

버포트해 메켄지 트로프해역에서의 육상기원 유기물 추적
선행 연구

A pilot study of tracing terrestrial organic carbon along the
Mackenzie Trough (Beaufort Sea)



한국해양과학기술원
부설극지연구소

버포트해 메켄지 트로프 해역에서의 육상기원 유기물
추적 선행 연구

A pilot study of tracing terrestrial organic carbon along the
Mackenzie Trough (Beaufort Sea)



2018. 12. 21

한국해양과학기술원

부설 극지연구소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “버포트해 메켄지 트로프 해역에서의 육상기원 유기물 추적 선행 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 12. 21.

연구 책임자 : 김정현

참여 연구원 : 김정현, 남승일, 진영근, 손영주,
박광규, 강수진, 조영진,
주영지, 장광철, 김다해



보고서 초록

과제관리번호	PE17490	해당단계 연구기간	2017.11.01. ~ 2018.10.31	단계 구분	1단계
연구사업명	중 사업명	창의연구사업			
	세부사업명	신진연구자 지원사업			
연구과제명	중 과제명				
	세부(단위)과제명	버포트해 메켄지 트로프 해역에서의 육상기원 유기물 추적 선행 연구			
연구책임자	김 정 현	해당단계 참여연구원수	총 : 10 명 내부 : 9 명 외부 : 1 명	해당단계 연구비	정부: 3,000 천원 기업: 천원 계: 3,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 극지고환경연구부		참여기업명	해당사항 없음	
국제공동연구	해당사항 없음				
위탁연구	해당사항 없음				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자이내)					보고서 면수
<ul style="list-style-type: none"> ○ 서북극 버포트해 메켄지 트로프 해역에서의 수계 파악 <ul style="list-style-type: none"> - CTD를 활용한 수온 및 염분 데이터 확보 ○ 서북극 버포트해 메켄지 트로프 해역에서의 시료 획득 <ul style="list-style-type: none"> - 해수 시료 확보 - 표층퇴적물 시료 확보 - 퇴적코어 확보 ○ 해수 및 퇴적물 시료 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 해수 시료 분석 - 표층퇴적물 시료 분석 - 퇴적코어 분석 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	버포트해, 메켄지 트로프, POC, DOC, DIC			
	영 어	Beaufort Sea, Mackenzie trough, POC, DOC, DIC			

요 약 문

I. 제 목

버퍼트해 메켄지 트로프 해역에서의 육상기원 유기물 추적 선행 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 버퍼트해 메켄지 트로프 해역에서의 다양한 유기탄소 기원 및 조성 파악
- 버퍼트해 메켄지 트로프 해역에서의 육상기원 유기탄소 거동 연구 필요
- 버퍼트해 메켄지 트로프 해역에서의 유기물 조성 변화와 최근 기후 변화와의 상관관계 연구를 위한 배경자료 구축 필요

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 서북극 버퍼트해 메켄지 트로프 해역에서의 수계 파악
 - CTD를 활용한 수온 및 염분 데이터 확보
- 서북극 버퍼트해 메켄지 트로프 해역에서의 시료 획득
 - 해수 시료 확보
 - 해양 표층퇴적물 시료 확보
 - 해양 퇴적코어 확보
- 해수 및 퇴적물 시료 분석
 - 해수 시료 분석
 - 해양 표층퇴적물 시료 분석
 - 해양 퇴적코어 분석

IV. 연구개발 결과

- 버퍼트해 메켄지 트로프 해역에서의 다양한 유기탄소 기원 및 조성 파악을 위한 환경 및 지화학 자료 획득

V. 연구개발 결과의 활용 계획

- 본 연구에서 도출된 연구결과의 국내외 학회 발표 및 SCI(E) 저널에 투고
- 본 선행연구 결과를 토대로 버퍼트 해역에서의 육상기원 유기탄소 거동에 관한 새로운 연구과제 도출

S U M M A R Y

I. Title

A pilot study of tracing terrestrial organic carbon along the Mackenzie Trough (Beaufort Sea)

II. Purpose and Necessity of R&D

- To investigate various sources and compositions of organic carbon in the Mackenzie Trough (Beaufort Sea)
- To investigate the terrestrial organic carbon transfer in the Mackenzie Trough (Beaufort Sea)
- To provide essential data for studying the relationship between the recent climate changes and changes in organic matter characteristics in the Mackenzie Trough (Beaufort Sea)

III. Contents and Extent of R&D

- To determine characteristics of water mass in the Mackenzie Trough (Beaufort Sea)
 - To obtain the sea water temperature and salinity data by doing the CTD operations
- To obtain samples in the Mackenzie Trough (Beaufort Sea)
 - Seawater samples
 - Marine surface sediment samples
 - Marine sediment cores
- To analyse seawater and sediment samples
 - Analysis of seawater samples
 - Analysis of marine surface sediment samples
 - Analysis of marine sediment cores

IV. R&D Results

- Acquirement of environmental and geochemical data for investigating various sources and compositions of organic carbon in the Mackenzie Trough (Beaufort Sea)

V. Application Plans of R&D Results

- To present the results in various national and international conferences and submit a manuscript to a SCI(E) journal
- To develop a new project for tracing terrestrial organic carbon in the Mackenzie Trough (Beaufort Sea) based on the results obtained from this project

C O N T E N T S

Chapter 1 Introduction	7
Chapter 2 Current R&D Status in Korea and Other Nations	8
Chapter 3 R&D Implementation Contents and Results	10
I. Final goal of research	10
II. Contents and Results	11
Chapter 4 Degree of R&D Achievement and Degree of Contribution to Outside Research Institute	21
Chapter 5 Application Plans of R&D Results	21
Chapter 6 References	22

목 차

제 1 장 서론	7
제 2 장 국내외 기술개발 현황	8
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	10
가. 연구개발 최종 목표	10
나. 연구수행 내용 및 결과	11
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도.....	21
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획	22
제 6 장 참고문헌.....	22

제 1 장 서론

- 강은 연간 900Tg의 유기 및 무기 탄소를 연근해로 공급하는, 육상에서 해양으로의 주요 탄소 이동 경로이다. 따라서 강은 IPCC 5차 보고서가 제시한 전 지구적 탄소순환 모델에서 제시한 바와 같이 육상 탄소 순환과 해양 탄소 순환을 연결해 주는 아주 중요한 고리 역할을 한다. 하지만 육상으로 유입된 유기물의 다양한 기원은 육상-해양 인터페이스 공간과 같은 특정 공간에서 기후 변화에 따른 육상기원 유기탄소 거동을 연구하는데 많은 어려움을 야기함.
- 전 지구적인 온난화 영향으로 북극지역에 분포하는 영구동토층으로부터 방출되는 온실 가스가 점점 증가하고 이는 기후 변화에도 포지티브 피드백으로 작용할 것으로 예상된다. 이는 나아가 현재 이슈가 되고 있는 북극 해빙 감소에도 영향을 미침으로서 북극항로 개척과 같은 경제·산업적 측면에도 영향을 미칠 것으로 보임.
- 현재 북극권은 전 지구적 온난화 현상으로 지구상에서 기후변화가 가장 빠르게 진행되고 있는 지역이다. 이러한 기후 변화에 따른 강수량의 증가와 영구동토층의 해빙으로 북극해로 유입되는 담수량과 연안 침식의 증가가 예상되며, 이는 북극 연안 지역으로의 육상 물질 유입량과 조성에도 영향을 미칠 것으로 보임.
- 북극의 육상 영구동토층의 해빙은 금세기에 상당한 양의 탄소를 대기로 방출 하는데 기여하는 것으로 보인다. 또한 북극 동시베리아 7,000-km의 연안을 따라 분포하는 ancient Ice Complex 층 그리고 해저 영구동토층은 육상 영구동토층 이외에 다른 두 가지 주요 영구동토층 탄소를 보유하고 있다. 하지만 기후 변화에 따른 그들의 해동과 분해 취약성에 관한 연구는 아직 많이 이루어지지 않은 상황임.
- 극지역의 탄소 순환 내에서 기후 변화의 영향을 평가하기 위해서는 해양으로 유입되는 유기탄소의 기원, 조성 그리고 해양환경에서의 분해 및 퇴적 과정을 이해하는 것이 필수적이다. 따라서 육상-해양 인터페이스 공간에서의 유기물 거동 연구를 통한 자연적 배경 치와 인간 활동에 의한 영향을 파악할 수 있는 기본 자료가 필요함.
- 육상-해양 인터페이스 지역은 육지 내륙과 담수환경에서 기원한 유기탄소에 독특한 환경을 제공하는 공간이다. 담수생태계와 해양생태계가 만나는 이 지역은 많은 생화학적 변화가 일어나는 공간이기도 하다. 따라서 육상기원의 유기물 변화에 따른 유기물 기원 및 조성 변화가 연안생태계에 미치는 영향을 연구하는 것이 필요함.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 기술 수준

