

쇄빙연구선 이동궤적 활용 방안 연구

Planning study

on better use of the global trajectory
of a research icebreaker



2024. 2. 29.

한국해양과학기술원
부설극지연구소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “쇄빙연구선 이동궤적 활용 방안 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



총괄연구책임자 : 신 형 철

참 여 연 구 원 : 김 일 찬
김 성 중
김 현 철
박 승 현
서 원 상
신 동 섭
양 은 진
이 주 한
주 동 찬
최 영 준

보고서 초록

과제관리번호	PE22660	해당단계 연구기간	2022.12.01.~2023.09.30		단계 구분	
연구사업명	중 사업명	연구정책지원사업				
	세부사업명					
연구과제명	중 과제명	정책 . 지원과제				
	세부(단위)과제명	쇄빙연구선 이동궤적 활용 방안 연구				
연구책임자	신 형 철	해당단계 참여연구원수	총 : 11 명 내부 : 11 명 외부 : 0 명	해당단계 연구비	정부: 기업: 계:	천원 천원 천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 생명과학연구본부		참여기업명			
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :					
위탁연구	연구기관명 : 연구책임자 :					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)					보고서 면수	
<p>세계 대양을 항해하는 연구선의 이동궤적이 제공하는 관측 및 교육 훈련장 기회에도 불구하고 이러한 잠재력이 아라온호의 상시 프로그램으로 정착되거나 안정적인 장기 연구과제가 되지 못하였다. 쇄빙연구선의 이동궤적 활용만으로 혹은 교육훈련만으로 대형 국가연구개발사업을 개발할 가능성에 대해서 크게 희망적이지 않고 특히 지금의 연구비 배분 환경으로 보면 더욱 불리하다. 비교적 작은 투자로 성공사례를 만들어갈 수 있도록 극지연구소와 학계, 산업계가 협력하는 시범사업 운영이 대안이 될 수 있다.</p> <p>극지연구소는 연구선 사용시간과 1인의 지도감독 전문인력과 최소 규모의 과정 이수자가 연구항해를 유지할 수 있는 실비 지원을 제공한다. 학계는 그 해의 특수 관측항목에 대한 전문역량을 제공하고 민간업체 또한 인력 파견으로 기본 관측을 지원하는 프로그램을 구상할 수 있다. 7월 북극항 항차를 활용할 때 특히 출항 후 초반에 배타적 경제수역을 피하는 이동 경로를 선택하되 베링해의 Donut Hole 같은 배타적경제수역의 이원 수역에서 1일 혹은 2일을 보장하면 이동경로 상 관측의 과학적 교육적 가치를 신장시키며 가시적 정량적 성과로 이어질 수 있는 자료를 얻을 가능성이 높아질 것이다. 쇄빙연구선의 이동궤적을 활용하는 프로그램을 후원할 수 있는 재원은 정확하게 부합하는 한 종류를 생각하기도 어렵고 선택지는 다양할 수 있다. 최적의 선택은 아니더라도 극지연구소의 정책지원사업으로 1년에 2-4명의 대학원 학생과 연구실, 연구소와 민간업체를 참여시키는 소규모 협력을 가동시켜 대중과 정책입안가들에게 투자 대비 효용을 분명하게 각인시키는 것이 차선택이 될 수 있으며 이를 차세대 쇄빙연구선이 건조될 때까지 2024-206년 3개년에 대해 마련할 것을 권고한다.</p>						
색인어 (각 5개 이상)	한 글	쇄빙연구선, 이동궤적, 연속관측, 중장기 자료, 공공자료, 교육 훈련				
	영 어	research icebreaker, trajectory, underway observation, long term data, public data, education and training				

요 약 문

I. 제 목

쇄빙연구선 이동궤적 활용 방안 연구

II. 연구개발의 배경, 목적 및 필요성

- 세계 대양을 항해하는 연구선의 이동궤적이 제공하는 관측 및 교육 훈련장 기회에도 불구하고 이러한 잠재력이 아라온호의 상시 프로그램으로 정착되거나 안정적인 장기 연구과제가 되지 못하였다. 현재 아라온호 사용시간에 대한 수요가 워낙 커서 하루라도 빨리 남북극 연구해역에 도달해야 하기 때문에 이동궤적에 추가 시간이나 자원을 배정해서 따로 설정한 연구목표에 걸맞는 관측을 수행하기 어렵고 예상가능한 성과 창출 계획을 세우기 상대적으로 어렵고 중장기 관측자료가 축적될 수 있는 시간이 필요하다는 애로가 있다.

III. 연구개발의 내용과 범위

3.1

- 해양학회와 극지연구소 관련 연구자를 주요 대상으로 한 설문조사 결과는 쇄빙연구선 이동궤적 활용 프로그램에 대한 일반적인 관심이 큰 것을 확연히 보여주었다.
- 또한 2023년 해양학회 학술대회 특별 세션으로 소화된 모범 사례 제시 및 의견 수렴과정에서도 아래와 일맥 상통하는 견해와 조언이 접수되었다.
- 설문조사 후 적극응답자를 대상으로 시행된 면담에서 다양한 전문가 의견 표출
 - 통상적인 의미의 현장 조사와 달리 표층에 그치고, 변침이 거의 허용되지 않는 단선 관측, 더구나 1년에 1회-2회 관측으로는 동태(動態)를 연구하는 것이 거의 불가능하다는 한계를 분명하게 의식하고 있었다.
- 수온, 염분, pH, 엽록소, 이산화탄소 분압과 같은 항목은 연구소가 수집부터 품질관리까지 담당하는 기반을 제공하고, 데이터베이스화 하되 비교적 쉽게 성과를 창출할 수 있는 독특한 관측 항목을 외부 연구자가 측정할 때 연관 자료로 사용할 수 있게 한다.
- 비교적 쉽게 성과를 창출할 수 있는 관측 항목의 사례로 용존산소와 아르곤 기체를 활용한 순군집생산, 식물플랑크톤의 색소 및 분류군 조성, 환경 DNA, 에어로졸, 각종 온실기체, 이미지 자료에 근거한 동물플랑크톤 군집의 조성변화 등을 예로 들 수 있다.

- 연구선의 이동경로에서 행해진 관측으로 유의미한 결과를 도출한 선례가 많이 있으며 문헌조사를 통해 추출해봤을 때 다음과 같은 5개의 큰 범주로 분류할 수 있다.
 - 광역 정지사진 snap shot 촬영형 연구; 대체적인 분포와 상황을 보여주는, 일부 생물지리학(biogeography)형 연구, 가장 많은 연구 성과가 나와있는 경우
 - 검증자료 제공형 연구; 탐사결과 검증 validation 용도의 자료 ground-truth data 수집형
 - 목표 지정 관측형 연구; 특이현상 규명 위한 목적관측형 (예, oligotrophic gyre)
 - 추세/경향 파악형 연구; 중장기 자료 축적에 기반한 추세와 경향 파악
 - 다학제 조합 설계형 연구; 다학제 관측 후 의미 부여형

3.2

- 정례화되지는 못했지만 이동항로를 활용하기 위한 꾸준한 노력이 기회를 활용하는 형태로 있었다; 예를 들어 2012 북극항, 2014 남극항, 2016 북극항, 2017 북극항 이동항해가 이용되었음
- 이동 관측 외에 경우에 따라 ~10개의 정선(停船) 관측 정점을 조사하기도 하였다
- 7-8편의 SCI급 학술 논문이 출간되었다 (Gal 등 2018, Kim 등 2016, Kim 2017, Park and Rhee 2015, Park 등 2020)
- 단년도 성격의 연구소 연구사업이 이를 후원한 경우도 있으며 대형 국가 연구개발사업이 중요하고 큰 기여를 한 경우가 종종 있었다 (해양수산부 북극해 연구사업, 과학기술부 북극 동토층 연구사업 등)

3.3 연구소 그동안 노력과 성과의 시사점

- 성공 사례는 온실기체와 에어로졸 관측 등 자동화 장비를 활용한 연속 관측이나 시료 수집과 사후분석이 만들어낸 성과인 경우가 종종 있음. 해수의 물성과 같은 특성은 정선 없이 표층수만 대상으로 해서는 의미있는 관측을 수행하기에는 여러가지 애로가 있으며 XCTD 혹은 underway CTD 등의 대안이 필요하다.
- 학위 과정 대학원 학생 혹은 연수연구원의 투입과 성과 산출이 더 유리한 기회가 될 것이다
- 앞에서 언급한 대형 국가연구개발사업의 비정기적 간헐적 지원이 큰 효과를 발생시킨다.

3.4 극지연구소의 DaDiS (Data Distribution System) 자료 사례

- 수온 염분 형광 (해수 인입 장치에 부착된thermosalinograph, fluorometer), 기상자료, 수심자료 가용
 - 추적/추출 가능하게 보관되어 있으나 validation/verification 필요할 것
 - 연구소 승인과 지원 없는 외부 접근은 가능하지 않으며, 아직까지 요청이나 인출해서 활용한 경우 거의 없음
- *이산화탄소 분압(pCO₂); 연구소 기술지원실의 개입과 지원 있고 자료 보관은 되어 있으나

품질관리와 활용이 개인 연구자에게 맡겨진 상태

*최소한의 정확도와 정밀도를 갖되 유지 수요가 적은 새로 보급되는 CO₂ 센서 고려 필요

IV. 연구개발의 결과

- 학계를 대상으로 한 설문조사에서 이동경로를 활용한 승선프로그램의 가치에 대한 인정과 기대는 분명하였다. 기본적인 항목의 관측을 연구소가 유지해주기 바라는 기대는 뚜렷하고 단선 관측의 한계를 인정하면서 자동화된 관측장비를 이용하되 몇가지의 관측을 선택적으로 조합해서 목적지향적 관측을 시행하는 것이 성과 창출로 이어질 것으로 보인다.
- 적어도 처음 시작 단계에서는 다수의 학부생을 대상으로 하기보다 소수의 대학원 학생들이 학위논문의 일부를 구성할 수 있을 정도로 분명한 성과를 계획적으로 산출하되 학계에서도 연구소에서도 지도 인력을 파견하는 것이 필요하다는데 공감대가 있었다. 7월에 아라온호가 북극으로 향할 때가 가장 현실적인 기회가 될 것이라는 의견이 많았다.
- 문헌 조사 결과 반드시 남북극을 왕복하는 경로가 아니더라도 집중 관측 구역이 아닌 대양을 항해하는 과정에서 얻는 성과들은 대략 5가지 형태로 구분할 수 있었다. 1) 대체적인 분포와 상황을 보여주는 정지사진 촬영형, 2) 인공위성 관측과 같은 원격탐사 결과를 검증하는 현장자료 수집형, 3) 특이현상 규명을 위한 목적 관측형, 4) 10년 혹은 그 이상의 중장기 추적 자료를 기반으로 한 추세/경향 파악형, 5) 몇 개의 선택 항목에 대한 다학제 조합 관측 및 상호작용 설명형이 그와 같은 큰 분류에 해당한다.
- 수온, 염분, 형광엽록소, 이산화탄소 분압과 같은 항목은 연구소가 수집부터 품질관리까지 담당하는 기반을 제공하고, 데이터베이스화 하되 비교적 쉽게 성과를 창출할 수 있는 독특한 관측 항목을 외부 연구자가 측정할 때 연관 자료로 사용할 수 있게 한다. 비교적 쉽게 성과를 창출할 수 있는 관측 항목의 사례로 용존산소와 아르곤 기체를 활용한 순군집생산, 식물플랑크톤의 색소 및 분류군 조성, 환경 DNA, 에어로졸, 각종 온실기체, 이미지 자료에 근거한 동물플랑크톤 군집의 조성변화 등을 예로 들 수 있다.
- 쇄빙연구선의 이동궤적 활용만으로 혹은 교육훈련만으로 대형 국가연구개발사업을 개발할 가능성에 대해서 희망을 크게 갖지 않고 특히 지금의 연구비 배분 환경으로 보면 더욱 불리하다. 비교적 작은 투자로 성공사례를 만들어갈 수 있도록 극지연구소와 학계, 산업계가 협력하는 시범사업을 운영할 수 있다. 극지연구소는 연구선 시간과 1인의 지도감독 전문인력과 최소 규모의 과정 이수자가 연구항해를 유지할 수 있는 실비지원을 제공하고 대학은 그 해의 특수 관측항목에 대한 전문역량을 제공하고 민간업계 또한 인력 파견으로 기본 관측을 지원하는 프로그램을 구상할 수 있다. 7월 북극항 향차를 활용할 때 특히 출항 후 초반에 배타적 경제수역을 피하는 이동 경로를 선택하되

베링해의 Donut Hole 같은 배타적경제수역 이원 수역에서 1일 혹 2일을 보장하면 이동경로 상 관측의 과학적 교육적 가치를 신장시키며 가시적 정량적 성과로 이어질 수 있는 자료를 얻을 가능성이 높아질 것이다.

V. 연구개발의 활용 계획

- 쇄빙연구선의 이동궤적을 활용하는 프로그램을 후원할 수 있는 재원은 정확하게 들어맞는 하나의 종류이기도 어렵고 선택지는 다양할 수 있다. 하지만 신규 대형 국가연구개발사업을 발굴할 여력이 줄어든 최근 분위기와 기존의 일반적 성격 상대적 소액사업들이 감액 혹 취소되는 현재, 가능성을 유지하는 대안 역시 필요하다. 차세대 쇄빙연구선이 가동되리라고 기대되는 2027년까지 여유시간을 더 짜내기 어려운 현실은 적어도 3년은 계속될 것이다.
- 최적의 선택은 아니지만 극지연구소의 정책지원사업으로 1년에 2-4명의 대학원 학생과 연구실, 연구소와 민간업체를 참여시키는 소규모 협력을 가동시켜 대중과 정책입안가들에게 투자 대비 효용을 분명하게 각인시키는 것이 차선택이 될 수 있다. 이러한 프로그램을 차세대 쇄빙연구선이 건조될 때까지 2024-2026년 3개년에 대해 마련할 것을 권고한다.



목 차

제 1 장 연구개발 과제의 개요

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과

1절 설문조사와 인터뷰

2절 교육 훈련 현황

3절 사례 조사

4절 시범사업 제안

제 3 장 연구개발결과의 활용 계획

제 4 장 참고 문헌

부록 - '쇄빙연구선 이동궤적 활용 관측과 교육 훈련 기회 발굴을 위한 기획' 연구 결과 보고서 (학술용역 결과)



제 1 장. 연구개발 과제의 개요

- 세계 대양을 항해하는 쇄빙연구선의 이동 궤적이 제공할 수 있는 잠재력과 기회는 크고 이미 충분히 알려져 있다. 장단기 지구환경변화와 생태계 반응을 추적 감지하는데 쓰일 수 있는 중장기 관측자료의 생성, 선상 활동과 관측에 참여할 수 있는 미래 세대의 양성과 교육훈련, 개방되고 사후에라도 재해석될 수 있는 공공자료의 생성과 관리가 대표적인 분야로 들 수 있다.
- 이미 존재하는 우수 선례 (예 AMT) 그리고 최근에도 여러 해외기관에서 이행하고 있는 유사 모범사례가 있다.
 - * 영국의 쇄빙연구선을 이용하는 대서양 횡단 프로그램 AMT의 경우 1995년에 시작되어 거의 30년에 가까운 역사를 갖고 있으며 70명 이상의 학위과정생을 지원하고 400편 이상의 동료평가 논문을 산출한 바 있음.
- 하루가 아쉬운 연구선 사용시간; 이동경로에 추가시간을 배당하기 매우 어려운 조건, 최초 유일 쇄빙연구선 아라온호 건조 단계부터 이 기회에 주목했고 기획내용에도 포함되었지만 간판 프로그램 중 하나가 되지 못한 결정적 이유로 생각된다.
- 그동안 연구소에서 꾸준한 노력이 있었지만 산발적이고 간헐적인 경향이 있으며 다분히 기회의존적이고 1회적이라, 정착 후 정례화와 거리가 있음. 결과적으로 시계열 연속자료(time series)를 생산하는 단계로 발전하지 못했다.



그림1. 쇄빙연구선 아라온 이동궤적 사례

- 연구기관의 인프라 자산, 특히 연구선에 대한 학계의 개방 수요와 압력, 그리고 부처의

- 공감과 호응이 있었다.
- 학계의 직접적인 연구소 접근과 매우 적극적인 권유가 (대형연구개발사업으로 개발할 수 있다는 학계 최초 제안자의 확신이 일부 작용) 있었다.
 - 공공 데이터 개방과 공유를 북돋는 추세, 학문후속세대 양성, 교육에 대한 관심 (해양 유관 분야 일자리 창출에 대한 관심) 또한 배경으로 작용했다.
 - 극지연구소 연구정책지원사업 형태로 기획연구를 수행하는 것으로 (다양한 논의와 의견교환 끝에) 귀결되었다; 학술용역을 시행해서 안을 형성하는 바탕으로, 5천만원 (4천5백만원 + 5백만원)
-
- 설문 형태의 저변 수요와 선호 조사 (용역수행자 자료 배부 가능)
 - 해양학회 특별 세션 개최
 - 전문가 심층 인터뷰 (설문 응답자 중 선별/적극 case)
 - 학계와 업계 보완 인터뷰 (별도)
 - 연구비 배분/평가 기관 보완 인터뷰 (별도)
 - 유관학과 프로그램, 참고할 만한 국내외 프로그램, 문헌조사
 - 향후 3년을 위한 Draft proposal 구성
 - 학계 반응과 의견 수렴, 연구소 내 반응과 의견 수렴



제 2 장. 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절. 설문조사와 인터뷰

- 해양학회와 극지연구소 관련 연구자를 주요 대상으로 한 설문조사 결과는 쇄빙연구선 이동경로 활용 프로그램에 대한 일반적인 관심이 큰 것을 확연히 보여주었다.
- 응답자들은 대부분 자신의 전공에 직접적으로 관련 있는 관측항목의 중요성을 인정했고 관측이 필요하다는 의견이었지만 또 동시에 비교적 손이 적게 가는 자동화 관측의 장점과 다학제 관측의 필요에 공감했다. 하지만 대양을 가로지르는 이동을 통해 해결할 수 있는 대형연구주제나 가설에 대한 적극적 의견 개진이 없었다.
- 설문조사 후 적극응답자를 대상으로 시행된 면담에서 다양한 전문가 의견 표출
 - 통상적인 의미의 현장 조사와 달리 표층에 그치고, 변침이 거의 허용되지 않는 단선 관측, 더구나 1년에 1회-2회 관측으로는 동태(動態)를 연구하는 것이 거의 불가능하다는 한계를 분명하게 의식하고 있었음
 - 특히 물리해양학 연구자들이 이런 견해를 표하는 경우가 흔했다. 또한 설문 응답을 요청할 때부터 연구선을 규칙적으로 멈춰서 채류시킴 없이 이동항해만으로 달성할 수 있는 과제를 주문한 것도 큰 배경요인이다.
- 제한적인 혹은 일회성 관측으로도 일정 성과를 창출할 수 있는 연구에 집중할 필요가 있다는 지적이 있었음. 사실 아라온호나 다른 연구선의 궤적을 사용한 성공사례가 이미 있다.
- ※ 또한 2023년 해양학회 학술대회 특별 세션으로 소화된 모범 사례 제시 및 의견 수렴과정에서도 아래와 일맥 상통하는 견해와 조언이 접수되었다.
- ※ 설문조사와 결과는 이 보고서의 별책부록으로 제공된다.
- ※ 해양학회 특별 세션의 발표자료는 연구책임자에게 문의하여 제공될 수 있다.

