TSPM14040-096-6

북극해 용존 유기물 농도 분포 및 형광특성 조사 연구

Investigation of fluorescence characteristics and concentration distribution of dissolved organic matter in the Arctic Ocean

KOPRI
극지연구소

한양대학교

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “양극해 환경변화 이해 및 활용연구” 과제의 위탁연구 “북극해 용존 유기물 농도 분포 및 형광특성 조사 연구” 과제의 최종보고서(보고서 제목: “북극해 용존 유기물 농도 분포 및 형광특성 조사 연구”)로 제출합니다.

2015 . 08 . 07

총괄연구책임자 : 강 성 호

위탁연구기관명 : 한양대학교

위탁연구책임자 : 신 경 훈

위탁참여연구원 : 이 연 정

요 약 문

Ⅰ. 제 목

북극해 용존 유기물 농도 분포 및 형광특성 조사 연구

Ⅱ. 연구 목표

- 북극해 용존 유기물 농도 분석 및 공간적 분포 이해
- 북극해 용존 유기물의 형광특성 이해

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

- 북극해 수층 용존 유기물 농도 분석(척치해 및 베링 해협 22개 정점)
- 북극해 수층 용존 유기물 형광특성 분석(척치해 및 베링 해협 22개 정점)

Ⅳ. 연구개발결과

- 척치해와 베링 해협의 용존 유기탄소 농도는 비교적 유사하게 나타남
- 베링 해협을 통해 척치해로 유입되는 수괴는 수온이 높고 염분이 낮으며, 쉽게 분해되는 용존 유기물의 비율이 낮게 나타남

Ⅴ. 연구개발결과의 활용

- 북극해 용존 유기물의 기원 및 거동과 관련된 유용한 정보 제공
- 북극해 변화를 이해하기 위한 환경 모니터링 데이터베이스 구축

KOPRI 극지연구소

Summary

Ⅰ. Title

Investigation of fluorescence characteristics and concentration distribution of dissolved organic matter in the Arctic Ocean

Ⅱ. Project objectives

- To determine the concentration and spatial distribution of dissolved organic matter (DOM) in the Artic Ocean
- To understand the fluorescence characteristics of dissolved organic matter in the Arctic Ocean

Ⅲ. Project scope and contents

- To determine the concentration of dissolved organic carbon (Chukchi Sea and Bering Strait, 22 stations)
- To determine the fluorescence characteristic of dissolved organic matter (Chukchi Sea and Bering Strait, 22 stations)

Ⅳ. Results

- The concentrations of dissolved organic carbon were similar between the Chukchi Sea and Bering Strait
- The high temperature, low salinity, and low proportion of protein-like fluorescence are shown in the water mass which passes through the Bering Strait into the Chukchi Sea

Ⅴ. Utilization of project results

- To provide the valuable information related to the dynamics and origin of dissolved organic matter in the Arctic Ocean
- To establish the environmental monitoring database in order to understand the change of Arctic Ocean

KOPRI 극지연구소

Contents

SUMMARY (Korean) ····· 2
SUMMARY (English) ····· 3
CONTENTS (English) ····· 4
CONTENTS (Korean) ····· 5
List of Figures ····· 6

Chapter 1. Introduction ····· 8

Chapter 2. Domestic and international research ····· 9
Section 1. International research trend ····· 9
Section 2. Domestic research trend ····· 10

Chapter 3. Results of the Study ····· 11
Section 1. Study area ····· 11
Section 2. Materials and Methods ····· 13
1. Analysis of dissolved organic carbon ····· 13
2. Analysis of fluorescence properties of dissolved organic matter ····· 13
Section 3. Results and discussion ····· 15
1. Concentration distribution of dissolved organic matter in the Chukchi Sea and Bering Strait ····· 15
2. Fluorescence characteristics of dissolved organic matter in the Chukchi Sea and Bering Strait ····· 21
Section 4. Conclusion ····· 25

Chapter 4. Evaluation and contribution ····· 26

Chapter 5. Utilization of project results ····· 27

Chapter 6. References ····· 28

KOPRI 극지연구소

목 차

요약문 ····· 2
영문요약서 (Summary) ····· 3
영문목차 (Contents) ····· 4
목차 ····· 5
List of Figures ····· 6

제 1 장 서론 ····· 8

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 9
제 1 절 국외 기술 동향 ····· 9
제 2 절 국내 기술 동향 ····· 10

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 11
제 1 절 연구지역 ····· 11
제 2 절 재료 및 방법 ····· 13
1. 용존 유기탄소 농도 측정 ····· 13
2. 용존 유기물의 형광특성 분석 ····· 13
제 3 절 결과 및 토의 ····· 15
1. 척치해 및 베링 해협 용존 유기탄소의 농도 분포 ····· 15
2. 척치해 및 베링 해협 용존 유기물 형광특성 ····· 21
제 4 절 결론 ····· 25

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도 ····· 26

제 5 장 연구개발결과의 활용 ····· 27

제 6 장 참고문헌 ····· 28

KOPRI 극지연구소

List of Figures

Figure 1. Plot of DOC versus salinity and temperature (a) from all data including Bering Sea and Arctic Ocean, (b) only Bering Sea and (c) a magnified plot to identify water masses (Shin and Tanaka, 2004) ····· 9

Figure 2. Figure 2. Sampling stations in the Chukchi and Bering Seas ····· 11

Figure 3. Schematic circulation map of the Bering-Chukchi-Beaufort seas ecosystem (source: Hopcroft et al., 2008). ····· 12

Figure 4. TOC analyzer (TOC-V_{CPH}) in Hanyang University ····· 13

Figure 5. Luminescence spectrometer (Fluorolog FL3-11) system in Hanyang University · 14

Figure 6. Spatial distribution of temperature, salinity, and dissolved organic carbon concentration in surface water of the Chukchi Sea ····· 15

Figure 7. Depth profiles of temperature, salinity, and DOC concentration for each station ····· 16

Figure 8. Plot of (a) salinity versus temperature, (b) DOC versus temperature, and (c) DOC versus salinity from all stations in the upper 200m of the Chukchi Sea and Bering Strait ····· 19

Figure 9. Plot of (a) salinity versus temperature, (b) DOC versus temperature, and (c) DOC versus salinity in the upper 200m of the 6 stations near the Bering Strait (station 1 ~ 9) ····· 20

Figure 10. Spatial distribution of fluorescence index (FI), freshness index (BIX), and humification index (HIX_{EM}) in surface water of the Chukchi Sea and Bering Strait ····· 21

KOPRI 극지연구소

Figure 11. Relative contribution profiles of the four synchronous fluorescence spectra (i.e. THLF, HLF, FLF, and PLF) recorded for the surface water of the Chukchi Sea and Bering Strait ····· 22

Figure 12. Depth profiles of FI in the Chukchi Sea and Bering Strait ····· 23

Figure 13. Depth profiles of BIX, HIX_{EM}, and %PLF in the Chukchi Sea and Bering Strait ····· 24

KOPRI
극지연구소

제 1 장 서론

기후 변화에 따른 다양한 북극해 환경 변화가 관찰되고 있다. 그 예로 지구 온난화에 따른 ice volume의 감소 및 river discharge의 증가, 영구 동토층 해빙, 해수면의 증가 등이 있다(Walsh 2008). 북극해는 전체 해양 부피의 약 1%를 차지하고 있지만, 전 세계 river discharge의 약 10%가 북극해로 흘러들어가기 때문에(Shiklomanov, 1998), 육상기원 유기물의 영향을 크게 받는 지역이라 할 수 있다. 지구 온난화에 따라 수반되는 환경변화는 북극해에 유입되는 육상기원 유기물의 양을 증가시킬 수 있으며, 실제 Peterson et al (2014)은 6개의 거대 Eurasian rivers (Yenisey 및 Lena, Ob, Pechora, Kolyma, Severnaya Dvina)를 통해 북극해로 유입되는 river discharge가 점차 증가하고 있음을 보고한 바 있다. 뿐만 아니라, 동토층은 전 세계 육상기원 유기탄소의 약 50%를 보존하고 있기 때문에(Tarnocai et al., 2009), 지구 온난화 및 river discharge의 증가는 이들의 플러스에 영향을 줄 것이라 예측되고 있다(Lawrence and Slater, 2005). 이러한 환경변화는 북극해로 전달되는 유기물의 양을 증가시킬 수 있을 뿐 아니라, 질적 조성 변화를 야기할 수 있기 때문에 다양한 접근 방법을 통한 이들의 특성 파악이 필요하다.