가. 세계적 수준

개념정립 단계	●	기업화 단계		기술 안정화 단계	
---------	---	--------	--	-----------	--

- 지구온난화로 야기되는 영구동토층 용해에 의한 육상기원 유기탄소 거동에 관한 연구가 북극해 대륙붕 지역에서 활발하게 진행되고 있음

나. 국내수준

- 북극해에서 국내 연구진에 의한 육상기원 유기탄소 추적 연구 사례 부재

2. 국내외 연구현황

가. 국내 동향

- 황해 동부 연안에서 벌크 및 유기분자생체지표 인자들을 이용해 해양 표층 퇴적물에서의 유기탄소 기원 규명 및 육상기원 유기탄소 추적 연구를 수행한 적이 있음(Yoon et al., 2017; Kim et al., 2018).
- 국내 연구진에 의한 북극해 해수 및 퇴적물 시료를 활용해 육상기원 유기탄소 거동에 관한 연구가 수행된 바 없음.

나. 국외 동향

- Ob, Yenisey, Lena, Kolmar 강들이 유입되는 Laptev Sea, Kara Sea, Barents Sea, East Siberian Sea 지역의 해수 및 퇴적물 시료를 활용해 강을 통해 북극해로 유입되는 유기탄소 거동에 관한 연구를 활발히 수행하고 있음(Vonk et al., 2012, Salvado et al., 2016, Keskitalo et al., 2017 등).
- 북극 지역의 기후변동은 영구동토층의 해빙 및 침식작용을 일으키며, 영구동토층에서 기원한 유기탄소의 북극해 내로 유입을 일으킴. 영구동토층 기원의 유기탄소 영향 파악 연구를 위해 방사성탄소동위원소비를 활용한 연구가 활발히 수행되고 있음(Mann et al., 2015, Krlsson et al. 2016, McClland et al., 2016 등).
- 영구동토층의 용해에 의한 유기탄소의 활성화 : 북극 영구 동토층은 3 개의 주요 요소로 나눌 수

있다: 육상 영구동토층 (tundra 및 taiga; ~1,000 PgC), Ice Complex 동토층 (~400 PgC), 그리고 해저 영구동토층 (~1,400 PgC). 그 동안 북극지역에서의 온실 가스 방출에 대한 연구는 주로 육상 영구 동토층에 집중되어 왔으며, 최근에 와서야 해저 영구동토층에 관한 연구도 진행되고 있음.

- 하지만 아직 북극해 해안을 따라 널리 분포하는 Ice Complex 동토층의 용해에 관한 연구는 극히 드문 상황이다. 최근 Vonk 등(2012)이 북극 동시베리아 대륙붕해역에서 수행한 연구에 의하면 Ice Complex 층으로부터 광범위하게 활성화된 탄소(57 ± 2 %)가 동시베리아 해역에서의 퇴적탄소 수지에서 해양 및 육상 토양 요소 보다 훨씬 우세함을 보임(그림 1). 그들은 또한 연간 약 44 ± 10 PgC의 old carbon이 실제적으로 Ice Complex 동토층으로 부터 유래하는 것을 밝힘. 이 연구는 또한 이 중 약 3분의 2(66 ± 16 %)가 대기 중으로 방출되고 나머지는 대륙붕 퇴적물에 보존됨을 밝힘.
- 북극 지역의 기후변동으로 인한 북극해 내에서의 탄소 순환 변동 경향 연구를 위해 캐나다 주변 해역 수층 내에서의 POC, DOC, DIC 농도 및 탄소안정동위원소비, 방사성탄소동위원소 분포 연구가 수행된 바 있음(Magen et al., 2010, Griffith et al., 2012 등).

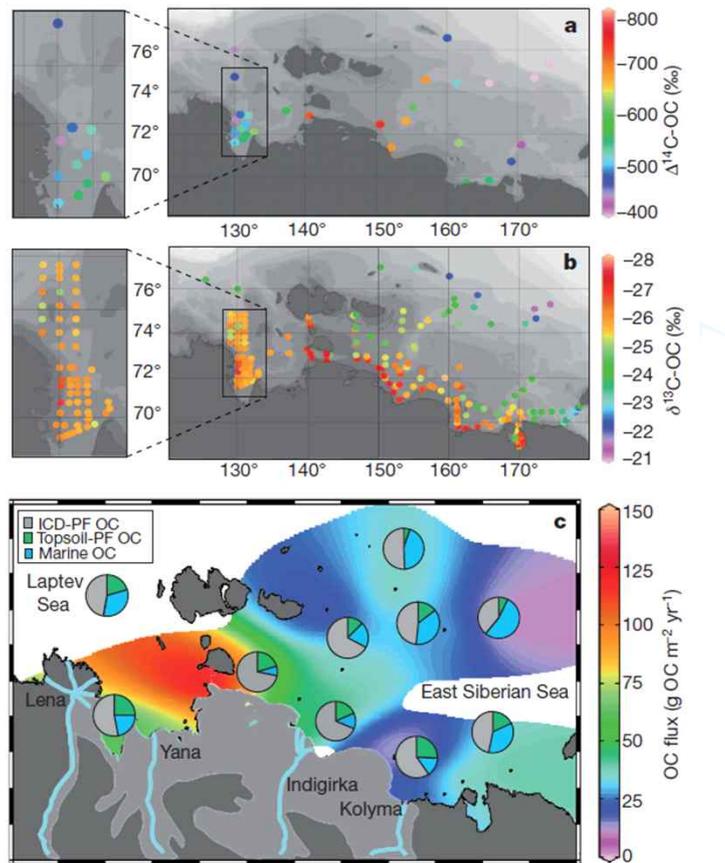


그림 1. 북극 동시베리아 대륙붕에서 얻은 결과들(Vonk et al., 2012).

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

가. 연구개발의 최종 목표

○ 버포트해 메켄지 트로프해역에서 유기탄소 기원 및 조성 파악

나. 연구수행 내용 및 결과

□ 서북극 버포트해 메켄지 트로프 해역에서의 수계 파악

○ CTD 측정

- 2017년 아라온호 북극항해 2항차(ARA08C) 동안 메켄지 트로프 해역에서 CTD로 수온 및 염분 측정(그림 2).
- 메켄지 트로프 해역에서의 수온 및 염분 분포도로 수층 상부에서 메켄지강으로 부터 유입된 담수 영향 확인: 담수영향을 받은 수층은 수온이 높고 염분이 낮음(그림 3).

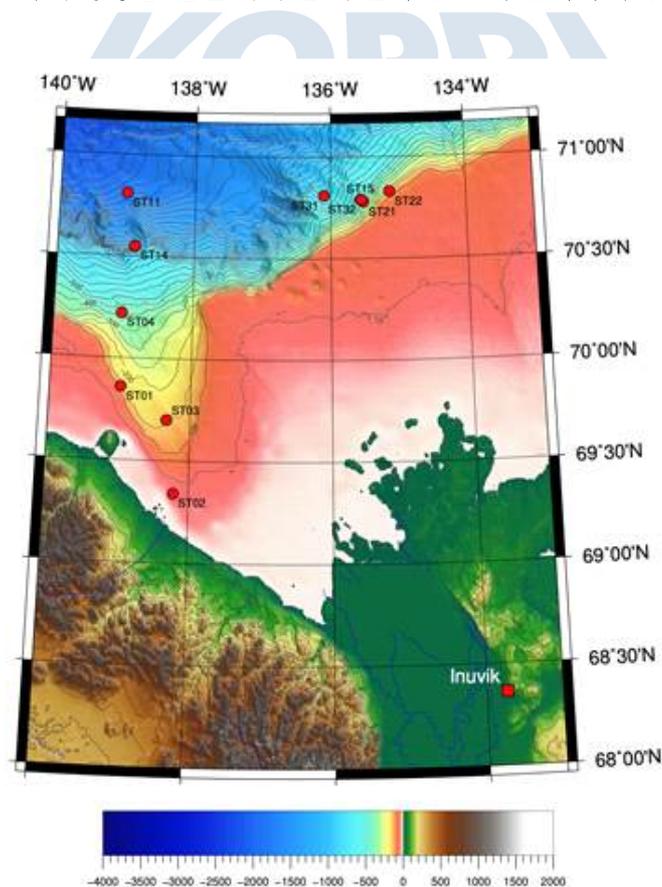


그림 2. 2017년 ARA08C 동안 획득한 CTD 정점.

