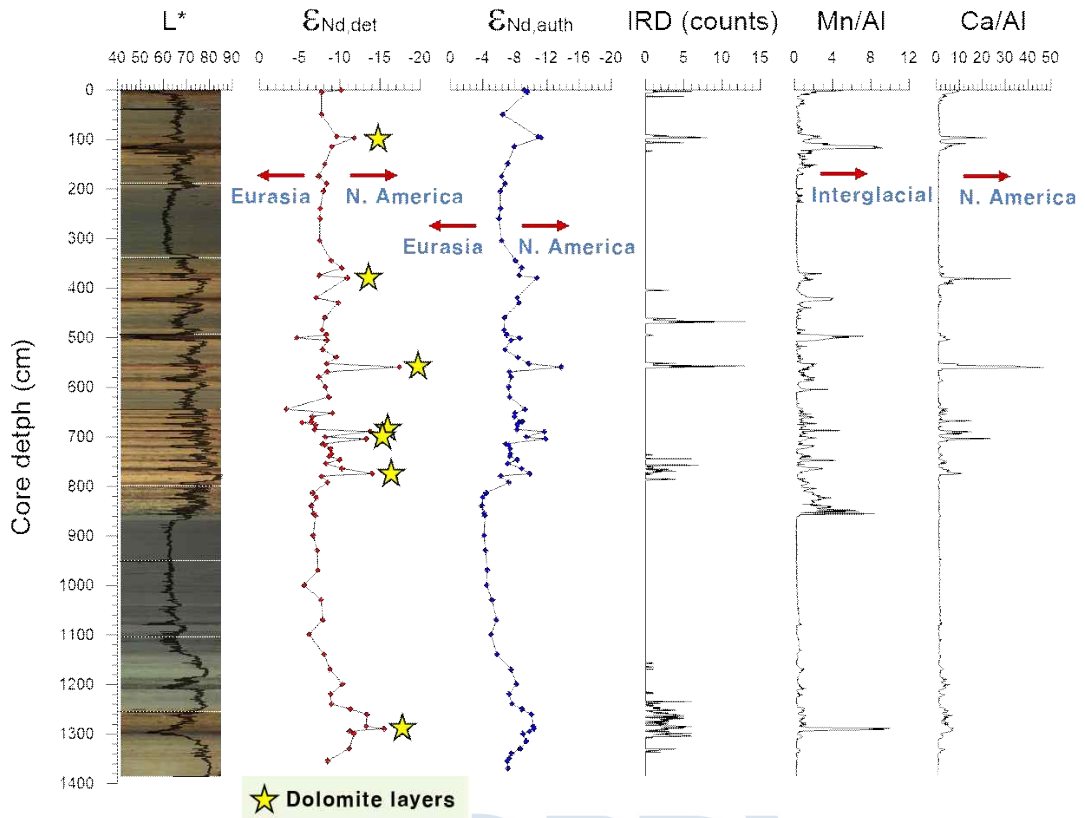


그림 35. 04JPC 코어 내 다중 프록시 분석 자료 비교. Color reflectance, IRD, Mn/Al, Ca/Al가
 설성 및 자생성 네오디뮴 동위원소 비 결과 값과 비교되어 있음



제 3절. 시추제안서 작성을 위한 국제공동워크숍 개최/참석

1. 국제공동 네트워크 구축을 위한 워크숍, 학회참석 및 국외전문가 초청활용

가. 중국 상해 동지대학교에서 개최(2018.10.10.-12.)된 9th ICAMG (아시아 해양지질학회) 북극 세션에서 서북극해 빙하역사연구관련 총 5편 논문발표

나. 서북극해 고기후/고해양연구분야 공동탐사연구추진을 위한 아시안 컨소시엄 구축협약: 한·중·일·홍콩 참여

다. 서북극해 국제공동연구협의를 위한 2018년도 국외전문가 초청 및 세미나 개최

- Leonid Polyak 박사 (미국 오하이오대학교 Byrd 극지기후환경연구센터, 2018. 10. 25-31): 서북극해 시추제안서 공동작성 및 빙하역사 공동연구추진 협의
- Jerome Bonnin 교수 (프랑스 보르도대학교, 2018.10.30-11.01) : 서북극해 퇴적물에 산출되는 저서성 유공충을 이용한 해빙분포 및 수괴 특성 변화에 따른 고환경변화를 위한 프록시 적용 연구 협의
- Yngve Kristoffersen (노르웨이 베르겐 대학교, 2018.11.12-14) : 전천후 소형선박을 이용한 북극해중앙결빙 해역 탐사방법 자문



