

극지해양의 기후기체 조절력 이해를 위한  
연구방법들에 관한 기초연구

Exploratory study for research methods to understand the  
polar oceans' control of climate gases



2018. 05. 31

한 국 해 양 과 학 기 술 원  
부 설 극 지 연 구 소

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 극지해양의 기후기체 조절력 이해를 위한 연구방법들에 관한 기초연구 ”과제의 최종 보고서로 제출합니다.



연구책임자 : 박기홍

## 보고서 초록

본 과제는 다음의 필요성에 의해 이를 해결하기 위한 준비단계의 연구이다. 먼저 극지역의 부족한 현장 특히 해빙 지역의 관측기반 이산화탄소 데이터와 이로인한 정확한 극지연 이산화탄소의 흡수 및 배출량의 산정의 어려움을 해소할 필요가 있다. 또한 지금까지 잘 알려지지 않았던 휘발성 유기화합물과 같은 단기 체류형 기후기체에 대한 극지해양의 흡수 및 배출에 관한 연구는 극히 부족하다. 따라서 이를 관측하고 모델을 통해 기후변화에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다. 마지막으로, 현재의 급격한 기후변화를 경험하고 있는 극지해양환경이 이산화탄소를 포함한 기후기체의 거동에 미치는 영향과 미래의 환경변화에 대한 예측이 필요하다. 본 과제를 통해서 결빙해역에서의 용존이산화탄소의 관측을 개선하는 방법을 시도하였으며, 극지해양에서 휘발성 유기화합물의 농도분포 파악을 위해 현재의 상태를 평가하고 이를 위한 분석 기반 기술을 연구하였다. 또한, 기후모델과 그 역모델링 분석을 통해 극지해양에서의 기후기체 배출량을 계산하기위한 모델링 연구를 준비하였다.



과제관리번호	PE17380	해당단계 연구기간	-	단계 구분	1 / 1
연구사업명	중 사업명	창의연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	중 과제명				
	세부(단위)과제명	극지해양의 기후기체 조절력 이해를 위한 연구방법들에 관한 기초연구			
연구책임자	박 기 홍	해당단계 참여연구원수	총 :       명 내부 :    1명 외부 :       명	해당단계 연구비	정부: 30,000 천원 기업:       천원 계:       천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 극지해양과학연구부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자이내)					보고서 면수
<p>* EIMS를 이용한 결빙해역에서의 용존이산화탄소 관측기술의 개발</p> <p>- 개발과 테스트를 거쳐 지금 북극해에서 관측을 마쳤음. 향후 적은 유량과 적은 노력으로 정확한 pCO<sub>2</sub>를 결빙해역에서도 관측이 가능할 것으로 기대함</p> <p>* 극지해양에서 휘발성유기화합물의 농도분포 파악을 위한 분석 기술 기반연구</p> <p>- VOC흡착 튜브를 통한 예비 분석 결과 남극 및 북극의 해양에서 기존 생각보다 다양한 VOC들이 나오고 있다는 증거를 확인. 플럭스 계산을 위해서는 PTR-MS를 이용한 방식이 가장 적합하지만, 파도, 바람, 유빙등 극지해양에서는 한계가 따른다. 향후 집중관측과 아라온의 항로에서의 정기적인 샘플링을 통해 극지해양의 VOC배출의 정량화와 기후변화에의 기여에 관한 활용의 기반으로 활용할 예정이다.</p> <p>* 역모델링을 통한 극지해양에서의 기후기체 배출량의 계산을 위한 모델링 연구 준비</p> <p>- CESM2의 chemistry climate component인 CAM-Chem을 활용하여 모델링을 수행하고 있으며, CESM-LE, ME등의 결과를 이용해서 관측과 비교하고 있다. DMS관련 화학을 추가한 모델 실험과 관측결과를 바탕으로 기존의 DMS inventory Lana et al 2011을 극지역에서 update하는 작업 계속 진행 중이다.</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	이산화탄소, 휘발성유기화합물, 디메틸설파이드, 극지해양, 기후기체			
	영 어	CO <sub>2</sub> , VOCs, DMS, Polar ocean, Climate gas			

# 요 약 문

## I. 제 목

- \* 극지해양의 기후기체 조절력 이해를 위한 연구방법들에 관한 기초연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- \* 극지역의 현장관측 이산화탄소 관측 자료의 부족으로 정확한 이산화탄소의 흡수 및 배출량 산정이 어려움
- \* 휘발성 유기화합물과 같은 단기체류형 기후기체에 대한 극지해양의 흡수 및 배출에 관한 연구는 극히 부족
- \* 급격한 기후변화를 경험하는 극지해양환경이 이산화탄소를 포함한 기후기체의 거동에 미치는 영향과 미래의 환경 변화 예상이 필요

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- \* 극지 해양의 기후기체 특히, 이산화탄소와 단기체류형 휘발성유기화합물의 흡수 및 배출을 추정하기 위한 기술들에 관한 기초를 확립한다.
  - EIMS를 이용한 결빙해역에서의 용존이산화탄소 관측기술의 개발
  - 극지해양에서 휘발성유기화합물의 농도분포 파악을 위한 분석 기술 기반연구
  - 역모델링을 통한 극지해양에서의 기후기체 배출량의 계산을 위한 모델링 연구 준비

## IV. 연구개발결과

- \* EIMS를 이용한 결빙해역에서의 용존이산화탄소 관측기술을 개발함

\* 극지해양에서 휘발성유기화합물의 농도분포 파악을 위한 분석 기술 기반연구를 수행함

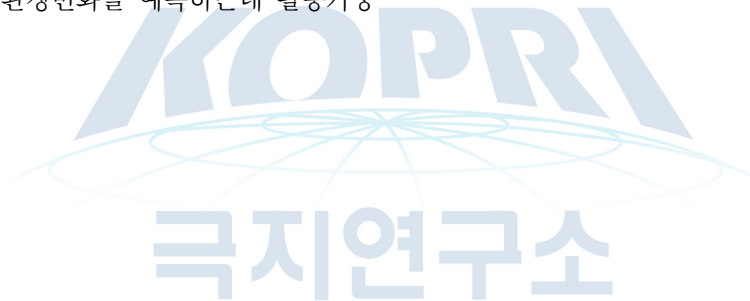
\* 역모델링을 통한 극지해양에서의 기후기체 배출량의 계산을 위한 모델링 연구 준비하였음

#### V. 연구개발결과의 활용계획

\* 극지연구소의 극지데이터 센터를 적극 활용하여 기후기체에 관해 관측된 자료 및 모델결과를 공개하여 자유롭게 과학자들이 접근 가능하게 하며, 이를 통해서 극지연구소의 기후변화 연구에 있어 위상을 강화

\* 또한, 국제공동연구를 통해 극지역 기후기체의 거동에 관한 모니터링 네트워크를 구축하고 참여하여 앞으로의 기후변화에 대비

\* 모델연구의 결과를 앞으로의 지구환경의 변동과 연관지어 미래 극지해양의 환경변화를 예측하는데 활용가능





# 목 차

제 1 장 서론 .....	9
1. 연구개발의 필요성 .....	10
2. 현 기술상태의 취약성 및 앞으로의 전망 .....	10
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	10
1. 국내의 사례 .....	10
2. 외국의 사례 .....	10
제 3 장 사업 내용 .....	11
제 4 장 사업 추진체계 및 전략 .....	11
제 5 장 연구결과 및 기대효과 .....	12
1. 연구결과 .....	12
2. 기대효과 .....	19
[부록1] 세종기지 및 북극해의 이산화탄소관측 결과와 모델 결과의 비교 .....	20
[부록2] 2017년 북극이동항해 중 얻은 해양관측 환경 자료들의 시계열 자료 .....	24



# 제 1 장 서론

## 1. 연구개발의 필요성

- 파리기후협약에 의해 2020년부터 지구의 기온을 최대 1.5°C 이하로 제한하기 위해 온실기체의 저감에 대해 더욱 더 국제사회의 요구가 높아짐.
- 이산화탄소 뿐만 아니라 저감으로 더 빠른 온실효과를 감소시킬 수 있는 단기체류형 기후기체의 배출량을 조절하는 것 또한 중요함.
- 극지의 해양은 이산화탄소의 중요한 흡수원일 뿐만 아니라, 최근 기후변화와 밀접한 관련을 가지는 휘발성유기화합물 (유기기체) 등의 배출원으로 여겨지나 기본적인 관측 정보가 극히 부족한 실정임.
- 따라서, 극지 해양에서의 정확한 기후기체들의 흡수 및 배출량을 산정함으로써 파리기후협약을 달성하기 위한 과학적인 배경 정보를 가질 수 있다.