1.1 의견과 제안의 요약

- 수온, 염분, pH, 엽록소, 이산화탄소 분압과 같은 항목은 연구소가 수집부터 품질관리까지 담당하는 기반을 제공하고, 데이터베이스화 하되 비교적 쉽게 성과를 창출할 수 있는 독특한 관측 항목을 외부 연구자가 측정할 때 연관 자료로 사용할 수 있게 한다.
- 비교적 쉽게 성과를 창출할 수 있는 관측 항목의 사례로 용존산소와 아르곤 기체를 활용한 순균집생산, 식물플랑크톤의 색소 및 분류군 조성, 환경 DNA, 에어로졸, 각종 온실기체, 이미지 자료에 근거한 동물플랑크톤 군집의 조성변화 등을 예로 들 수 있다.

제 2 절. 교육 훈련 현황

- 학부 2-4학년 전공(필수/선택)과목으로 선상실습 (S, C, P, I 대학), 대개 3(혹 2)학점, 학기 중 (덜 짝 찬) 이론 강의, 5(1)일 승선, 부경대 나라호, 수집 자료의 활용은 거의 없음 (그냥 연습), 예외적으로 조사 정점들을 정형화하고 대학원생 필수 승선으로 정기관측 플랫폼으로 사용하는 경우도 있음. 이 경우 지도교수가 고정적인 경향이 있음
- 승선 관측 기회 원칙적 환영하나 대학원 특화형, 주제연계형을 유지해야 “지속가능”하다 의견 다수

제 3 절. 사례 조사

대표적인 연구선 이동경로 활용 장기 대양 횡단 사업인 AMT에 대해서는 매 10년이 지날 때마다 그 취지와 성과 등에 대해 종설 형태의 논문을 출간해서 잘 알려져 있다 (Rees 등 2015, Robinson 등 2006). 연구선은 아니지만 늘 같은 경로를 반복적으로 주행하는 정기 여객선에 관측장비 일습을 하나의 상자 안에 담아 설치하는 프로그램도 좋은 보기가 될 수 있을 뿐 아니라 참고할 수 있는 표준절차도 개발되어 있다 (Macovei 등 2021, Petersen 등 2023). 선체의 길이가 18미터에 불과한 범선에 의존했지만 Tara expedition 역시 여러 차례 대양을 항해하면서 광범위한 지리적인 구역에 대해 가치 있는 다양한 해양환경 자료를 수집했다. 항해마다 시의적절한 주제를 표방하며 격자형으로 배치한 관측정점을 포함하는 연구해역을 설정하지 않고도 대양 이동궤적을 활용해 표층 자료를 수집하는 관측프로그램으로 자리매김하고 있다 (Planes 등 2023, Sunagawa 등 2020). 최근 새로 보급되는 기술 또한 연구선 이동궤적 항해에 적극 수용할 가치가 있으며 환경 DNA가 단적인 예가 될 것이다. 서식 환경에 남아있는 DNA 조각에 포함된 유전자 특성을 분석하는 것으로 식물 생체 표본이 없는 상태에서도 생물 다양성 규명을 가능하게 하는 환경 DNA의 보급은 혁신적인 기술 진전이었다. 환경 조건이 점차적으로 변화하는 구배를 따라 달라지는 생물다양성을 환경 DNA를 통해 보여줄 수 있다 (Adams 등 2023). 이동 중에 오염 없이 채취한 해수 시료에서 얻는 환경 DNA를 상업용 선박에서 또 어선에서, 심지어 고래가 지나간 흔적에서 활용하여 생물다양성을 조사한 사례가 있고 (Valsecchi 등 2021, Maiello 등 2022, Baker 등 2018), 심지어 무인 자동화 방식으로 환경 DNA시료를 채취하는 방법도 개발되었다 (Preston 등 2023).

3.1. 문헌조사

- 연구선의 이동경로에서 행해진 관측으로 유의미한 결과를 도출한 선례가 많이 있으며 문헌조사를 통해 추출해봤을 때 다음과 같은 5개의 큰 범주로 분류할 수 있음.
 - 광역 정지사진 snap shot 촬영형 연구; 대체적인 분포와 상황을 보여주는, 일부 biogeography형 연구, 가장 흔하게 출간되는 논문 성과임
 - 검증자료 제공형 연구; 탐사결과 검증 validation 용도 자료 ground-truth data 수집형
 - 목표 지정 관측형 연구; 특이현상 규명 위한 목적관측형 (예, oligotrophic gyre)
 - 추세/경향 파악형 연구; 중장기 자료 축적에 의한
 - 다학제 조합 설계형 연구; 다학제 관측 후 의미 부여형

표1. 연구선 이동 궤적 활용 연구의 유형과 대표적 사례

	유형	대표적 특성	사례와 참고문헌
1	광역 정지사진 촬영형 연구	개략적인 분포와 현황의 묘사, 생물지리형 (biogeography) 연구	시아노박테리아의 생물지리 분포와 바이러스 (Carlson 등 2022), 동물 플랑크톤의 대양 광역 분포 (Culverhouse 등 2016), 대형 해양 바이러스의 생물지리 분포 (Ha 등 2023), 기체상 수은의 광역 분포 (Kim 등 2016), 메틸화수은 수지와 분포 특성 (Kim 등 2017), 북극해와 북태평양 에어로졸 광역 분포 (Park 등 2020), 일산화탄소(CO)와 오존 광역 분포 (Park 등 2015), 피코플랑크톤 색소 분석 (Zubkov 등 2000),
2	검증자료 제공형 연구	탐사결과 검증 (validation) 용도 자료 제공, ground-truth data 수집형	분광광도측정과 위성자료 기반 엽록소 값 추출 (Brewin 등 2016)
3	목표 지정 관측형 연구	특이현상 규명 위한 목적관측형 (예, oligotrophic gyre)	아열대 소용돌이 (gyre) 환경반응 특성 규명 (Aiken 등 2017)
4	추세/경향 파악형 연구	중장기 자료 축적에 근거한 경향 추출 및 특성 묘사	식물플랑크톤 색소 장기변화 (Aiken 등 2009), 표층이산화탄소 변화로 감지한 해양산성화 추세 (Kitidis 등 2017), 복수년도 연속 관측으로 감지한 해양 탄소 흡수능 변화 (Macovei 등 2021)
5	다학제 조합 설계형 연구	다학제 관측 후 의미 부여형	산소 아르곤 비로 추정된 순군집생산과 이를 좌우하는 환경요인 (Hahm 등 2014) 에어로졸의 화학 특성과 결정요인 (Loh 등 2023)

- 연구선의 이동경로에 사용하기 위해 적합한 관측 항목과 이를 위해 개발된 장비들이 다수 있고 여러 프로그램들이 활용하고 있다.
- O₂/Ar 균집 순생산 (NCP; net community production) 측정
- 어란(魚卵) 수집 (CUFES)
- flow cytometry
- 플랑크톤 연속채집기 (Continuous Plankton Recorder)

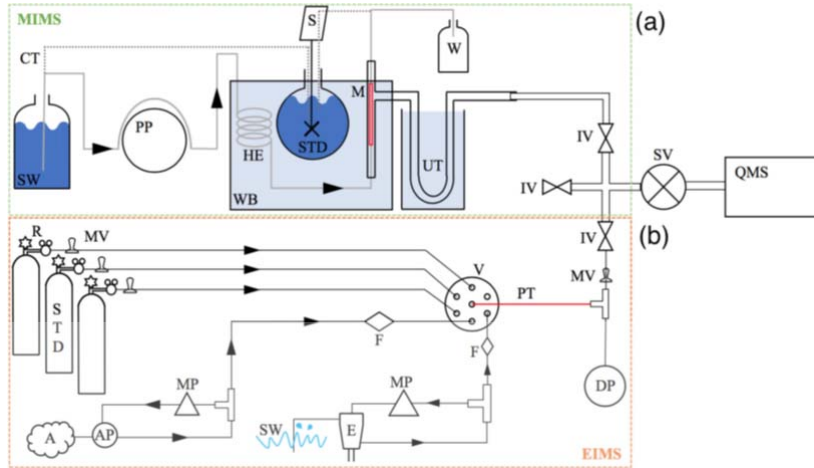


그림 2. O₂/Ar 균집순생산 (NCP) 측정 모식도



그림 3. 선상 어란 수집기 (CUFES)

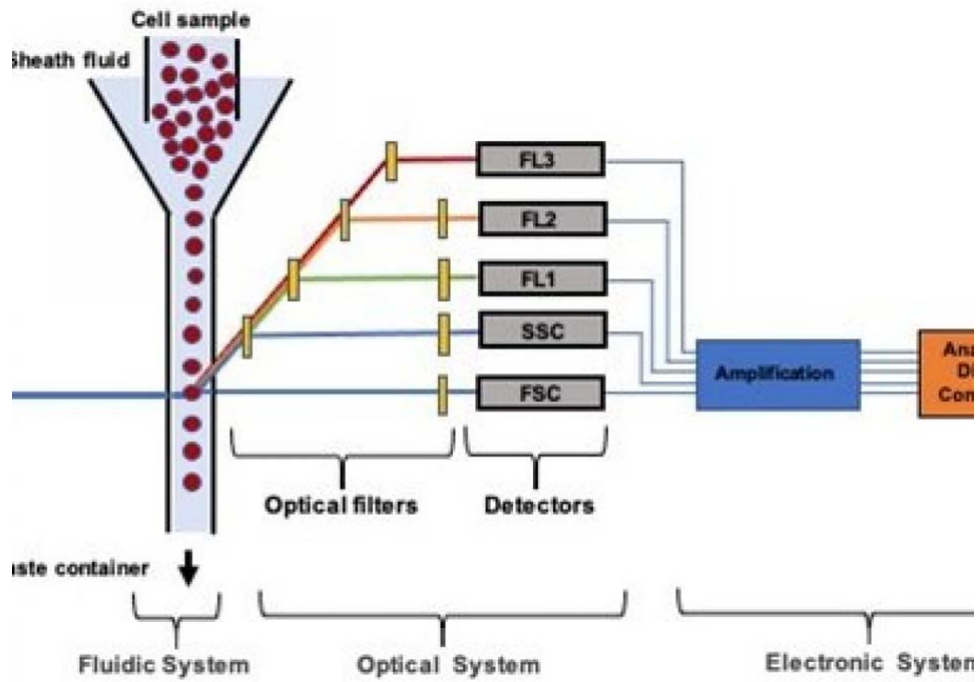


그림 4. flow cytometry 모식도

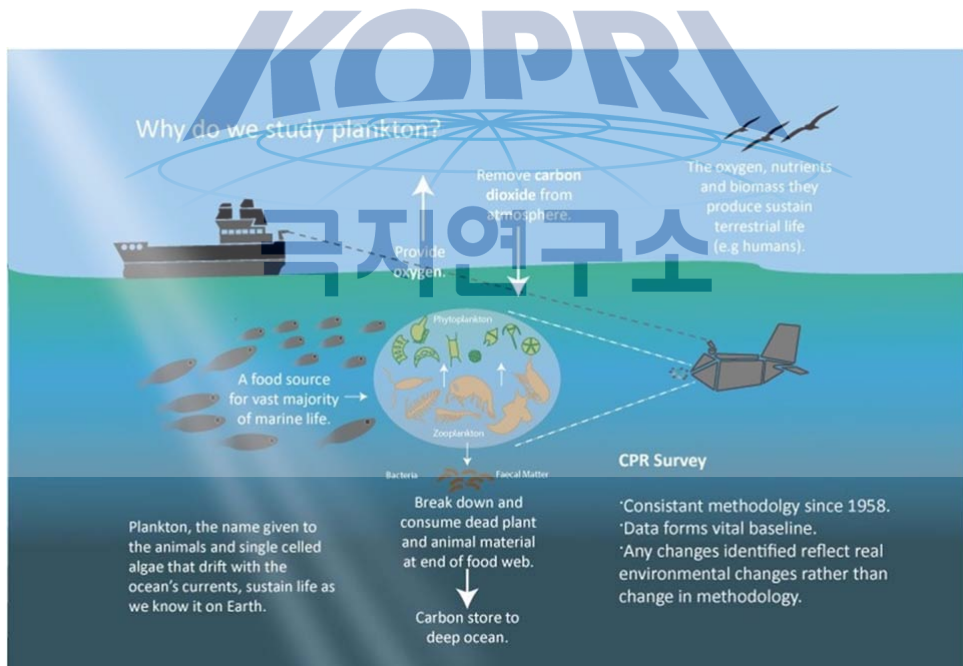


그림 5. 플랑크톤 연속채집기 (CPR)

3.2. 극지연구소의 기존 노력

- 정례화되지는 못했지만 이동항로를 활용하기 위한 꾸준한 노력이 기회를 활용하는 형태로 있었다; 예를 들어 2012 북극행, 2014 남극행, 2016 북극행, 2017 북극행 이동항해가 이용되었음.
- 이동 관측 외에 경우에 따라 ~10개의 정선(停船) 관측 정점을 조사하기도 했다.
- 7-8편의 SCI급 학술 논문이 출간된 바 있다 (Gal 등 2018, Kim 등 2016, Kim 2017,

Park and Rhee 2015, Park 등 2020).

- 단년도 성격의 연구소 연구사업이 이를 후원한 경우도 있으며 대형 국가 연구개발사업이 이동궤적 활용연구가 가능하도록 중요하고 큰 기여를 한 경우가 종종 있다 (해양수산부 북극해 연구사업, 과학기술정보통신부 북극 동토층 연구사업 등).

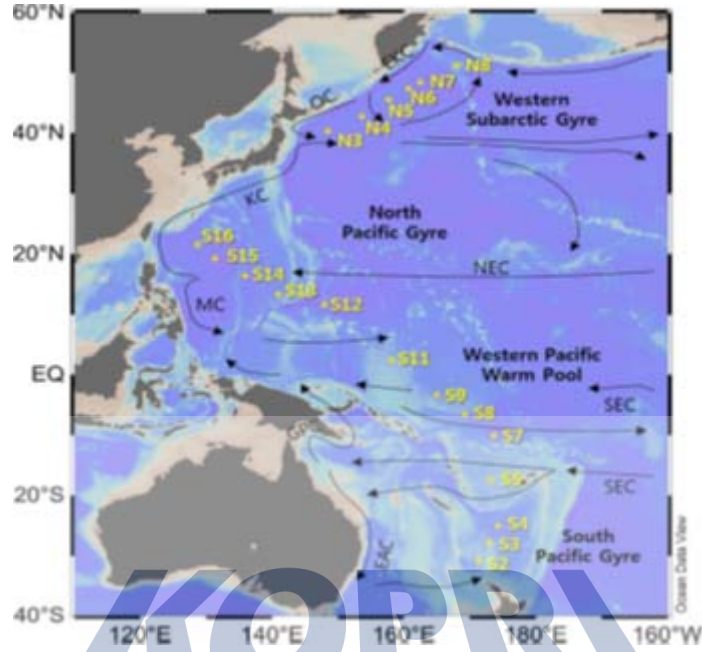


그림 6. 2012년 북극해 연구항해와 2014년 남극에서 북귀하는 이동항해 활용 궤적

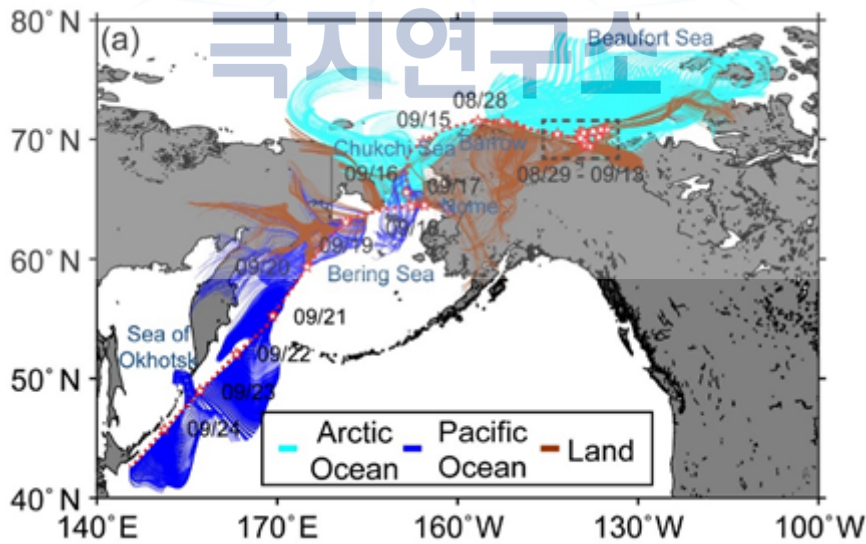


그림 7. 2017년 북극해 연구항해 활용 사례

- 학생 승선 사례; 2017년 I 대학교 해양학과 학부 학생 2명이 교육훈련형 승선 관측을 수행한 사례 있으며 당시 항차 보고서에 그 기록이 남아있음.
- 관측 부이 투하 기회 제공 사례; 기상과학원의 사례로 Argo 뜰개를 투하할 기회를 제공한 사례가 여러 해에 있음. 이 역시 항차 보고서에 기록이 남아있음.