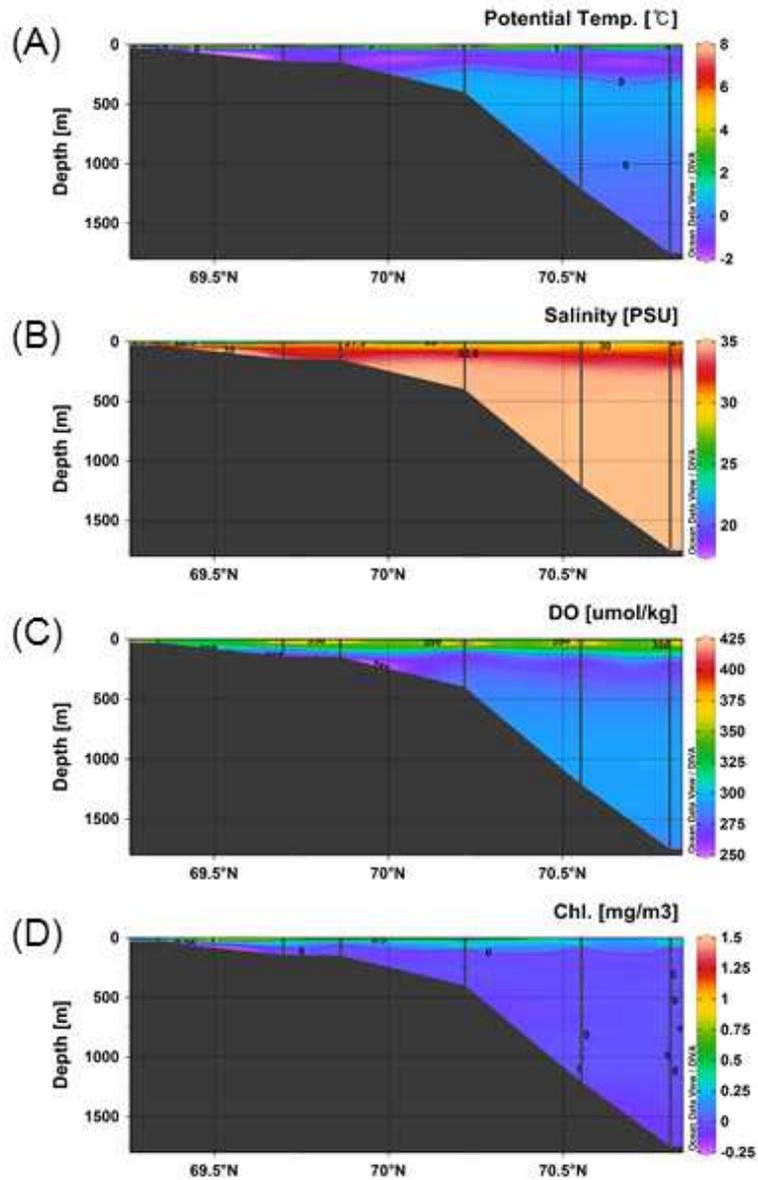


그림 3. 2017년 메켄지 트러프 해역에서의 (A) 수온, (B) 염분, (C) DO, 및 (D) chlorophyll 분포도.

□ 서북극 버포트해 메켄지 트로프 해역에서의 시료 획득

○ 해수 시료 확보

- 2017년 아라온호 북극항해 2항차 (ARA08C)동안 메켄지 트러프 지역을 중점으로 20정점에서 CTD에 부착한 로세트 샘플러를 이용해 해수 시료 획득함(그림 4).
- 획득한 해수시료 중 일부는 POC, DOC 그리고 DIC로 나누어 샘플링함.

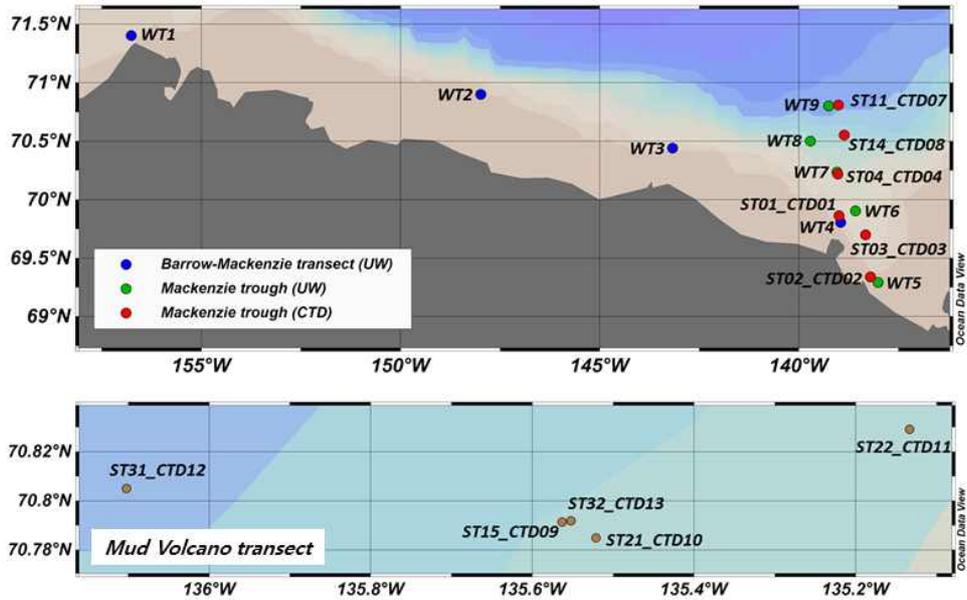


그림 4. 2017년 ARA08C 동안 획득한 해수 시료 정점.

○ 표층퇴적물 시료 확보

- 2017년 아라온호 북극항해 2항차 (ARA08C) 동안 메켄지 트러프 해역을 중심으로 3정점에서 북스코어리를 사용해 표층퇴적물 획득함(그림 5).
- 아라온호 ARA04C와 ARA05C 항차 동안 메켄지 트러프해역에서 북스코어리 및 멀티코어리로 획득한 7정점 시료 추가 확보함(그림 5).

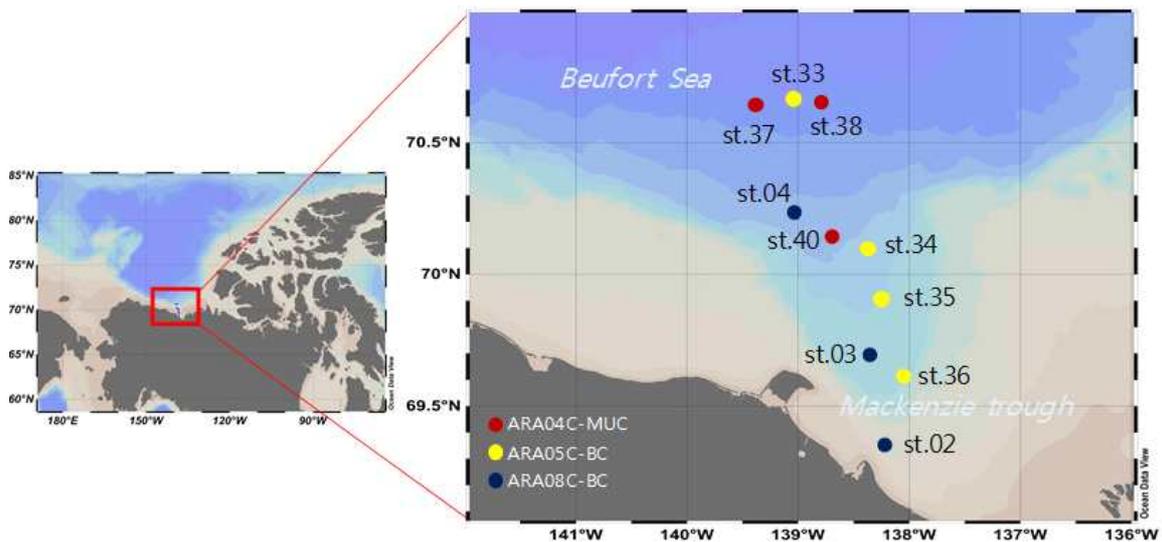


그림 5. ARA04C, ARA05C, 및 ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 표층퇴적물 시료 정점.