### □ 기술적 측면

- 극지해양은 가장 잘알려지고 주된 온실 기체인 이산화탄소에 관한 현장관측 자료가 부족할 뿐만 아니라, 그 외의 다른 단기체류형 기후기체들에 관한 관측은 극히 부족하다.
- 주된 관측의 어려움은 현장의 접근이 부족한 것을 원인으로 들 수 있다. 따라서, 쇄빙선을 통한 현장 샘플링 및 분석이 가장 우선적으로 필요하다.
- 따라서, 극지해양에서, 이산화탄소의 현장 관측 자료의 축적 및 새로운 기후기체들의 분석 및 모델을 통한 이들의 흡수 및 배출량을 추정하는 기술이 필요하다.

### □ 경제·산업적 측면

- 파리기후협약 이후 지구의 기온상승을 최대 1.5°C 이하로 제한하기 위해 더욱 엄격한 이산화탄소 등의 온실기체의 배출에 관한 제한이 예상된다. 따라서, 거의 정보가 없는 극지해양의 기후기체의 흡수 및 배출을 통한 기후조절력을 알아내고, 이에따른 정확한 배출 목표의 산정이 요구된다.

### □ 과학적 측면

- 기후변화의 결과로 급격한 환경변화를 겪고있는 남극 및 북극 해양의 기후관련 기체의 거동을 관측하고 모델을 통해 예상함으로써 미래의 환경변화에 대비할 수 있는 기술을 가질 수 있다.

### □ 사회·문화적 측면

- 지구온난화에 대비하기 위한 국제사회의 노력에 기여할 수 있다.
- 극지연구는 일반인의 생활과 멀게 느껴져왔으나, 온실기체 배출 제한등 일상생활과 밀

접한 연관이 있는 연구를 통해 일반인에 대한 극지연구의 중요성 및 필요성을 제고할 수 있다.

## 2. 현 기술상태의 취약성 및 앞으로의 전망

- 극지현장관측 자료의 부족으로 3차원 모델의 극지역에서의 정확성에 관한 정보가 아직 미비하여 모델의 개량이 요구됨.
- 단기체류형 기후기체의 경우, 현장 연속관측이 쉽지않고, 별도의 샘플링 및 분석이 필요하여 고해상도 자료의 획득에 어려움이 있다.
- 아라온호의 연구향해시 관측되는 연속관측 자료는 국제사회에서 아주 소중한 가치를 가지는 중요한 자료로 사용될 것이며, 극지연구소의 위상강화에 도움이 될 것이다.
- 또한 배출량 추정을 위한 모델을 이용한 공동연구 및 국내 도입시 다른 극지역의 해양 및 대기 성분의 거동의 이해 및 현장관측자료의 해석에 상당히 유용하게 활용될 것이라고 본다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1. 국내의 사례

- 현재 국내에서 극지해양의 기후기체를 관측하는 연구는 주로 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등 장기체류형 온실기체의 모니터링에 중점을 두고 있다.
- 극지해양에서의 단기체류형 기후기체에 관한 관측은 거의 전무하다.
- 배출량의 산정을 위해서는 3차원 모델 및 역모델링을 통한 추정작업이 필요하다. 하지만 이러한 단기체류형 기후기체에 관한 모델링 및 배출량 추정에 관한 연구 또한 전무하다.

### 2. 외국의 사례

- 남극해 및 북극해의 주요 온실기체 (이산화탄소, 메탄, 아산화질소)의 흡수 및 배출량 변동에 관한연구는 기존부터 진행되어져 오고 있다. (예, Notx and Stroeve, 2016 (Science); Landschutzer et al., 2015 (Science); Ito et al., 2010 (Nature); Cai et al., 2010 (Science))
- 그리고, 지금까지는 이들 연구는 대부분 한정된 관측과 모델을 이용한 연구가 주를 이루

고 있으나 최근 British Antarctic Survey (BAS)에서 2016년 4월부터 Ocean Regulation of Climate by Heat and Carbon Sequestration and Transports (ORCHESTRA) 라는 대규모의 남극해 현장관측 연구가 진행되고 있으며, 미국의 NSF의 극지프로그램에서 Southern Ocean Carbon and Climate Observation and Modeling project (SOCCOM)를 2014년 8월부터 2020년 8월 까지 총 6년에 걸쳐 무인관측기반의 남극의 탄소순환 이해와 전망을 위한 프로젝트를 진행중이다.

- 하지만, 이러한 대규모의 연구는 시작 초기 단계일 뿐만 아니라, 아직 단기체류형 기후 기체의 거동에 관한 극지해양의 역할에 관한 연구는 거의 전무 하다.

### 제 3 장 사업 내용

- 본 사업은 극지 해양의 기후기체, 특히 이산화탄소와 단기체류형 휘발성유기화합물의 흡수 및 배출을 추정하기 위한 기술들에 관한연구의 기초와 기반기술 구축을 목표로 한다. 이에 본 연구의 수행기간인 1년간 해양-대기평형기주입식 질량분석기를 통한 결빙해역에서의 용존이산화탄소 관측기술을 개발을 추진하고, 또한 극지해양에서의 휘발성 유기화합물의 농도분포 파악을 위한 분석기술을 연구한다. 마지막으로, 3차원 대기화학수송모델과 그 역모델링을 통해 극지해양의 기후기체 배출량 계산 및 추정연구를 위한 준비를 수행한다.

### 제 4장 사업 추진체계 및 전략

- 기존과제의 아라운 현장관측시, 아라운의 이산화탄소 관측시스템을 통한 용존이산화탄소의 관측 및 Equilibrator Inlet Mass Spectrometer (EIMS)를 활용한 이산화탄소 관측기술을 개발하여 해빙지역에서도 용존이산화탄소의 관측을 수행할 수 있는 기반을 구축
- 아라운의 남극 및 북극항해시 휘발성 유기화합물을 흡착하는 튜브에 해양-대기 경계층의 시료를 포집하여 분석함으로써 극지방에서의 이러한 기후기체의 분포를 파악하기 위한 분석 방법을 조사하고, 공동연구를 통해 분석한다. 나아가 아라운에서 현장분석 가능한 시스템 구축을 위한 준비를 한다.
- 미국의 National Center for Atmospheric Research에서 주도적으로 개발하고있는 Community Earth System Model을 이용하여 이러한 기후기체의 분포를 이해하고, 역모델링 (inverse modeling)을 통해 극지해역에서의 이러한 기체의 배출량을 산정하기위한

## 제 5 장 연구결과 및 기대효과

### 1. 연구결과

가. EIMS를 이용한 결빙해역에서의 용존이산화탄소 관측기술의 개발



그림 1 아라온에 설치된 평형기주입식질량분석기 (EIMS) (좌)와 이산화탄소 분석시스템(우)

용존 이산화탄소를 결빙해역에서 관측하는 것은 해양과 대기의 이산화탄소를 비롯한 기체의 교환량을 추정에 있어 해빙지역의 역할과 중요성을 평가하는데 있어 필수적이다. 하지만 기존의 용존 이산화탄소 관측 시스템의 경우 최소 2.5 LPM의 해수의 유량을 필요로한다. 이러한 유량은 일반 해양에서는 충분히 공급이 가능하지만 결빙해역의 경우 해수의 유입구가 얼음들로인하여 막히는 현상이 상존한다. 그리하여 이를 개선하기 위해 기존의 방법 외에 Equilibrator inlet mass spectrometer를 활용하여 이산화탄소를 소량의 유량에서도 관측하는 방법을 개발하고자 하였다.