용존 유기물은 해양에서 미생물의 중요한 에너지원인 동시에 거대한 탄소 저장고로써 중요한 역할을 하고 있다. 유기물을 조성하고 있는 주요 원소는 탄소이기 때문에, 유기탄소의 농도는 전체 유기물 pool을 대변하는 지표라 할 수 있다(Libes, 2009). 북극해에서 수행된 이전 연구에서 용존 유기탄소의 농도가 water mass를 구분하는 지표로 활용될 수 있음이 보고된 바 있다(Dittmar and Kattner, 2003; Shin and Tanaka, 2004). 용존 유기물의 질적 조성을 파악하기 위한 다양한 방법이 존재하지만, 특히 형광분석은 전처리 과정이 간편하고 측정시간이 짧은 장점 때문에 다양한 연구에서 활발하게 사용되고 있다(Hudson et al., 2007). 용존 유기물의 형광특성 변화는 물리적, 화학적 프로세스의 변화를 반영할 뿐만 아니라, 소스 유입에 대한 정보를 제공한다(Coble et al., 1996). 따라서 본 연구에서는 북극 척치해 및 베링 해협 22개 정점의 용존 유기탄소 농도 및 형광특성 분석을 통해 두 해역의 용존 유기물 농도 분포 및 질적 조성을 이해하고자 한다.

KOPRI 극지연구소

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국외 기술 동향

○ Dittmar and Kattner (2003)은 eastern Arctic Ocean의 용존 유기물 농도가 염분과 높은 음의 상관관계를 보임을 제시한 바 있으며, 이는 강을 통한 담수의 유입이 북극해 용존 유기물의 주요한 소스로 작용하고 있음을 의미함

○ Shin and Tanaka (2004) 역시 eastern Bering Sea 및 Chukchi Sea, Beaufort Sea에서 유사한 경향을 보고한 바 있으며, 용존 유기물 농도가 ice-melt water와 riverine water를 구분하는 지표로 활용될 수 있음을 제시한 바 있음 (Figure 1)

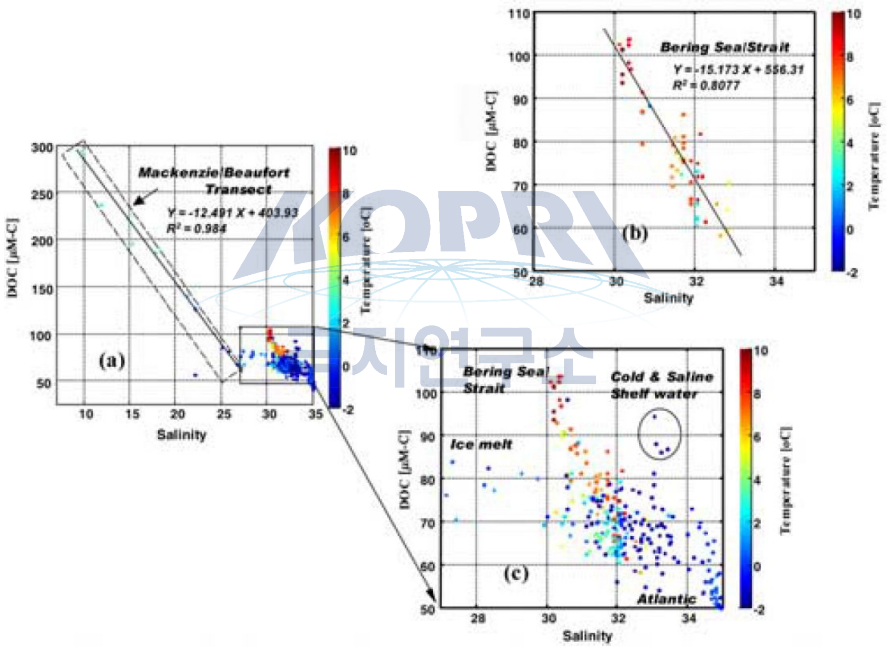

Figure 1. Plot of DOC versus salinity and temperature (a) from all data including Bering Sea and Arctic Ocean, (b) only Bering Sea and (c) a magnified plot to identify water masses (Shin and Tanaka, 2004)

○ Peterson et al (2002)은 6개의 거대 Eurasian rivers (Yenisey 및 Lena, Ob, Pechora, Kolyma, Severnaya Dvina)를 통해 북극해로 유입되는 river discharge가 점차 증가하고 있음을 보고한 바 있으며, 이러한 변화는 북극해 용존 유기물의 기원 및 질적 조성 변화를 야기할 것으로 사료됨.

○ 북극 및 아북극 지역은 전 세계 육상기원 유기탄소의 약 50%를 frozen soil내에 보존하고 있는데(Tarnocai et al., 2009), 지구 온난화 및 river discharge의 증가는 이들의 플럭스에 영향을 줄 것이라 예측되고 있음 (Lawrence and Slater, 2005)

○ 증가된 river discharge에 의한 frozen soil 내 보존되어 있던 육상기원 유기물 remobilization의 증가는 북극해로 전달되는 용존 유기물의 양을 증가시킬 수 있음 (Gueguen et al., 2011).

○ Amon et al. (2003)은 Greenland 및 Iceland, Norwegian Seas 용존 유기물의 형광 특성을 분석하였으며, 이러한 방법이 특정 수괴를 추적하는데 활용될 수 있음을 제시한 바 있음

○ Gueguen et al. (2011)은 용존 유기물의 fluorescence 및 absorbance가 용존 유기물 농도의 proxy로 활용될 수 있음을 제시한 바 있음

제 2 절 국내 기술 동향

○ 박 등(2011)은 북극 Kongsfiorden 만 주변 해수의 유색 용존 유기물(Chromophoric dissolved organic matter; CDOM)과 용존 유기탄소, 형광특성 등을 조사하였으며, 용존 유기탄소의 농도가 매년 증가하는 추세에 있으며, 남극세종기지 부두의 정점과 북극 Kongsfiorden 만의 CDOM 농도를 비교하였을 때 북극에서 더 높게 나타남을 보고한 바 있음

○ 하 등(2010)은 극지 식물플랑크톤 세포를 실내 인공 자외선에 노출시켰을 때, 탄소 고정속도는 감소하고 자외선 흡수 물질의 농도는 증가됨을 보고한 바 있음

○ 자외선 노출에 따른 식물플랑크톤 세포 단위의 유기물 생성속도 및 조성의 변화는 자외선에 의한 영향이 큰 북극 지역의 용존 유기물 농도 및 질적 조성 변화까지 연결될 수 있을 것으로 사료되며, 이에 대한 지속적인 연구가 필요함

KOPRI 극지연구소

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구지역

본 연구에서 사용된 해수 시료는 2014년 한국해양과학기술원 부설 극지연구소의 아라온 항해를 통해 획득되었으며, 북극 척치해 및 베링 해협 22개 정점에서 채수하였다(Figure 2).