3.3. 연구소 그동안 노력과 성과의 시사점

- 성공 사례는 온실기체와 에어로졸 관측 등 자동화 장비를 활용한 연속 관측이나 시료 수집과 사후분석이 만들어낸 성과인 경우가 종종 있음. 해수의 물성과 같은 특성은 정선 없이 표층수만 대상으로 해서 의미 있는 관측을 수행하기에는 여러가지 애로가 있으며 XCTD 혹 underway CTD 등의 대안이 필요하다
- 학위 과정 대학원 학생 혹 연수연구원의 투입과 성과 산출이 더 유리한 기회로 생각된다
- 앞에서 언급한 대형 국가연구개발사업의 비정기적 간헐적 지원이 큰 효과를 발생시킨다

3.4. 극지연구소의 DaDis (Data Distribution System) 자료 사례

- 수온, 염분, 형광 (해수 인입 장치에 부착된 thermosalinograph, fluorometer), 기상자료, 수심자료 가용
- DaDis 자료는 추적/추출 가능하게 보관되어 있으나 validation/verification이 추가로 필요할 수 있다.
- 연구소 승인과 지원 없는 외부 접근은 가능하지 않으며, 아직까지 요청이나 인출해서 논문 형태의 성과로 활용된 경우는 거의 없다
 - *이산화탄소 분압(pCO₂): 연구소 기술지원실의 개입과 지원 있고 자료 보관은 되어 있으나 품질관리와 활용이 개인 연구자에게 맡겨진 상태
 - *평형기를 활용한 전통적인 이산화탄소 분압 측정 장치가 절차도 잘 확립되어 있고 여전히 표준으로 인정받고 있으나 더 소형으로 만들어졌을 뿐 아니라 유지 노력이 훨씬 적게 들면서 관측 자료 품질이 다소 떨어지나 믿을만한 자료를 생산하는 새로운 CO₂ 센서들이 보급되기 시작했기 때문에 이를 적극 고려할 필요 있음

제 4 절. 시범사업 제안

쇄빙연구선의 이동궤적 활용 관측은 시간과 공간을 특별히 추가로 부여하지 않으면, 바꿔말해서 연구선을 중도에 세우고 정점을 별도로 배치하지 않는다면, Ship of Opportunity 프로그램의 성격을 근간이며 출발점으로 할 수 밖에 없다. 규칙적으로 장기간 추적해야 하는 기본적인 환경요인자료를 획득하는 바탕 위에 의도적이고 계획적으로 설계에 의해서 성과를 창출하는 노력이 될 수 밖에 없다.

Ship of Opportunity Program은 전지구 해양관측 체계 (Global Ocean Observing System, GOOS)의 일부로 자리를 잡았으며 연구전용선이 아니더라도 기회를 활용할 준비가 되어 있는 선박이라면 종류에 관계 없이 XBT, Thermosalinograph, 이산화탄소 분압 관측을 기본으로 해서 장기자료를 추적하고 있는 경우이지만 Argo 뜰개나 글라이더와 같은 다른 관측수단에 대한 플랫폼을 제공한다는 면에서 유용함을 더해가고 있다.

쇄빙연구선의 이동궤적은 특정 생지화학적 혹 생태학적 과정에 대한 이해를 증진하겠다는 목적을 지닌 관측에도 기회를 제공할 수 있고 이는 다학제 관측을 조합할 때 의미 있는 우수 성과로 이어질 가능성이 높다. 또 비교적 장거리에 걸쳐 환경 요인 변화에 따라 경향성을 보이며 반응하는 현상을 관측하기 위해 새로운 기술과 장비를 시험할 때 훌륭한 기회를 제공할 것이다.

현재의 연구비 배분 환경을 감안할 때 아래와 같은 요인을 핵심 조건으로 고려해서 시범사업을 구성하는 것이 합리적으로 생각된다.

- 7월 한국발 북극해 이동항해 활용 (인천-알래스카 구간)
- 이동경로상 연구선 기반 관측의 가치에 대해 이해도 높은 국가(예, 미국)의 배타적 경제수역 (EEZ) underway 관측 해양과학조사(MSR) 신청
- 이동경로상 기본 자료수집 (MSR 허가에 따라)
- 베링해 “donut hole” 2일 내외 배정, 목적지향적 특화된 해양환경 관측, 언급한 유망 관측 (해저, 저서생태, 어류 포함)
- 특정집단과 제휴, 시범사업 1-3년 운영 (공동출자형태):
 - 연구소: 연구선 시간, 현장책임과학자, 학생 단기고용
 - 학교: 대학원생 모집 선발, 전문가 동승
 - 민간업체: 강사/조교/장비 전문성 제공

충분히 큰 재원을 확보할 때까지 아래와 같이 3개의 구간 성분으로 된 시범사업을 극지연구소의 재원으로 추진하는 것이 현실 대안이 될 수 있다.

○ 3개의 구간성분으로 된 시범 사업 제안



그림 8. 시범 사업 제안 항적도

- 1) 첫번째 구간: 약간의 우회로 배타적경제수역을 최대한 피하되 전선역을 통과하며 변화 과정을 관측, 7월 북극행 이동항해 활용
- 2) 두번째 구간: 베링해 도넛홀 배타적경제수역의 이원해역에서 생물상과 생태계 관찰, 연 1회 관측, 시계열 자료 축적, 각종 기기/장비 시험 기회로 활용
- 3) 세번째 구간: 북극 진입 병목 해역에서 borealization 과정 관찰 (EEZ MSR 신청과 허가가 상대적으로 수월한 구역, 예전에 시도한 것과 유사한 형태로 활용)

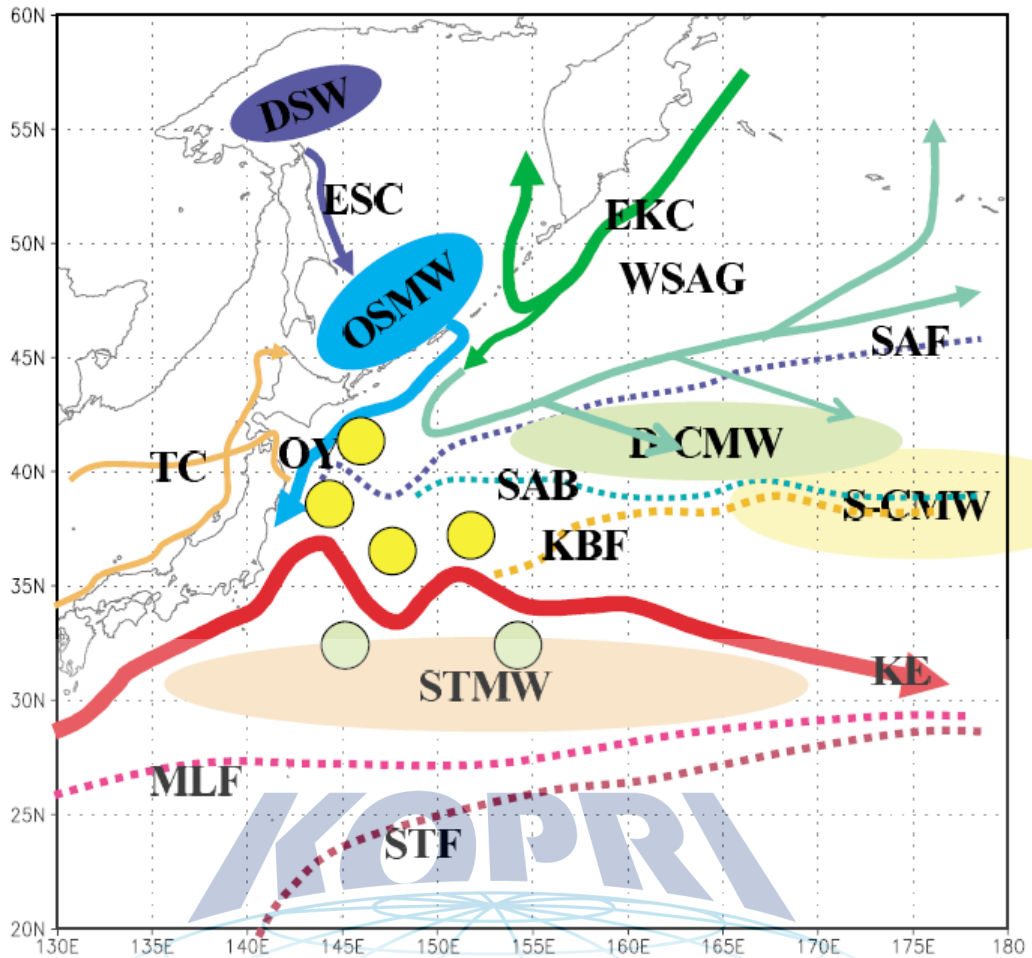


그림 9. 북극해 이동항해가 거쳐가는 북태평양 해역의 수괴와 전선 특성 모사도

- 1구간에서는 아북극, 북극과 비교할 수 있는 북태평양에서 다양한 수괴와 전선 통과역을 연속관측을 시행할 수 있는 장점과 매력
- 2구간에서는 명태 자원 동태를 좌우하는 EEZ 이원 국제공해역에서 필요한 관측을 우리가 선택하는대로 시행할 수 있고 인력 훈련과 기기 시험의 무대로 사용, 연구소의 의지와 투자에 따라 계류 장치 설치도 가능. 이 경우 선행사업과 연결 가능
- 3구역은 아북극-북극 전이과정 관찰과 시계열 자료 생산, 북극과 비교 연구, 아북극-북극 연결 고리 및 북극의 아북극화 (borealization) 과정 관찰

- 연구소 대형사업의 후원을 전제로 5천만원 내외 최소 규모의 정책지원사업으로도 2-4명의 대학원생을 훈련시키고 중장기 자료를 생산할 수 있는 기회
- 차세대 쇄빙연구선이 건조될 때까지 예를 들면 2024-2026년의 3년 구간에 대해 운영해서 연속 모멘텀을 확보할 수 있는 방법

제 3 장. 연구개발결과의 활용 계획

3.1. 권고 사항 1

- 정규 재원을 속히 확보하는 것이 이상적이겠지만 큰 규모 예산이 마련되기 전이라도 시범사업을 가동하는 것으로 작은 성공사례를 축적하고, 명분을 강화할 필요 있음, 선상 연구에 관심을 가질만한 대중과 정책 입안자, 특히 자금 조성에 영향을 미칠 수 있는 정부 부처를 대상으로 홍보가 필요함
- 이동 경로상 관측 프로그램의 구분과 정착
 - 기관 차원에서 고정, 가동해야할 상시 기본 관측; 핵심관측(수온, 염분, 형광, CO2 분압) 항목을 필수적으로 유지하고 품질 관리해서 공개할 수 있도록 함
 - 기관이 적극 고려할 수 있는 추가 관측; pH, 용존산소, underway CTD (전체구간은 힘들더라도 일부 핵심 구간에 대해서), cytometry, CPR
 - 전문가 위탁형, 연도 선택형 관측; O2/Ar 균집순생산 (NCP) 측정, 어란(魚卵) 수집 (CUFES), 플라스틱, 기타 해양-대기 상호화학작용, 환경 DNA, Argo 뜰개 투하 등
- 이해당사자간 협력체계 공식화, 기관간 혹 기구간 업무협약 추진 등

3.2. 권고 사항 2

- 아라온호 수집 DADIS 자료의 공공데이터화; 너무 어렵지 않게 내려 받을 수 있는, 신원과 용처의 식별을 가능하게 하는 최소한의 신청 절차 두는 형태로 공개; 궁극적으로 KODC형 공개를 지향, 앞서 언급한 핵심관측항목 수집과 품질관리 유지
- 시범사업의 일부로 데이터 활용 이벤트; 데이터 경진대회가 가장 쉽게 생각할 수 있는 경우이나 초기에 극지연구소 DaDis 자료로 부족하면 다른 큰 데이터 프로그램의 일부로 데이터를 공여하고 시작하는 것도 가능
- 참여자 확보를 처음 1-2회는 사전 협의에 의한 지정형으로 진행할 수도 있고 처음부터 학회와 유관 연구 기수행자들을 대상으로 제한 공모형으로 진행할 수도 있음. 적어도 1-2회의 시범사업 뒤에는 학문후속세대 공모경쟁형으로 공식 전환하는 것이 바람직

3.3. 권고 사항 3

- 중장기 프로그램의 정착을 위해 안정적 재원의 확보가 필수적인 것은 재차 강조된다.
- 복수의 현행 제도 대안을 (SeaGrant 등) 검토했을 때 그리고 최근 변화한 연구비 배분 환경을 감안했을 때 대형 재원의 마련이 쉽지 않다는데 대부분 전문가들이 공감
- 기존의 재원들은 목적에 따라 사용 목적과 사용자 층이 이미 확립되어 새로운 수요를 수용하기 어렵고 그나마 감액 추세에 있음
- 아라온호 이동경로 활용 만으로 혹 차세대 인력양성만으로 대형 국가 R&D 사업이 개발될지에 대해서는 회의적 의견이 상당히 있었음
- 부처 연구 인프라 활용 사업의 일부로 추진, 일시적으로 연구소의 극지연구생태계 조성형 사업 재원에 의존, 비교적 소액의 부처 일반 재정 인력 양성 사업 등이 거론됨. 나중에 부처의 해양수산계획의 일부로 연구기반시설 활용을 포함하는 대형 인력양성 사업이 성사되면 일부로 편입하는 것도 가능성이 있음

- 2027년 차세대 쇄빙연구선이 가동될 때까지 남은 기간 명맥과 동력을 유지할 수 있는, 적어도 3개년 구간에 대한 시범사업이 필요함

3.4. 시행 방안

- 3년 계획으로 실비 지원형 소액 정책지원사업; 학생 3(-4)명, 대학교 학과 혹은 연구실, 민간 회사 섭외 후 MoU 형태 협력문서 체결, 파트너 지정형으로 시범사업 2년 시행하며, 연구소 내외/학계 홍보, 적어도 3년차는 공모경쟁형 지원 ('24-'26) 형태를 생각할 수 있다.
- 더 구체적인 제안은 5,000만원 이하의 재원으로 하되 주도를 내외부 누가 하느냐에 따라 극지연구소의 내부 연구정책지원사업 혹은 연구소가 발주하며 주로 대학 연구자에게 기회를 부여하는 학연 (PAP) 협력사업 두 종류 중의 하나를 매개로 삼을 수 있다. 주제 지정형 혹은 자유공모형을 혼합할 수 있지만 특별히 주제를 지정하는 것이 오히려 제약을 가하는 것이 될 수 있음을 고려하고 무엇보다 적어도 3년('24-'26)의 연속성을 유지하는 것이 중요할 것으로 판단된다.
- 대형 북극 국가연구개발사업과 연계 고리(와 후원)은 여전히 유지할 필요가 있다.
- DaDis 외 일부 자료 공개, 중고부, 대학부 데이터 경진대회 ('25)
 - *선상 센서 정비 (특히 CO₂ 분압은 유지수요가 적은 기종으로)
 - *소셜 미디어 선상에서 (가급적 실시간) 활용; live from Araon
 - *시민과학형태 프로그램 검토 (Argo adopted 참고, <https://argo.ucsd.edu/outreach/adopt-a-float/>)

3.5. 향후 과제

- 과학적 가설 수립; 하지만 당분간 가설 수립 없이도 할 수 있는 연구 집중
 - 남북극 기원 기후변화 신호의 전파, 북극의 아북극화 (borealization)
 - 특정 물리-물질순환-생태 과정과 상호작용의 illustration 혹은 규명
 - 특정해역의 분포 변화, 빙영양 와류 해역, 전선 해역

3.6. 후속 조치

- 소내 발표회(9/22), 학계 전문가 컨설팅(9/26), 종료평가 (10/16), 추계 해양학회 발표 (11/01-02) 마련함
 - * 업계 대화와 접촉 계속
- 종료평가 2개월 뒤 제출할 최종보고서를 위해 다양한 형태로 의견을 청취함

제 4 장. 참고문헌

- [1] 극지연구소 2008년 쇄빙연구선 활동 기획보고서
- [2] 해양연구원 2012년 해양관측사 양성을 위한 기획보고서
- [3] 극지연구소 주요 사업 보고서 PE13410 등
- [4] Adams, C.I., Jeunen, G.J., Cross, H., Taylor, H.R., Bagnaro, A., Currie, K., Hepburn, C., Gemmell, N.J., Urban, L., Baltar, F. and Stat, M., 2023. Environmental DNA metabarcoding describes biodiversity across marine gradients. *ICES Journal of Marine Science*, 80(4), pp.953-971.
- [5] Aiken, J., Brewin, R.J., Dufois, F., Polimene, L., Hardman-Mountford, N.J., Jackson, T., Loveday, B., Hoya, S.M., Dall'Olmo, G., Stephens, J. and Hirata, T., 2017. A synthesis of the environmental response of the North and South Atlantic Sub-Tropical Gyres during two decades of AMT. *Progress in Oceanography*, 158, pp.236-254.
- [6] Aiken, J., Pradhan, Y., Barlow, R., Lavender, S., Poulton, A., Holligan, P. and Hardman-Mountford, N., 2009. Phytoplankton pigments and functional types in the Atlantic Ocean: A decadal assessment, 1995-2005. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(15), pp.899-917.
- [7] Baker, C.S., Steel, D., Nieuwkerk, S. and Klinck, H., 2018. Environmental DNA (eDNA) from the wake of the whales: Droplet digital PCR for detection and species identification. *Frontiers in Marine Science*, 5, p.133.
- [8] Brewin, R. J., Dall'Olmo, G., Pardo, S., van Dongen-Vogels, V., & Boss, E. S. (2016). Underway spectrophotometry along the Atlantic Meridional Transect reveals high performance in satellite chlorophyll retrievals. *Remote sensing of environment*, 183, 82-97.
- [9] Butler, E. C. CONSIDERATIONS FOR AN UNDERWAY BIOGEOCHEMISTRY OBSERVING SYSTEM.
- [10] Carlson, M.C., Ribalet, F., Maidanik, I., Durham, B.P., Hulata, Y., Ferrón, S., Weissenbach, J., Shamir, N., Goldin, S., Baran, N. and Cael, B.B., 2022. Viruses affect picocyanobacterial abundance and biogeography in the North Pacific Ocean. *Nature microbiology*, 7(4), pp.570-580.
- [11] Chidichimo, M.P., Perez, R.C., Speich, S., Kersalé, M., Sprintall, J., Dong, S., Lamont, T., Sato, O.T., Chereskin, T.K., Hummels, R. and Schmid, C., 2023. Energetic overturning flows, dynamic interocean exchanges, and ocean warming observed in the South Atlantic. *Communications Earth & Environment*, 4(1), p.10.
- [12] Choi, Y., Rhee, T.S., Collett Jr, J.L., Park, T., Park, S.M., Seo, B.K., Park, G., Park, K. and Lee, T., 2017. Aerosol concentrations and composition in the North Pacific marine boundary layer. *Atmospheric Environment*, 171, pp.165-172.