○ 퇴적코어 확보

- 2017년 아라온호 북극항해 2항차(ARA08C) 동안 메켄지 트러프 해역을 중심으로 3정점에서 북스코어를 사용해 퇴적코어 획득함(그림 6).
- 아라온호 ARA04C 항차 동안 메켄지 트러프 해역에서 물티코어를 사용해 획득한 2정점 퇴적코어 추가 확보함(그림 6).

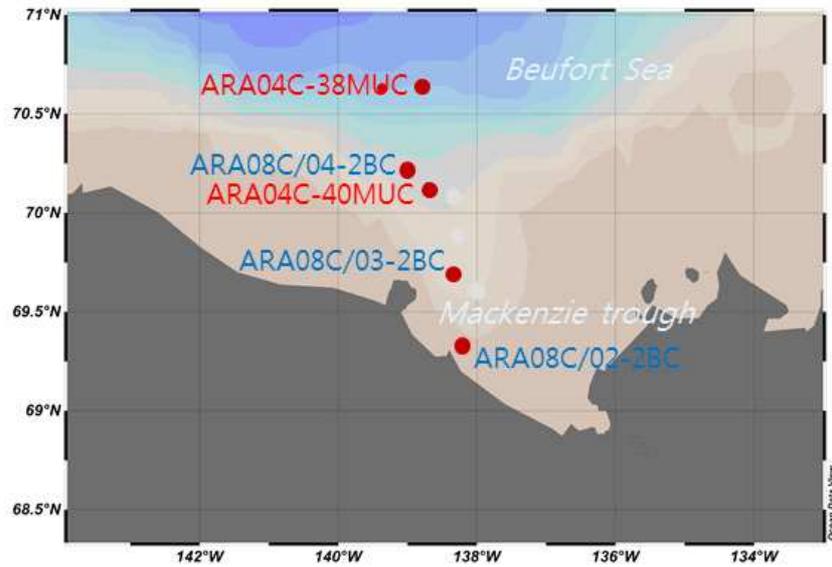


그림 6. ARA04C 및 ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 퇴적코어 정점.

□ 해수 및 퇴적물 시료 분석

○ 해수 시료 분석

- ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 해수에서 $\delta^{18}\text{O}$ 와 δD 분석 실시함(그림 7).

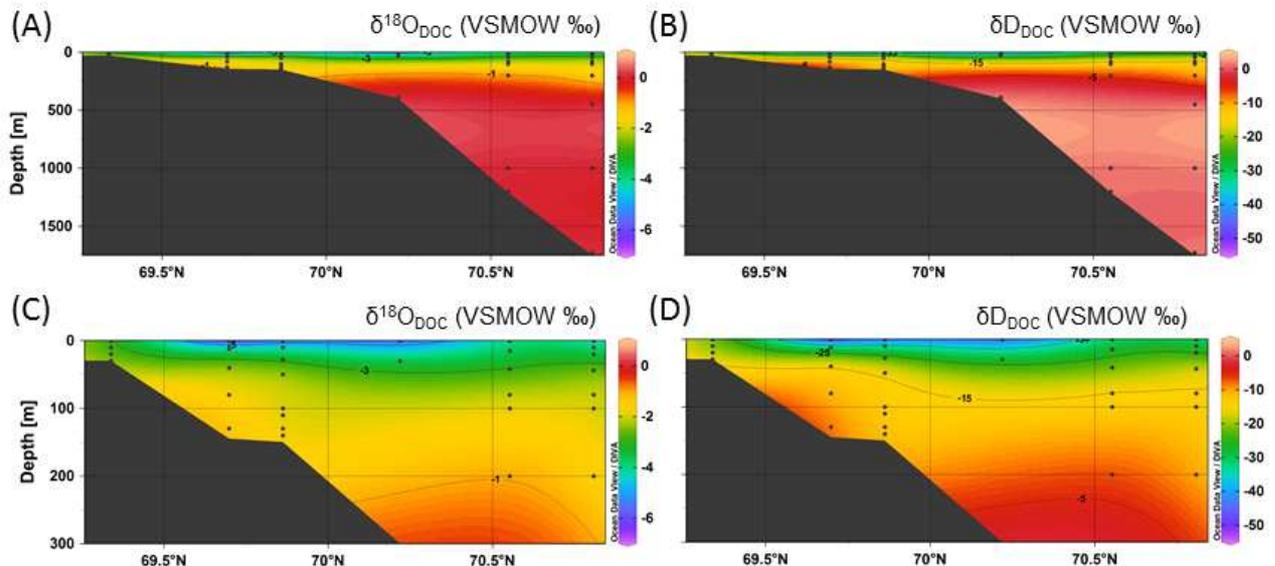


그림 7. ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 해수의 $\delta^{18}\text{O}$ 와 δD 분포도.

- ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 해수시료의 CDOM 분석 실시함(그림 8).
- 메켄지 트러프 해역 수층 시료 내에서의 SUVA₂₅₄ 및 S₂₇₅₋₂₉₅ 분포 파악(그림 8).

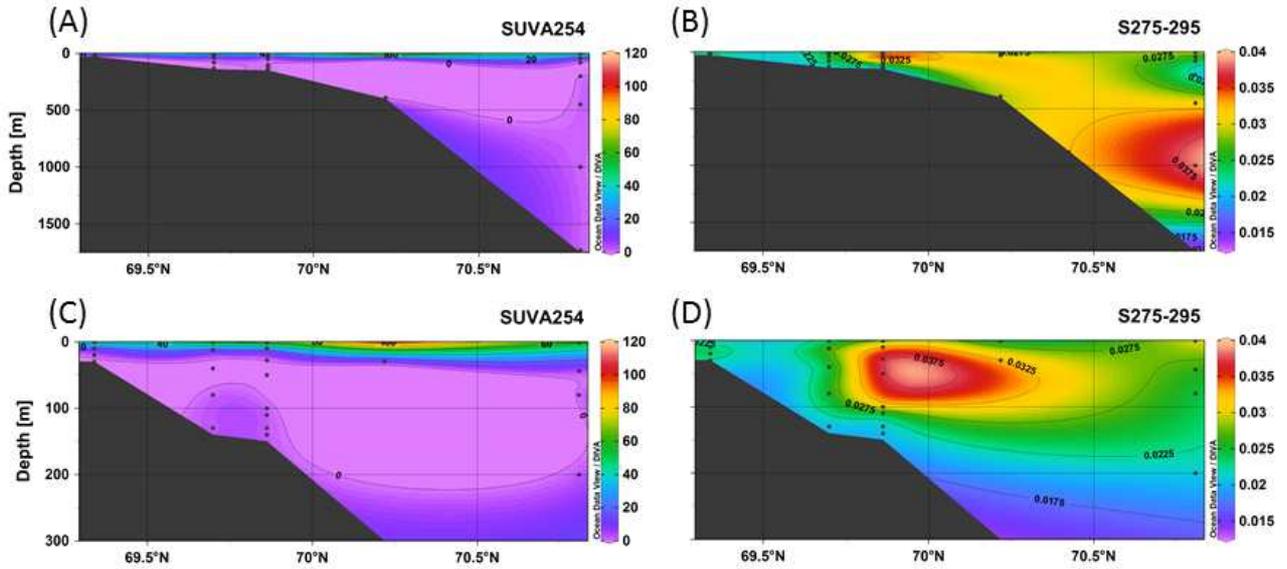


그림 8. ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 해수의 CDOM 분석 결과.

- ARA08C 동안 메켄지 트러프해역에서 획득한 해수시료의 FDOM 분석 실시함 (그림 9).