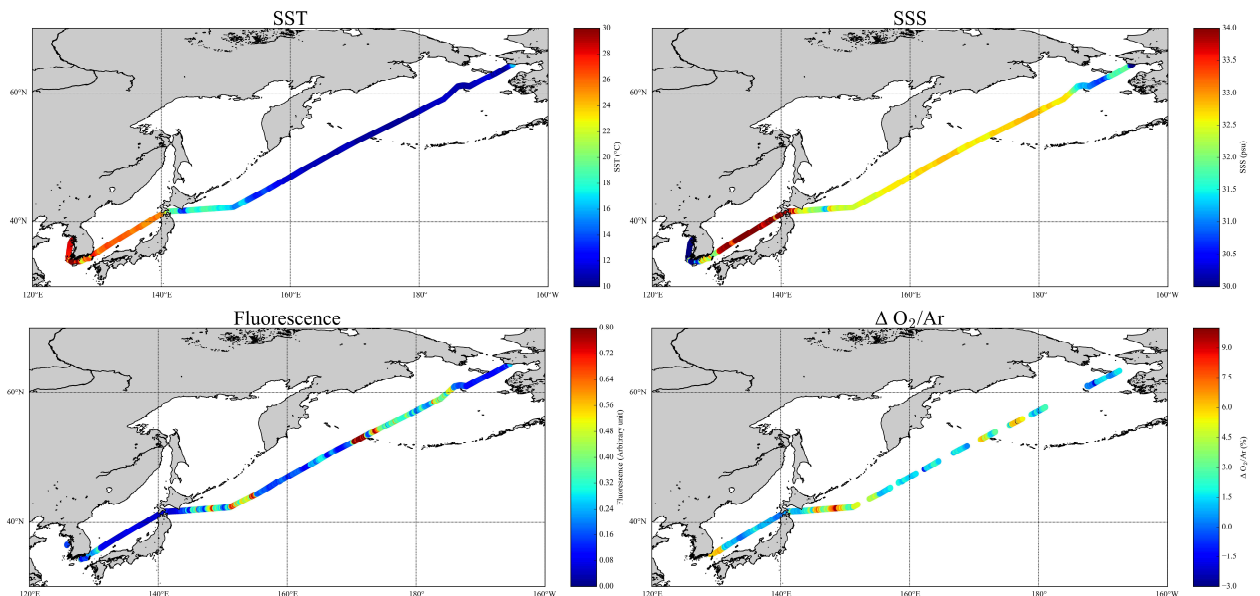


그림 2 아라온의 이동항해기간동안 관측된 해양환경 변수들. 우측하단이 EIMS를 활용하여 관측한 아르곤-산소 비이다.

(그림 1)

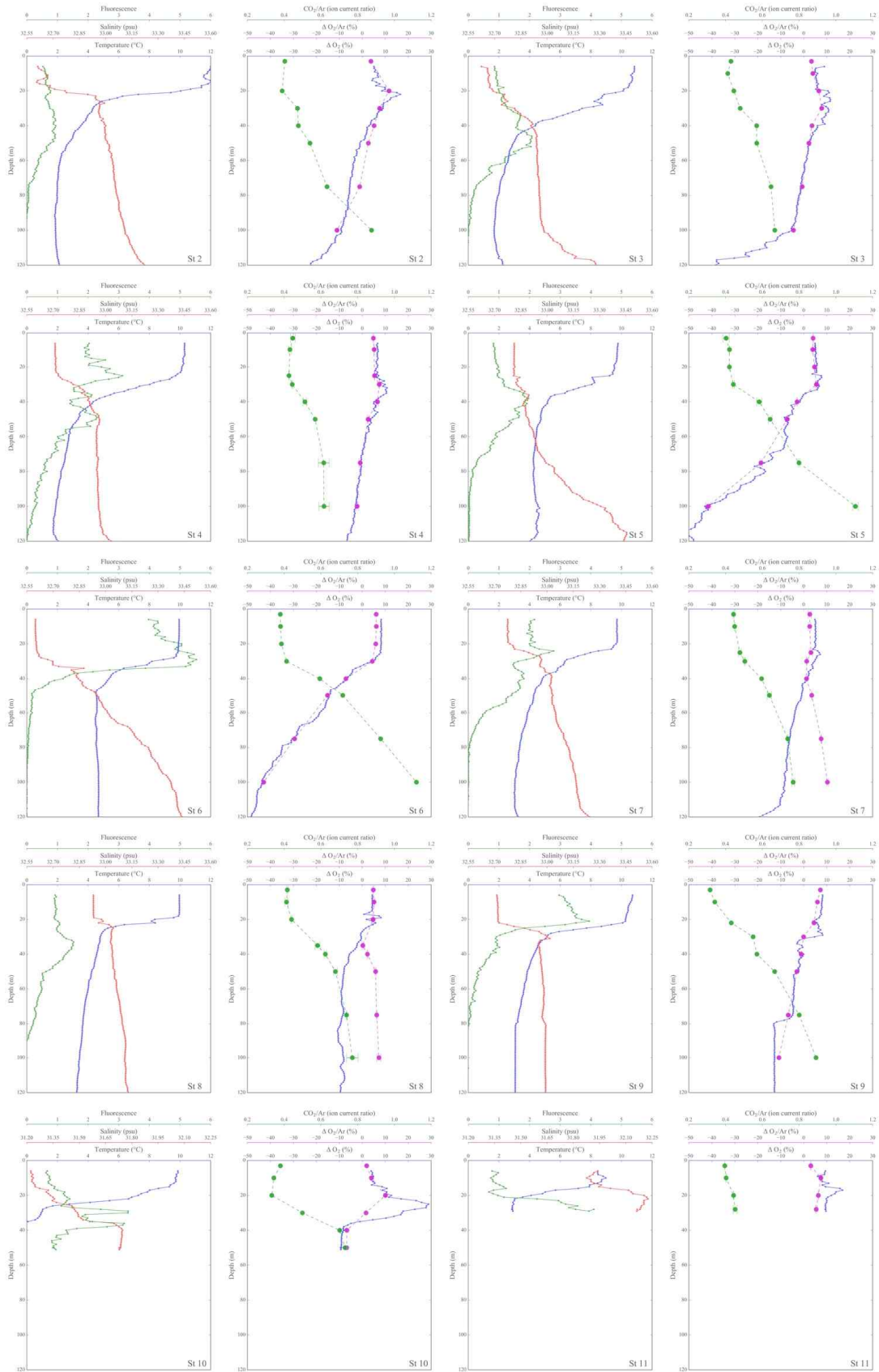


그림 3 EIMS를 이용해서 관측한 이산화탄소를 포함한 해양변수들의 수층 프로파일

이를 위하여 EIMS를 아라온의 인천-놈 이동항해 (ARA08A) 기간동안 가동하고 성능을 테스트하였다 (그림 2). 항해기간동안 EIMS의 관측결과 이산화탄소의 농도를 성공적으로 관측하였으며 (그림

3), 현재 이를 이용하여 기존의 시스템과의 측정결과의 일관성 및 정밀성과 신뢰도 분석을 할 예정이다.