- [13] Clayton, S., Alexander, H., Graff, J.R., Poulton, N.J., Thompson, L.R., Benway, H., Boss, E. and Martiny, A., 2022. Bio-GO-SHIP: the time is right to establish global repeat sections of ocean biology. *Frontiers in Marine Science*, 8, p.767443.
- [14] Culverhouse, P. F., Williams, R., Gallienne, C., Tilbury, J., & Wall-Palmer, D. (2016). Ocean-scale monitoring of mesozooplankton on Atlantic meridional transect 21. *J. Marine Biol. Aquacult.* 2(1): 1- 13
- [15] Gal, J. K., Kim, J. H., & Shin, K. H. (2018). Distribution of long chain alkyl diols along a south-north transect of the northwestern Pacific region: Insights into a paleo sea surface nutrient proxy. *Organic Geochemistry*, 119, 80-90.
- [16] Graff, J. R., Westberry, T. K., Milligan, A. J., Brown, M. B., Dall'Olmo, G., van Dongen-Vogels, V., Reifel, K. M., & Behrenfeld, M. J. (2015). Analytical phytoplankton carbon measurements spanning diverse ecosystems. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 102, 16-25.
- [17] Ha, A. D., Moniruzzaman, M., & Aylward, F. O. (2023). Assessing the biogeography of marine giant viruses in four oceanic transects. *ISME communications*, 3(1), 43.
- [18] Hahm, D., Rhee, T.S., Kim, H.C., Park, J., Kim, Y.N., Shin, H.C. and Lee, S., 2014. Spatial and temporal variation of net community production and its regulating factors in the Amundsen Sea, Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(5), pp.2815-2826.
- [19] Hahm, D. and Lee, I., 2018. Estimation of net community production based on O₂/Ar measurements. *The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography*, 23(1), pp.49-62.
- [20] Jiang, C., Gille, S. T., Sprintall, J., & Sweeney, C. (2014). Drake passage oceanic pCO₂: evaluating CMIP5 coupled carbon-climate models using in situ observations. *Journal of climate*, 27(1), 76-100.
- [21] Jung, J., Han, B., Rodriguez, B., Miyazaki, Y., Chung, H. Y., Kim, K., ... & Kang, S. H. (2019). Atmospheric dry deposition of water-soluble nitrogen to the subarctic western north Pacific Ocean during summer. *Atmosphere*, 10(7), 351.
- [22] Kettle, A.J., Rhee, T.S., von Hobe, M., Poulton, A., Aiken, J. and Andreae, M.O., 2001. Assessing the flux of different volatile sulfur gases from the ocean. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 106(D11), pp.12-193.
- [23] Kim, H., Rhee, T. S., Hahm, D., Hwang, C. Y., Yang, J., & Han, S. (2016). Contrasting distributions of dissolved gaseous mercury concentration and evasion in the North Pacific Subarctic Gyre and the Subarctic Front. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 110, 90-98.
- [24] Kim, H., Soerensen, A.L., Hur, J., Heimbürger, L.E., Hahm, D., Rhee, T.S., Noh, S. and Han, S., 2017. Methylmercury mass budgets and distribution characteristics in the Western Pacific Ocean. *Environmental Science & Technology*, 51(3), pp.1186-1194.

- [25] Kitidis, V., Brown, I., Hardman-Mountford, N., & Lefèvre, N. (2017). Surface ocean carbon dioxide during the Atlantic Meridional Transect (1995-2013): evidence of ocean acidification. *Progress in Oceanography*, 158, 65-75.
- [26] Loh, A., Kim, D., An, J.G., Choi, N. and Yim, U.H., 2023. Chemical characterization of sub-micron aerosols over the East Sea (Sea of Japan). *Science of The Total Environment*, 856, p.159173.
- [27] Maiello, G., Talarico, L., Carpentieri, P., De Angelis, F., Franceschini, S., Harper, L.R., Neave, E.F., Rickards, O., Sbrana, A., Shum, P. and Veltre, V., 2022. Little samplers, big fleet: eDNA metabarcoding from commercial trawlers enhances ocean monitoring. *Fisheries Research*, 249, p.106259.
- [28] Macovei, V.A., Petersen, W., Brix, H. and Voynova, Y.G., 2021. Reduced ocean carbon sink in the south and central North Sea (2014-2018) revealed from FerryBox observations. *Geophysical Research Letters*, 48(11), p.e2021GL092645.
- [29] Park, K., & Rhee, T. S. (2015). Source characterization of carbon monoxide and ozone over the Northwestern Pacific in summer 2012. *Atmospheric Environment*, 111, 151-160.
- [30] Park, J., Dall'Osto, M., Park, K., Gim, Y., Kang, H. J., Jang, E., ... & Yoon, Y. J. (2020). Shipborne observations reveal contrasting Arctic marine, Arctic terrestrial and Pacific marine aerosol properties. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(9), 5573-5590.
- [31] Petersen, W., 2014. FerryBox systems: State-of-the-art in Europe and future development. *Journal of Marine Systems*, 140, pp.4-12.
- [32] Planes, S. and Allemand, D., 2023. Insights and achievements from the Tara Pacific expedition. *nature communications*, 14(1), p.3131.
- [33] Preston, C., Yamahara, K., Pargett, D., Weinstock, C., Birch, J., Roman, B., Jensen, S., Connon, B., Jenkins, R., Ryan, J. and Scholin, C., 2023. Autonomous eDNA collection using an uncrewed surface vessel over a 4200-km transect of the eastern Pacific Ocean. *Environmental DNA*.
- [34] Rees, A., Robinson, C., Smyth, T., Aiken, J., Nightingale, P. and Zubkov, M., 2015. 20 years of the Atlantic Meridional Transect-AMT. *Limnology and Oceanography Bulletin*, 24(4), pp.101-107.
- [35] Rhee, T. S., Kettle, A. J., & Andreae, M. O. (2009). Methane and nitrous oxide emissions from the ocean: A reassessment using basin-wide observations in the Atlantic. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D12).
- [36] Robinson, C., Poulton, A.J., Holligan, P.M., Baker, A.R., Forster, G., Gist, N., Jickells, T.D., Malin, G., Upstill-Goddard, R., Williams, R.G. and Woodward, E.M.S., 2006. The Atlantic Meridional Transect (AMT) programme: a contextual view 1995-2005. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53(14-16), pp.1485-1515.
- [37] Sprintall, J., Chereskin, T. K., & Sweeney, C. (2012). High-resolution underway upper ocean and surface atmospheric observations in Drake Passage:

- Synergistic measurements for climate science. *Oceanography*, 25(3), 70-81.
- [38] Sunagawa, S., Acinas, S.G., Bork, P., Bowler, C., Eveillard, D., Gorsky, G., Guidi, L., Iudicone, D., Karsenti, E. and Lombard, F., 2020. Tara Oceans: towards global ocean ecosystems biology. *Nature Reviews Microbiology*, 18(8), pp.428-445.
- [39] Valsecchi, E., Arcangeli, A., Lombardi, R., Boyse, E., Carr, I.M., Galli, P. and Goodman, S.J., 2021. Ferries and environmental DNA: Underway sampling from commercial vessels provides new opportunities for systematic genetic surveys of marine biodiversity. *Frontiers in Marine Science*, 8, p.704786.
- [40] Zubkov, M. V., Sleigh, M. A., & Burkill, P. H. (2000). Assaying picoplankton distribution by flow cytometry of underway samples collected along a meridional transect across the Atlantic Ocean. *Aquatic Microbial Ecology*, 21(1), 13-20.



최종 보고서

쇄빙연구선 이동궤적 활용 관측과
교육 훈련 기회 발굴을 위한 기획



제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “쇄빙연구선 이동궤적 활용 관측과 교육 훈련 기회 발굴을 위한 기획”의 최종보고서로 제출합니다.



연구수행기관명: (주)마린액트

연구수행책임자: 이강현

참 여 연 구 원 : 이승한, 김기춘, 홍정호
최현태, 선호경

참여연구보조원: 윤지혜, 최진선

목 차

1. 배경 및 필요성	1
가. 연구배경	1
나. 연구목적	14
2. 국내외현황	15
가. 쇄빙선현황	15
나. 국내 종합조사서 현황	20
다. 국외 프로그램	23
라. 소형 연구장비 관리실태	17
3. 설문/자문 진행 방법	31
가. 사전설문조사	31
나. 전문가 서면자문	31
다. 보고회 및 전문가회의	32
4. 프로그램 개발	60
가. 관측 프로그램	60
나. 교육 프로그램	63



1. 배경 및 필요성

가. 연구배경

1) 쇄빙연구선 아라온호

쇄빙선이란?

'부술 쇄(碎)', '얼음 빙(氷)', '배 선(船)'

- 말 그대로 '얼음을 깨는 배'로 남극해와 북극해처럼 얼어있는 바다에서도 독자적인 항해가 가능한 선박을 말함

- 극지를 포함한 결빙지역을 자력으로 항해할 수 있을 뿐 아니라 일반선박이 항해할 수 없는 결빙지역에서 항로를 개척해 줌으로써 화물수송이 가능하도록 돕거나 운항하던 선박이 얼음에 갇힐 경우 이를 구조하는 역할을 수행

아라온호

아라온호의 시작

- 건조기간 : 2004년~2009년

- 아라온호의 본격적인 극지 항해는 2010년 여름 서북극해와 2010년~2011년 겨울 남극 지역 항해는 시작으로 본격적으로 진행됨

주요 제원

- 아라온호의 주요 제원은 다음과 같다

전장	111.0 m
수선간 길이	95.00 m
폭	19.0 m
깊이	9.9 m (주갑판)
구조흘수	7.50 m
총톤수	7,507톤
경제항해속력 / 최대속력	12노트 / 16노트
승선인원	85명(승무원 25명, 연구원 60명)
최대 항속거리	약 17,000해리
무보급최대운항 지속일수	약 70일
발전기	3,400 KW × 4기
추진장치	Azimuth 추진기 5,000 KW × 2기

- 아라온호는 1미터 평탄빙을 3노트로 항해가 가능한 성능으로 건조되어 남북극 결빙지역에서의 독자적인 항해 뿐 아니라 다른 선박을 위해 항로를 개척하는 임무를 수행하기 때문에

일반 선박에 비해 쇄빙하는 선수부 또는 선미부의 폭이 넓은 것이 특징

- 아라온호는 얼음을 깨고 전진해야 하므로 일반선박에 비해 구조적으로 튼튼하며 엔진출력이 대단히 크고 얼음을 쉽게 깰 수 있도록 선형의 돌출부가 없는 경사진 선수형상을 하고 있음
- 얼음에 부딪쳐도 안전하도록 선체의 외벽이 매우 두꺼운 저온용 특수 철판으로 되어 있음
- 또한 저온 및 쇄빙 충격에서 선체 외벽을 보호하기 위하여 내빙도료를 시공
- 쇄빙선은 빙판 위에 올라가 선체 중량을 이용하여 빙판을 깨뜨리는 원리임으로, 아라온호가 쇄빙 중 선체가 완전히 해빙 위에 올라가 내려오지 못해 해빙에 갇힐 우려가 있으므로 선체가 빙판 위로 완전히 올라설 수 없도록 아이스 나이프가 설치되어 있음
- 부서진 얼음조각들이 다시 선체에 접근해 부딪치지 않도록 360도 회전이 가능한 추진기가 설치되어 있음
- 아라온호에는 51종의 연구장비가 설치되어 있어 극지 환경변화 모니터링 / 대기환경 및 오존층 연구 / 고해양 및 고기후 연구 / 해양생물자원 개발연구 / 지질환경 및 자원특성 연구 등 다양한 연구활동 지원이 가능
- 정밀한 연구활동을 보조하기 위하여 자동위치유지 장치(DP)가 설비되어 있으며, 해빙위에서의 연구활동 지원 및 결빙지역의 안전항해를 위한 항로 확보용인 헬기를 운용 할 수 있도록 헬기장 및 보관 시설이 갖추어져 있음
- 또한 남극 과학기지의 보급품을 운반하기 위하여 컨테이너 31 TEU 적재가 가능한 공간이 확보되어 있으며, 최대 25톤 및 10톤, 3톤의 용량의 크레인이 설비되어 있음

○ 연구 장비

- 아라온호에는 다음과 같은 연구실이 설치되어있음

습식연구실	지질시료, 처리실, Baltic room, 해수분석 및 처리실, Autosal room, 화학분석 연구실, 생물학 연구실, 기타공간
건식연구실	컴퓨터실, LAN Office, 무정전장치실, 음향 및 지구물리 연구실, 해양장비실, 기상자료 처리실, 기상자료처리실, 전자계측 작업실, 중력계실

- 아라온호에는 다음과 같은 연구 장비가 설치되어있음

장비명	용도	제원
ADCP/LADCP	유속측정	Freq:38kHz
Scientific Fish Finder	어류탐지	Freq:38,120,200kHz
Low Fre. Omni-Directional Fishery Sonar	전방위 어류탐지	Freq:24/26/28kHz

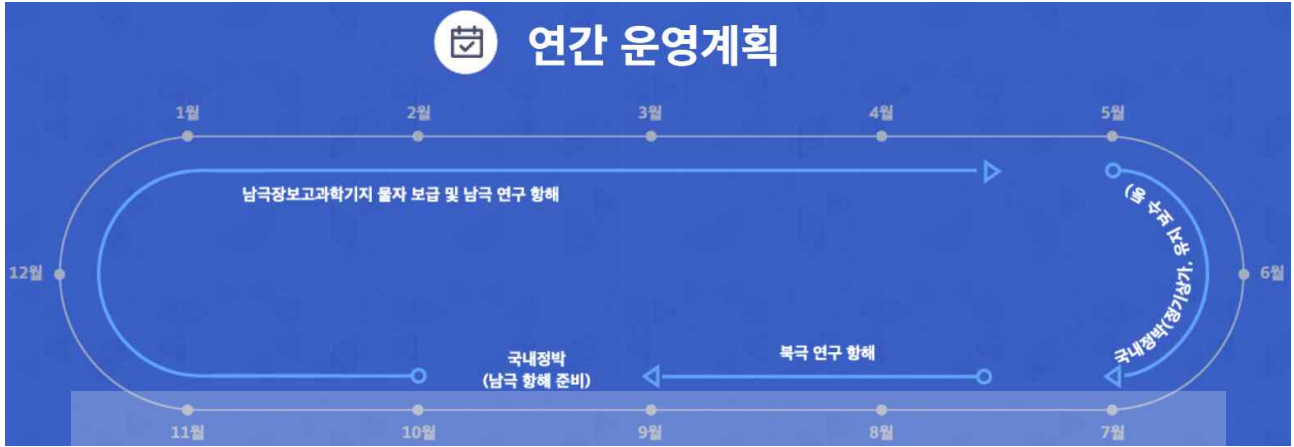
Multi-Beam Echo Sounder	음파를 이용하여 수심 측정	Freq:12kHz
Precision Depth Recorder	보다 정밀한 수심 측정	Freq:12/38kHz
Sub-Bottom Profiler	퇴적물의 구조와 두께 측정	Freq:2.5kHz ~ 7kHz
Compressor System	압축공기생성	GA90W/Air Receiver/CT
Aerosol Sizing Instrument	대기 에어로졸 크기 관측	Heating Control:0~300도
LIDAR	대기 경계층 구조 분석	Range:12km이상 파장:532nm
Attitude and Positioning System	음향장비 위치 및 자세보정	Heading Accuracy:0.02도 Roll/Pitch Accuracy:0.02도 Heave Accuracy:5cm or 5%
Salinometer	염분 측정	Measurement Range : 0.0001:1.15 Conductivity Ratio 0.004 to 76mS/cm 0.005 to 42 Equivalent Practical PSU
Acoustic Synchronizer System	음향장비의 간섭 제거	Synchronizing up to 12 acoustic system Better than 1 msec timing resolution
Marine Gravity Meter	중력 측정	Resolution:0.01mGal Static Repeatability:0.05mGal Accuracy at Sea:1.00mGal
Marine Magnetometer	자력 측정	Absolute accuracy:0.2nT Sensitivity:0.01nT Resolution:0.001nT
Wavemeter	파고 측정	Significant Wave Height -Range:0~5m, Accuracy:0.25~0.5m -Range:Above 5m, Accuracy:10%이하
Underwater Undulating Instrument System	센서 장착 견인장비	Towing speed:0.5 ~ 10knot Operating Depth:0 ~ 400m
Multi-Channel Seismic System	해저 지질 구조를 밝힘	Streamer CH:120 Air Gun Vol:1200 cu in
TV Grab	원격 제어로 해저질 채취	working depth:6000m까지 Grab size:2 X 2ft
MOCNESS	실시간, 염분, 온도 측정	Net size:333 micron mesh No of Net:9 Length of Net:6.0m
LAN system	자료 공유 및 인터넷	복선화:Master/Slave Server/Ship's Signal Interface Unit/고속 무선데이터통신시스템/위성인터넷시스템/디지털 영상정보시스템
Satellite Receiver	대기, 해양 등 분석 처리	Radome attenuation:0.15dB이하 L-Band Input Freq:1680~1710Mhz S-Band Input Freq:2207~2267Mhz
CTD	전도도, 온도, 깊이 측정	Temperature:-5 ~ 35도 Conductivity:0 ~ 7 S/m Pressure:0 ~ 10500 meter
Sea Water Analyzer	연속 흡식 화학 분석	Take 120 sample cups up to 5mL Fiber optic detector for Nutrient
Weather station		
Long Corer System	해양 퇴적물 시추기	Piston Core 방식. 최대 39m 깊이의 해양 퇴적물을 시추.