그림 36. 해·빙에서 전천후 소형선박 Hovercraft를 활용한 2014년 8월 중앙 북극해 결빙해빙 해역 탐사장면

라. 극지연구소에서 개최(2019.05.14-16)된 25th Polar Symposium (극지 심포지엄)북극세션에서 서북극해 빙하역사관련 공동연구 구두발표 7편 및 포스터발표 2편 등 총 9편 논문발표

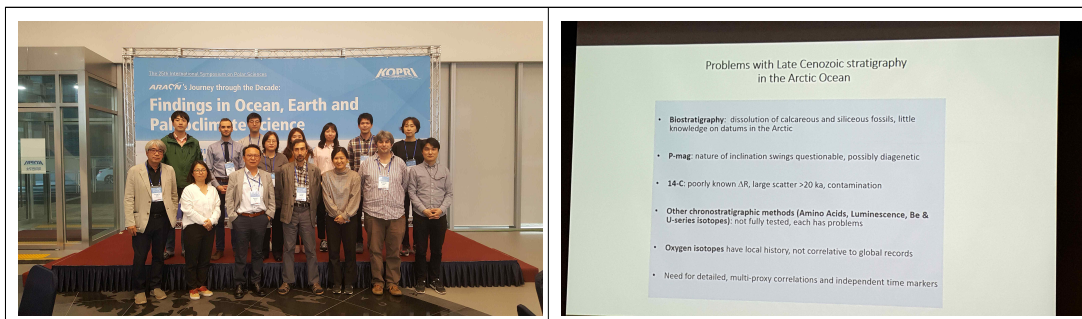


그림 37. 극지연구소에서 개최(2019.05.14-16) 된 25th Polar Symposium (극지 심포지엄) 북극세션 참가자

표 1. 2019년도 극지 심포지엄 서북극해 빙하역사관련 공동연구 구두/포스터 발표자 명단

발표자 (소속)	발표제목	구두/ 포스터
남승일 박사 (KOPRI)	KOPRI's Arctic research programs: Scientific achievements and future research plans	구두
우경식 교수 (강원대학교)	Why did the Laurentide Ice Sheet start to build up at 50 ka ?	구두
김경자 박사 (KIGAM)	Glacial history and paleocenaographic changes of the western Arctic Ocean (Mendeleev Ridge) using beryllium isotopes	구두
L. Polyak 박사 (오하이오대학교 Byrd 극지기후 연구센터)	Past analogue for future Arctic glacial and oceanographic perspective 1	구두
Kenta Suzuki (일본 홋카이도대학교 박사과정)	Collapses of the Northwestern sector of the Laurentide Ice Sheet during the last glaciation constrained by Ramped Pyrolysis 14C sediment dating in the Western Arctic Ocean	구두
조영진 (KOPRI 박사과정)	Quaternary litho- and seismic stratigraphy of the Chukchi abyssal plain, Western Arctic Ocean	구두
박광규 (KOPRI 박사과정)	Changes of sedimentary mineral composition in the Makarov Basin for the last ~1 Ma	구두
장세원 박사 (KIGAM)	Mineralogy and geochemistry of glaciomarine sediment cores from the Eastern Arctic Ocean during the last 200 ka	포스터
박유현 박사 (부산대학교)	Paleoenvironmental changes based on biomarker in the northern Chukchi Sea during the Holocene	포스터

- 극지연구소에서 개최(2019.05.14-16) 된 25th Polar Symposium(극지 심포지엄) 북극세션에서 서북극해 빙하역사연구관련 국외전문가 및 국내전문가 초청 구두발표 4편 논문발표

표 2. 2019년도 극지 심포지엄 북극세션 북극빙하역사 관련 국외/국내 전문가 초청 구두 발표자 명단

발표자 (소속)	발표제목	구두/ 포스터
Christoph Vogt 박사 (독일 Bremen 대학교)	The Plio-Pleistocene ACEX (Leg 302) record revisited: A high resolution mineralogical record	구두
Tommaso Tesi 박사	Post-Glacial Warming and Permafrost carbon release into the Arctic Ocean	구두
Christelle Not 교수 (Hong Kong University)	Evolution of the Western Arctic Ocean Water Masses stratification during the last 150,000 years	구두
한덕기 박사 (제주대학교)	Microbial diversity and community composition in Holocene sediments in the Arctic Ocean	구두