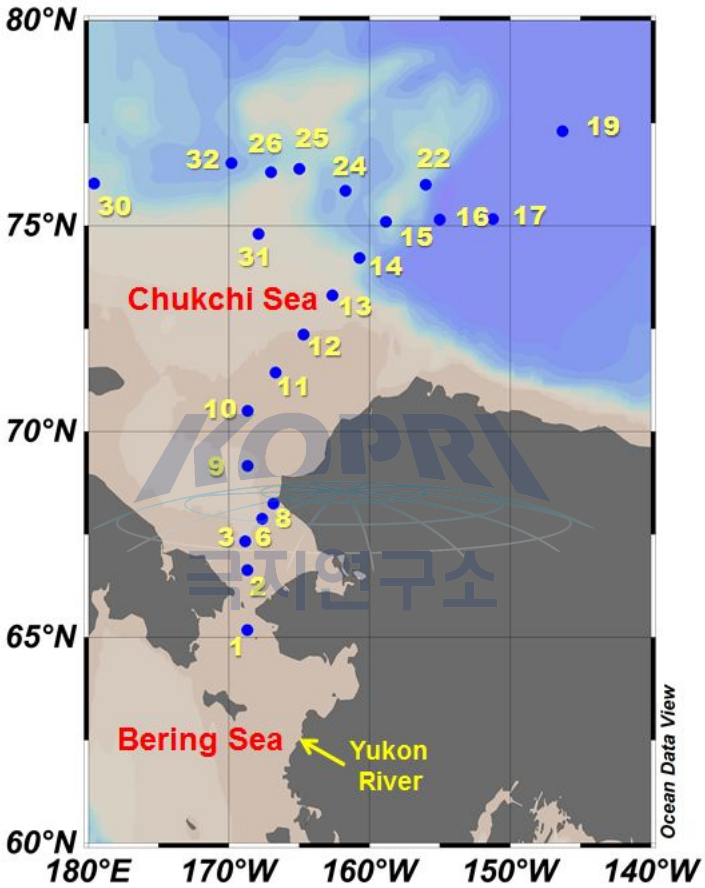

Figure 2. Sampling stations in the Chukchi and Bering Seas

척치해는 알래스카 근접지역 중 최북단에 위치한 shelf sea로 다양한 해류를 통해 water mass circulation이 일어나며(Figure 3), 이를 통해 척치해 및 보포트 해, 베링해는 유기적으로 연결되어있다. 특히 베링 해협을 통해 척치해는 북태평양과 연결되어 있으며, 해류를 통해 북태평양의 물이 북극해로 유입된다. 또한 Yukon River로부터의 runoff 역시 베링 해협을 통해 북극해로 유입된다(Hansell and Carlson, 2002).

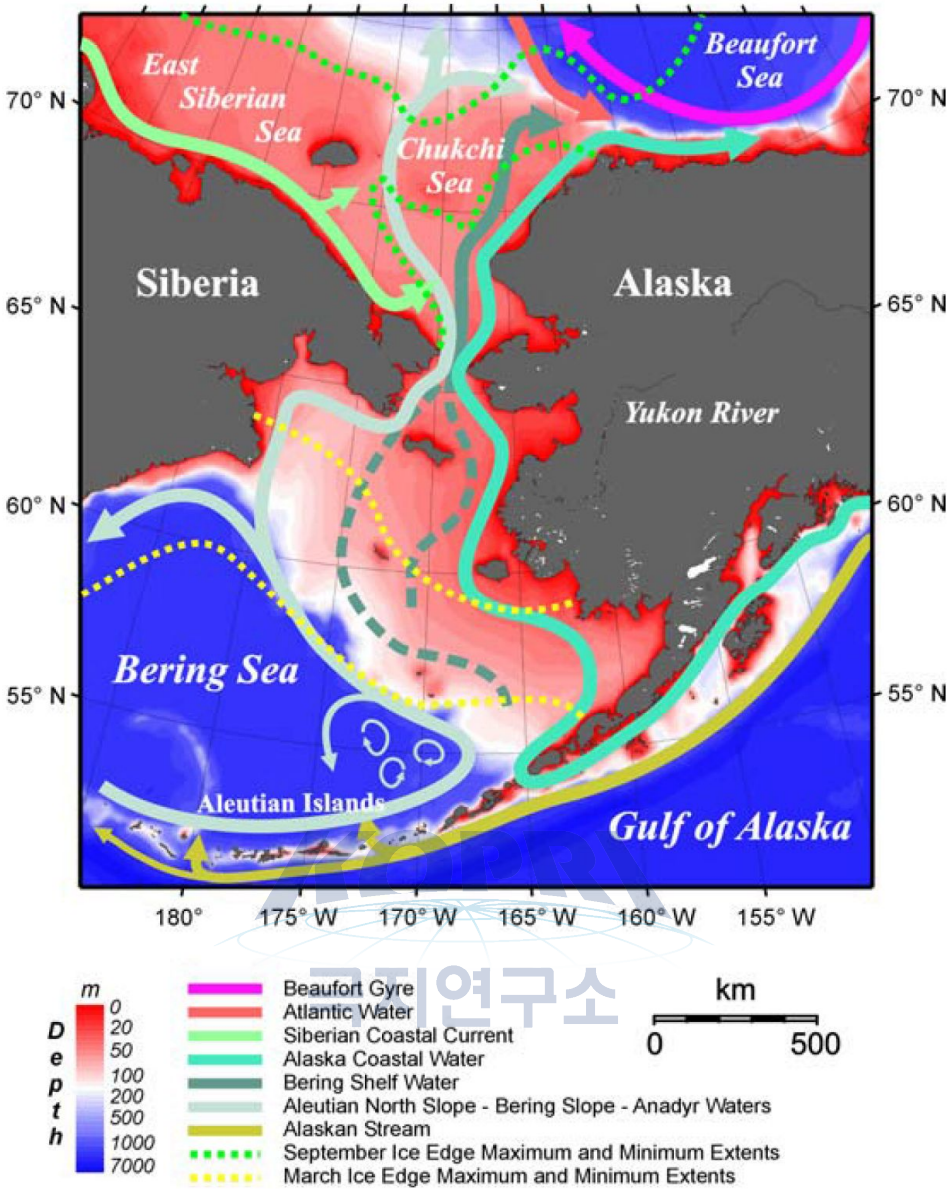

Figure 3. Schematic circulation map of the Bering-Chukchi-Beaufort seas ecosystem (source: Hopcroft et al., 2008).

제 2 절 재료 및 방법

1. 용존 유기탄소 농도 측정

미리 태운 GF/F 여과지를 이용하여 채수된 해수 시료를 선상에서 여과하였으며, 여과액은 미리 태운 유리 재질의 갈색용기에 보관하였다. 이 때, 미생물의 활동 억제 및 무기탄소 제거를 위해 염산을 첨가하였으며, 분석 전까지 냉장보관 하였다. 용존 유기탄소의 농도 분석은 한양대학교에서 보유하고 있는 총 유기탄소 분석기(TOC-V_{CPH}, Shimadzu, Japan)를 이용하여 실시하였으며(Figure 4), 시료 내 무기 탄소는 연소관 주입 전 염산을 이용하여 제거하였다. 인증된 표준물질 (certified reference material)은 University of Miami의 Hansell Laboratory에서 제공하는 해수시료를 이용하였다.