2) 쇄빙선을 이용한 극지연구

□ 아라온호 운영

○ 연간운영계획

- 아라온호는 기본적으로 다음과 같은 연간 일정으로 운행되고 있음



- 아라온은 여름 시즌에 북극 연구를 수행하며 겨울시즌에는 남극 연구를 수행하고 있으며 극지 연구의 특성상 1월부터 12월까지의 계획이 아닌 북극 연구와 남극 연구를 각각 한번씩 수행하는 것을 하나의 사이클로 운영하고 있음

- 2022~2023 운항 예정 일정은 아래와 같았음

일기	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월
1	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
2	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
3	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
4	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
5	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
6	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
7	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
8	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
9	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
10	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
11	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
12	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
13	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
14	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
15	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
16	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
17	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
18	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
19	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
20	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
21	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
22	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
23	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
24	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
25	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
26	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
27	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
28	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
29	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
30	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해
31	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해	연구항해

비고
* 기본운항일정이며, 추후 현상 상황 등에 따라 변경 가능

연간운항일정 요약

북극항해	62 일	남극항해	166 일	합계대기	107 일
1) 이동항해	53 일	연구항해	45 일	일기수리	38 일
2) 이동항해	32 일	이동항해	102 일	시험항해	3 일
3) 정박(국내)	7 일	정박(국내)	19 일	정박(국내)	68 일

표 설명

연기색	연구항해
파란색	이동항해
노란색	정박
초록색	시험항해
흰색	일기수리

- 365일의 계획을 기준으로 북극항차 25.2%, 남극항차 45.5% 그리고 국내 29.3%로 구성되어 있음

- 북극항차는 이동항해 34.8%, 연구항해 57.6%로 연구항해의 비중이 높음
- 남극항차는 이동항해 61.4%, 연구항해 27.1%로 이동항해의 비중이 두 배 이상 높음
- 실제 북극항차의 경우 총 92일을 소비하였고 이 중 이동항해는 32일, 연구항해는 53일 그리고 국외정박은 7일로 구성
- 아직 진행 중인 남극항차의 경우 총 171일이 소비될 예정이고 이 중 이동항해 98일, 연구항해 48일, 국외정박 17일 그리고 기지 보급 8일로 구성되어 있음
- 이렇게 계획보다 조금씩 변경이 되기는 하지만 매년 일정한 일수를 각 항목에 사용하고 있음
- 각 항차의 기본 운항 경로는 아래와 같음



- 북반부의 중간에 위치한 대한민국을 기준으로 움직이는 아라온호의 경우 북극과 남극의 연구 지역으로 이동할 경우 소요 되는 기간이 3배 이상 차이가 나게 됨
- 2017년부터 2019년까지 아라온호의 운항일정은 다음과 같음 (2020년과 2021년은 COVID-19 팬데믹으로 인하여 극지 연구에 많은 변화가 있었음)

연도	이동항해			연구항해			외국기항		기지 보급	입거 수리	시험 항해등
	남극	북극	소계	남극	북극	소계	남극	북극			
2017	123.7	33.8	157.5	46.7	30.0	76.7	29.0	6.0	8.8	22.1	64.9
2018	132.3	32.2	164.5	55.8	35.0	90.8	24.1	7.1	7.8	15.7	55.0
2019	93.4	35.6	129.0	45.6	35.5	84.9	14.0	7.6	13.0	26.9	87.4
평균	116.5	33.9	150.3	49.4	33.5	84.1	22.4	6.9	9.9	21.6	69.1

- 남극과 북극 항차를 합해 보면 연구항해보다 매년 이동항해에 더 많은 일정이 소요되고 있는 것을 알 수 있음

3) 차세대 쇄빙연구선


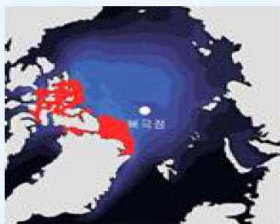
□ 차세대 쇄빙연구선 건조 사업

○ 건조 목적

- 국가적 현안 해결을 위해 북극해 고위도 연구수행이 가능한 해상과학기지로서 차세대 쇄빙 연구선 확보
- 극지 연구는 다학제 연구가 필요한 분야로, 범부처·산학연 공동의 기초, 융복합, 실용화 연구 강화를 위해 범국가 극지 연구 활성화 및 북극해 고위도 연구 및 거버넌스 영향력 확대를 위해 극지 과학 경쟁력 및 국가 위상 제고

○ 극지 연구 확대

- 차세대 쇄빙연구선이 건조될 경우 아래와 같이 두 대의 쇄빙선을 지역을 나누어 연구를 진행하여, 연구 항해 일수 및 기간을 확대 할 수 있음

구 분	현재(아라온호 기준)	차세대 쇄빙연구선 도입 후
연구항해 일수/기간	<ul style="list-style-type: none"> ■ 북극: 35일 / 8월~10월 ■ 남극: 50일 / 12월~3월 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 북극: 156일 / 7월~1월 ■ 남극: 121일 / 9월~4월
북극해 운항 가능 지역 신산업 체계 전환	<ul style="list-style-type: none"> ■ 동시베리아해, 척치해, 베링해 등 북위 65~75도(최대 북위 79도) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 중앙북극해공해, 바렌츠해 등 북극점 포함 대부분 해역(최대 북위 90도) 

4) 국가 정책적 타당성

□ 제5차 과학기술기본계획(2023~2027)

○ ‘제5차 과학기술기본계획’은 과학기술 혁신이 선도하는 담대한 미래를 비전으로 3대 전략 17개 추진과제를 제시하고 있음

비전(안)

과학기술혁신이 선도하는 담대한 미래
 - 행복한 국민, 역동적 경제, 강한 나라 -

과학기술 혁신	전략1	질적 성장을 위한 과학기술 체계 고도화	전략2	혁신주체의 역량 제고 및 개방형 생태계 조성
	<ul style="list-style-type: none"> • 임무중심 문제해결을 위한 R&D 전략성 강화 • 자율과 창의를 높이는 연구환경 개선 • R&D 성과 창출·확산 및 활용·보호 기반 강화 • 미래 핵심인재 양성·확보 • 국민과 함께하는 과학문화 활성화 		<ul style="list-style-type: none"> • 민간 주도 혁신을 통한 성장동력 확보 • 대학·공공연구기관의 혁신거점 역할 강화 • 신기술·신산업 중심의 창업 및 성장 지원 • 균형발전과 혁신성장을 이끄는 지역 혁신체계 구축 • 과학기술 외교·협력 리더십 확보 	
문제 해결	전략3 과학기술 기반 국가적 현안 해결 및 미래 대응			
		탄소중립	•탄소중립 선도 및 지속가능한 환경으로 전환	
		디지털전환	•디지털 전환기 선도적 대응을 통한 경제 재도약	
		의료/복지	•100세 시대 과학기술 기반 국민건강 증진	
		재난/위기	•미래위험 대응 및 안전사회 구현	
		공급망/자원	•글로벌 공급망 재편 대응 및 선점	
		국방/안보	•과학기술 강군 육성 및 사이버 주권 수호	
		우주/해양	•우주·해양·극지 개척을 통한 과학영토 확대	

기술패권 경쟁 대응 국가 전략기술 확보

반도체-디스플레이

이차전지

차세대 원자력

수소

차세대 통신

첨단 모빌리티

첨단 바이오

우주항공 해양

양자

첨단로봇 제조

사이버 보안

인공지능

○ 전략 1 ‘질적 성장을 위한 과학기술 체계 고도화’ 중 두 번째 ‘자율과 창의성을 높이는 연구 환경 추진과제’는 아래와 같이 연구 몰입 및 역량제고를 위한 지원 확대를 목표로 하고 있음

◇ 디지털 기술을 활용하고 사람 중심의 환경 조성을 통하여 연구자의 자율성과 창의성을 높이고 연구성과 확산

As-Is	To-Be
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 연구자의 지속적 성장을 위한 여건 미비 ▶ 연구윤리·연구안전 인식이 확대 ▶ 디지털 기반 연구지원 부족 	→
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 연구몰입 및 역량제고를 위한 지원 확대 ▶ 연구윤리·안전 관련 제도·지원 고도화 ▶ 디지털 기반 연구환경·데이터플랫폼 강화

상세 이행계획 연계·반영	연구실 안전환경 조성 기본계획('23~'27)	과기정통부
	국가연구시설장비 고도화계획('23~'27)	과기정통부

○ ‘1-2-3 개방형 혁신 연구기반 구축’의 ‘국가 연구데이터 플랫폼 구축 및 디지털 연구 환경 조성’에는 데이터 생산 및 확산에 대한 내용을 담고 있음

- 연구데이터 연계 기관을 확대하고 분야별 특성을 고려하여 공유·활용할 수 있는 플랫폼 구축

○ ‘1-2-3 개방형 혁신 연구기반 구축’의 ‘연구개발 개방성 확대 및 공동·협업 강화 환경 조성’에는 공동연구 활성화에 관해 다음의 내용을 담고 있음

- 국내 간, 국내·외 간 공동연구 등 활성화를 위해 연구비 사용 유연성 확대 등 연구자 간 교류 적극 지원

- 연구데이터 분석 도구·인프라를 바탕으로 연구자개인, 연구기관간 협업·융합 연구 추진

○ 전략 3 ‘과학기술 기반국가적 현안 해결 및 미래대응’ 중 일곱 번째 ‘우주·해양·극지 개척을 통한 과학영토 확대’는 아래와 같이 국익 확보를 위한 노력을 강조하고 있음

◇ 우주, 해양, 극지 등 미개척지 접근성 증대와 활용을 통한 인류의 활동 영역 확대 기여 및 국익 확보 필요

As-Is	To-Be
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 세계 우주·해양 탐사 경쟁에 소극적 대응 ▶ 지구 규모 복합재해 원인규명 연구 미흡 ▶ 미래자원 확보를 위한 탐사 중요성 증대 	→
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 달, 소행성, 화성 등 도전적 우주탐사 ▶ 연근해, 대양, 심해 탐사 기술 고도화 ▶ 남북극 미답지 연구인프라 확충


상세 이행계획 연계·반영	우주개발 진흥 기본계획('23~'27)	과기정통부
	위성정보 활용 종합계획('24~'28)	과기정통부
	항공산업발전기본계획('21~'30)	산업부
	해양수산과학기술 육성기본계획('23~'27)	해수부
	남극연구활동진흥 기본계획('22~'26)	해수부
	해양경찰 분야 과학기술진흥 종합계획('21~'25)	해경청

○ ‘3-7-2 연안-대양-극지 탐사로 미래자원 확보 및 해양안전체계 구축’의 ‘미래자원 확보를 위한 극지 탐사기술 고도화 및 인프라 확충’에는 극지연구 활성화에 관해 다음의 내용을 담고 있음

- 북극 종합관측망 및 남극 내륙 연구 3대 핵심연구거점 확보, 해저 수중도시 등 해저공간 창출을 위한 해저체류 기술 개발
- 첨단 융·복합 극지 탐사 기술 개발을 통한 극지 연구 역량 확보 및 극지 자원 개발 협력 주도권 확보

□ 극지과학 미래발전전략(안)

○ ‘극지과학 미래발전전략’은 기존 극지연구에서 벗어나 국가와 국민의 요구에 부응하고 극지연구의 한단계 도약을 위해 수립 추진

비전	미래 현안을 해결하고 국익을 창출하는 극지과학 연구	
정책 목표	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 국민이 체감할 수 있는 연구성과 창출 <ul style="list-style-type: none"> * 글로벌 '최고그룹' 수준 도약 (2030년 최고기술국 대비 85% 달성) ◆ 신 연구영역 확보를 위한 미지의 극지 공간 개척 <ul style="list-style-type: none"> * (남극) 세계 7번째로 남극점까지 내륙 육상루트 개척 * (북극) 북위 80° 이상 고위도 북극 중앙공해 진출 ◆ 미래 극지과학 수요 대응을 위한 협력체계 및 지원기반 구축 <ul style="list-style-type: none"> * (협력체계) 극지연구 참여 개방 및 국제 협력 주도 * (지원기반) 미래 극지 인력 확보 및 극지활동진흥법 제정 	
		
추진 전략	추진 과제	
전략 1 극지과학연구 성과 제고	1-1. 국가사회 현안 해결을 통한 국민체감형 연구 확대 1-2. 극지자원 활용 실용화 연구 확대 1-3. 극지 신비즈니스 발굴	
전략 2 미지의 극지 과학영토 확대	2-1. 미래 연구경쟁력 제고를 위한 북극 고위도 진출 2-2. 첨단 거대 과학 선도를 위한 남극 내륙 연구 확대	
전략 3 극지과학 개방형 협력체계 구축	3-1. 연구성과의 질적 혁신을 위한 개방형 연구체계 구축 3-2. 국제 거버넌스 주도적 참여	
전략 4 극지과학 발전 지원기반 구축	4-1. 차세대 극지연구 인적 역량 강화 4-2. 극지연구에 대한 제도적·정책적 기반 강화	

○ ‘3-1 극지과학 개방형 협력체계 구축’에는 극지 인프라, 극지 자원 및 극지정보의 공동 활용 방안이 포함되어있음

- 범부처 및 산 학 연의 현장 연구 수요를 반영한 중장기 인프라 확보·고도화 계획 수립

○ ‘4-1 극지 과학 연구 인적 역량 강화’ 중 극지 전문인력 양성을 위한 방안이 포함되어있음

- 극지권 주요 국가의 극지정책을 연구하고 학술교류를 실시하기 위한 극지 전문인력 양성사업 확대

□ 2050 북극 활동 전략

○ ‘2050 북극 활동 전략’은 북극권 환경 변화와 정책 여건 등을 감안, 기여와 신뢰를 기반으로 북극 시대에 대비한 범부처 차원의 미래 북극 활동 전략 수립

비전	2050 북극 거버넌스 선도국가 도약	
추진 전략	① 북극권 현안 해결 기여	② 북극 외교 지평 확대
	③ 지속가능한 북극 발전 동참	④ 북극 활동 기반 마련

○ 추진전략 3 ‘지속가능한 북극 발전 동참 - 2050 북극 시대 대비’에는 북극권 상생 협력 모범과제 발굴 추진에 대한 내용이 포함

- 극한 환경에 적응한 생명자원을 활용한 의약소재 개발등(근육 감소증·치매 치료제 등) 극지바이오 연구개발 확대

○ 추진전략 4 ‘북극 활동 기반 마련’에는 전문인력 양성 및 북극 교육확대에 대한 내용이 포함

- 극지연구소와 연계한 극지과학 특화 UST 스쿨 설립, 북극협의회 인턴십 운영, 북극방향 인력 양성 등

- 북극 활동을 총괄·조정하는 범부처 정책협의회 운영, 극지 정책·조정 기능 강화, 일반인 대상 북극 교육 확대

□ 제1차 극지활동 진흥 기본계획(2023~2027)

○ ‘제1차 극지활동 진흥 기본계획’은 그간 수립된 전략(「극지과학 미래발전전략」(‘20.11), 「2050 북극활동 전략」(‘21.11), 「제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획(‘22~’26)」(‘22.4) 등)들을 종합하고, 변화된 국내외적 여건을 고려하여 목표와 과제를 현실화하는 한편, 도전적인 신규 과제를 발굴 하는데 목적을 가지고 수립

○ 비전 ○

국민을 위한 극지선도국가 : 미지를 향한 도전, 미래를 향한 도약

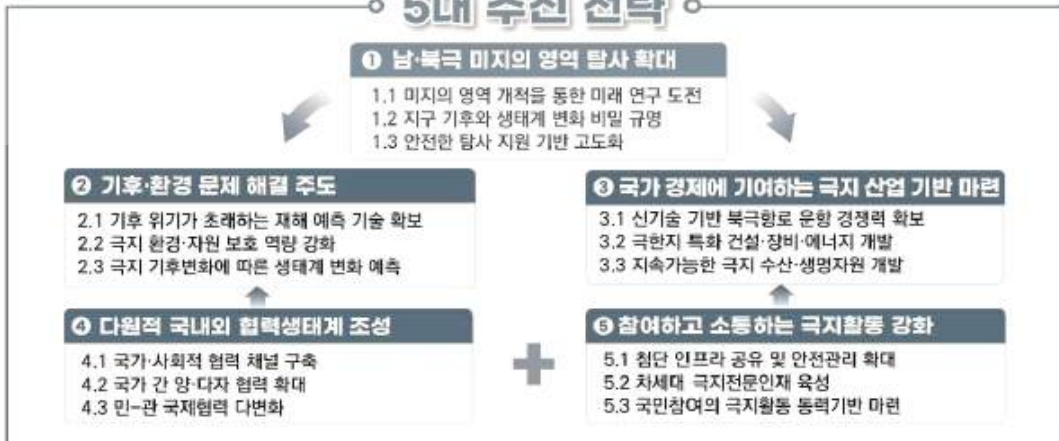
○ 목표 ○

구분	현재	2027년	2032년
미지의 영역 진출	<ul style="list-style-type: none"> 북극해 일부 공해 (척지해, 보퍼트해, 동시베리아해) 남극 내륙진출로(路) 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 선행연구선 활용 북극점 탐사 남극 내륙기지 후보지 선정 	<ul style="list-style-type: none"> 아시아 최초 북극점 국제공동연구 주도 세계 6번째 남극내륙기지 구축(30)
기후변화 대응	<ul style="list-style-type: none"> 북극발 한반도 기상변화 예측 정확도 최고선도국 대비 40% 남극 스웨이트 빙하 질량 변화 및 해수면 변동 예측 	<ul style="list-style-type: none"> 북극발 한반도 기상변화 예측 정확도 최고선도국 대비 60% 2050년 전지구 해수면 변동 예측 선도국 대비 70% 	<ul style="list-style-type: none"> 북극발 한반도 기상변화 정확도 최고선도국 대비 90% 2050년 남극발 한반도 인근 해수면 상승 예측 선도국 대비 100% 이상(31)
극지 신산업 기반마련	<ul style="list-style-type: none"> 선행컨테이너선 개발 기획 항생제·치매치료제 물질 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경 선행컨테이너선 건조 기술 확보(26) 항생제·치매치료제 상용화 및 신규 의약품질 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경 선행컨테이너선 건조 및 북극항로 운항 신규 의약품질(항균, 면역기능 조절물질) 확보(29)

○ 프런티어 과제 ○

구분	극지 프런티어 과제
미지의 영역 진출 프로젝트	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 선행연구선을 활용한 북극점 공동연구 탐사(27) 빙지호(25), 심부빙하 시추 기술 개발(27)을 통한 지구의 과거 규명 세계 6번째 남극내륙기지 구축(30)
기후변화 대응 프로젝트	<ul style="list-style-type: none"> 북극 전역 해빙 변화 실시간 관측을 위한 초소형위성 개발(25) 남극 전역 빙상 융융에 따른 2050 전 지구 해수면 상승 지나라오 제사(27) 대기-해양-해빙 통합모델 기반 북극발 한반도 재해기상 예측(27)
극지 신기술 선도 프로젝트	<ul style="list-style-type: none"> 친환경 선행컨테이너선 건조 기술 확보(26) 북극 친환경 수소에너지 기반 탄소제로 연구인프라 조성(27) 극지 생물자원 활용 신규 의약품질(항균·면역기능조절물질) 확보(29)

○ 5대 추진 전략 ○



○ ‘2-1 기후위기가 초래하는 재해 예측 기술 확보’ 중 북극의 환경변화가 중위도 지역에 초래하는 기상재해 예측 필요에 따른 예측 모델 개발이 포함되어있음