2. 북극해 국제공동해저심부시추를 위한 국제공동워크숍 참석

가. MagellanPlus IODP EFRAM-ARC EU연합국 국제공동워크숍 참석(OGS) (2020.01.21.-24), Trieste, Italy

- 934-Full (AAG-Drill) 시추제안서는 이태리 OGS (해양지질연구소) 중심으로 기존 제안서를 수정하여 2020년 4월 1일까지 공동제출 추진
- 북극해 관문인 프람해협 주변에서 심부시추를 위하여 국제공동해저시추프로그램에 기 제출된 시추제안서는 2020년 4월 1일까지 수정본을 공동제출 추진
- 기존에 제출된 시추제안서를 통합하여 하나의 시추제안서 작성에 관한 논의
- 2021년 8월부터 10월까지 추진되는 로모노소프해령 국제공동해저시추 소개 및 2020/2021년 아라온에 장착된 JPC 시추코어를 이용하여 참여방안 소개



그림 38. 이태리 국가 해양 및 지구물리연구소(OGS)에서 개최된 MagellanPlus IODP EFRAM-ARC EU연합국 국제공동워크숍 참석(2020.01.21.-24), Trieste, Italy

제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제 1절. 연구개발목표의 달성도

1. 북극해 국제공동해저시추를 위한 시추제안서 3편을 공동 제출함으로써 연구개발 목표 100% 달성

가. 북극해 로모노소프 남부해령 국제공동해저시추프로그램 참여기회를 확보함으로써 대한민국 과학자의 참여가 가능할 뿐만 아니라 향후 아라온에 장착된 JPC 시추시스템을 이용하여 주도적인 참여가 가능함

- “Arctic Ocean Paleoceanography: Towards a continuous Cenozoic record from a Greenhouse to an Icehouse World (ArcOP)” 북극해 로모노소프 해령 국제공동해저시추를 위한 시추제안서 최종 수정본 (#708-Full Proposal/Addendum)을 IODP (International Ocean Discovery Program)에 공동제출

나. 북극해 프람해협 열린(opening) 이후 북극해 고기후해양환경 변화 복원 및 전 지구적 기후 변화에 미친 영향을 복원하기 위한 시추제안서를 유럽 및 미국과 공동으로 제출함으로써 연구목표를 성공적으로 달성함

- “The Opening of the Arctic-Atlantic Gateway: Tectonic, Oceanographic and Climatic Dynamics“ 북극해 프람해협이 열린 이후 전 지구적 기후변화에 미친 영향을 규명하기 위한 국제공동해저시추(IODP, International Ocean Discovery Program) 최종 시추제안서(Full Proposal-#979)을 IODP에 공동제출

다. 북극해 진화에 의한 서북극해 지구조운동과 고해양환경 변화를 규명하고자 미국, 캐나다, 독일 등과 공동으로 예비시추제안서 공동제출 함으로써 향후 아라온과 차세대 쇄빙선을 활용하여 서북극해에서 주도적인 탐사연구를 통해 최종 시추제안서를 공동으로 제출하여 국제공동해저시추를 위한 기반을 구축함

- “Tectonic history and paleoceanography of the Amerasian Basin, Arctic Ocean; The Chukchi Borderland, Bering Strait and Canada Basin)” 북극 척치해 주변해역 국제공동해저시추를 위한 예비시추제안서(#987-Pre Proposal) IODP에 공동제출

2. 서북극해 빙하역사 복원 및 거대빙하 존재 시기를 처음으로 규명한 연구논문 3편을 게재함으로써 연구목표 100% 달성함

가. Arktos 북극전문 국외저널 논문게재

- 논문제목: Improved Pleistocene sediment stratigraphy and paleoenvironmental implications for the western Arctic Ocean off the East Siberian and Chukchi margins. M. Schreck et al. (2018. 07)

나. Quaternary Geochronology SCI 논문게재 (IF 3.96)

- 논문제목: Cyclostratigraphic age constraining for Quaternary sediments in the Makarov Basin of the western Arctic Ocean using manganese variability. K. Park et al. (2020. 02)

다. Quaternary Science Reviews SCI 논문게재 (IF 4.64)

- 논문제목: Late Quaternary depositional and glacial history of the Arliss Plateau off the East Siberian margin in the western Arctic Ocean. Y. J. Joe et al. (2020. 02)