Figure 4. TOC analyzer (TOC-V_{CPH}) in Hanyang University

2. 용존 유기물의 형광특성 분석

시료의 형광 특성은 한양대학교 공동기기원에서 보유하고 있는 형광분광계(Fluorolog FL3-11, Horiba Jobin Yvon)를 이용하여 분석하였다(Figure. 5). 형광세기가 외부 조건에 따라 변동할 수 있으므로, 이러한 영향을 배제하기 위하여 10 ppb quinine sulfate dehydrate를 이용하여 형광세기의 단위를 quinine sulfate equivalents (QSE)로 표준화 하였다(Chen et al., 2007). 또한 시료 내 유기물질의 고유 형광을 얻기 위하여 3차 증류수를 blank로 사용하여 보정해 주었다. 형광 측정 시 기기의 여기파장과 방출파장 형광세기를 조절하는 슬릿은 각각 10 nm로 고정하여 사용하였으며, 물 분자 활동에 의해 나타나는 라만 스펙트럼과 이로 인해 생기는 장파장에서의 2차 릴리 산란 효과를 제어하기 위해 290 nm cut-off 필터를 사용하였다. 형

광 측정은 선상에서 미리 태운 GF/F 여과지를 이용하여 여과한 물을 이용하였으며, 분석 전까지 냉동보관 하였다.

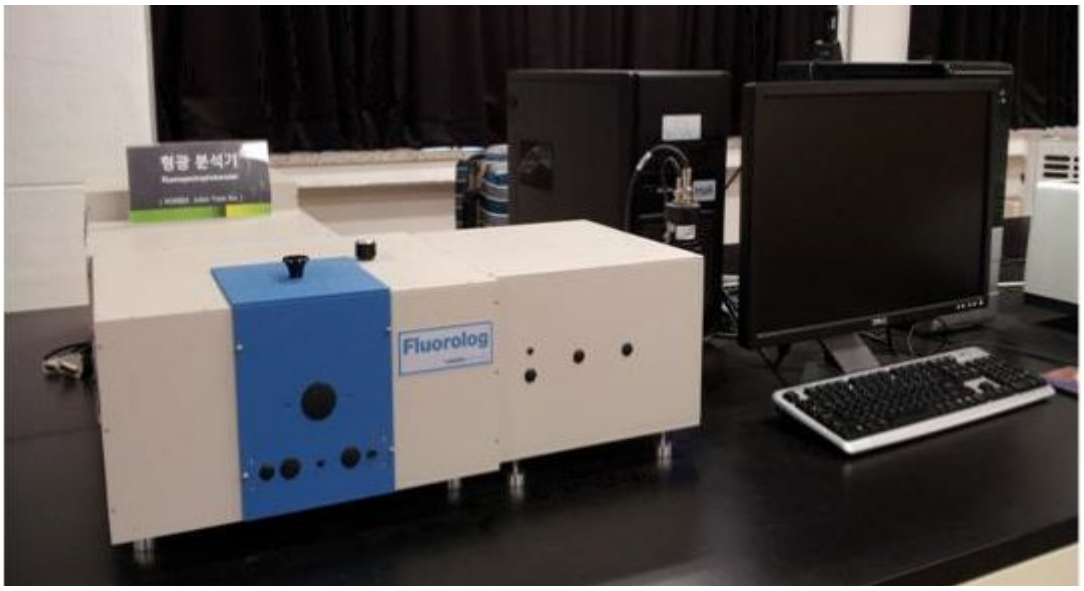

Figure 5. Luminescence spectrometer (Fluorolog FL3-11) system in Hanyang University

가. Fluorescence index (FI)

여기파장을 370 nm로 고정한 후 280 ~ 550 nm까지의 방출파장 신호를 측정하였다. 그 후 450 nm와 500 nm에서의 방출세기의 비를 이용하여 FI를 계산하였다(McKnight et al., 2001).

KOPRI 극지연구소

나. Freshness index (BIX)

여기파장을 310 nm로 고정한 후 280 ~ 550 nm까지의 방출파장 신호를 측정하였다. 그 후 380 nm에서의 방출세기와 420 ~ 435 nm 사이 최대 방출세기의 비를 이용하여 BIX를 계산하였다(Parlanti et al., 2000).

다. Humification index (HIX_{EM})

여기파장을 254 nm로 고정한 후 280 ~ 550 nm까지의 방출파장 신호를 측정하였다. 그 후 435 ~ 480 nm 사이의 방출세기 합을 300 ~ 345 nm 사이의 방출세기와 435 ~ 480 nm 사이의 방출세기의 합으로 나누어 주어 HIX_{EM}을 계산하였다(Ohno, 2002).

라. Synchronous 형광 스펙트럼

여기파장과 방출파장의 Δλ값을 30nm로 고정시킨 후 형광신호를 측정하였으며, 300nm 이하에서 나타나는 형광 영역을 단백질계(PLF; protein-like fluorescence), 300-370nm를 펄빅산계(FLF; fulvic-like fluorescence), 370-420nm를 휴믹산계(HLF; humic-like fluorescence), 420-600nm를 육지성 휴믹산계(THLF; terrestrial humic-like fluorescence)로 정의하였다(Hur et al., 2008).

제 3 절 결과 및 토의

1. 척치해 및 베링 해협 용존 유기탄소의 농도 분포

가. 수평적 분포

척치해 및 베링 해협의 표층 염분 및 온도, 용존 유기탄소(DOC)의 표층 농도 분포는 Figure 6에 나타내었다.