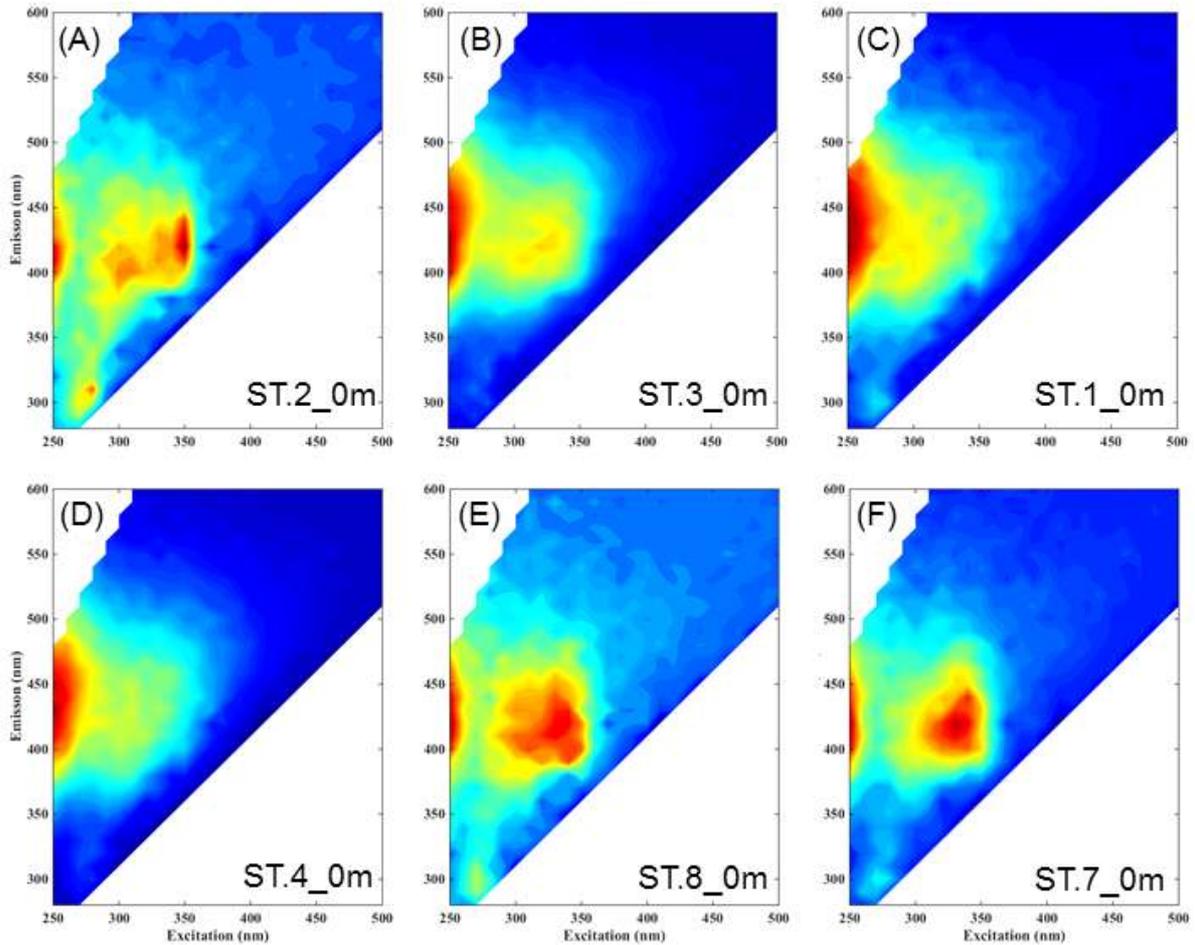


그림 9. ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 해수의 FDOM 분석 결과.

- ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 SPM, POC, DOC, DIC 시료를 선택적으로 분석 실시함(그림10).

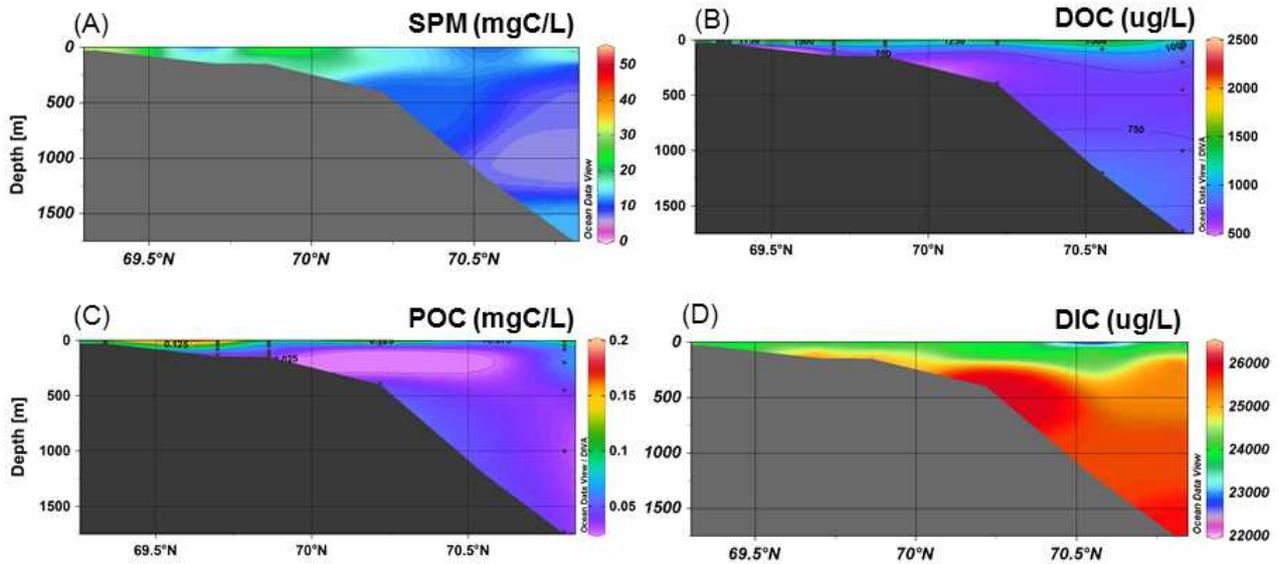


그림 10. ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 해수의 SPM, POC, DOC, DIC 농도 분석 결과.

- ARA08C 동안 메켄지 트러프해역에서 획득한 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$ 시료 선택적으로 분석 실시함 (그림 11).

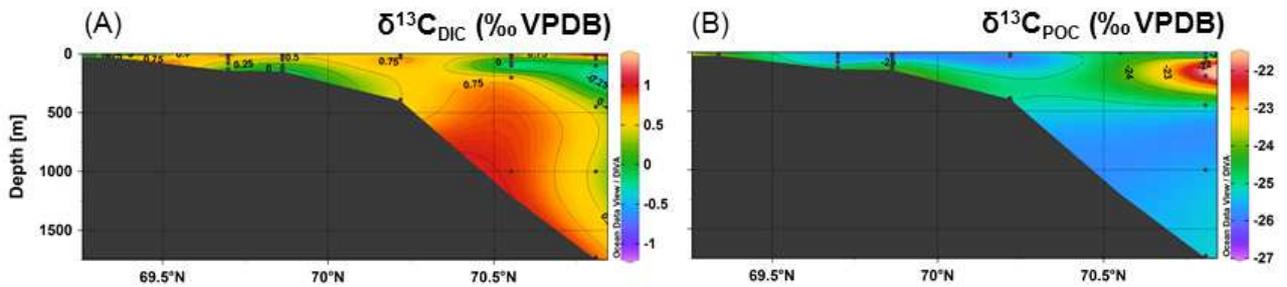


그림 11. ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 해수의 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 및 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$ 분석 결과.

- ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DOC}}$, $\Delta^{14}\text{C}_{\text{POC}}$, $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ 시료 중 선택적으로 분석 실시함(표 1, 2, 3)
- 메켄지 트러프 해역으로 유입되는 유기탄소 중 영구동토층 내 오래된 유기탄소의 영향을 파악하기 위해 메켄지 트러프 해수시료의 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DOC}}$, $\Delta^{14}\text{C}_{\text{POC}}$ 추가 분석 진행 중(독일 AWI).

표 1. ARA08C 동안 메켄지 트로프 해역에서 획득한 DOC 시료의 방사성 동위원소분석 결과.