나. 극지해양에서 휘발성유기화합물의 농도분포 파악을 위한 분석 기술 기반연구

VOC흡착 튜브를 통한 예비 분석 결과 남극 및 북극의 해양에서 기존의 예상은 낮은 온도와 적은 생물의 활동에 의해 상대적으로 온난한 지역보다 적은 휘발성유기화합물들이 배출 될 것으로 예상하였다. 하지만 실제 관측결과 다양한 VOC의 화학종들이 나오고 있다는 증거를 확인하였다. 또한 극지해양에서의 VOC의 관측은 여러 방법들 중 플럭스 계산을 위해서는



그림 4 휘발성유기화합물 샘플링을 위한 시료흡착관 (좌) 및 미국 UCI에 설치된 분석 시스템

ID	Description	C12 Alkane	C13 Alkane	C14 Alkane	C15 Alkane	C16 Alkane	C17 Alkane
346672	Blank	ND	ND	ND	ND	ND	ND
335999	Air Sample	ND	ND	ND	2.50E+06	2.36E+06	ND
346680	Air Sample	5.68E+05	7.46E+05	2.28E+04	ND	ND	ND
346673	Air Sample	5.15E+05		1.61E+06	ND	ND	ND
346677	Air Sample Near Moss	2.17E+06	4.13E+06	4.89E+06	1.17E+07	1.73E+07	5.16E+05
346679	sample	6.13E+05		1.56E+06	ND	ND	ND
346675	sample	5.33E+05	3.23E+04	4.67E+04	ND	ND	ND
346674	sample	6.90E+05	1.31E+06	1.45E+06	1.69E+06	ND	ND
346676	sample	2.11E+05	2.14E+05	9.10E+05	ND	1.49E+06	ND
346678	sample	9.83E+04	ND	1.53E+04	ND	ND	ND

그림 5 남극세종과학기지에서 채취된 흡착시료의 분석결과 large alkane이 고농도로 관측된 데이터

PTR-MS를 이용한 방식이 가장 적합하지만, 파도, 바람, 유빙등 극지해양에서는 한계가 따른다.

또한 결빙지역의 해빙에 부착하여 사는 조류 (그림 6)에서 발생하는 휘발성유기화합물의 관측은 직접 현장에서 시료를 채취한 다음 분석하는 과정이 필요하다. 따라서, 이러한 기술적인 문제를 극복하기 전까지는 향후 VOC 흡착관 (그림 4)을 통한 집중관측과 아라온의 항로에서의 정기적인 샘플링을 통해 극지해양의 VOC배출의 정량화와 기후변화에의 기여에 관한 활용의



그림 6 해빙의 아래에 존재하는 조류들의 모습

기반으로 활용할 것 이다. 특히, 남극 세종기지에서의 시료에서는 large alkanes ( $C > 10$ ) 물질을 처음으로 관측 하였으며 (그림 5), 이는 기지 주변의 지의류 부근의 샘플에서 고농도로 존재함을 확인하였다. 이는 식물성 왁스성분으로 추정되면 isoprene과는 반대로 식물이 추위로부터 보호하기 위한 물질일 가능성이 있다고 생각된다.

특히 이러한 큰 질량의 휘발성유기화합물은 적은 농도라도 강한 반응성을 가지므로 남극대기와 기후변화의 상관성을 연결하는데 있어 중요한 기여를 할 수도 있다고 여겨지며 추가적인 연구가 필요하다.

북극해의 관측에서도 이와 비슷하게 상당량의 세스키터핀 (분자량이 커서 준휘발성기체이다)이 관측되었다 (그림 7). 이 또한 남극기지에서의 관측과 비슷하게 강한 반응성을 가지므로 입자 형성 및 구름응결핵으로의 작용에 중요한 영향을 미칠 것으로 추정된다. 더구나 북극해의 해빙감소 및 온난화등의 환경 변화는 이러한 해양기원 유기화합물의 배출을 더욱 촉진하여 기후변화에 대한 기여가 점점 더 커질것으로 예상된다. 따라서 이러한 관측을 정기적으로 수행하는 것이 미래의 기후예측의 불확실성 감소에도 기여할 것으로 판단된다.

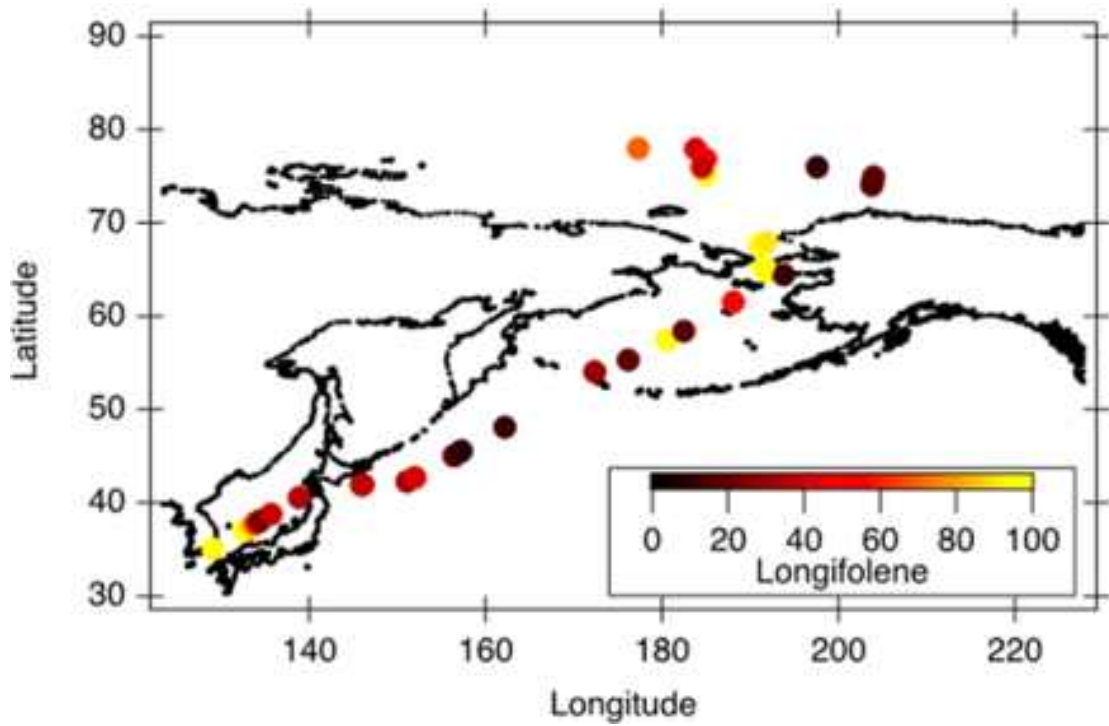


그림 7 아라온의 북극항해기간중 관측된 준휘발성유기화합물 (longifolene)의 분포.

나아가 흡착관을 이용한 분석의 시간 및 공간의 한계를 극복하기 위해 연속분석이 가능한 GC-MS등의 장비를 도입하여 아라온에서 관측하는 것이 필요하다고 여겨진다.