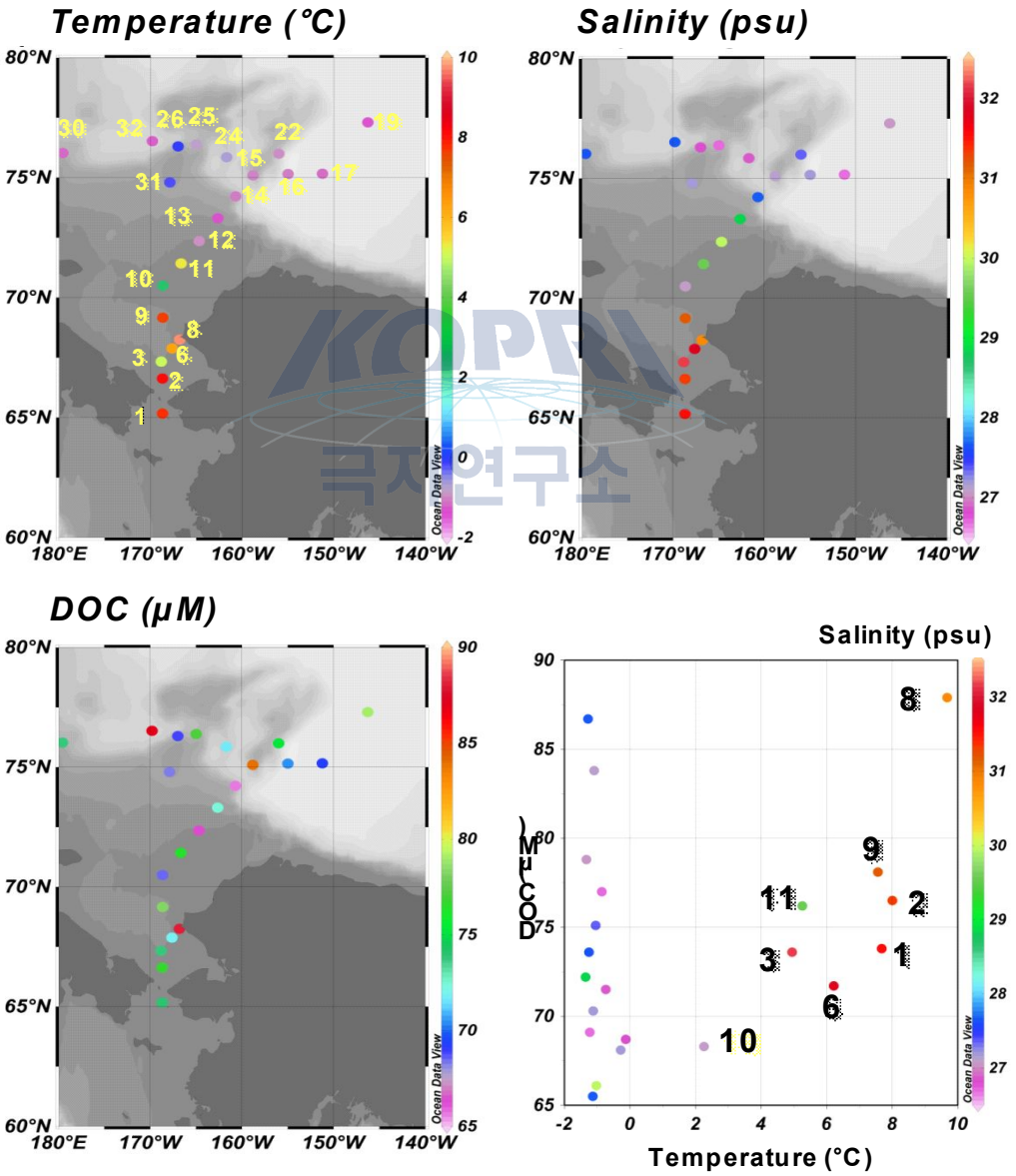

Figure 6. Spatial distribution of temperature, salinity, and dissolved organic carbon concentration in surface water of the Chukchi Sea

표층 수온은 -1.36 ~ 9.67°C의 범위로 베링 해협과 그 주변에 위치한 정점 1 ~ 11에서 비교적 높게 나타났으며, 표층 염분은 26.7 ~ 32.1 psu로 정점 1 ~ 9에서 비교적 높은 값이 관찰되었다. 반면 용존 유기탄소의 농도는 66 ~ 88 μM의 농도 범위 보였으며, 베링 해협에서 높은 농도를 보이는 경향은 나타나지 않았다. 그러나 정점 1 ~ 11에서의 용존 유기탄소 농도는 표층 수온과 강한 양의 상관관계를 보였다.

나. 수직적 분포

척치해 및 베링 해협 각 정점의 깊이별 수온 및 염분, DOC 농도는 Figure 7에 나타내었다.

KOPRI
극지연구소

Figure 7. Depth profiles of temperature, salinity, and DOC concentration for each station

KOPRI
극지연구소

Figure 7. (Continued.)

KOPRI
극지연구소

Figure 7. (Continued.)

연구 정점 별 염분의 수직적 분포를 살펴보았을 때, 정점 1 ~ 9는 전 층에서 비교적 유사한 값을 보이는 반면, 그 외 정점에서는 표층에서 낮은 값을 보이고 수심이 깊어질수록 증가하는 경향을 나타내었다. 반면 수온은 정점 1 ~ 11까지 표층에서 0°C 이상의 값을 나타내면서 수심이 깊어질수록 감소하는 경향을 보이는 반면, 그 외 정점에서는 표층에서 0°C 미만의 값을 나타내었다. 한편 용존 유기탄소 농도는 15번 정점을 제외하고 표층에서 높은 농도를 보였다.

다. 염분 및 수온과 용존 유기탄소의 상관관계

척치해 및 베링 해협 표층 200m 이내 염분 및 수온, 용존 유기탄소의 상관관계는 Figure 8에 나타내었다.

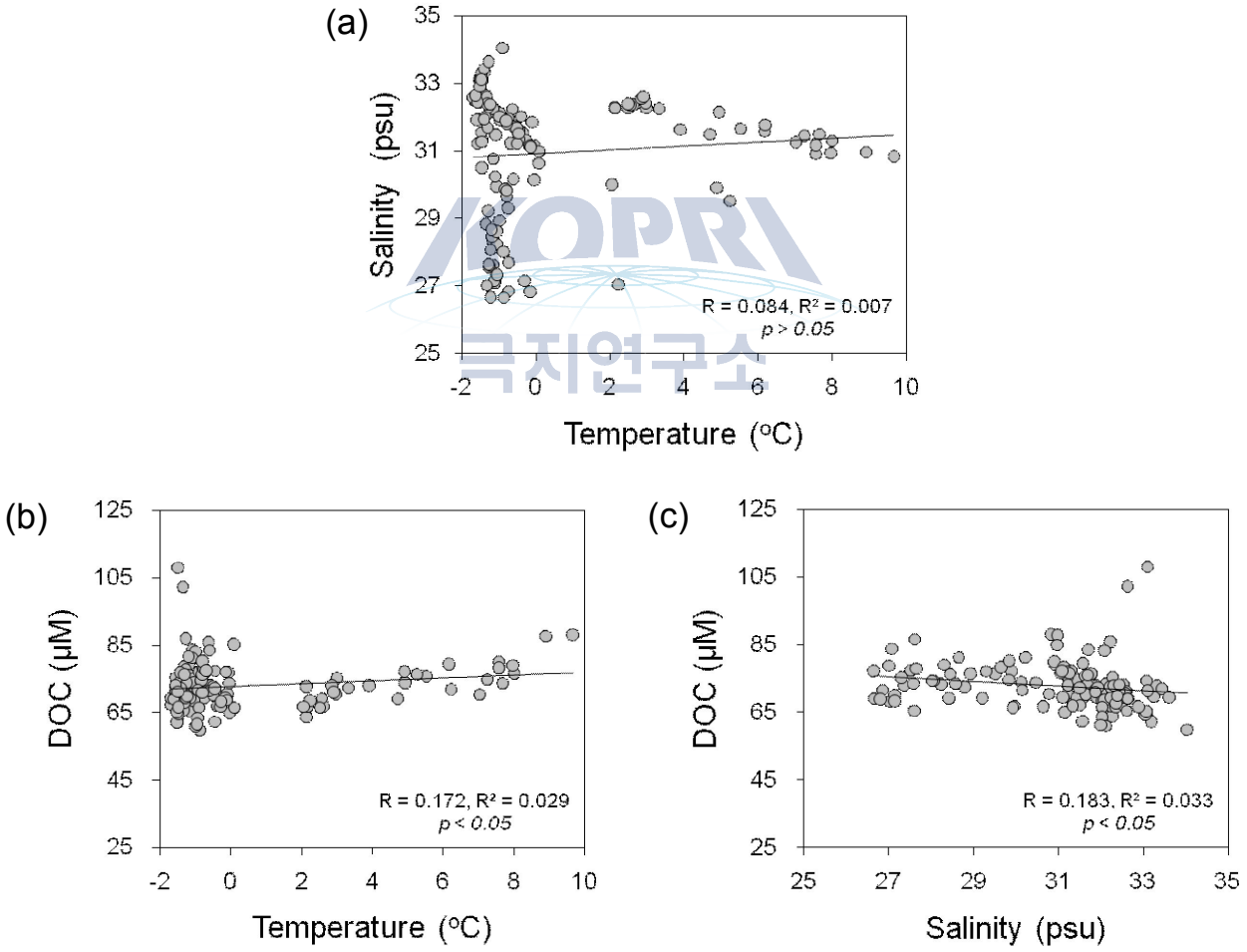

Figure 8. Plot of (a) salinity versus temperature, (b) DOC versus temperature, and (c) DOC versus salinity from all stations in the upper 200m of the Chukchi Sea and Bering Strait

모든 연구 정점의 표층 200m 이내에서 염분과 온도는 통계적으로 유의한 상관이 없는 것으로 나타난 반면, 용존 유기탄소의 농도는 수온 및 염분과 통계적으로 유의한 상관을 보였다. 그러나 용존 유기탄소의 농도 변화에 대한 수온과 염분의 설명력은 매우 낮게 나타났다. 베링 해협 주변 정점(ARA05B-01 ~ 09)의 표층 200m 이내 염분 및 수온, 용존 유기탄소의 상관관계는 Figure 9에 나타내었다.