제 2절. 관련분야의 기술개발의 대외기여도

1. 지난 2년 8개월(2018.05.01.~2020.12.31.) 동안 seed-형 창의연구사업 “북극해 진화 및 빙하 역사 복원을 위한 국제공동해저시추 기반연구”를 수행하면서 다음과 같이 대외기여도를 달성하였음
 - 가. 북극해 생성이후 지구조 진화를 통해 북극해 기후변화뿐만 아니라 전 지구적인 기후변화에 영향을 미치는 주요해역에서 유럽연합국가, 미국, 캐나다 국가들과 공동으로 국제공동해저시추를 실현하여 거대지구과학프로그램을 추진하기 위하여 동북극해, 로모노소프 해령 및 서북극해 해역에 관한 시추제안서를 제출함으로써 쇄빙선 아라온을 활용하여 북극해 탐사 연구를 수행하고 있는 극지연구소가 빅사이언스에 참여할 수 있는 기반을 조성하였음
 - 나. 특히 2006년부터 15년간 진행된 북극해 로모노소프 심부시추 IODP 시추제안은 총 9회에 걸친 평가심사단 권고에 대응하여 2018년 시추가 결정된 이후 막대한 시추경비뿐만 아니라 다년빙으로부터 시추선을 보호하고 시추퇴적물 코어 보관 및 예비분석에 필요한 실험실과 시추에 참여한 과학자들의 체류 공간 제공을 위한 2척의 쇄빙선이 확보가 불발되어 연기된 바 있음. 또한 2019년 11월 07일 아일랜드 더블린에서 로모노소프 해령시추를 2021년 9월에 시추를 재차 결정하면서 아라온호에 장착된 JPC 롱코어 시스템을 활용하여 상부 플라이오세/플라이스토세 층 20-30m의 양질의 퇴적기록을 확보 할 수 있도록 적극적인 참여를 권고함. 이는 극지연구소 최초로 “북극해에서 추진되는 지구과학분야의 Big-Science 연구를 주도적으로 수행할 수 있는 기회를 확보하고 북극탐사를 통해 수월성 높은 연구 성과 제고의 극대화” 할 수 있어 대한민국의 극지 및 해양지질 분야의 탐사연구발전에 기여 할수 있는 기반을 조성함
 - 다. 본 사업을 통하여 서북극해에 빙하기에 존재한 것으로 알려진 거대빙하의 발달 시기를 아라온 탐사를 통해 획득한 시추코어퇴적물을 이용하여 최초로 규명하는 등 서북극해 빙하역사 복원연구를 통해 2편의 SCI 논문과 1편의 논문을 북극전문 국제저널에 게재함으로써 국내외의 북극해 고기후/고해양환경복원에 필요한 중요한 결과를 제공함

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1절. 기대성과

1. 기술적 측면

- 극지해역에서 수행 될 거대지구과학 프로그램 추진을 위한 시추제안서 작성 등 시추 위치 선정 방법 등 노하우 습득
- 극한지 심해 및 대륙붕 결빙해역에서 심부/천부시추기술 및 퇴적물 코어 다중 프록시 분석 노하우 습득을 통한 향후 주도적인 시추제안서작성 추진에 활용
- 극한지 결빙해역에서 해저지형자료 프로세스 및 해석 기술 확보

2. 경제·산업적 측면

- 북극해에서 글로벌 이슈 해결을 위한 거대지구과학 프로그램에 쇄빙선 및 특수 시추선 투입이 불가피함으로써 향후 제2쇄빙선 건조를 통한 극한지 탐사에 필요한 초정밀 탐사 및 시추장비 개발 등 조선 산업 육성에 기여
- 북극해에서 심부해저시추프로그램이 성사 될 경우 향후 항로개발 및 자원탐사 등 극한지에서 수행이 가능한 관련분야의 경제·산업적 발전에 파급효과가 클 것임

극지연구소

제 2절. 연구개발결과의 활용방안

- 로모노소프 해령 등 북극해 주요해역에서 추진되는 국제공동해저시추프로그램에 「아라온」 공동 참여 등 북극해 탐사영역 확대
- 현재 추진 중인 차세대 쇄빙선 건조 필요성 및 당위성 확보
- 중앙결빙해역 등에서 북극해 진화 및 빙하역사 복원연구 등 전 세계 26개국에서 추진하고 있는 거대지구과학프로그램에 선도적 참여 및 국가 위상제고
- 향후 서북극해역에서 아라온을 투입하여 천부 및 심부 탄성사 탐사자료와 시추 코어 획득을 통해 추진 될 최종 시추제안서 작성에 극지연을 비롯한 국내 전문가들이 적극적으로 참여함으로써 서북극해에서 추진 될 국제공동해저시추 프로그램을 성공적으로 추진 할 경우 국내 극지지구과학 연구 분야의 학문적 발전을 위한 기폭제 역할을 할 것으로 기대
- 북극해에서 추진되고 있는 거대지구과학프로그램에 보다 능동적으로 참여함으로써 북극탐사연구에 대한 수월성 높은 연구성과 달성 및 위상제고