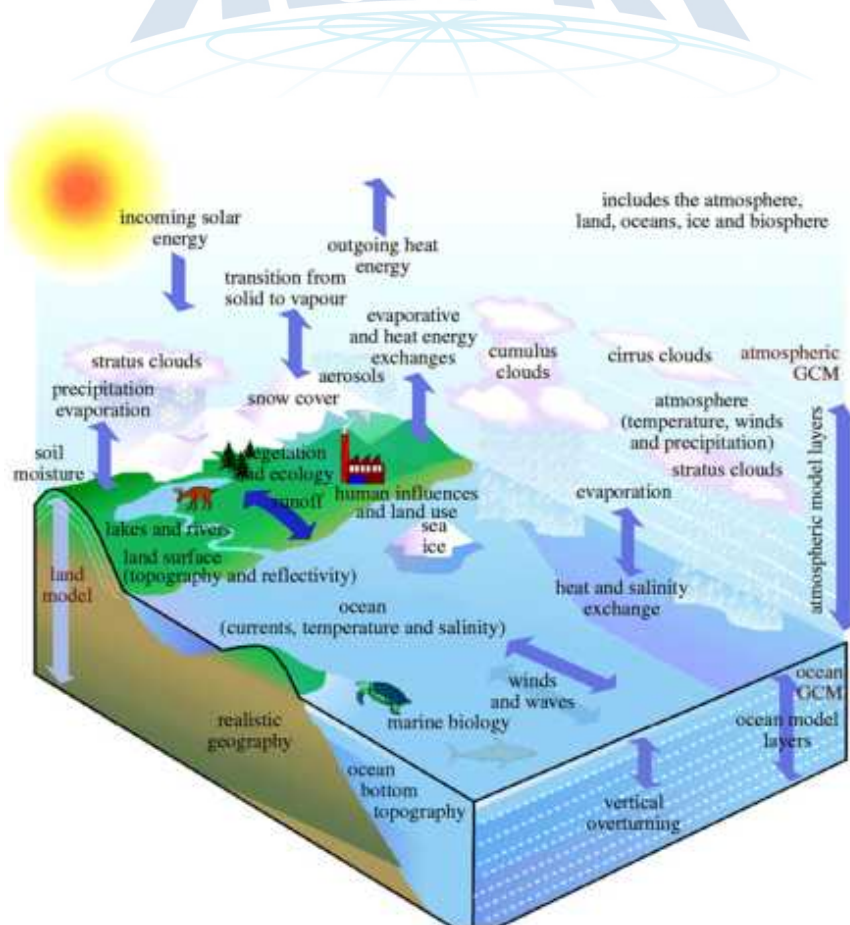


그림 8. Community Earth System Model이 모사하는 지구의 자연현상들을 나타내는 개요도



다. 역모델링을 통한 극지해양에서의 기후기체 배출량의 계산을 위한 모델링 연구 준비

CESM2 (그림 8)의 chemistry climate component인 CAM-Chem을 활용하여 모델링을 수행하고 있으며, CESM-LE, ME (Large Ensemble, Medium Ensemble)등의 결과를 이용해서 관측과 비교하고 있다.

또한, DMS관련 화학을 추가한 모델 실험과 관측결과를 바탕으로 기존의 DMS inventory Lana et al 2011을 극지역에서 update하는 작업 계속 진행중에 있다. (그림 9)

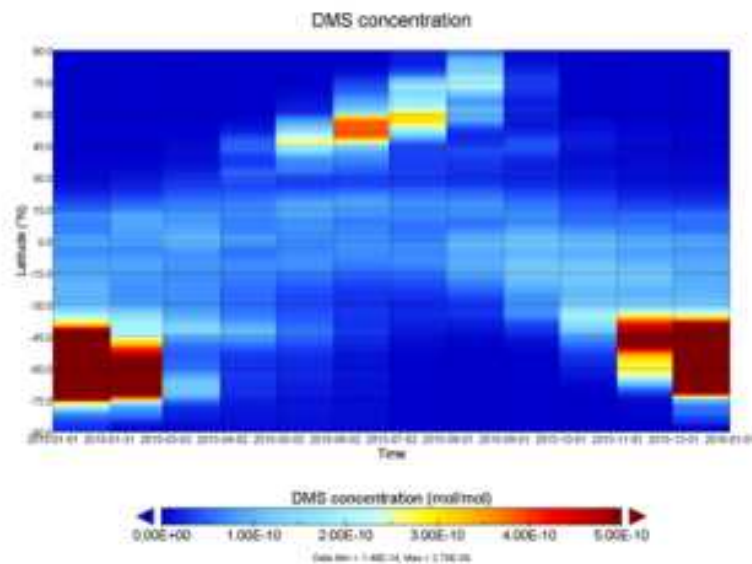


그림 9 CESM의 모델에서 도출한 시간에 따른 위도별 평균된 DMS농도의 변화. 북반구의 여름철에 북반구의 고위도에서 DMS 농도의 증가가 보이며, 남반구의 여름철에 남반구의 고위도 지역에서 DMS가 고농도로 모사되고 있다. 특히 남극이 북극보다 더욱 DMS의 농도가 높으며, 열대지역 및 온대 지역에서는 DMS의 농도가 낮음을 알 수 있다.

그리고, pCO<sub>2</sub>에 관해 CESM-LE,ME와 관측 결과를 비교 하는 작업도 수행하였으나 (그림 10 및 그림 11) 모델과 관측의 차이가 커서 향후 새로 나올 CESM2 (생지화학모듈 업데이트)의 LE 같은 standard output 기다리는 중에 있으며, 결과가 나오면 다시 관측과 비교분석하는 작업을 수행할 예정이다. 구체적으로 지난 7년간의 모델링의 결과는 올해 8월 북극의 현장 관측보다 70 ~ 80 ppm이 더 높게 북극해 지역에서 나왔으며, 베링해 부근의 경우는 모델과 관측이 역의 상관관계가 나왔으며, 베링해와 척치해 남부의 경우 관측값이 더 낮았으나 결빙지역은 관측치가 더 높게 나타났다.

Chukchi Sea & Bering Strait Region  
2006~2050 [pCO<sub>2</sub>SURF] : CESM-LE & CESM-ME