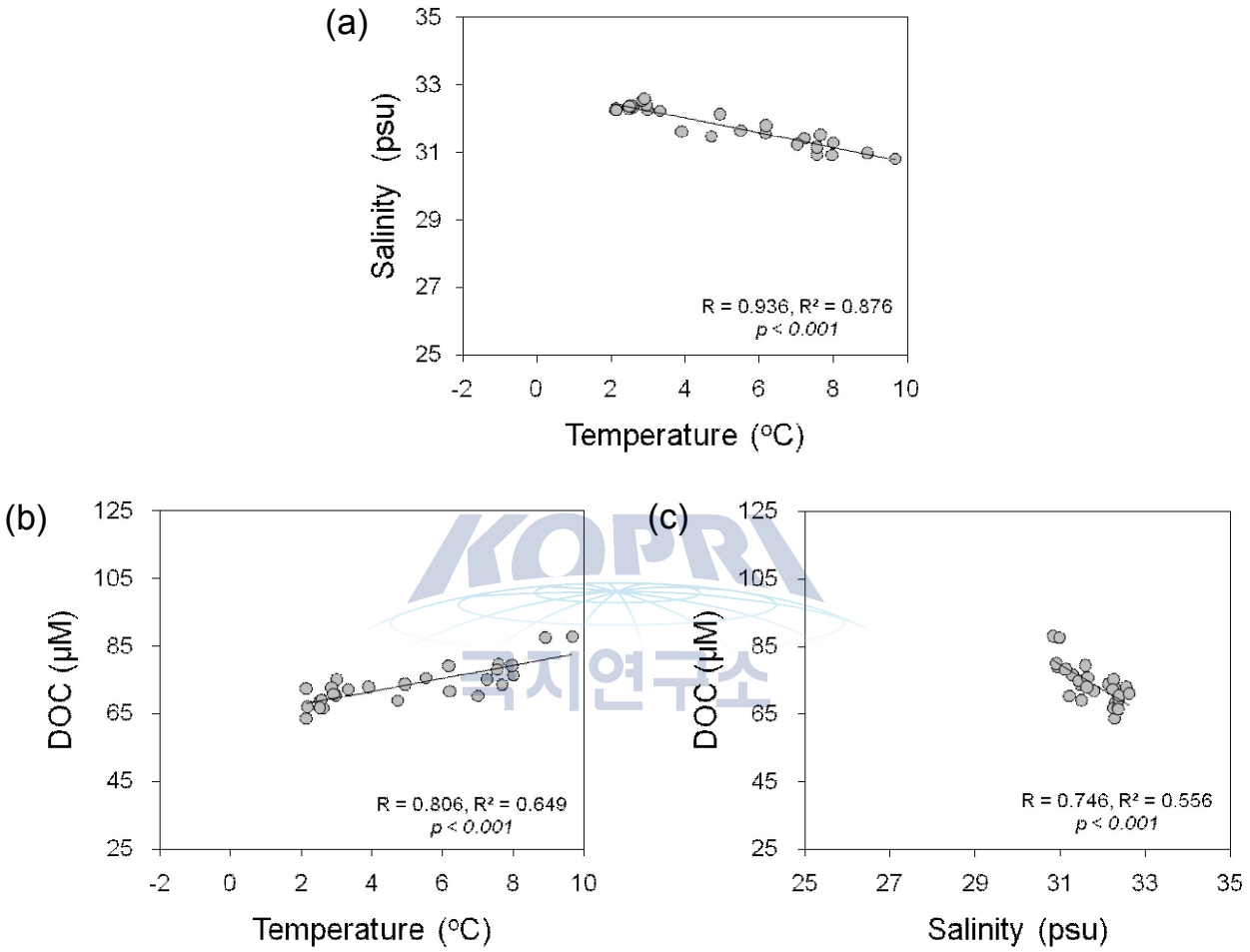

Figure 9. Plot of (a) salinity versus temperature, (b) DOC versus temperature, and (c) DOC versus salinity in the upper 200m of the 6 stations near the Bering Strait (station 1 ~ 9)

베링 해협 주변 6개 정점에서 염분과 수온은 높은 상관관계를 보였으며, 낮은 염분을 나타내는 시료에서 수온이 높게 나타났다. 염분 변화에 대한 수온의 설명력은 약 88%로 나타났다. 용존 유기탄소 농도 역시 수온 및 염분과 높은 상관을 보였으며, 용존 유기탄소 농도변화에 대한 수온의 설명력은 약 65%, 염분의 설명력은 약 56%로 나타났다. 또한 수온이 높고 염분이 낮은 시료에서 용존 유기탄소 농도가 높게 나타났다. 이러한 결과로 미루어보아 용존 유기탄소 농도가 높고 염분이 낮은 물이 베링 해협을 통해 척치해로 유입되고 있는 것으로 사료되며, Yukon River를 통한 담수의 유입 역시 존재할 것으로 보여진다.

2. 척치해 및 베링 해협 용존 유기물 형광특성

가. 수평적 분포

척치해 및 베링 해협의 표층 fluorescence index (FI) 및 freshness index (BIX), humification index (HIX_{EM}) 분포는 Figure 10에 나타내었다.