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 북극해 로모노소프 해령 국제공동해저 시추제안서

IODP Proposal Cover Sheet		708 - Full	
Central Arctic Paleoceanography			
Title	Arctic Ocean Paleoceanography: Towards a Continuous Cenozoic Record from a Greenhouse to an Icehouse World (ACEX2)		
Proponents	R. Stein, W. Jokat, H. Brinkhuis, L. Clarke, B. Coakley, M. Jakobsson, J. Matthiessen, M. O'Regan, C. Stickley, K. St. John, E. Weigelt,		
Keywords	Arctic Ocean, Paleoceanography, Cenozoic	Area	Lomonosov Ridge
Contact Information			
Contact Person:	Ruediger Stein		
Department:	Geosciences		
Organization:	Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research		
Address:	Am Alten Hafen 26	Bremerhaven	27568
Tel.:	+4947148311576	Fax:	+4947148311823
E-mail:	Ruediger.Stein@awi.de		
Abstract			
<p>Prior to 2004, the geological sampling in the Arctic Ocean was mainly restricted to near-surface Quaternary sediments. Thus, the long-term Pre-Quaternary geological history is still poorly known. With the successful completion of the Arctic Coring Expedition - ACEX (IODP Expedition 302) in 2004, a new era in Arctic research has begun. Employing a novel multi-vessel approach, the first Mission Specific Platform (MSP) expedition of IODP has proven that drilling in permanently ice-covered regions is possible. During ACEX, 428 meters of Quaternary, Neogene, Paleogene and Campanian sediment on Lomonosov Ridge were penetrated, providing new unique insights into the Cenozoic Arctic paleoceanographic and climatic history. While highly successful, the ACEX record also has three important limitations. Based on the original age model, the ACEX sequence contains a large hiatus spanning the time interval from late Eocene to middle Miocene, i.e., 44.4 to 18.2 Ma. This is a critical time interval, as it spans the time when prominent changes in global climate took place during the transition from the early Cenozoic Greenhouse world to the late Cenozoic Icehouse world. Furthermore, generally poor recovery during ACEX prevented detailed and continuous reconstruction of Cenozoic climate history. Finally, a higher-resolution reconstruction of Arctic rapid climate change during Neogene to Pleistocene times, could not be reached during ACEX in 2004. We believe, this justifies a return to the Lomonosov Ridge for a second MSP - type drilling campaign within IODP to fill these major gaps in our knowledge on Arctic Ocean paleoenvironmental history through Cenozoic times and its relationship to the global climate history.</p> <p>Overall goal of the proposed drilling campaign is the recovery of a complete stratigraphic sedimentary record on the southern Lomonosov Ridge to meet our highest priority paleoceanographic objective, the continuous long-term Cenozoic climate history of the central Arctic Ocean. Furthermore, sedimentation rates two to four times higher than those of ACEX permit higher-resolution studies of Arctic climate change in the Pleistocene and Neogene. As demonstrated in the proposal, this goal can be achieved by careful site selection, appropriate drilling technology, and applying multi-proxy approaches to paleoceanographic, paleoclimatic, and age-model reconstructions. We propose one primary drill site with three APC/XCB/RCB holes to recover multiple sections of the sediment sequence to ensure complete recovery for construction of a composite section.</p> <p>ACEX2 objectives are key elements in the IODP New Science Plan, Theme 1 Climate and Ocean Change, especially Challenges 1 and 2.</p>			

Scientific Objectives

A complete Cenozoic sedimentary sequence from the central Arctic Ocean will be studied to answer the following key questions:

- Did the Arctic Ocean climate follow the global climate evolution during its course from early Cenozoic Greenhouse to late Cenozoic Icehouse conditions?
- Are the Early Eocene Climate Optimum (poor recovery in the ACEX record) and the Oligocene and Mid-Miocene warmings also reflected in Arctic Ocean records?
- Did extensive glaciations (e.g., the OI-1 and Mi-1 glaciations) develop synchronously in both the Northern and Southern Hemispheres?
- What is the timing of repeated major (Plio-)Pleistocene Arctic glaciations as postulated from sediment echosounding and multi-channel seismic reflection profiling?
- What was the variability of sea-ice in terms of frequency, extent and magnitude?
- When and how did the change from a warm, fresh-water-influenced, biosilica-rich and poorly ventilated Eocene ocean to a cold, fossil-poor, and oxygenated Neogene ocean occur?
- How critical is the exchange of water masses between the Arctic Ocean and the Atlantic and Pacific for the long-term climate evolution as well as rapid climate change?
- What is the history of Siberian river discharge and how critical is it for sea-ice formation, water mass circulation and climate change?
- How did the Arctic Ocean evolve during the Pliocene warm period and succeeding cooling? How do the ACEX2 record correlate with the terrestrial record from the Siberian Lake Elgygytgyn?
- What is the cause of the major hiatus recovered in the ACEX record? Does this hiatus in fact exist?

Non-standard measurements technology needed to achieve the proposed scientific objectives.

The sites are located in the seasonally ice-covered central Arctic Ocean (southern Lomonosov Ridge), and will need mission specific vessels to perform the drilling in the pack ice (marginal ice zone). A well organized ice-management strategy and support by an icebreaker (e.g., RV Polarstern) are needed.

Proposed Sites

Site Name	Position (Lat, Lon)	Water Depth (m)	Penetration (m)			Brief Site-specific Objectives
			Sed	Bsm	Total	
LORI-5B	83.80, 146.48	1334	1250	0	1250	Recovery of a complete stratigraphic sedimentary record on the central Lomonosov Ridge to meet our highest priority paleoceanographic objective, the continuous long-term Cenozoic climate history of the central Arctic Ocean. (Alternate Site)
LORI-16A	80.78, 142.78	1752	1850	0	1850	Recovery of a complete stratigraphic sedimentary record on the southern Lomonosov Ridge to meet our highest priority paleoceanographic objective, the continuous long-term Cenozoic climate history of the central Arctic Ocean. (Alternate Site)
LR-02A	80.97, 142.47	1450	1300	0	1300	Recovery of a complete stratigraphic sedimentary record on the southern Lomonosov Ridge to meet our highest priority paleoceanographic objective, the continuous long-term Cenozoic climate history of the central Arctic Ocean (Alternate Site)
LR-01A	80.95, 142.97	1405	1225	0	1225	Recovery of a complete stratigraphic sedimentary record on the southern Lomonosov Ridge to meet our highest priority paleoceanographic objective, the continuous long-term Cenozoic climate history of the central Arctic Ocean (Primary site)

2. SCI 게재 논문

가. Schreck et al. (2018): 북극전문 국외저널, Arktos

arctos (2018) 4:21
<https://doi.org/10.1007/s41063-018-0057-8>

ORIGINAL ARTICLE



Improved Pleistocene sediment stratigraphy and paleoenvironmental implications for the western Arctic Ocean off the East Siberian and Chukchi margins

Michael Schreck^{1,2} · Seung-Il Nam² · L. Polyak³ · C. Vogt⁴ · G.-S. Kong⁵ · R. Stein⁶ · J. Matthiessen⁶ · F. Niessen⁶

Received: 25 January 2018 / Accepted: 22 June 2018 / Published online: 5 July 2018
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2018

Abstract

Sediment cores from the East Siberian and Chukchi margins and adjacent basins are used to refine the upper Pleistocene stratigraphy and better constrain the timing of major glacial advances in the western Arctic Ocean. Cores have been analysed using high-resolution non-destructive physical properties (density, magnetic susceptibility and colour) and X-ray fluorescence elemental measurements (manganese and calcium contents). All analysed cores reveal a spatially coherent stratigraphic pattern that enables robust correlations from the East Siberian margin to the Mendeleev and Northwind Ridges, thus highlighting the potential of such multiproxy approach for improving stratigraphic framework. The distribution of sedimentary units resulting from core correlation indicates decreasing sedimentation rates by more than one order of magnitude from the East Siberian margin east- and northwards, reflecting an increased distance from the main sediment sources, increasing sea-ice cover, and longer residence times in the Beaufort Gyre circulation. The stratigraphy presented, consistent with existing geophysical data, indicates the most recent major glacial advance from the East Siberian margin with ice grounding at water depth > 800 m during estimated Marine Isotope Stages 4/3, roughly contemporaneous with the Middle Weichselian glaciation in northern Eurasia. Earlier glacial events are potentially indicated by glaciogenic units in cores away from the margin, where they are not overprinted by a younger ice advance. Sediment thickness increase towards the Siberian margin also suggests the possibility of a limited MIS 2 glaciation, although no direct evidence for such an ice sheet has been found thus far.