	$\Delta^{14}\text{C}_{\text{DOC}}$ (‰)	F_{modern}	Age
ARA08C_ST2_CTD_0m	-56.86	0.9508	405
ARA08C_ST7_CTD_0m	-199.99	0.8065	1,730
ARA08C_ST7_CTD_1730m	-420.58	0.5841	4,320

표 2. ARA08C 동안 메켄지 트로프 해역에서 획득한 POC 시료의 방사성 동위원소분석 결과.

	$\Delta^{14}\text{C}_{\text{POC}}$ (‰)	F_{modern}	Age
ARA08C_ST2_CTD_0m	-304.94	0.7007	2,860
ARA08C_ST7_CTD_0m	-765.67	0.2362	11,600
ARA08C_ST7_CTD_1730m	-472.06	0.5322	5,070

표 3. ARA08C 동안 메켄지 트로프 해역에서 획득한 DIC 시료의 방사성 동위원소분석 결과.

	$\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ (‰)	F_{modern}	Age
ARA08C_ST2_CTD_0m	-42.36	0.9654	285
ARA08C_ST7_CTD_0m	4.26	1.0124	>Modern
ARA08C_ST7_CTD_1730m	-58.18	0.9495	415

○ 표층퇴적물 시료 분석

- 10 정점에서 획득한 표층퇴적물의 탄소와 질소 함량 및 동위원소 분석 수행함(그림 12).
- 10 정점에서 획득한 표층퇴적물의 $\Delta^{14}\text{C}$ 분석 의뢰 완료함(독일 AWI).

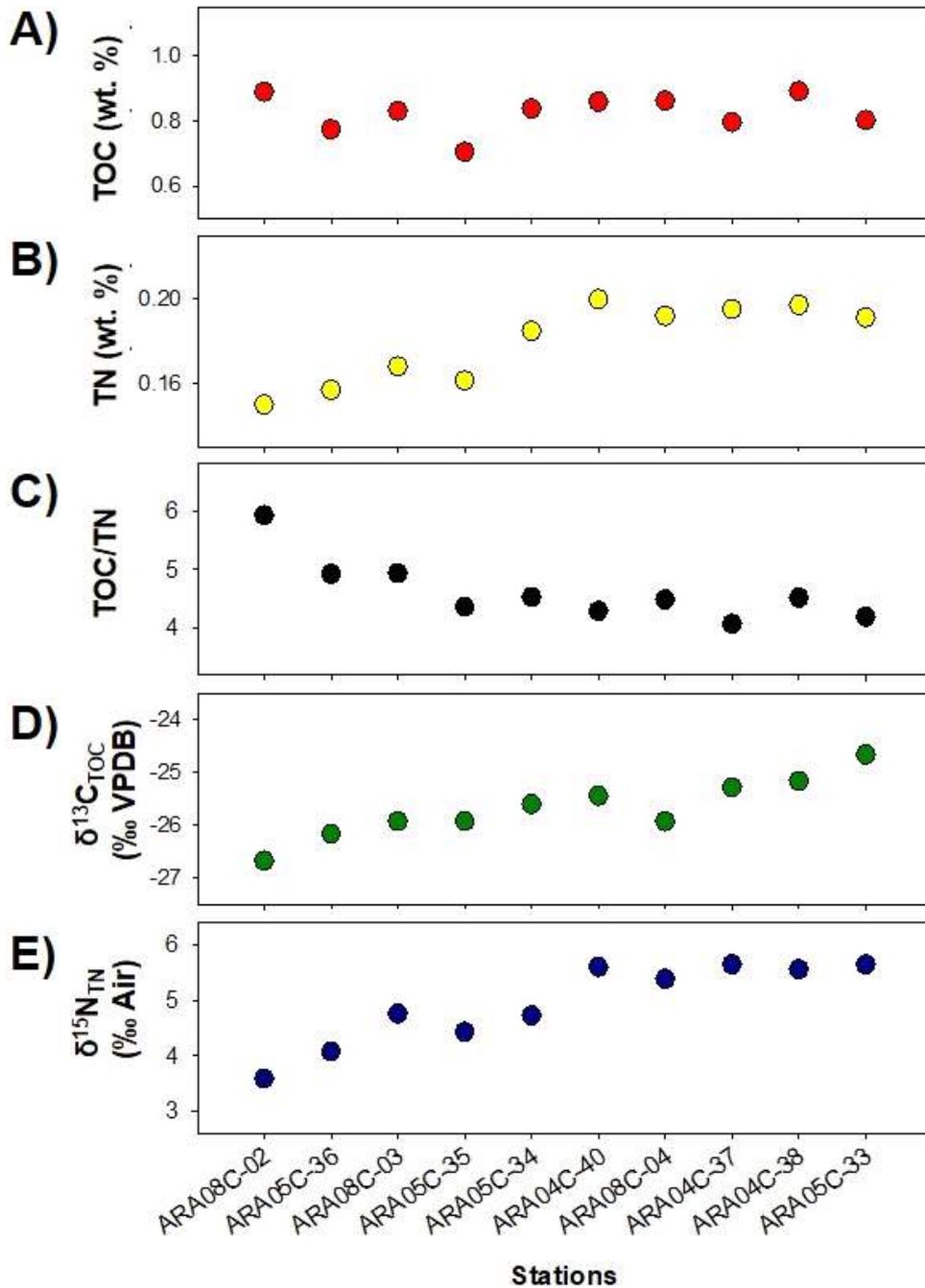


그림 12. ARA04C, ARA05C, ARA08C 동안 메켄지 트러프 해역에서 획득한 표층 퇴적물의 유기물 분석 결과: A) 총유기탄소 함량, B) 총질소 함량, C) 총유기탄소/총질소 비, D) 탄소 안정동위원소, E) 질소안정동위원소비.

○ 퇴적코어 분석

- 5 정점에서 획득한 복스코어와 물티코어 절개 및 기초 분석(ITRAX 및 X-ray 이미지, 자화율 (MS분석) 측정, ITRAX를 이용한 XRF 분석) 완료함(그림 13-17).
- 5 정점에서 획득한 퇴적코어의 연대 측정을 위해 Po 분석 의뢰 완료함(한국기초과학지원연구원).

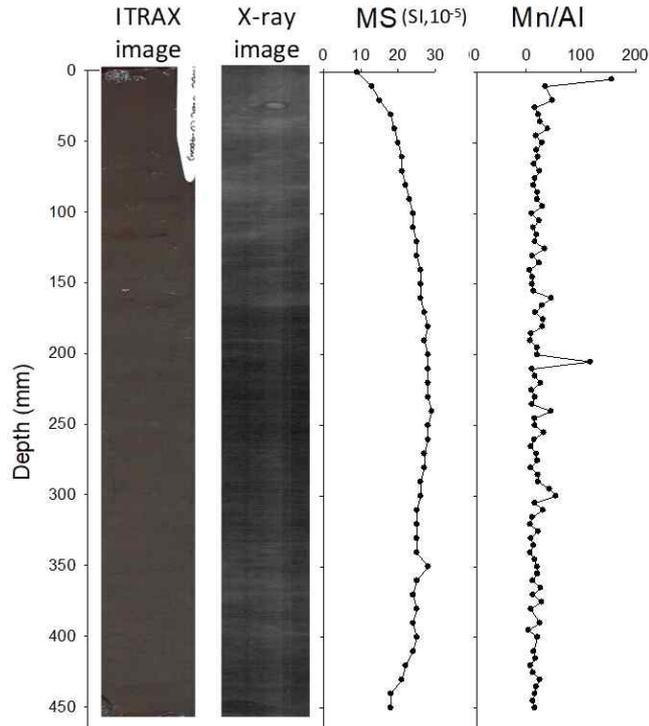


그림 13. ARA08C-02BC 퇴적코어 분석 결과.