- 북극 대기-해양-해빙 통합예측모델을 개발하여 북극 환경변화에 따른 한반도 기상 변화 예측 정확도 제고

○ ‘2-3 극지 기후변화에 따른 생태계 변화 예측’ 중 남극의 생태계 변화 모니터링의 필

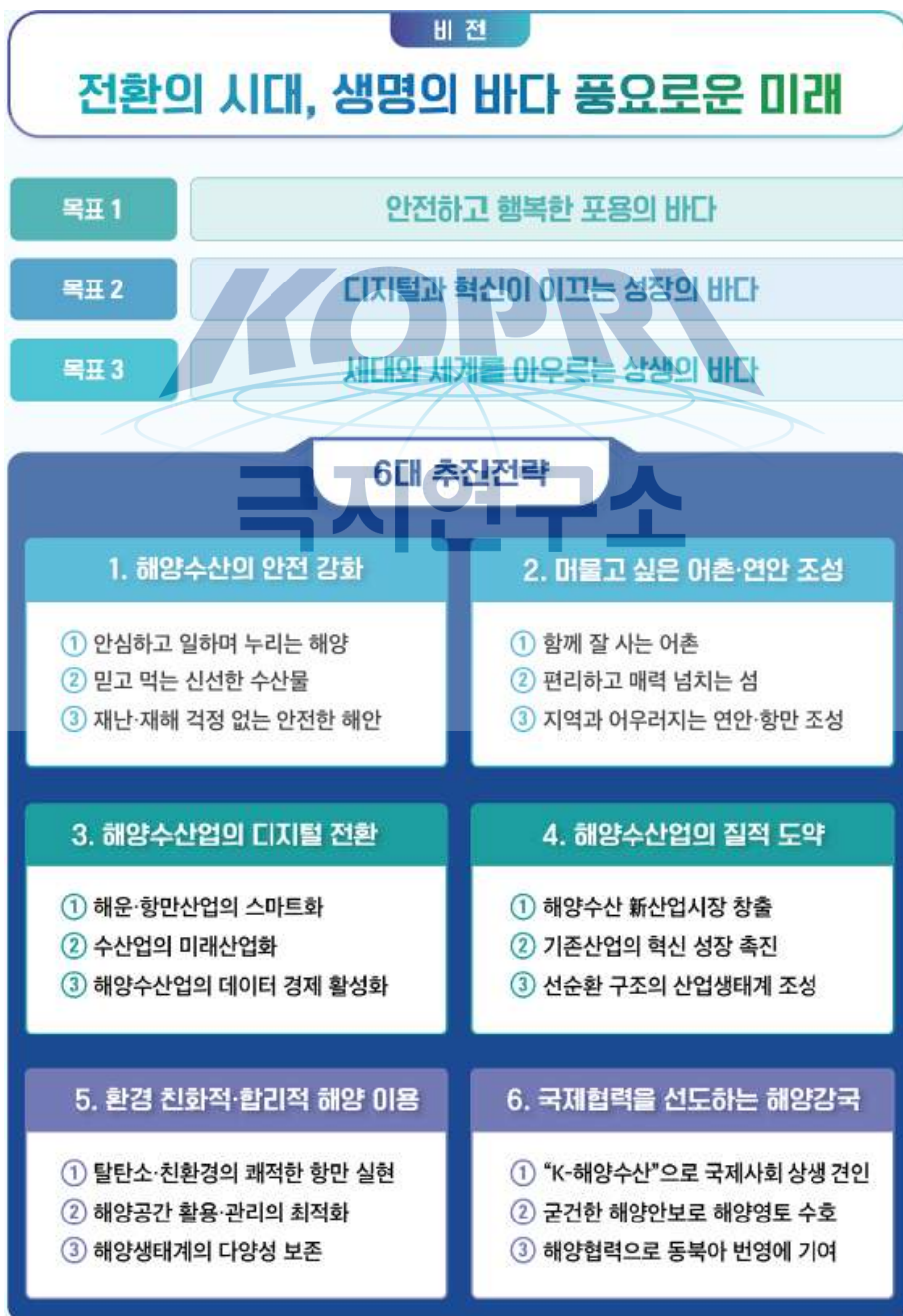
요성이 부각

- 제4차 남극기본계획 2-2 연계과제

- 온난화로 초래된 환경변화에 따른 육상과 해양생물의 반응과 적응 과정 분석을 위한 관측 기술 개발

□ 제3차 해양수산물발전 기본계획(2021~2030)

○ ‘제3차 해양수산물발전 기본계획’은 해양수산물발전기본법 제6조에 따라 10년마다 수립되는 계획으로 2013년 해양수산부 재출범 이후 급변하고 있는 정책 환경과 정책 수요 등을 반영한 해양수산 정책의 중장기 비전 및 목표 재정립의 필요성에 의해 수립



○ '6-2 굳건한 해양안보로 해양영토 수호' 중 정책과제로 지속가능한 '극지 개발 추진' 항목이 포함되어있고 그 중 다음과 같은 항목이 포함되어있음

- 북극권 환경변화(고온현상)에 대한 지속적인 모니터링 및 정보수집, 해빙-해양-생태계 상호작용 연구, 디지털 트윈 기술 등을 활용한 미래 모델링을 통해 기후 예측시스템 구축
- 북극해 기후변화에 따른 생물다양성과 생태계 상호관계 분석을 통한 생태계 보전방안 도출, 북극 고기후(古氣候) 복원기술 개발 등 과학적 대응방안 연구 강화

나. 연구목적

□ 이동항해 활용

○ 아라온호 연간 운항의 절반정도를 차지하는 이동항해 시 대부분 연구원은 탑승하지 않은 채 연구지역까지 이동을 목적으로 하고 있음

- 필요에 따라 일부 연구원이 탑승하여 연구 지역으로 이동
- 2020년과 2021년에는 COVID-19 팬데믹으로 연구원들이 아라온에 탑승한 채 극지역으로 이동 하였지만, 본격적인 연구는 이동항해 중에 이루어지지 않음

○ 차세대 쇄빙선 건조 시 쇄빙선 활용 일수 증대가 필요하고, 충분한 연구 시간확보가 가능하여 이동항해 시 단순 이동이 아닌 활용 방안 발굴 필요

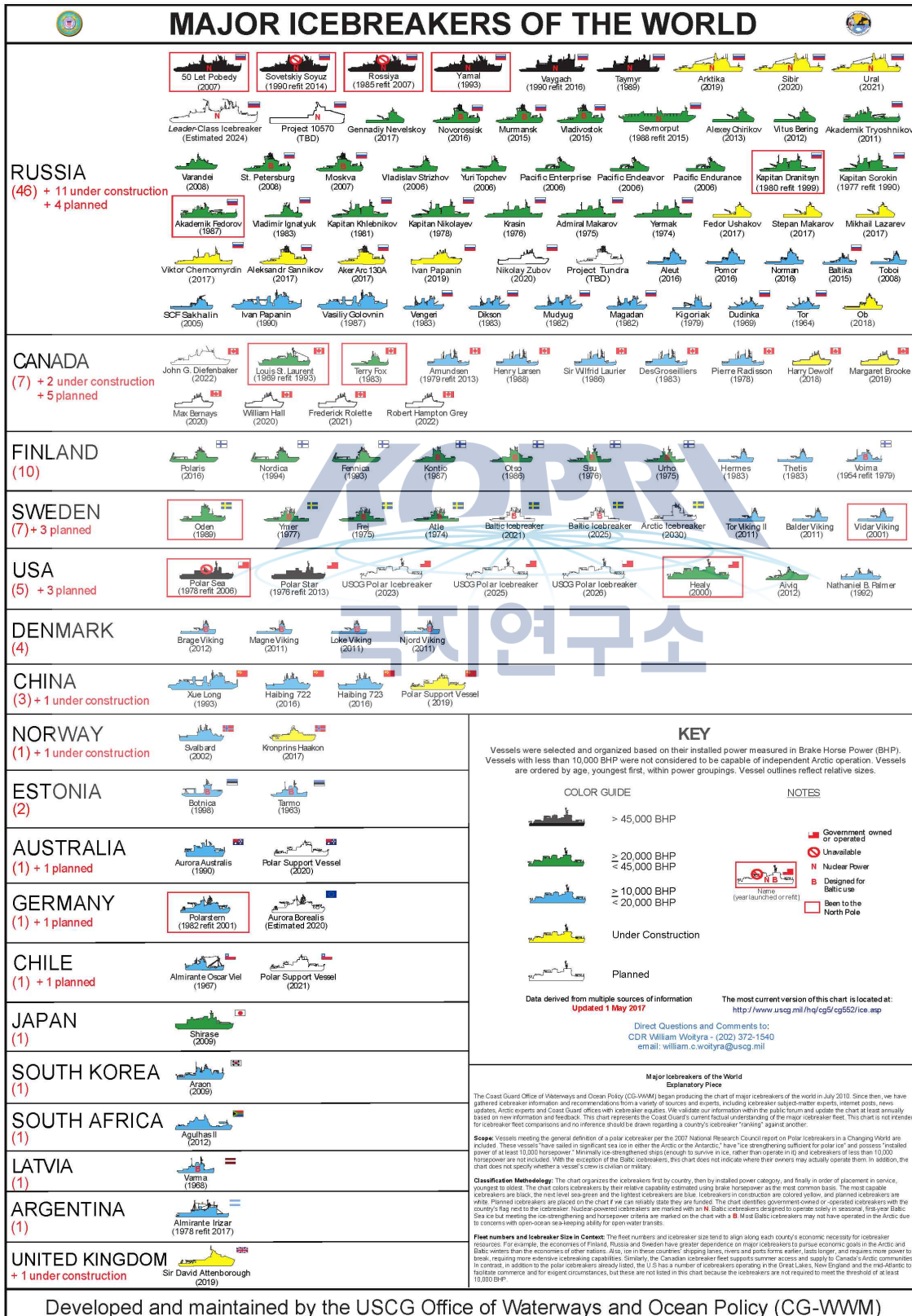
- 국가 정책에 따른 연구개발 영역의 확대 및 공동연구 추진, 그리고 인프라 공동 활용에 따른 쇄빙선의 활용도 증대
- 차세대 쇄빙선 건조에 따른 항해 일수 증가로 인한 이동항해 활용 요구

2. 국내외 현황

가. 쇄빙선 현황

○ 쇄빙선

- USCG Major Icebreaker chart에 따르면 각국 주요 쇄빙선의 현황은 다음과 같음



Developed and maintained by the USCG Office of Waterways and Ocean Policy (CG-WWM)

- SEA-WEB의 DB에서 쇄빙선을 검색해 보면 다음과 같음 (선명 영문 ABC 순)

IMO	Name of Ship	Flag	GT	Year	Ship Type
9152959	50 LET POBEDY	Russia	23,439	2007	Icebreaker
7347603	ADMIRAL MAKAROV	Russia	14,058	1975	Icebreaker
8519837	AKADEMIK FEDOROV	Russia	12,660	1987	Icebreaker/Research
9548536	AKADEMIK TRYOSHNIKOV	Russia	12,711	2012	Icebreaker/Research
7347639	ALE	Sweden	971	1973	Icebreaker
7533628	ALMIRANTE IRIZAR	Argentina	10,065	1978	Icebreaker
7510846	AMUNDSEN	Canada	5,807	1979	Icebreaker/Research
9777113	ANDREY VILKITSSKIY	Russia	11,295	2018	Icebreaker
9490935	ARAON	Korea, South	7,507	2009	Icebreaker/Research
7429061	ARKTIKA	Russia	20,665	1974	Icebreaker
9694725	ARKTIKA	Russia	28,494	2020	Icebreaker
7347627	ATLE	Sweden	7,457	1974	Icebreaker
9649237	BALTIKA	Russia	3,808	2015	Icebreaker
6705949	BLUE SKY III	Panama	940	1966	Icebreaker
4771085	BOLLINGER MISSISSIPPI	United States Of America	15,000	2025	Icebreaker
4765787	BOLLINGER MISSISSIPPI	United States Of America	15,000	2024	Icebreaker
5048497	BORE	Sweden	304	1894	Icebreaker
9165877	BOTNICA	Estonia	6,370	1998	Icebreaker
4622337	BURAN	Russia	2,300	1966	Icebreaker
9924106	CHUKOTKA	Russia	33,540	2026	Icebreaker
6421919	DANBJORN	Unknown	3,010	1965	Icebreaker
8006385	DES GROSELLIERS	Canada	6,098	1982	Icebreaker
8009208	DIKSON	Russia	5,342	1983	Icebreaker
6920094	DUDINKA	Russia	4,121	1970	Icebreaker
7330038	ERMAK	Russia	14,058	1974	Icebreaker
7917977	EVA-316	Estonia	907	1980	Icebreaker
9043615	FENNICA	Finland	9,392	1993	Icebreaker
8613346	FOTIY KRYLOV	Russia	5,250	1989	Icebreaker
7359668	FREJ	Sweden	7,470	1975	Icebreaker
4739439	HAIBING 722	China, People's Republic of	7,000	2016	Icebreaker
4739441	HAIBING 723	China, People's Republic of	7,000	2016	Icebreaker
9083380	HEALY	United States Of America	15,150	1999	Icebreaker
9957804	HELSINKI 519	Russia	19,700	2025	Icebreaker

8409329	HENRY LARSEN	Canada	6,167	1988	Icebreaker
9820233	ILYA MUROMETS	Russia	5,202	2017	Icebreaker
6516506	ISBJORN	Unknown	3,000	1966	Icebreaker
6501496	IVAN KRUZENSHTERN	Russia	2,315	1964	Icebreaker
9990208	JMU ISOGO 4057	Japan	13,000	2026	Icebreaker/Research
4738681	JOHN G. DIEFENBAKER	Canada	20,000	2029	Icebreaker
7406332	KAPITAN A. RADZHABOV	Azerbaijan	1,362	1976	Icebreaker
5181598	KAPITAN BELOUSOV	Ukraine	3,333	1954	Icebreaker
7406320	KAPITAN KOSOLAPOV	Russia	1,960	1976	Icebreaker
7406318	KAPITAN M. IZMAYLOV	Russia	1,669	1976	Icebreaker
7413490	KAPITAN NIKOLAEV	Russia	14,264	1978	Icebreaker
8878099	KAPITAN PLAKHIN	Russia	2,427	1977	Icebreaker
7413488	KAPITAN SOROKIN	Russia	15,385	1977	Icebreaker
8434283	KAPITAN ZARUBIN	Russia	2,335	1978	Icebreaker
8518120	KONTIO	Finland	7,066	1987	Icebreaker
7359644	KRASIN	Russia	14,058	1976	Icebreaker
9797539	L'ASTROLABE	France	2,028	2017	Icebreaker/Research
9137337	LAURENCE M. GOULD	United States Of America	2,966	1997	Icebreaker/Research
6705937	LOUIS S. ST-LAURENT	Canada	11,345	1969	Icebreaker
9271054	MACKINAW	United States Of America	3,407	2005	Icebreaker
8009193	MAGADAN	Russia	5,342	1982	Icebreaker
9326574	MOSKVA	Russia	9,491	2008	Icebreaker
8009181	MUDYUG	Russia	6,954	1982	Icebreaker
9658666	MURMANSK	Russia	11,720	2016	Icebreaker
9007257	NATHANIEL B. PALMER	United States Of America	6,174	1992	Icebreaker/Research
8613334	NIKOLAY CHIKER	Russia	5,250	1989	Icebreaker
9056985	NORDICA	Finland	9,392	1994	Icebreaker
9692571	NOVOROSSIYSK	Russia	11,720	2016	Icebreaker
9843223	OB	Russia	5,532	2019	Icebreaker
8700876	ODEN	Sweden	9,605	1989	Icebreaker
8405880	OTSO	Finland	7,189	1986	Icebreaker
9901374	PELLA SIETAS 1320	Russia	12,000	2024	Icebreaker
7510834	PIERRE RADISSON	Canada	5,775	1978	Icebreaker
5407904	POLAR	Unknown	237	1918	Icebreaker
9319997	POLAR CIRCLE	Cyprus	3,396	2006	Icebreaker
7391252	POLAR SEA	United States Of America	13,190	1977	Icebreaker

7367471	POLAR STAR	United States Of America	13,190	1976	Icebreaker
5099197	POLARFUCHS	Unknown	202	1956	Icebreaker
9734161	POLARIS	Finland	9,333	2016	Icebreaker
8013132	POLARSTERN	Germany	12,614	1982	Icebreaker/Research
9911238	ROSSIYA	Russia	68,601	2027	Icebreaker
8424240	ROSSIYA	Russia	20,680	1985	Icebreaker
4622351	SADKO	Russia	2,300	1968	Icebreaker
9326586	SANKT-PETERBURG	Russia	9,460	2009	Icebreaker
7119446	SEMYON DEZHNEV	Russia	2,315	1971	Icebreaker
4575015	SHIRASE	Japan	14,500	2009	Icebreaker
9774422	SIBIR	Russia	28,494	2022	Icebreaker
7359656	SISU	Finland	7,525	1976	Icebreaker
8838582	SOVETSKIY SOYUZ	Russia	20,646	1989	Icebreaker
4771097	TANDANOR	Argentina	13,000	2026	Icebreaker
5352886	TARMO	Estonia	3,916	1963	Icebreaker
8417481	TAYMYR	Russia	20,791	1989	Icebreaker
8127799	TERRY FOX	Canada	4,169	1983	Icebreaker
7904504	THORBJORN	Denmark	2,164	1980	Icebreaker
5418197	TOR	Russia	3,947	1964	Icebreaker
9658642	URAL	Russia	28,494	2022	Icebreaker
7347615	URHO	Finland	7,525	1975	Icebreaker
9402392	VARANDEY	Russia	7,338	2008	Icebreaker
6814245	VARMA	Latvia	4,121	1968	Icebreaker
8417493	VAYGACH	Russia	20,791	1990	Icebreaker
9658630	VIKTOR CHERNOMYRDIN	Russia	20,497	2020	Icebreaker
8127804	VLADIMIR IGNATYUK	Russia	4,391	1983	Icebreaker
4725218	VLADIMIR KAVRAYSKY	Russia	2,300	1969	Icebreaker
9658654	VLADIVOSTOK	Russia	11,720	2015	Icebreaker
5383158	VOIMA	Finland	4,159	1954	Icebreaker
8640246	VOLGA	Russia	2,300	1980	Icebreaker
8862662	WAL	Germany	636	1938	Icebreaker
8877899	XUE LONG	China, People's Republic of	15,352	1993	Icebreaker/Research
9829241	XUE LONG 2	China, People's Republic of	12,769	2019	Icebreaker/Research
9911202	YAKUTIYA	Russia	28,476	2024	Icebreaker
4750627	YEVPATIY KOLOVRAT	Russia	3,898	2023	Icebreaker
7505346	YMER	Sweden	7,470	1977	Icebreaker
6521850	YURIY LISYANSKIY	Russia	2,255	1965	Icebreaker