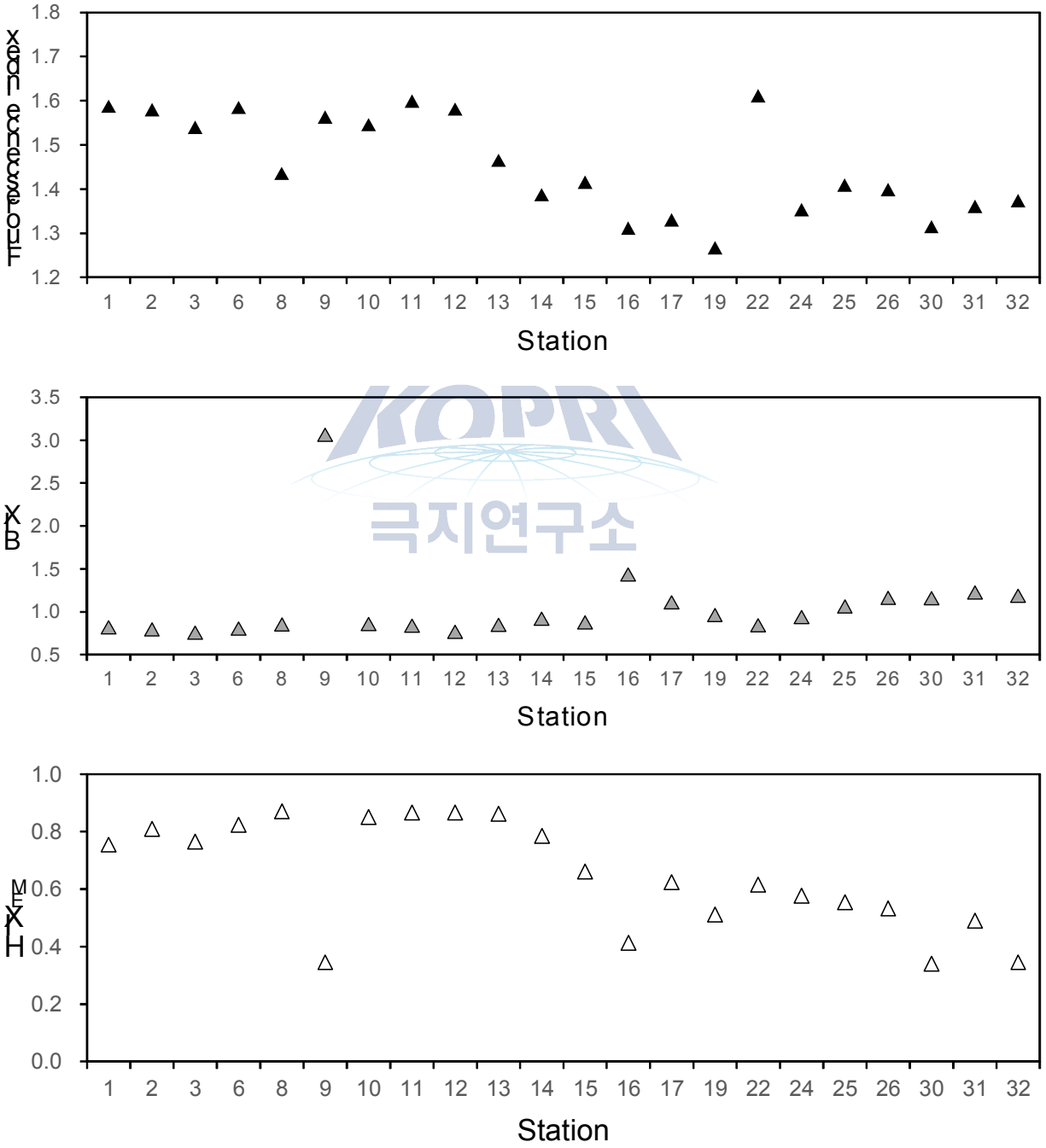

Figure 10. Spatial distribution of fluorescence index (FI), freshness index (BIX), and humification index (HIX_{EM}) in surface water of the Chukchi Sea and Bering Strait

McKnight et al. (2001)은 육상기원이 우세한 용존 유기물의 fluorescence index (FI)는 1.2에 가까우며, 미생물에 의한 영향이 더 큰 용존 유기물의 FI는 1.8에 가깝다고 보고한 바 있다. 본 연구 정점에서 FI는 1.3 ~ 1.6의 범위를 보였으며, Bering Strait에 위치한 정점에서 오히려 높은 값을 보였다. 한편 Parlanti et al. (2002)은 최근에 만들어진 용존 유기물일수록 freshness index (BIX)가 높은 값을 보인다고 보고한 바 있으며, Ohno (2002)는 휴믹화 정도가 증가할수록 휴믹지표(HIX_{EM})는 증가한다고 보고하였다. 조사 정점의 BIX와 HIX는 반대 경향을 보였다. Bering Strait에 위치한 정점들은 9번 정점을 제외하고 비교적 낮은 BIX, 높은 HIX 값을 보이는 경향이 관찰되었다. 이러한 결과로 미루어보아 Bering Strait를 통해 척치해로 유입되는 염분이 낮고 용존 유기탄소 농도가 높은 수괴는 미생물에 의해 분해가 많이 진행되었을 것으로 사료된다.

척치해 및 베링 해협의 표층 synchronous 형광 스펙트럼 결과는 Figure 11에 나타내었다.

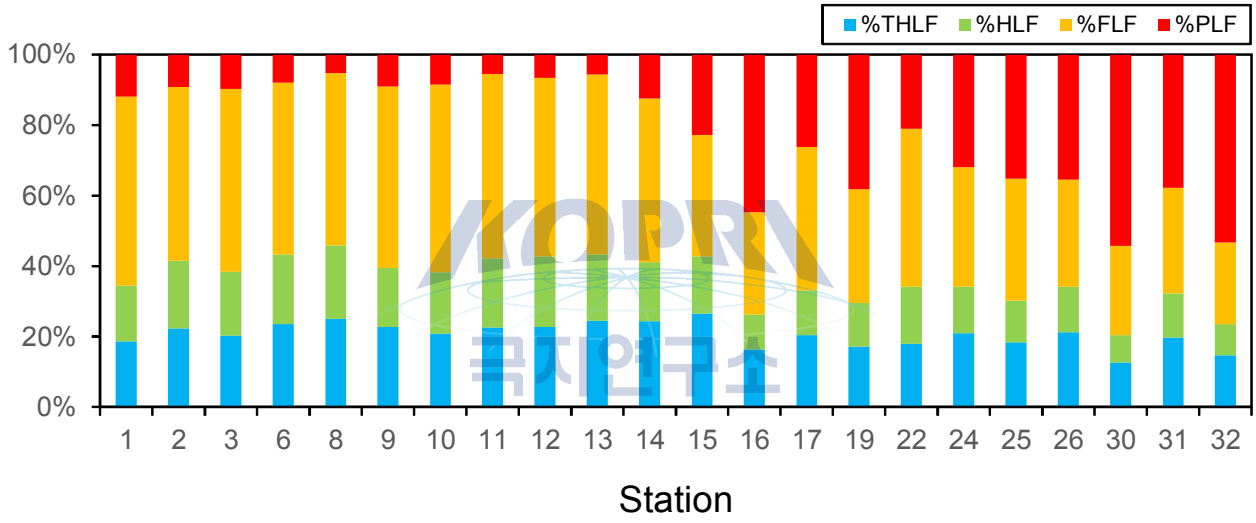

Figure 11. Relative contribution profiles of the four synchronous fluorescence spectra (i.e. THLF, HLF, FLF, and PLF) recorded for the surface water of the Chukchi Sea and Bering Strait

Synchronous 형광 스펙트럼 결과 역시 Bering Strait에 위치한 정점에서 비교적 쉽게 분해되는 특징을 보이는 단백질계 스펙트럼의 차지 비율이 낮게 나타났으며, 척치해에 위치한 정점에서는 단백질계 스펙트럼의 차지 비율이 비교적 높게 나타났다.

나. 수직적 분포

척치해 및 베링 해협의 표층 200m 이내 깊이별 fluorescence index (FI) 분포는 Figure 12에 나타내었다.

Figure 12. Depth profiles of FI in the Chukchi Sea and Bering Strait

KOPRI 극지연구소

Bering Strait에 위치한 정점에서는 전층에서 유사한 FI값이 관찰되었으며, 그 외 정점에서는 정점 간 차이는 존재하였지만, 전체적으로 깊이가 증가함에 따라 FI값이 증가하는 경향이 관찰되었다. 이는 수심이 증가할수록 미생물에 의한 유기물의 질적 조성 변화가 나타나고 있음을 의미한다.

척치해 및 베링 해협의 표층 200m 이내 깊이별 freshness index (BIX) 및 humification index (HIX_{EM}), %PLF 분포는 Figure 13에 나타내었다.