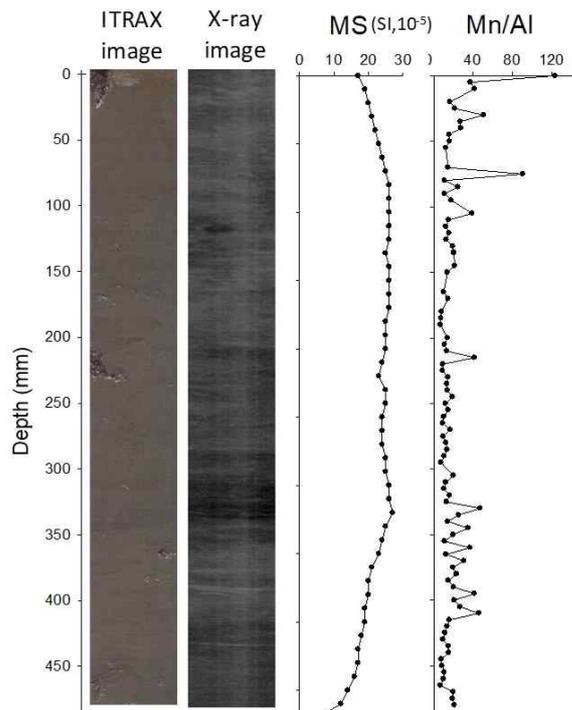


그림 14. ARA08C-03BC 퇴적코어 분석 결과.

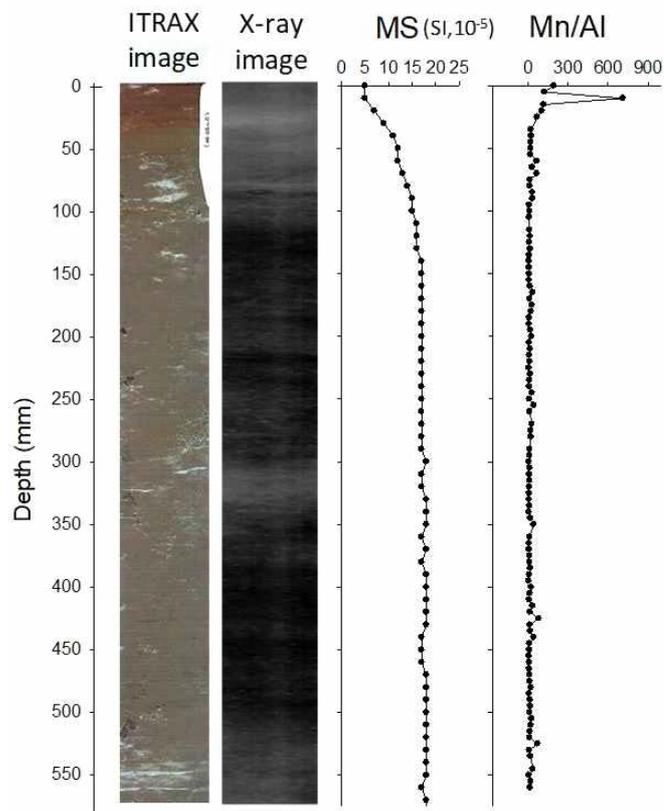


그림 15. ARA04C-40MUC 퇴적코어 분석 결과.

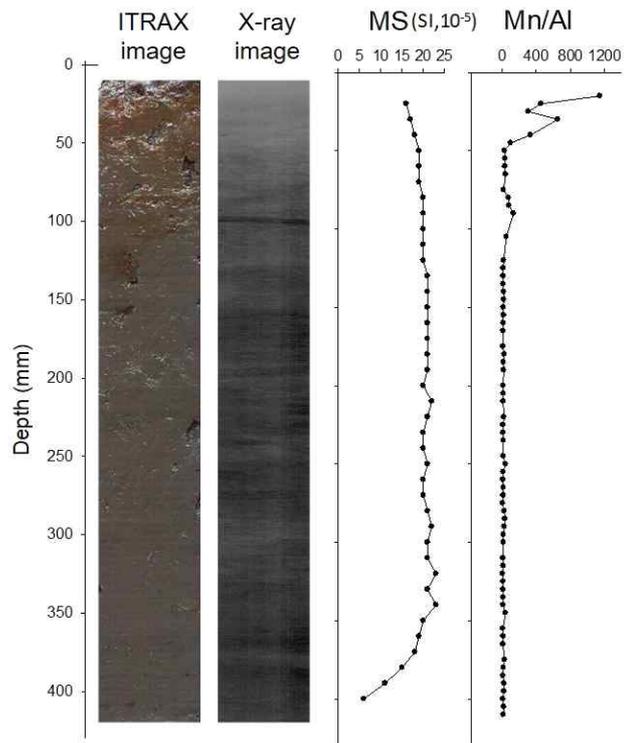


그림 16. ARA08C-04BC 퇴적코어 분석 결과.

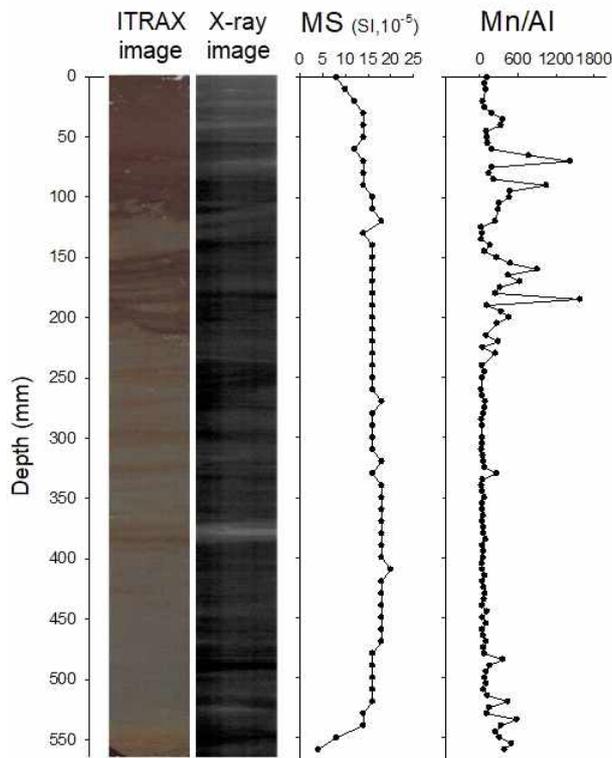


그림 17. ARA04C-38MUC 퇴적코어 분석 결과.

- ARA04C-38MUC core description 결과:
 - ✓ 코어 표층에서 7cm 부근까지는 어두운 갈색 계열의 색을 보였으며 (10YR 3/4) fine-grained 한 mud의 질감을 나타냄.
 - ✓ 전반적으로 균질한 경향을 보였으나 곳곳에 bioturbation의 흔적을 나타냈으며 상대적으로 경계가 불분명한 특징을 보임.
 - ✓ 이후 7-22cm 에서는 매우 진한 갈색(10YR 2/2)와 회색(10YR 5/1)을 나타냈고 전체적으로 부드러운 질감과 fine-grained mud에서 하부로 갈수록 sandy mud 로 변하는 양상을 보임.
 - ✓ 22-44cm 퇴적 코어 구간에서는 노랑 계열의 갈색(10YR 5/6) 과 회색(10YR 5/1) 이 혼합되어있는 색을 확인할 수 있었으며 각각 sandy mud 와 fine-grained mud 의 특징을 나타냈다. 44-54cm 에서도 마찬가지로 회색(10YR 5/1)을 나타냈으며 균질한 분포를 보임.
 - ✓ 다른 코어의 경우, 한국기초과학지원연구원에 분석 의뢰한 Po 결과를 바탕으로 추후 추가 분석 시 description을 계속 진행할 예정이다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

가. 연구기간 : 총 1년 (2017.11.01. - 2018.10.31.)

나. 목표 달성도

총연구기간내 연차별 목표 대비 달성율(%)					
구분	연차별 달성내용				연차별 계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
	세부연구목표	연구내용	가중치 (A)	달성실적	
1년차 (2017/ 2018)	물리/화학 데이터 확보 및 시료 확보	- CTD를 활용한 데이터 획득 - 로세트 샘플러를 이용해 해수시료 획득 - 복스코어러 및 멀티코어러를 이용해 퇴적물 시료 획득	0.3	- ARA08C 동안 메켄지 트리프해역에서 수온, 염분, DO 및 chlorophyll 데이터 확보 - ARA04C, ARA05C, 및 ARA08C 동안 메켄지 트리프해역에서 획득한 해수 및 퇴적물 시료 확보	100
	해수 및 퇴적물 시료 분석	- 해수 시료 분석 - 표층퇴적물 분석 - 퇴적코어 분석	0.7	- 해수시료의 $\delta^{18}\text{O}$ 및 δD 분석 완 료 - 해수시료의 CDOM 및 FDOM 분석 완료 - POC, DOC, DIC 기초 분석 완 료 - 표층퇴적물 내 탄소와 질소의 함량 및 동위원소 분석 완료 - 퇴적코어 절개 및 기초 분석 완 료	100
	계		1.0		100

다. 대외기여도

(1) 과학 분야

- 서북극해 해역에서 육상기원 유기탄소 거동 연구를 위한 유기물질 분석 추진 체계 확립.
- 버포트해 메켄지 트로프 해역에서 육상기원 유기탄소 거동 연구를 위한 기본 자료 확보.