9945942	ZVEZDA	Russia	68,000	2032	Icebreaker
9945930	ZVEZDA	Russia	68,000	2030	Icebreaker

- 총 108 척이 확인 되었으며 이 중 건조 예정 선박을 제외하면 총 96척의 선박이 현재 운
행되고 있거나 정박되어있음

국가	Icebreaker	Icebreaker/Research	합계
Russia	52	2	54
Finland	8		8
United States Of America	6	2	8
Canada	6	1	7
Sweden	6		6
China, People's Republic Of	2	2	4
Estonia	3		3
Argentina	2		2
Germany	1	1	2
Japan	1	1	2
Azerbaijan	1		1
Cyprus	1		1
Denmark (Dis)	1		1
France		1	1
Korea, South		1	1
Latvia	1		1
Panama	1		1
Ukraine	1		1
Unknown	4		4



- 러시아가 총 54척의 쇄빙선을 보유하고 있어 가장 많은 숫자의 쇄빙선을 보유하고 있으며, 이는 전체 쇄빙선 수의 50% 임
- 쇄빙연구선을 보유하고 있는 국가는 8개 국가이며 러시아, 미국, 중국이 각각 두 척을 보유하고 있음
- 캐나다, 독일, 일본, 프랑스 그리고 대한민국이 각각 한 척의 쇄빙 연구선을 보유하고 있음

나. 국내 종합 조사선 현황

○ 국내 각 기관별 과학조사선의 현황은 다음과 같음

- 해양수산부 국립수산과학원

본원	동해수산연구소	서해수산연구소	남해수산연구소	남동해수산연구소
탐구 23호 탐구 22호 탐구 21호 탐구 20호 탐구 3호 탐구 7호 탐구 17호	탐구 12호	탐구 8호 탐구 2호	탐구 11호	탐구 10호 탐구 19호

- 국립수산과학원에는 본원을 포함해 6개의 연구소에 포함된 12대의 수산조사선이 소속되어있음
- 양식 어장 관리를 위한 10톤급의 탐구 19호부터 종합 자원조사가 가능한 약 1,679톤급의 탐구 23호까지 다양한 목적을 가진 과학조사선이 있음

- 해양수산부 국립해양조사원

남해해양조사사무소	동해해양조사사무소	서해해양조사사무소
해양 2000호 바다로 1호 바다로 2호 바다로 3호 남해로호	동해로호	황해로호 해양누리호

- 국립해양조사원에는 각 해역 해양조사사무소에 8대의 해양조사선이 소속되어있음
 - 국립해양조사원의 조사선은 수로관리와 연안항로 관리에 주로 사용됨
- 해양수산부 해양과학기술원
- 해양과학기술원에는 35톤급의 연안 조사선인 장목2호와 41톤급의 장목1호 그리고 350톤급의 근해 조사선인 이어도가 소속되어있음
 - 1,370톤급의 온누리호는 대양조사선으로 태평양 심해조사와 극지 조사를 수행한 경력이 있으며, 최근에 건조된 5,890톤급의 이사부호가 그 뒤를 이어 대양조사를 수행하고 있음
- 해양수산부 해양환경공단
- 90톤급의 아라미 1호와 2호, 396톤급의 아라미 3호가 서해와 남해 그리고 동해의 해양환경조사 및 해양수질측정망 조사에 사용되고 있음

- 국방부 국방과학연구소

- 180톤급의 미래호와 1,200톤급의 청해호가 국방과학연구소 산하 부설 해양과학기술원에 소속되어 해양조사 및 연구에 사용되고 있음

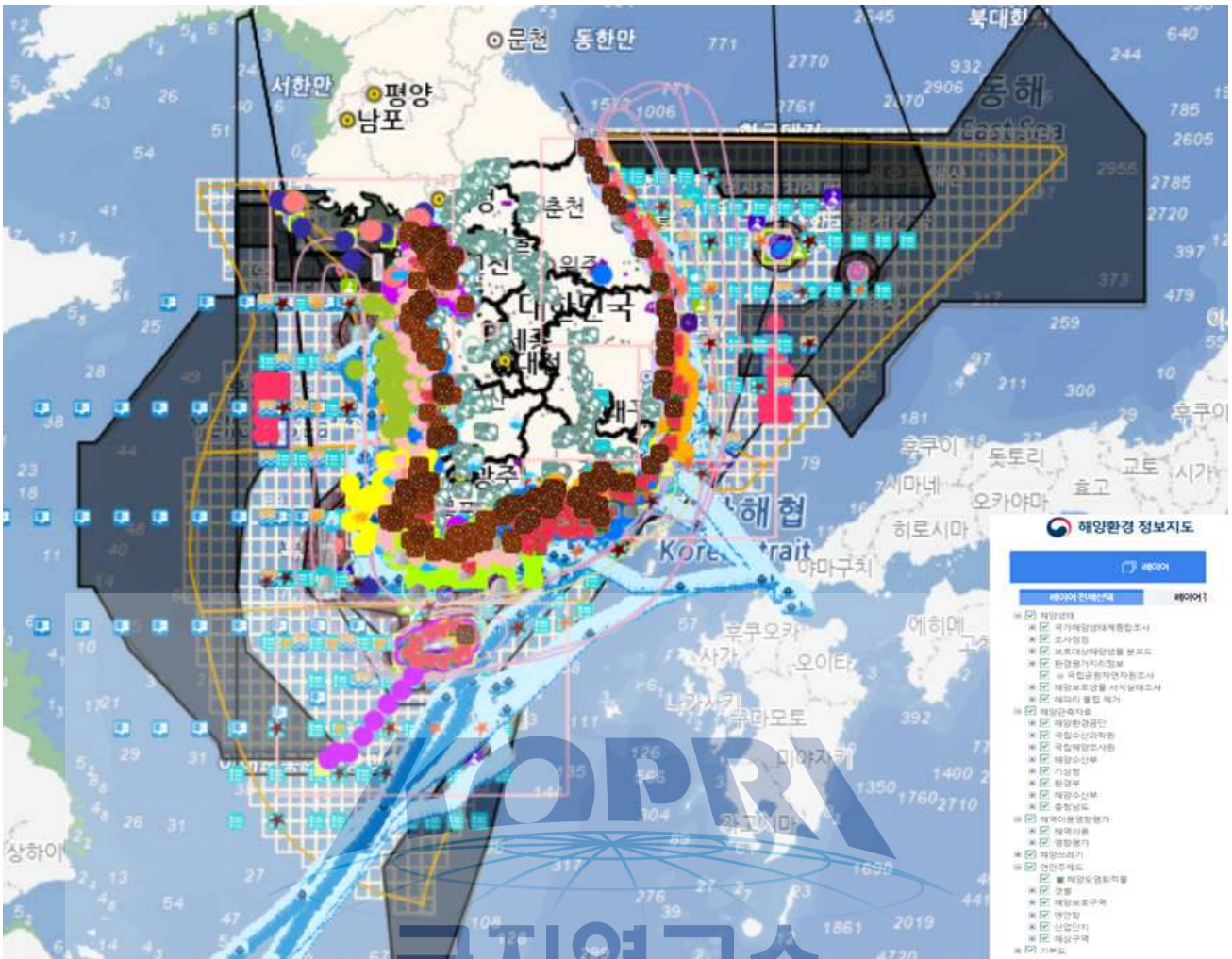
- 교육청

- 교육청 산하의 해양관련 11개 고등학교와 대학교에는 실습선 및 조사선으로 사용되는 20척이 소속되어있음

소속기관	종류	선명	총톤수
경상대학교	실습조사선	새바다호	999
경상대학교	시험조사선	참바다호	36
통영교육청	통학선	경남603호	16
통영교육청	통학선	경남607호	24
군산대학교	실습선	새해림호	2,996
군산대학교	실습선	해림2호	124
목포해양대학교	상선실습선	새유달호	3,644
목포해양대학교	상선실습선	새누리호	4,701
부경대학교	탐사선	나라호	1,494
부경대학교	실습선	가야호	1,737
완도수산고등학교	실습선	청해진호	444
전남대학교	어선실습선	새동백호	2,996
전남대학교	어선실습선	청경호	115
충남해양과학고등학교	조사선	한내1호	10
충남해양과학고등학교	실습선	한내호	438
포항해양과학고등학교	실습선	해맞이호	345
한국해양대학교	상선실습선	한나라호	3,640
한국해양대학교	상선실습선	한바다호	6,686
제주대학교	실습선	아라호	2,995
제주대학교	조사선	제라호	161

○ 과학조사선 활용 연구 현황

- 위와 같은 기관 별 조사선/실습선을 통해 국내 연근해의 대부분의 지역에서 해양의 다양한 분야에서 연구를 수행하고 있음



극지연구소

(출처 : 해양환경정보포털)

- 우리나라에서 이루어지는 해양 관련 연구를 종합해서 살펴보면 위의 지도에서 표시된 바와 같이 우리나라 전 해역을 대상으로 다양한 기관을 중심으로 정기/비정기적인 해양환경생태 조사가 이루어지고 있음
 - 생물/화학/물리/지질 전 분야에 걸쳐 조사가 이루어지고 있으며, 단순 수질 조사부터, 미생물에서 어류까지 모든 해양생물 분류군에 관한 분류 생태학적 조사까지 다양한 분야에서 조사가 이루어지고 있음
 - 대부분의 정기조사는 국가 기관에서 실시하는 대규모 조사로 이루어져 있으며, 각 기관의 역할에 맞추어 특정 목적을 가진 조사를 중심으로 이루어지고 있음
- 학생대상 해양 교육 프로그램
- 과학조사선을 소지하고 있는 각 대학 및 고등학교에서는 재학생을 대상으로 학교 교육 과정에 맞는 선상 실습을 진행하고 있음
 - 하지만 소지하고 있는 연구선이 없는 대부분의 교육 기관은 선상 실습을 진행하기 어려운 상황임

다. 국외 프로그램

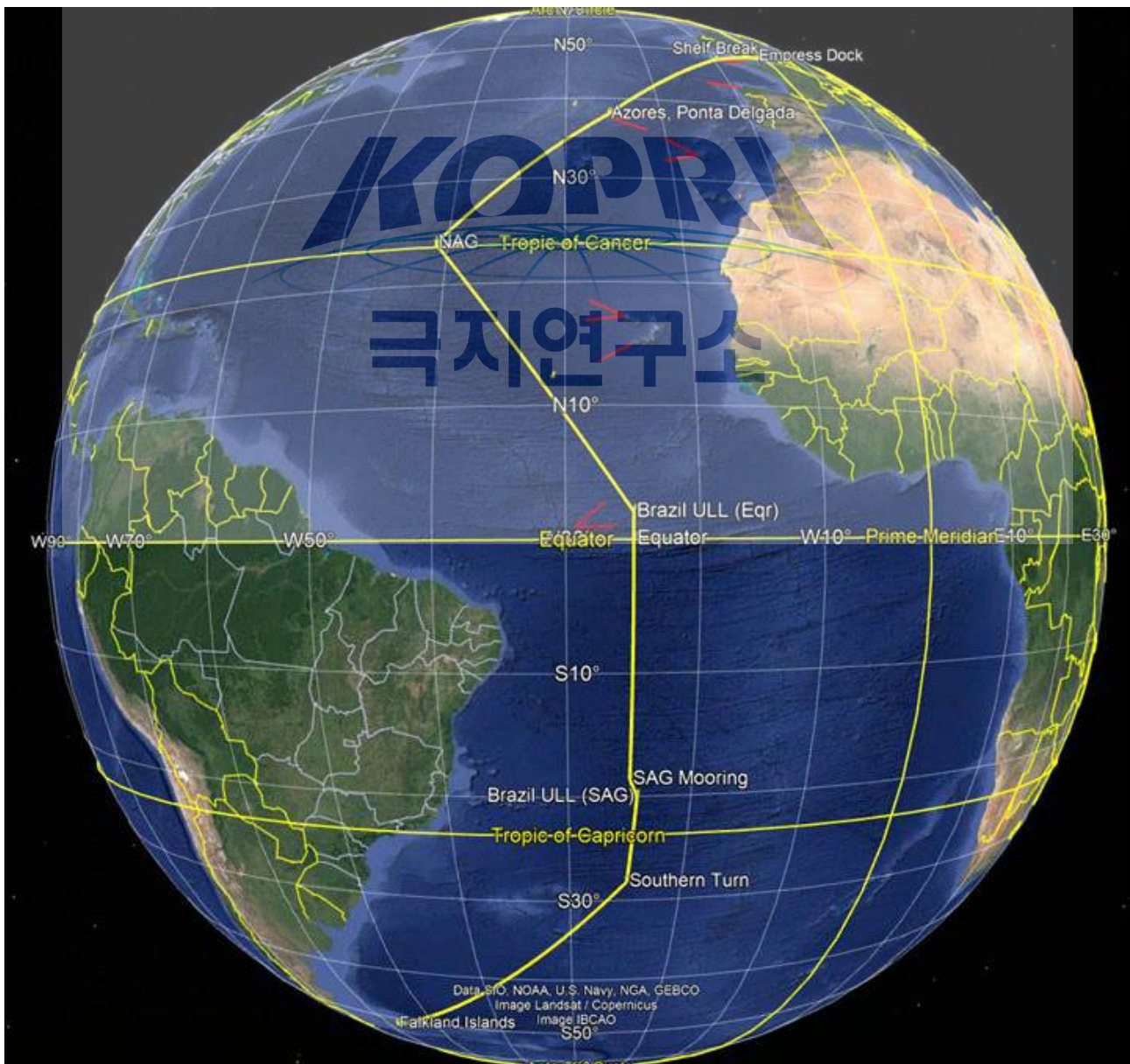
□ 이동 궤적 활용 관측 프로그램

○ Atlantic Meridional Transect (AMT)

홈페이지: www.amt-uk.org

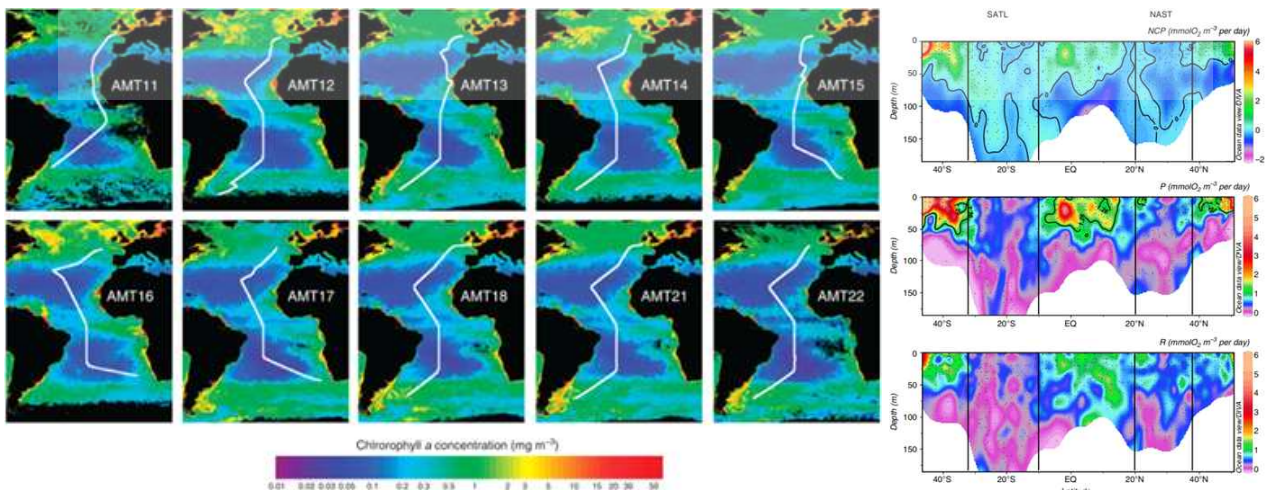
개요:

- AMT-UK는 대서양 경도 이동 프로그램 (AMT)
- 1995년부터 영국과 남대서양 (포클랜드 제도, 칠레, 우루과이 및 남아프리카)의 목적지
- 사이에서 해양학적 및 대기학적 변수의 광범위한 측정을 수행
- 이 프로그램은 최대 100°의 위도를 걸쳐 다양한 생태계를 가로지르며, 극지에서 열대 지역까지, 영양분이 풍부한 대륙붕 해역과 해류 시스템에서 전영양 중앙해역까지 다양한 생태계를 가로질러 진행



(<https://www.frontiersin.org/research-topics/24988/the-atlantic-meridional-transect-programme-1995-2022>)

- AMT01 (1995년 9월 21일 ~ 10월 23일) ~ AMT30 (2023년 2월 21일 ~ 3월 30일)
 - AMT30은 2023년 2월 21일부터 3월 30일까지 진행될 예정
 - RRS Discovery 연구선박을 타고 포트 스탠리를 출발하여 6주 이상 동안 승무원과 PML, Scottish Association for Marine Science, National Oceanography Centre (NOC) 및 Oxford, Exeter, Liverpool, East Anglia 및 Heriot Watt 대학의 26명의 과학자들이 함께 진행
 - 또한 Lisbon 대학 (포르투갈), Michigan State University 및 NASA (미국), Pretoria 대학 (남아프리카)에서 승선 예정.
 - POGO Visiting Fellowship for Shipboard Training on an Atlantic Meridional Transect (AMT) Cruise을 통해 CICESE (멕시코)의 특별 방문 연구원도 참여하여 수리학적, 생물광학적 및 생태학적 관측을 수행하고 크루즈 후 NOC에서 추가적으로 측정 데이터 분석 및 해석 방법을 배울 예정.
 - AMT 임무는 항상 다양한 과학적 의제가 포장되어 있으며 올해도 예외가 아닙니다. 샘플링 활동에는 탄소화학, 미생물 생물다양성, 영양소 분포, 질소 고정, 광학적 특성, 산소 상태, 기체 교환 및 에어로졸 침착 등이 포함
 - AMT 데이터셋은 British Oceanographic Data Centre에서 호스팅되며 240,000건 이상의 다운로드와 380건 이상의 과학 논문이 생성
- (<https://www.amt-uk.org/Cruises/AMT30>)



- Vertical CTD profiles and continuous underway data
- Optical characteristics of the water column
- Biogeochemical measurements on water samples including nutrients,

pigments, dissolved gases and particulate carbon and nitrogen

- Primary, new production and respiration measurements

○ United States Southern Ocean Global Ocean Ecosystems Dynamics Program

홈페이지: http://www.ccpo.odu.edu/Research/globec_menu.html

- GLOBEC은 Global Ocean Ecosystem Dynamics의 약자로, 기후 변화에 따른 해양 생태계의 변화를 예측하기 위한 국제 연구 프로그램

- 이 프로그램은 해양의 탄소 순환을 집중적으로 연구한 Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS)의 후속 조치로 시작