Acknowledgements We would like to thank the captain and crew of RV Araon and RV Polarstern for excellent collaboration and support during expeditions ARA03B, ARA06B, and PS72. Work on this paper was funded by the Seed-type Research Program (no. PE18350) of the Korea Polar Research Institute. LP was supported by the US National Science Foundation awards ARC-0806999 and ARC-1304755. In addition, this paper is a contribution to the AWI Research Program PACES II, 3.1 and 3.2. Comments from two anonymous reviewers helped improving this manuscript.

나. Park et al. (2020): SCI, Quaternary Geochronology



Quaternary Geochronology

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/quageo>



Cyclostratigraphic age constraining for Quaternary sediments in the Makarov Basin of the western Arctic Ocean using manganese variability

Kwangkyu Park^{a,b}, Jung-Hyun Kim^a, Hirofumi Asahi^a, Leonid Polyak^c, Boo-Keun Khim^b, Michael Schreck^{a,d}, Frank Niessen^e, Gee Soo Kong^f, Seung-Il Nam^{a,*}

^a Division of Polar Paleoenvironment, Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-si, Incheon 21990, Republic of Korea
^b Department of Oceanography, Pusan National University, 2 Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea
^c Byrd Polar and Climate Research Center, Ohio State University, 1090 Carmack Rd, Columbus, OH 43210, USA
^d Department of Geosciences, UiT-The Arctic University of Norway, N-9037, Troms, Norway
^e Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Am Handelshafen 12, D-27570 Bremerhaven, Germany
^f Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34132, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Keywords:
Cyclostratigraphy
Manganese
Western Arctic Ocean
Laurentide Ice Sheet
Glacial-interglacial cycles

ABSTRACT

The Quaternary paleoenvironmental history of the Arctic Ocean remains uncertain, mainly due to the limited chronological constraints, especially beyond the ¹⁴C dating limits of accelerator mass spectrometry (AMS). The difficulty in establishing reliable chronostratigraphies is mainly attributed to low sedimentation rates and diagenetic sediment changes, resulting in very poor preservation of microfossils and altered paleomagnetic records. In the absence of independent chronostratigraphic data, the age model of Pleistocene sediments from the Arctic Ocean is mainly based on cyclostratigraphy, which relates lithologic changes to climatic variability on orbital time scales. In this study, we used the Mn/Al record measured from the sediment core ARA03B-41GC retrieved from the Makarov Basin in the western Arctic Ocean. The Mn/Al variation was tuned to the global benthic oxygen isotope stack (LR04) curve under different assumptions for computational correlation. Regardless of assumptions, our computational approach led to similar ages of about 600–1,000 ka for the bottom part of the core. These age models were up to about 200 ka older than those derived from lithostratigraphic approaches. Interestingly, our new age models show that the Ca/Al peak, a proxy for a detrital input from the Laurentide Ice Sheet, first occurred about 150 ka earlier than those previously proposed. Therefore, our results suggest that the glaciers in northern North America developed more extensively at about 810 ka than in earlier glacial periods, and influenced the sedimentary and paleoceanographic environments of the Arctic Ocean much earlier than previously thought. In order to establish a more comprehensive age model, more work is needed to validate our findings with different sediment cores recovered from the western Arctic Ocean.

Acknowledgments

We would like to thank the captain and crew of RV Araon for their excellent support and colleagues (Y.J. Son and Y.J. Joe) of the KOPRI's Arctic paleoceanography group and Dr. D. Han (Jeju National University) for taking sediment cores during the expedition ARA03B in 2012. We also thank Dr. M. O'Regan and the anonymous reviewer for their great help in improving this paper. This research is funded by the Seed-type Research Program of the Korea Polar Research Institute, Republic of Korea (No. PE19350 to SIN).