척치해와 베링 해협 모두 BIX 및 HIX_{EM}, %PLF의 깊이 별 차이가 뚜렷하지 않았으나, 베링 해협에 위치한 정점은 다른 정점에 비해 비교적 낮은 BIX, 높은 HIX, 낮은 %PLF의 값을 보였다.

KOPRI
극지연구소

Figure 13. Depth profiles of BIX, HIX_{EM}, and %PLF in the Chukchi Sea and Bering Strait

제 4 절 결론

베링 해협을 통해 척치해로 유입되는 수괴는 수온이 높고 염분이 낮은 특징을 보였으며, 용존 유기탄소의 농도는 척치해에 위치한 정점과 비교적 유사하게 나타났다. 그러나 용존 유기물의 질적 조성은 베링 해협과 척치해가 다른 특징을 보였다. 즉 베링 해협을 통해 척치해로 유입되는 수괴는 미생물 활동에 의한 영향을 많이 받았으며, 쉽게 분해되는 특징을 보이는 단백질계 형광 스펙트럼의 차지 비율이 낮게 나타났다. 이러한 결과는 척치해 정점에 비해 휴믹지표가 높고, freshness index (BIX)가 낮게 나타난 결과와 일치하였다. 이러한 결과는 용존 유기물의 형광특성이 수괴를 구분짓는 지표로써 활용될 수 있음을 의미한다. 한편 척치해에 위치한 정점의 표층은 0도 미만의 낮은 수온을 나타내었으며, 이는 ice meltwater 유입의 가능성을 시사한다.

KOPRI
극지연구소

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

본 연구는 북극해 용존 유기물 농도 및 형광특성 조사를 통해 조사지점 별 유기물 농도 분포 및 질적 조성을 이해하고, 다양한 형광 지표를 통해 용존 유기물의 기원 및 휴믹화 정도를 비교하고자 하였다. 특히 4차년도는 북극 척치해 및 베링 해협의 용존 유기물 농도 및 질적 조성 정보를 얻고자 하였다. 총 22개 정점의 시료를 대상으로 연구 목표에 부합하는 실험을 실시하였으며, 이에 따라 연구개발 목표를 100% 달성하였다. 현재 기후변화에 따른 북극 환경의 변화는 전 세계 사람들의 관심사이며, 이러한 변화가 유기물의 거동에 주는 영향 역시 중요한 과학적 관심사이다. 특히 용존 유기물은 해양 탄소 pool의 중요한 budget으로, 이들의 농도 및 질적 조성에 대한 충분한 이해 및 데이터 구축은 매우 중요하다 할 수 있다. 쇄빙연구선 “아라온”을 이용하여 획득된 척치해 및 베링 해협 해수 시료의 용존 유기물에 관한 양적 및 질적 조성에 대한 정보는 향후 북극해 환경 변화를 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

KOPRI
극지연구소

제 5 장 연구개발결과의 활용

기후 변화에 따른 북극해 환경 변화는 유기물 거동에 영향을 미치며, 이는 차후 대기-해양 간 상호작용까지 영향을 줄 수 있다. 특히 용존 유기물은 해양에서 미생물의 중요한 에너지원인 동시에 거대한 탄소 저장고의 역할을 하고 있기 때문에, 다양한 접근 방법을 통한 이들의 특성 파악이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 본 연구의 결과는 용존 유기물의 양적 및 질적 조성에 대한 정보를 제공하고 있기 때문에, 지속적인 북극해 환경변화 모니터링에 활용될 수 있으며, 차후 해수 환경도 작성 시 이들에 대한 추가 정보 제공이 가능하다.

KOPRI
극지연구소

제 6 장 참고문헌

박미옥. 극지 해양 생태계 변화의 추적자로서의 CDOM과 MAA 연구. 2011. 부경대학교

하선용, 강성원, 박미옥, 김영남, 강성호, 신경훈. 2010. 실내 자외선 노출 실험을 통한 극지 식물플랑크톤 (Phaeocystis pouchetii, Porosira glacialis)의 자외선 흡수물질 생성 연구. Ocean and polar research 32(4), 397-409

Amon, R. M. W., G. Budeus, and B. Meon. 2003. Dissolved organic carbon distribution and origin in the Nordic Seas: Exchanges with the Arctic Oean and the North Atlantic. Journal of Geophysical Research C: Oceans 108: 14-11.

Hansell, D. A. and Carlson, C. A. 2002. Biogeochemistry of marine dissolved organic matter. Elsevier.

Chen, Z., C. Hu, R. N. Conmy, F. Muller-Karger, and P. Swarzenski. 2007. Colored dissolved organic matter in Tampa Bay, Florida. Marine Chemistry 104: 98-109.

Coble, P. G. 1996. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. Marine Chemistry 51: 325-346.

Dittmar, T., and G. Kattner. 2003. The biogeochemistry of the river and shelf ecosystem of the Arctic Ocean: A review. Marine Chemistry 83: 103-120.

Gueguen, C., M. A. Granskog, G. Mccullough, and D. G. Barber. 2011. Characterisation of colored dissolved organic matter in hudson bay and hudson strait using parallel factor analysis. Journal of Marine Systems 88: 423-433.

Hopcroft, R. U. S. S., Bluhm, B., Gradinger, R. O. L. F., Whitledge, T. E. R. R. Y., Weingartner, T., Norcross, B. R. E. N. D. A., & Springer, A. L. A. N. 2008. Arctic ocean synthesis: Analysis of climate change impacts in the Chukchi and beaufort seas with strategies for future research

Hudson, N., A. Baker, and D. Reynolds. 2007. Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted waters - A review. River Research and Applications 23: 631-649.

Hur J. and Kong, D. S. 2008. Use of synchronous fluorescence spectra to estimate biochemical oxygen demand (BOD) of urban rivers affected by treated sewage. Environmental Technology 29: 435-444.

Lawrence, D. M., and A. G. Slater. 2005. A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century. Geophysical Research Letters 32: 1-5.

Libes, S. 2009. Introduction to marine biogeochemistry. Academic Press.

Mcknight, D. M., E. W. Boyer, P. K. Westerhoff, P. T. Doran, T. Kulbe, and D. T. Andersen. 2001. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for

KOPRI 극지연구소

indication of precursor organic material and aromaticity. Limnology and Oceanography 46: 38-48.

Ohno, T. 2002. Fluorescence inner-filtering correction for determining the humification index of dissolved organic matter. Environmental Science and Technology 36: 742-746.

Parlanti, E., K. Worz, L. Geoffroy, and M. Lamotte. 2000. Dissolved organic matter fluorescence spectroscopy as a tool to estimate biological activity in a coastal zone submitted to anthropogenic inputs. Organic Geochemistry 31: 1765-1781.

Peterson, B. J. and others 2002. Increasing river discharge to the Arctic Ocean. Science 298: 2171-2173.

Shiklomanov, I. A. (1998), World water resource, a new appraisal and assessment for the 21st century, report, 37 pp., U. N. Educ., Sci. and Cult. Organ., Paris.

Shin, K. H., and N. Tanaka. 2004. Distribution of dissolved organic matter in the eastern Bering Sea, Chukchi Sea (Barrow Canyon) and Beaufort Sea. Geophysical Research Letters 31: 1-4.

Tamocai, C., J. G. Canadell, E. a. G. Schuur, P. Kuhry, G. Mazhitova, and S. Zimov. 2009. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. Global Biogeochemical Cycles 23.

Walsh, J. E. 2008. Climate of the arctic marine environment. Ecological Applications 18: S3-S22.

KOPRI
극지연구소

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과 보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.

KOPRI 극지연구소