(2) 사회/경제적 분야

- 지구온난화로 인해 용해가 가속화되고 있는 영구동토층 변화에 따른 육상 유기물 기원 및 조성 변화가 연안 생태계에 미치는 영향을 연구하는 데 필요한 기본 자료 제공.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

가. 연구개발결과의 국제 사회 활용 방안

- 본 연구에서 도출된 연구결과의 국내외 학회 발표 및 SCI(E) 저널에 투고

나. 연구개발결과의 추후 연구 활용 방안

- 본 선행연구 결과를 토대로 버포트 해역에서의 육상기원 유기탄소 거동에 관한 새로운 연구과제 도출

제 6 장. 참고문헌

- Alling, V., Porcelli, D., Morth, C.-M., Anderson, L.G., Sanchez-Garcia, L., Gustafsoon, O., Andersson, P.S., Humbor, C., 2012. Degradation of terrestrial organic carbon, primary production and out-gassing of CO₂ in the Laptev and East Siberian Seas as inferred from ¹³C values of DIC. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 95, 143-159.
- Bell, L.E., Bluhm, B.A., Iken, K., 2016. Influence of terrestrial organic matter in marine food webs of the Beaufort Sea shelf and slope. *Marine Ecology Progress Series* 550, 1-24.
- Broder, L., Tesi, T., Andersson, A., Semiletov, Igor., Gustafsson, O., 2018. Bounding cross-shelf transport time and degradation in Siberian-Arctic land-ocean carbon transfer. *Nature communication* 9, 806.
- Catalog, C., Rabouille, C., Tisnerat-Laborde, L., Toussaint, F., Kerherve, P., Buscaïl, R., Loftis, K., Sun, M.-Y., Tronczynski, J., Azoury, S., Lansard, B., Treignier, C., Pastor, L., Tesi, T., 2013. The fate of river organic carbon in coastal areas: A study in the Rhone River delta using multiple isotopic ($\delta^{13}\text{C}$, $\Delta^{14}\text{C}$) and organic tracers. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 118, 33-55.
- Couture, N.J., Irrgang, A., Pollard, W., Lantuit, H., Fritz, M., 2018. Coastal erosion of permafrost soils along the Yukon coastal plain and fluxes of organic carbon to the Canadian Beaufort Sea. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 123, 406-422.
- Dittmar, T., Kattner, G., 2003. The biogeochemistry of the river and shelf ecosystem of the Arctic Ocean: a review. *Marine Chemistry* 83, 103-120.
- Goni, M.A., Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Eglinton, T.I., 2000. Distribution and sources of organic biomarkers in arctic sediments from the Mackenzie River and Beaufort Shelf. *Marine Chemistry* 71, 23-51.
- Griffith, D. R., A. P. McNichol, L. Xu, F. A. McLaughlin, R. W. Macdonald, K. A. Brown, and T. I. Eglinton, 2012, Carbon dynamics in the western Arctic Ocean: insights from full-depth carbon

- isotope profiles of DIC, DOC, and POC, *Biogeosciences*, 9, 1217 - 1224.
- Kaiser, K., Canedo-Oropeza, M., McMahon, R., M.W. Amon, Rainer., 2017. Origins and transformations of dissolved organic matter in large Arctic rivers. *Scientific Reports* 7, 13064.
- Karlsson, Emma, Johan Gelting, Tommaso Tesi, Bart van Dongen, August Andersson, Igor Semiletov, Alexander Charkin, Oleg Dudarev, and Örjan Gustafsson, 2016, Different sources and degradation state of dissolved, particulate, and sedimentary organic matter along the Eurasian Arctic coastal margin, *Global Biogeochemical Cycles*, 30, 898 - 919.
- Keskitalo, K., Tesi, T., Broder, L., Andersson, A., Pearce, C., Skold, M., Semiletov, I.P., Dudarev, O.V., Gustafsson O., 2017. Sources and characteristics of terrestrial carbon in Holocene-scale sediments of the East Siberian Sea. *Climate of the Past* 13, 1213-1226.
- Kim, J.-H., Lee, D.-H., Yoon, S.-H., Jeong, K.-S., Choi, B., Shin, K.-H., 2017. Contribution of petroleum-derived organic carbon to sedimentary organic carbon pool in the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific). *Chemosphere* 168, 1389-1399.
- Matsuoka, A., Bricaud, A., Benner, R., Para, J., Sempere, R., Prieur, L., Belanger, S., Babin, M., 2012. Tracing the transport of colored dissolved organic matter in water masses of the Southern Beaufort Sea: relationship with hydrographic characteristics. *Biogeoscience* 9, 925-940.
- Magen, Ce'dric, Gwenaelle Chaillou, Sean A. Crowe, Alfonso Mucci, Bjørn Sundby, Aiguo Gao, Ryosuke Makabe, Hiroshi Sasaki, 2010, Origin and fate of particulate organic matter in the southern Beaufort Sea - Amundsen Gulf region, Canadian Arctic, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86, 31 - 41.
- Mann, Paul J., Timothy I. Eglinton, Cameron P. McIntyre, Nikita Zimov, Anna Davydova, Jorien E. Vonk, Robert M. Holmes, Robert G.M. Spencer, 2015, Utilization of ancient permafrost carbon in headwaters of Arctic fluvial networks, *Nature Communications*, 6:7856.
- McClelland, J.W., Holmes, R.M., Peterson, B.J., Raymond, P.A., Striegl, R.G., Zhulidov, A.V., Zimov, S.A., Zimov, N., Tank, S.E., Spencer, R.G.M., Staples, R., Gurtovaya, T.Y., Griffin, C.G., 2016. Particulate organic carbon and nitrogen export from major Arctic rivers. *Global Biogeochemical Cycles* 30, 629-643.
- Salvado, J.A., Tesi, T., Sundbom, M., Karlsson, E., Krusa M., Semiletov, I.P., Panova, E., Gustafsson, O., 2016. Contrasting composition of terrigenous organic matter in the dissolved, particulate and sedimentary organic carbon pools on the outer East Siberian Arctic Shelf. *Biogeosciences* 13, 6121-6138.
- Tesi, T., Semiletov, I., Dudarev, O., Andersson, A., Gustafsson, O., 2016. Matrix association effects on hydrodynamic sorting and degradation of terrestrial organic matter during cross-shelf transport in the Laptev and East Siberian Shelf seas. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 121, 731-752.
- Tesi, T., Semiletov, I., Hugelius, G., Dudarev, O., Kuhry, P., Gustafsson, O., 2014. Composition and fate of terrigenous organic matter along the Arctic land-ocean continuum in East Siberia: Insights from biomarkers and carbon isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 133, 235-256.
- Vonk, J.E., Sanchez-Garcia, L., Van Dongen, B.E., Alling, V., Kosmach, D., Charkin, A., Semiletov, I.P., Dudarev, O.V., Shakhova, N., Roos, P., Eglinton, T.I., Andersson, A., Gustafsson, O., 2012. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia. *Nature* 489, 137-140
- Vonk, J.E., Tesi, T., Broder, L., Holmstrand, H., Hugelius, G., Andersson, A., Dudarev, O.,

Semiletov, I., Gustafsson, O., 2017. Distinguishing between old and modern permafrost sources in the northeast Siberian land-shelf system with compound-specific $\delta^2\text{H}$ analysis. *The Cryosphere* 11, 1879-1895.

Yoon, S.-H., Kim, J.-H., Yi, H.-I., Yamamoto, M., Gal, J.-K., Kang, S., Shin, K.-H., 2016. Source, composition and reactivity of sedimentary organic carbon in the river-dominated marginal seas: A study of the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific). *Continental Shelf Research* 125, 114-126.



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.

극지연구소