Late Quaternary depositional and glacial history of the Arliss Plateau off the East Siberian margin in the western Arctic Ocean



Young Jin Joe ^{a, b}, Leonid Polyak ^c, Michael Schreck ^{a, d}, Frank Niessen ^e, Seok Hoon Yoon ^b, Gee Soo Kong ^f, Seung-Il Nam ^{a, *}

^a Division of Polar Paleoenvironment, Korea Polar Research Institute, 21990, Incheon, Republic of Korea

^b Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University, 63243, Jeju, Republic of Korea

^c Byrd Polar and Climate Research Center, The Ohio State University, 1090 Carmack Road, Columbus, OH, 43210, USA

^d Department of Geosciences, Ulf-The Arctic University of Norway, N-9037, Tromsø, Norway

^e Alfred Wegener Institute (AWI) Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, D-27568, Bremerhaven, Germany

^f Petroleum and Marine Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 34132, Daejeon, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 1 July 2019
Received in revised form
20 November 2019
Accepted 22 November 2019
Available online 5 December 2019

Keywords:
Arctic Ocean sediments
Late Quaternary
Glacial history
Sediment facies
Seismostratigraphy

ABSTRACT

Sedimentary stratigraphy and facies analysis along with seismostratigraphic and multibeam bathymetry data are used to reconstruct the last glacial impact on the Arliss Plateau (AP) and attendant sedimentation in the adjacent Chukchi Basin (CB) in the western Arctic Ocean off the East Siberian margin. Sediment core ARA02B/16B-GC from the AP lower slope captures glacier-related depositional history during the last estimated ca. 100 ka (Marine Isotope Stage, MIS 1 to 5c) based on regional lithostratigraphic correlation. The sedimentary record shows distinguishable interglacial (interstadial) and glacial (stadial) patterns. The identified sedimentary facies reflect several modes of glaciogenic deposition by drifting icebergs, suspension settling from turbid meltwater plumes and/or detached underflows, and turbidity currents. Based on strong seismic reflectors related to lithological boundaries, a downslope subbottom profile from AP to CB is divided into seismostratigraphic units (SSU) 1 and 2 corresponding in the core record to MIS 1–3 and MIS 3–5c, respectively. An acoustically transparent lens within SSU 2 correlates on the upper slope to debris lobes downslope from the AP top covered by megascale glacial lineations. This geomorphic/sedimentary pattern indicates a glacial erosional impact on the AP and proglacial deposition of eroded sediments on the slope and in the basin. Based on the developed sediment stratigraphy and facies analysis, the last debris lobe horizon was deposited in glacial/deglacial environments during late MIS 4 to early MIS 3. The absence of similar glaciogenic debris lobes within SSU 1 indicates no direct glacial impact on the AP during the Last Glacial Maximum (LGM). These results suggest that the last glacial erosion of the AP occurred during or immediately after MIS 4, possibly related to major glaciation in northern Siberia at ~50–70 ka.

Acknowledgments

We want to thank the captain and crew of RV Araon for excellent collaboration and support during the 2nd Arctic expedition ARA02B in 2011. This research is mainly funded by a seed-type research project (PE19350 to Seung-Il Nam) of Korea Polar Research Institute, Republic of Korea. Leonid Polyak contribution was partially supported by the US National Science Foundation award ARC-1304755, United States. We thank an anonymous reviewer and Matt O'Regan for detailed comments that helped to improve the manuscript.



제 7 장 참고문헌

- Joe, Y. J., Polyak, L., Schreck, M., Niessen, F., Yoon, S. H., Kong, G. S., & Nam, S. I. (2020). Late Quaternary depositional and glacial history of the Arliss Plateau off the East Siberian margin in the western Arctic Ocean. *Quaternary Science Reviews*, 228, 106099.
- Nam, S. I., Kim, K. J., Stein, R., & Matthiessen, J. (2011). Glacial history and paleoceanographic changes of the western Arctic Ocean (Mendeleev Ridge) using beryllium isotopes.
- Not, C. A., MAN, H., Wang, R., Xiao, W., & Zhou, B. (2019). Evolution of Western Arctic Ocean water masses stratification during the last 150,000 years. In *The 25th International Symposium on Polar Sciences*.
- Park, K., Kim, J. H., Asahi, H., Polyak, L., Khim, B. K., Schreck, M., ... & Nam, S. I. (2020). Cyclostratigraphic age constraining for Quaternary sediments in the Makarov Basin of the western Arctic Ocean using manganese variability. *Quaternary Geochronology*, 55, 101021.
- Schreck, M., Nam, S. I., Polyak, L., Vogt, C., Kong, G. S., Stein, R., ... & Niessen, F. (2018). Improved Pleistocene sediment stratigraphy and paleoenvironmental implications for the western Arctic Ocean off the East Siberian and Chukchi margins. *arktos*, 4(1), 1-20.
- Tesi, T., Muschitiello, F., Smittenberg, R. H., Jakobsson, M., Vonk, J. E., Hill, P., ... & Gustafsson, Ö. (2016). Massive remobilization of permafrost carbon during post-glacial warming. *Nature Communications*, 7(1), 1-10.

극지연구소

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.