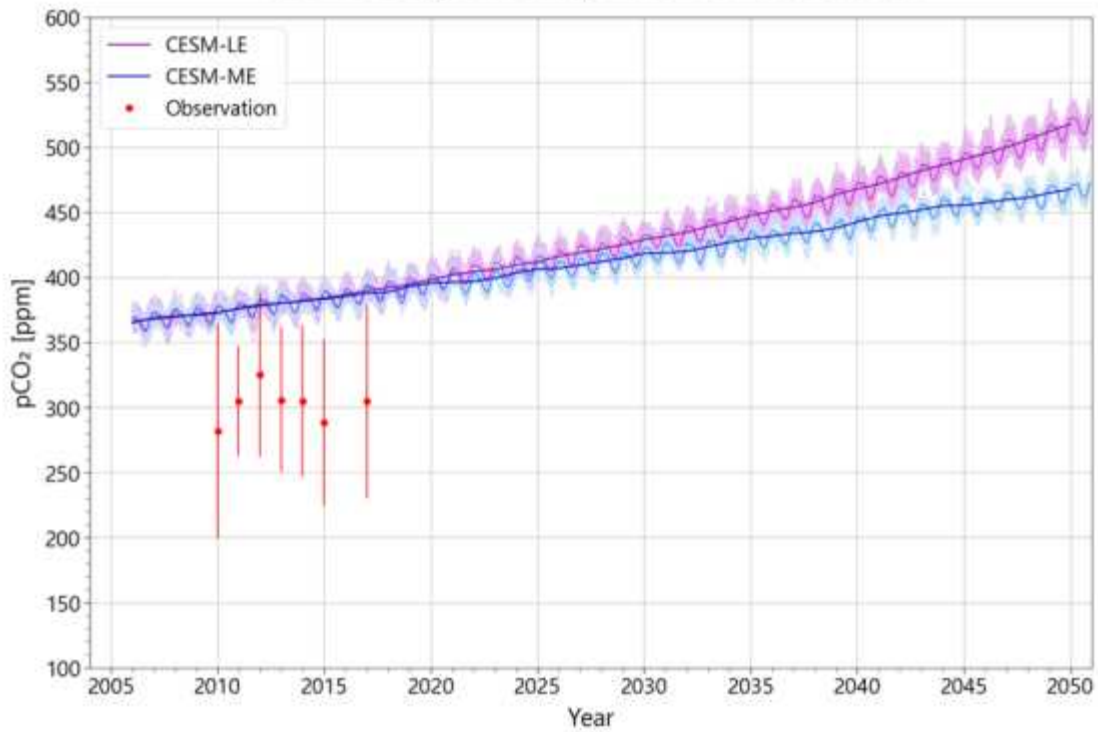


그림 10 CESM Large Ensemble의 결과와 관측값을 비교한 그림

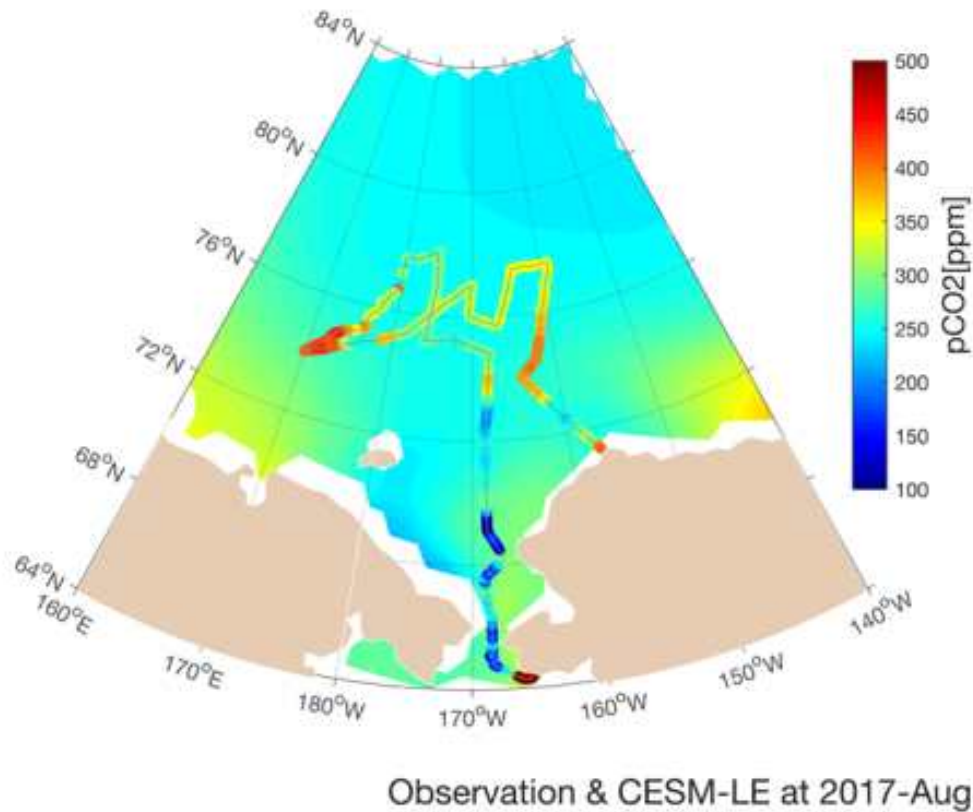


그림 11 CESM 모델의 pCO<sub>2</sub>와 관측된 pCO<sub>2</sub>의 공간분포. 전체적인 패턴은 대체로 일치하나 그 농도의 차이는 상당하여 개선이 요구된다.

## 2. 기대효과

### 가. 기술적 측면

- 현장접근이 어려워 그 중요성에도 불구하고 현장관측 자료가 극히 부족한 극지해역의 이산화탄소농도 자료를 축적하고, 극지해양에서의 탄소순환의 이해 증진을 도모한다.
- 기후변화를 조절하기 위한 기존의 이산화탄소등의 장기체류형 온실기체 이외의 휘발성 유기화합물과 같은 유기기체의 배출 및 흡수 등 거동에 관한 극지해양의 역할을 평가하므로써 국제사회에서 기후변화연구를 선도적으로 이끌 기반을 축적한다.
- 지구모델 (Earth system model)을 이용하여 관측결과를 분석하고 배출량을 추정함으로써, 이에 관한 활용을 높여 차후 현장에서 축적되는 자료의 해석 및 확장적 응용에 기여한다.

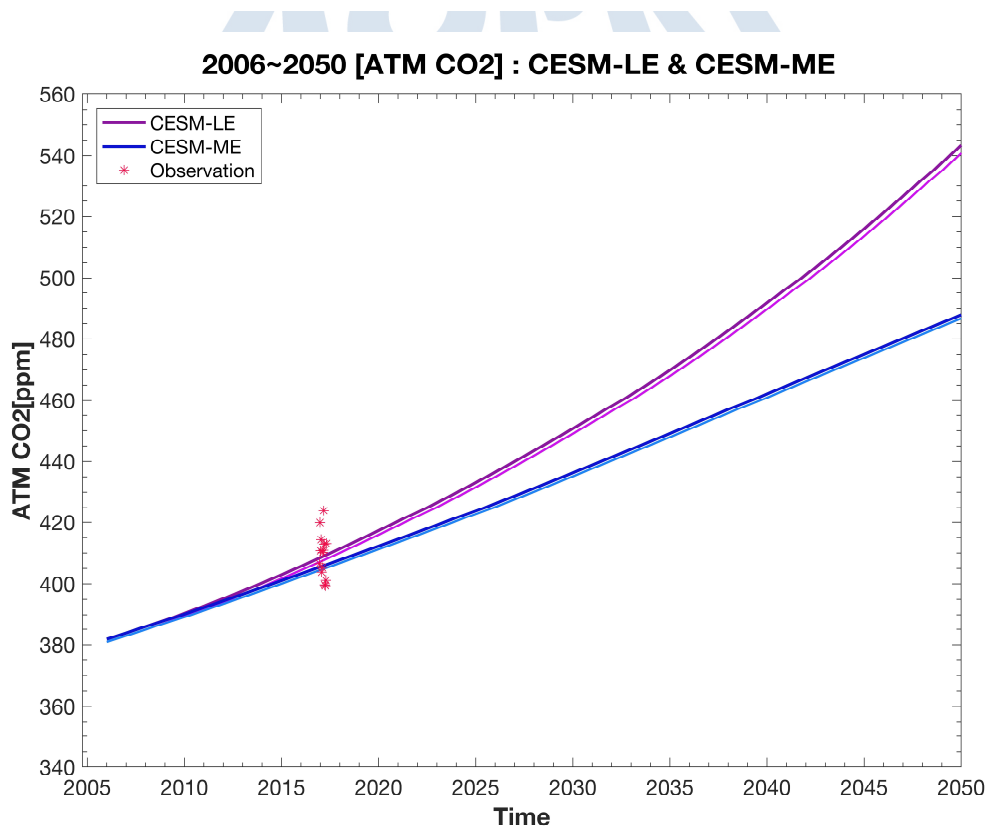
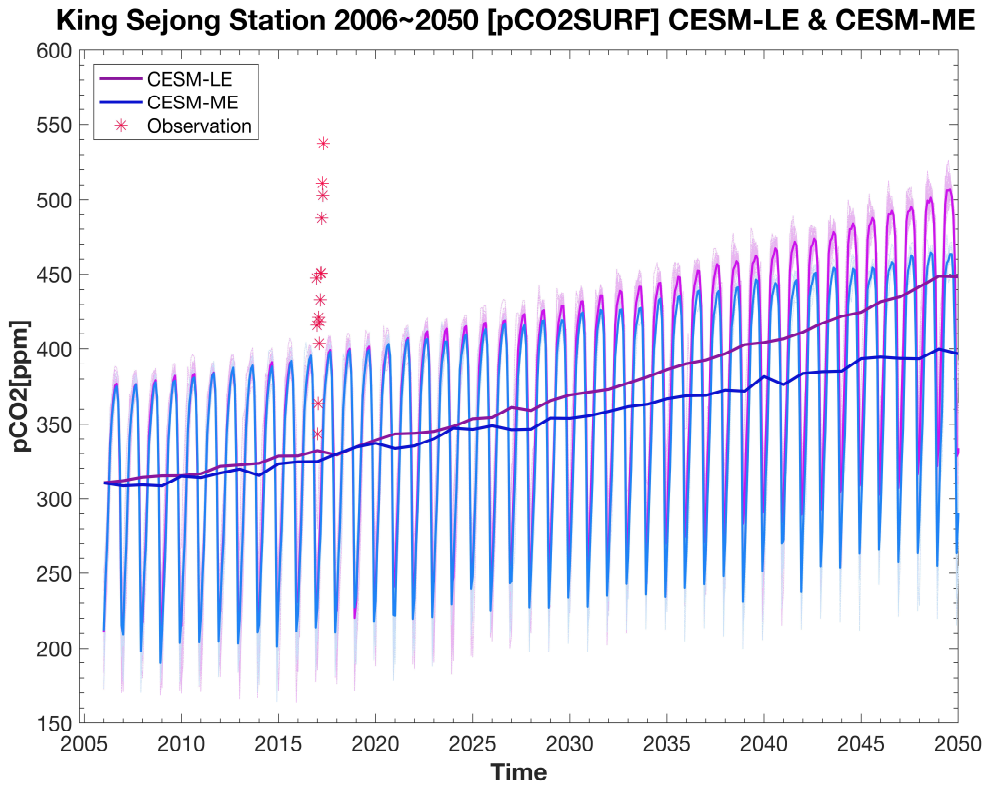
### 나. 경제 산업적 측면

- 파리협약을 비롯한 온실기체의 배출량에 관한 규제를 위한 기반 정보를 제공하여 정확하고 과학적인 배출량 산정을 통해 지구의 기후변화를 잘 조절할수 있도록 한다.
- 또한, 기후변화에 관한 이해를 증진시키고 이에 대한 극지해양의 중요성을 부각시켜 앞으로 극지해역의 보존 및 활용가치에 대한 중요성을 인식시킨다.

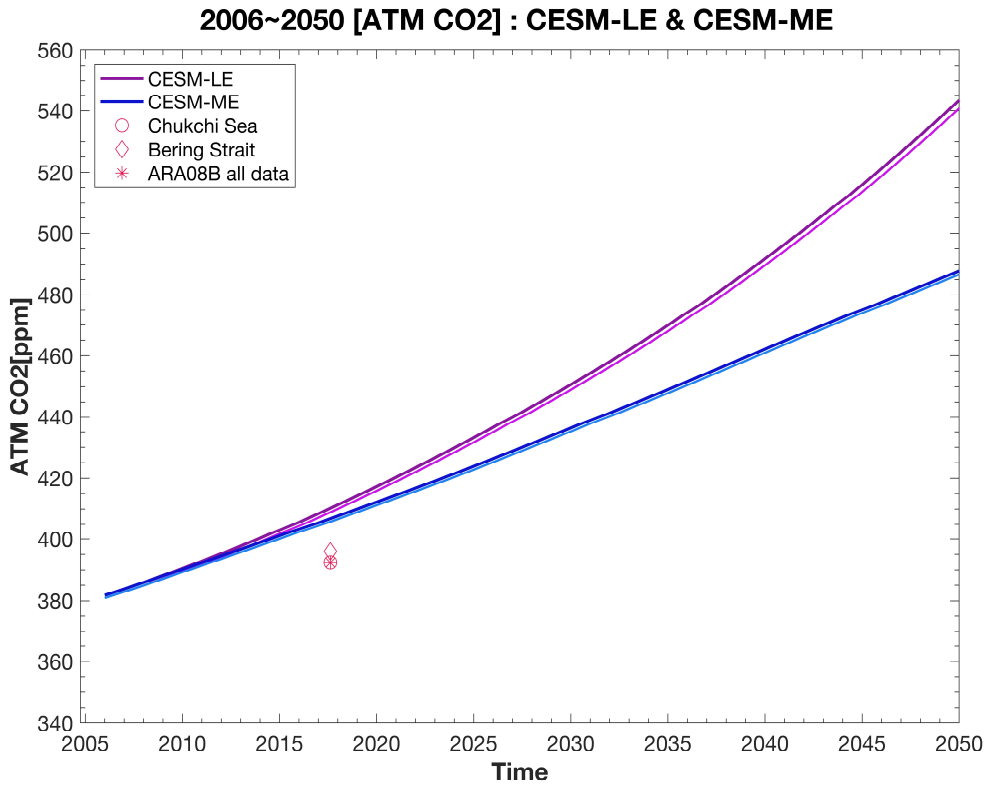
### 다. 활용방안

- 극지연구소의 극지데이터 센터를 적극 활용하여 기후기체에 관해 관측된 자료 및 모델 결과를 공개하여 자유롭게 과학자들이 접근 가능하게 하며, 이를 통해서 극지연구소의 기후변화 연구에 있어 위상을 강화
- 또한, 국제공동연구를 통해 극지역 기후기체의 거동에 관한 모니터링 네트워크를 구축하고 참여하여 앞으로의 기후변화에 대비
- 모델연구의 결과를 앞으로의 지구환경의 변동과 연관지어 미래 극지해양의 환경변화를 예측하는데 활용가능

[부록1] 세종기지 및 북극해의 이산화탄소관측 결과와 모델 결과의 비교

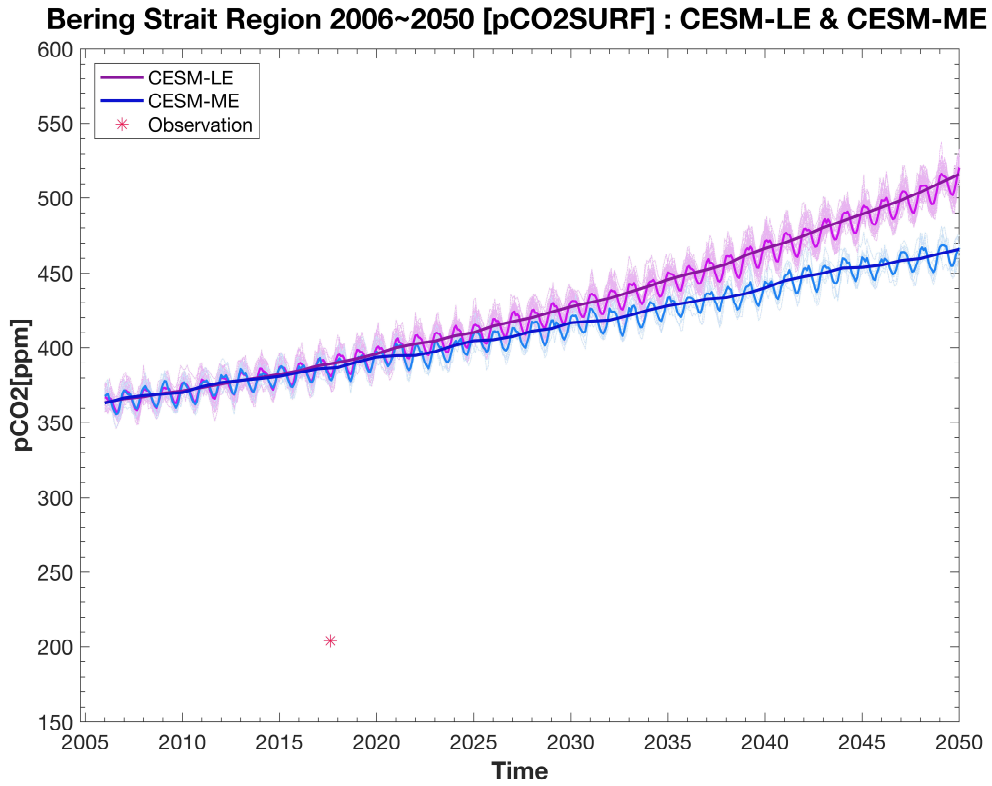


부록 그림 1. 세종기지의 CESM large ensemble (자주색) 및 medium ensemble (파란색) 모델 결과와 관측치의 비교. 위의 그림은 용존이산화탄소이고 아래는 대기중의 이산화탄소를 비교하였다. 대기중의 농도는 모델에서 잘 묘사되고 있으나 상대적으로 해양에서는 상당히 모델이 농도가 적게 보였다.



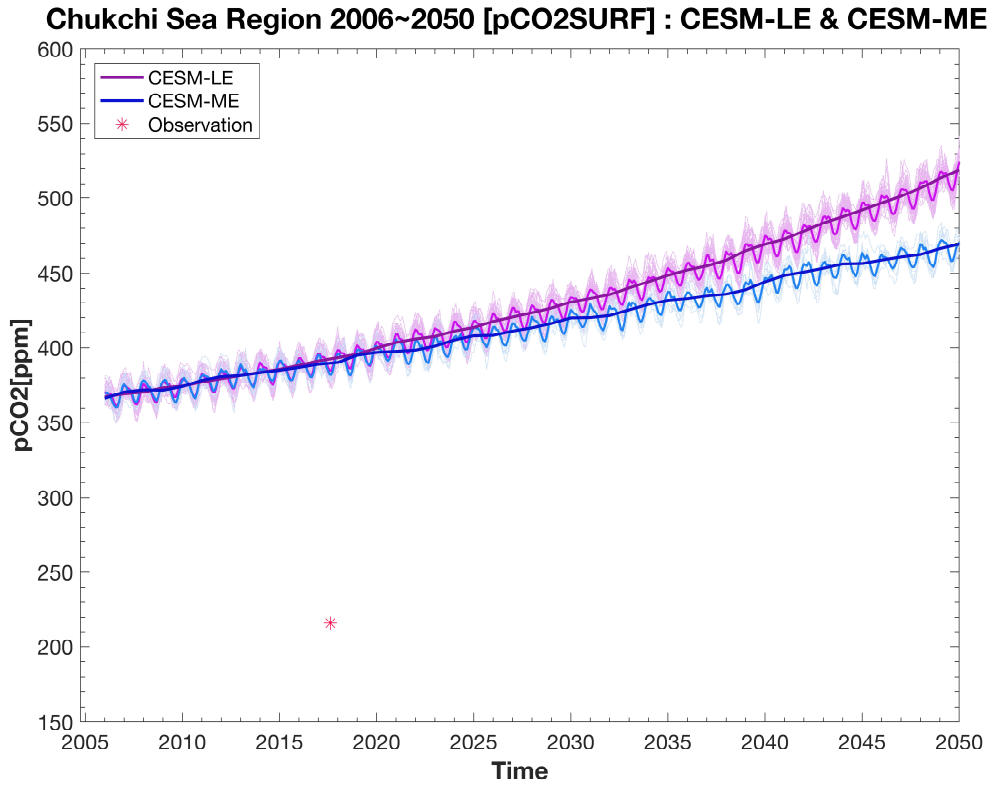
부록 그림 2. 2017년 북극해의 CESM large ensemble (자주색) 및 medium ensemble (파란색) 모델 결과와 관측치의 대기중 이산화탄소 농도 비교. 북극해에서 척치해와 베링해지역의 농도 차이는 적었다. 남극과 달리 북극지역에서의 대기중 이산화탄소는 모델에서 약간 더 높게 묘사하고 있었다.

극지연구소



부록 그림 3. 2017년 북극지역 베링해의 CESM large ensemble (자주색) 및 medium ensemble (파란색) 모델 결과와 관측치의 용존 이산화탄소 농도 비교. 관측값이 훨씬 낮으며 모델에서 생물학적 펌프에 의한 이산화탄소의 흡수가 잘 묘사되고 있지 못함을 알 수 있었다.

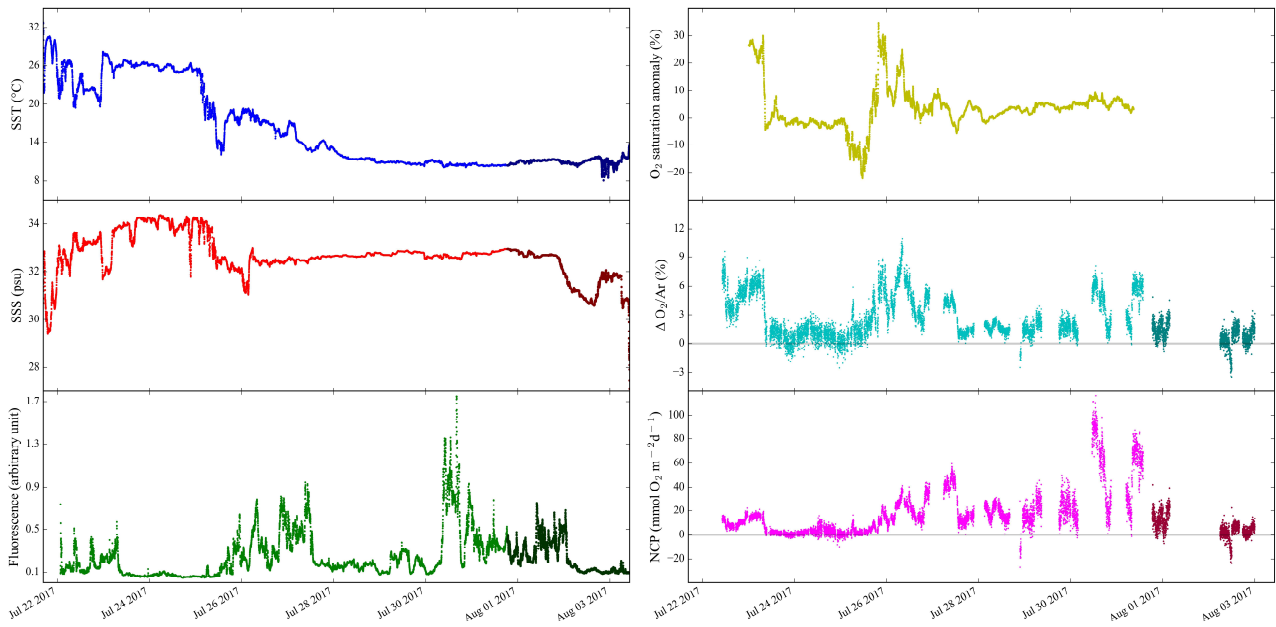
극지연구소



부록 그림 4. 2017년 북극지역 적치해의 CESM large ensemble (자주색) 및 medium ensemble (파란색) 모델 결과와 관측치의 용존 이산화탄소 농도 비교. 베링해와 마찬가지로 관측값이 훨씬 낮으며 모델에서 생물학적 펌프에 의한 이산화탄소의 흡수가 잘 묘사되고 있지 못함을 알 수 있었다.

극지연구소

[부록2] 2017년 아라온 북극 이동항해에 획득 시계열 자료



부록 그림5. 2017년 아라온의 북극항해의 이동경로 (인천-늪) 구간에서 얻은 환경 변수들.





## 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.