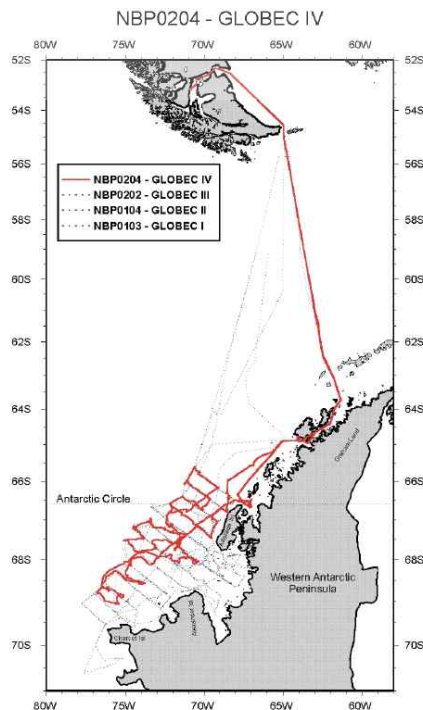
- SO GLOBEC는 미국 세계 해양 생태계 역학 프로그램의 일환으로, 물리학, 생물학, 화학 분야의 과학자들이 함께 협력하여 미국 GLOBEC 현장 프로그램에서 수집된 데이터를 활용하여 물리학, 생물학, 화학의 상호작용에 대한 이해를 더욱 발전시키는 것이 주요 목표

- 이를 위해서는 데이터 교류가 이루어져야 하며, 데이터는 적시에 공유되

- 이와 더불어, ICED(Integrating Climate and Ecosystem Dynamics in the Southern Ocean) 프로그램은 남극해의 기후 상호작용과 생태계 역학, 생물지구화학적 순환 및 지속 가능한 관리 절차 개발에 대한 통합적인 다학제적 접근 방식을 개발

- GLOBEC 프로그램의 지원을 받고 있음

- 이를 위해 국제 연구를 주도 및 조정하며, EUR-OCEANS와 IPY(ICED-IPY)와 함께 극지 연구 협력체를 구성하여 진행



- SST, Salinity, fluorescence, pCO₂, bottom depth, meteorological data.를 아르헨티나 200마일 밖에서 연속측정
- 연속적으로 측정하는 자료는 다음의 표와 같은 항목에 대해 항목별 측정 센서를 이용하여 지속적으로 측정하여 데이터 생성

Variable	Sensor	Serial Num.	Last Cal.
Star. Wind	RM Young 5106	WM45834	03/15/02
Port Wind	RM Young 5106	WM46263	03/15/02
AT, RH	RM Young 41372LC	06134	06/01/01 (new)
BP	RM Young 61201	01705	06/01/01 (new)
PAR	Biosp. Inst. QSR-240P	6356	02/15/01
SW	Eppley PSP	33090F3	12/06/01
LW	Eppley PIR	33845F3	06/11/02
SST	Sea-Bird 3-01/S	4071	04/16/02
SSS	Sea-Bird 21	1390	02/26/02
Trans	WET Labs C-Star25cm	CST-422PR	12/20/01
Fluor	Turner 10AU-005-CE	5651-FRTD	Uncalibrated

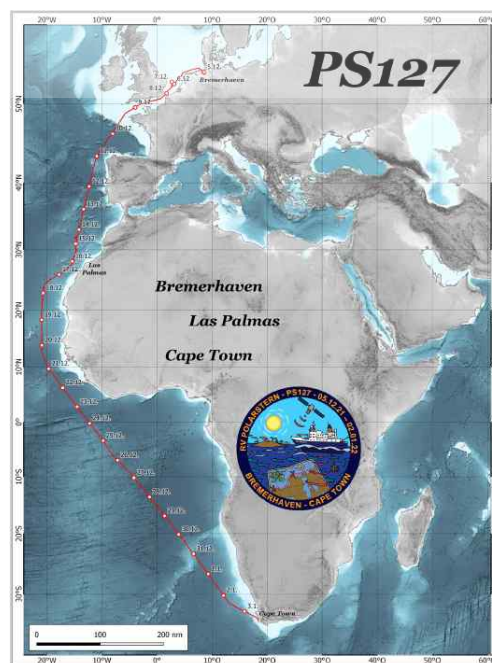
○ Alfred Wegener Institute

홈페이지: <https://www.awi.de/en/>

장기크루즈 계획:

<https://www.awi.de/en/about-us/logistics/schedules/polarstern-longterm-cruise-planning.html>

- POLARSTERN to the Atlantic Ocean in 2021/22 (expedition PS127) 기간 동안 Bremerhaven~Cape Town 항로를 이동하며 pCO₂ concentration, algal pigment, salinity and temperature를 연속해서 측정



- 측정 방법에 관하여 새롭게 정비하는 연구를 수행함
- 동시에 ECHOSOUNDER TRAINING COURSE가 포함되어 교육 진행 \

○ Aurora Australia Marine Science Cruise

(a)

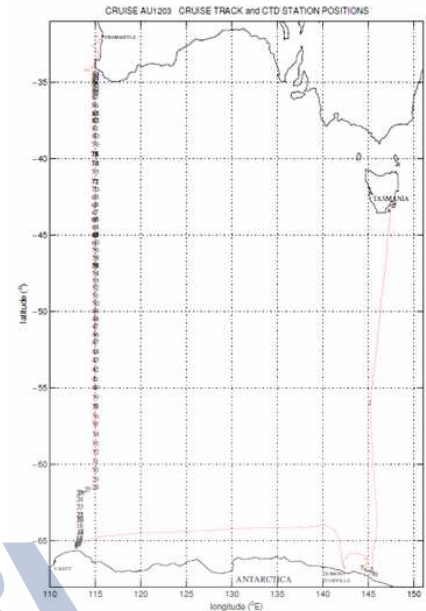
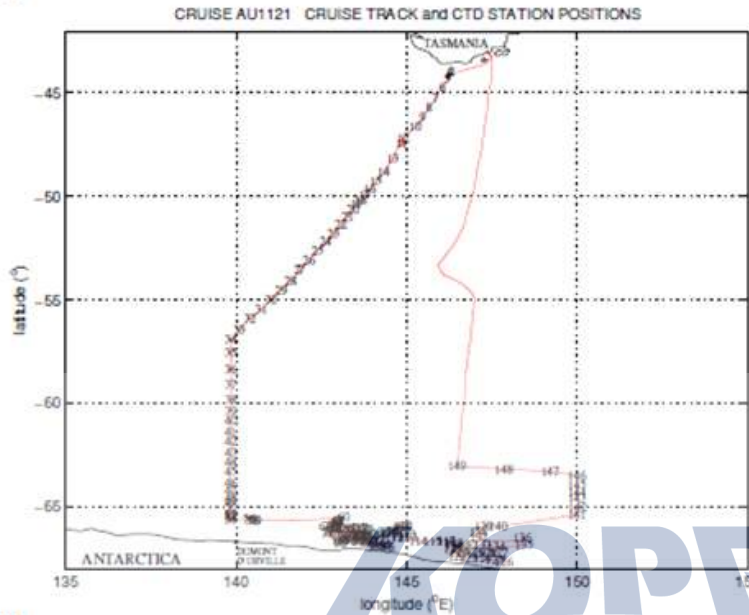


Figure 1. CTD station positions and ship's track for cruise au1203.

- Aurora Australis Foundation은 지금은 퇴역한 Aurora Australis와 Aurora Australis II 두 대의 쇄빙선을 사용하여 Australia 와 남극사이에 연구정점을 선정하여 지속적으로 조사함
- 2011년 149개 2012년 95개 정점에서 CTD를 수직으로 조사하고, Niskin Bottle을 이용한 해수 시료를 매년 1,000개 이상 채집함
- 온대 해역에서 극지역까지 이어지는 이동항로 동안 등간격으로 조사를 진행하여 이동 시간이 길게 소비된 연구

□ 이동 궤적 활용 교육 프로그램

○ Woods Hole Partnership Education Program (PEP)

홈페이지: <https://www.woodsholediversity.org/pep/>

연도별 보고서 참고

- Woods Hole 파트너십 교육 프로그램(PEP)은 6개의 Woods Hole 과학 기관 과 학업 파트너인 University of Maryland Eastern Shore 간의 다중 기관 프로그램
- 이 프로그램은 지구 기후 변화에 대한 4주 코스와 10주 연구 프로젝트로 구성되어 있으며 모두 해변 마을인 Woods Hole에서 진행
- 육상에 진행되는 교육 프로그램 이외에 SEA의 SSV Corwith Cramer을 타고 5일간

의 향해를 통해 선상 교육 진행

- NOAA의 국립 해양 어업 서비스; Woods Hole Oceanographic Institution, 미국 지질조사국; 해양교육협회, 해양생물연구소 및 Woodwell 기후 연구 센터의 연구원들이 강사로 참여하며, University of Maryland Eastern Shore와 학점 교류를 진행
- 수료한 학생은 멘토링 프로그램을 통해 연구 인턴십에 참여
- 다년간 진행된 교육 프로그램을 통해 발굴된 학생들이 지속적으로 PEP 커뮤니티를 통해 교류

2023년 일정

2월 10일 - 지원 마감일(포털은 EST 오후 11:59에 즉시 닫힙니다.)

2월 17일 - 추천서 마감일(포털은 EST 오후 11:59에 즉시 닫힙니다.)

6월 3일 - 인턴들이 Woods Hole로 여행

6월 5일 - 환영 및 오리엔테이션 행사

8월 11일 - 최종 발표 및 심포지엄

8월 12일 - 인턴들이 Woods Hole을 떠남

○ ArCS II (Arctic Challenge for Sustainability II)

홈페이지: <https://www.nipr.ac.jp/arcs2/e/>

- 대상 : 본 실습 신청 및 참가시기에 국립·공립·사립대학에 재적하는 학부 학생
- 정원 : 10명 정도

- 젊은 인재 육성 활동의 일환

- 홋카이도 대학 수산 학부 부속 연습선 오쇼로 마루 에 승선

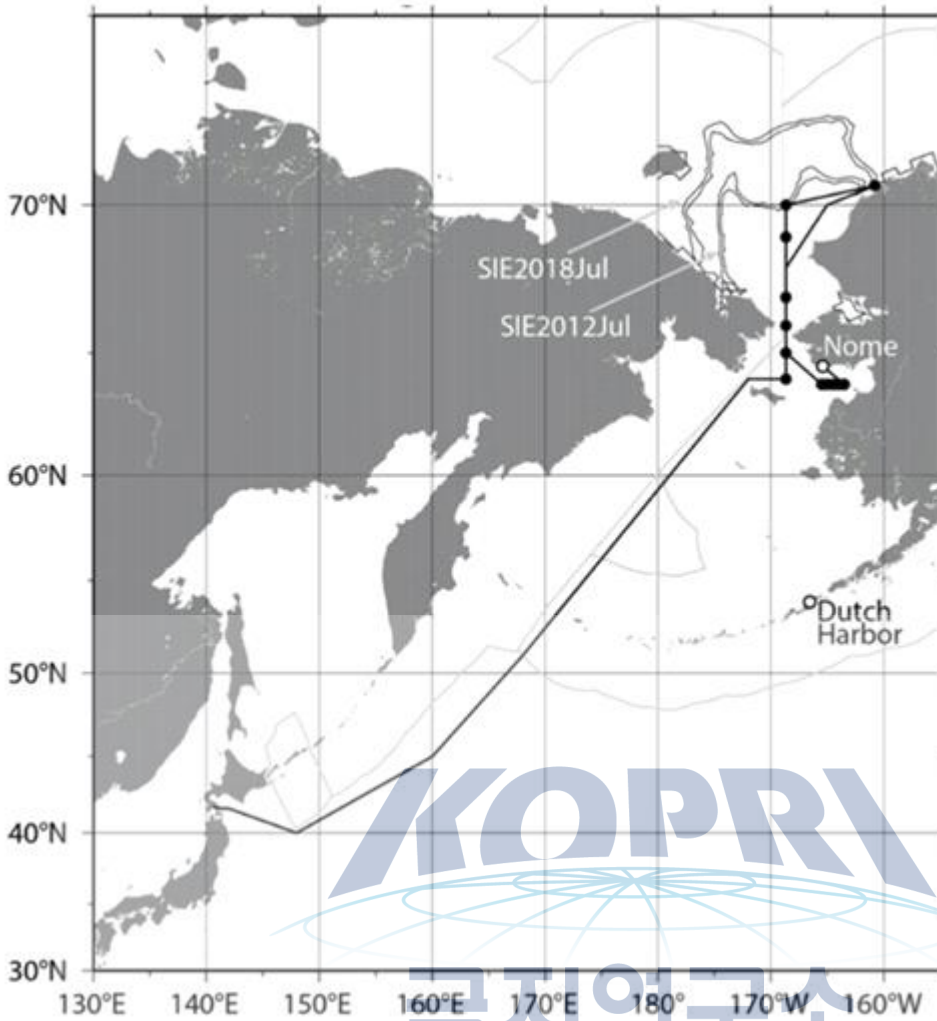
- 해양 물리·화학 관측, 플랑크톤·어류 등의 채취·조류·포유류 등의 육안 조사 등을 실시

- 북극해의 해양 환경이나 생태계를 이해·북극권의 역사나 문화를 배움

북극역의 자연과학·인문과학의 연구자를 목표로 하는 학부학생

- 기업·행정·교육·NPO 등의 다양한 사회활동 직접적·간접적으로 북극역의 여러 문제의 해결

- 북극역 에 관한 지식의 보급에 향후 적극적으로 참여



○ POGO (Partnership for Observation of the Global Ocean)

- 세계의 주요 해양 연구 기관을 연결하는 글로벌 네트워크
- POGO의 사명은 협력을 통해 전 세계 해양 관측을 개선
- POGO는 1999년에 설립되었으며 본부는 영국 런던
- 현재 40개 이상의 국가에서 100개 이상의 기관이 회원으로 활동
- POGO는 다음과 같은 다양한 작업을 통해 해양 관측을 개선하기 위해 노력
- 해양 관측의 중요성에 대한 인식 제고
- 해양 관측 기관 간의 협력 촉진
- 새로운 해양 관측 기술 개발
- 해양 관측 데이터 및 결과의 공유 및 접근성 개선
- POGO는 다음을 포함하여 다양한 방법을 사용하여 목표를 달성
- 회의 및 워크숍 개최
- 연구 프로젝트 자금 지원

- 교육 및 훈련 제공
- 해양 관측 데이터 및 결과에 대한 액세스 제공
- 2001년 상파울루 선언 에서 POGO는 해양 관찰 능력에서 북반구와 남반구 사이의 세계적 불균형에 주목하고 개발도상국에서 그러한 능력을 향상시키기 위한 즉각적인 조치를 권고
- 수년에 걸쳐 POGO는 주로 개발도상국의 신진 과학자를 대상으로 하는 광범위한 교육 프로그램을 개발
- NF-POGO Alumni Network for Oceans(NANO) 및 공동 해양 관찰 프로젝트를 통해 졸업생에게 지속적인 지원 제공
- POGO는 또한 새로운 기술과 해양 관측을 위한 저비용 기술의 출현이 개발도상국의 해양 관측을 향상하고 데이터 범위의 현재 격차를 메울 수 있는 솔루션을 제공할 수 있음
- 이를 위해 POGO는 해안 모니터링을 위한 저비용 센서 개발에 대한 두 가지 프로젝트인 OpenMODS 및 SAGITTA 에 자금을 지원
- 상파울루 선언 에서 POGO는 또한 북반구에 비해 남반구에서 해양 관측의 상대적 부족을 강조
- 이에 대한 조치로 2003-04년에 POGO 회원인 JAMSTEC 은 약 3,500만 달러로 추산되는 비용으로 자사의 배인 Mirai를 사용하여 남반구 일주인 BEAGLE Expedition을 조직, 약 5 년 후에 AMT Shipboard Training Fellowship 의 설립으로 이어져 Nippon Foundation이 자금을 지원 하는 광범위한 선상 훈련 프로그램이 개발됨
- 2001년에 POGO는 처음에 IOC 및 SCOR 와 파트너십을 맺은 Visiting Fellowship 프로그램을 설립했으며 현재까지 SCOR와 파트너십을 유지
- Nippon Foundation은 특히 AWI(Alfred-Wegener-Institute) Helmholtz 극지 및 해양 연구 센터 에서 주최하는 NF-POGO 관측 해양학 우수 센터 설립을 통해 POGO 역량 개발을 후원해오고 있음
- POGO 역량 개발 프로그램은 높은 평가를 받고 있으며, 교육을 받는 사람과 제공하는 사람 모두로부터 매우 긍정적인 피드백을 받고 있으며, 기관뿐만 아니라 개인에게도 명백한 영향을 미쳤으며 성공적인 교육 및 역량 개발의 모범으로 자주 사용됨
- POGO 사무국과 회원들은 회의에서의 프리젠테이션과 포스터, 비공식 토론 및 간행물을 통해 POGO의 경험과 학습한 교훈을 다른 조직과 공유

3. 설문/자문 진행 방법

가. 사전 설문 조사

- 온라인을 통해 사전 설문 조사를 진행
 - 설문기간 : 2023년 3월 20일~31일
 - 설문구성 : 아래와 같이 설문 문항을 구성

▶응답자 신상 파악
응답자의 소속, 직위, 전공 등 작성

▶이동항해 관측 분야 수요 파악
항해 경로 수요 조사
관측 항목 수요 조사
필요성 및 승선여부 조사

▶이동항해 교육 분야 수요 파악
교육 항목 수요 조사
교육자 및 피교육자 의향 조사

▶개인 정보 처리 동의

- 설문 진행 대상 : 아래의 대상에게 설문을 배포

▶해양학회 회원
학회 공식 메일 발송을 통해 배포

▶극지연구소 PAP/쇄빙선 공동활용 신청 팀
신청 제목을 기준으로 관련 팀 파악
연구 책임자 개별 이메일 발송

▶전국 해양학 교수 협의회
소속 교수 개별 이메일 발송

▶필수 대상 인원
발주처 및 수행사의 선별 인원 개별 이메일 발송

나. 전문가 서면자문

- 설문 조사 결과를 바탕으로 전문가 설문 조사 진행
 - 전문가 선정은 발주기관과 협의하여 분야별 전문가 선정

- 물리/화학/생물/지구물리로 분야를 나누어서 본 과제와 직접 연관이 있는 전문가를 선정
- 온라인 설문 결과 제시 및 연구 단계 별 질문을 통한 전문가 의견 수렴

다. 보고회 및 전문가회의

○ 착수보고회

- 2023년 3월 10일 실시
- 관계 전문가 자문을 통한 연구 방향 검토

○ 중간보고회 겸 해양학회 특별 세션

- 2023년 5월 3일 실시
- 설문 조사 결과 발표
- 각 분야 전문가 발표를 통한 국내외 프로그램 확인
- 토론회를 통한 각 분야별 전문가 의견 청취

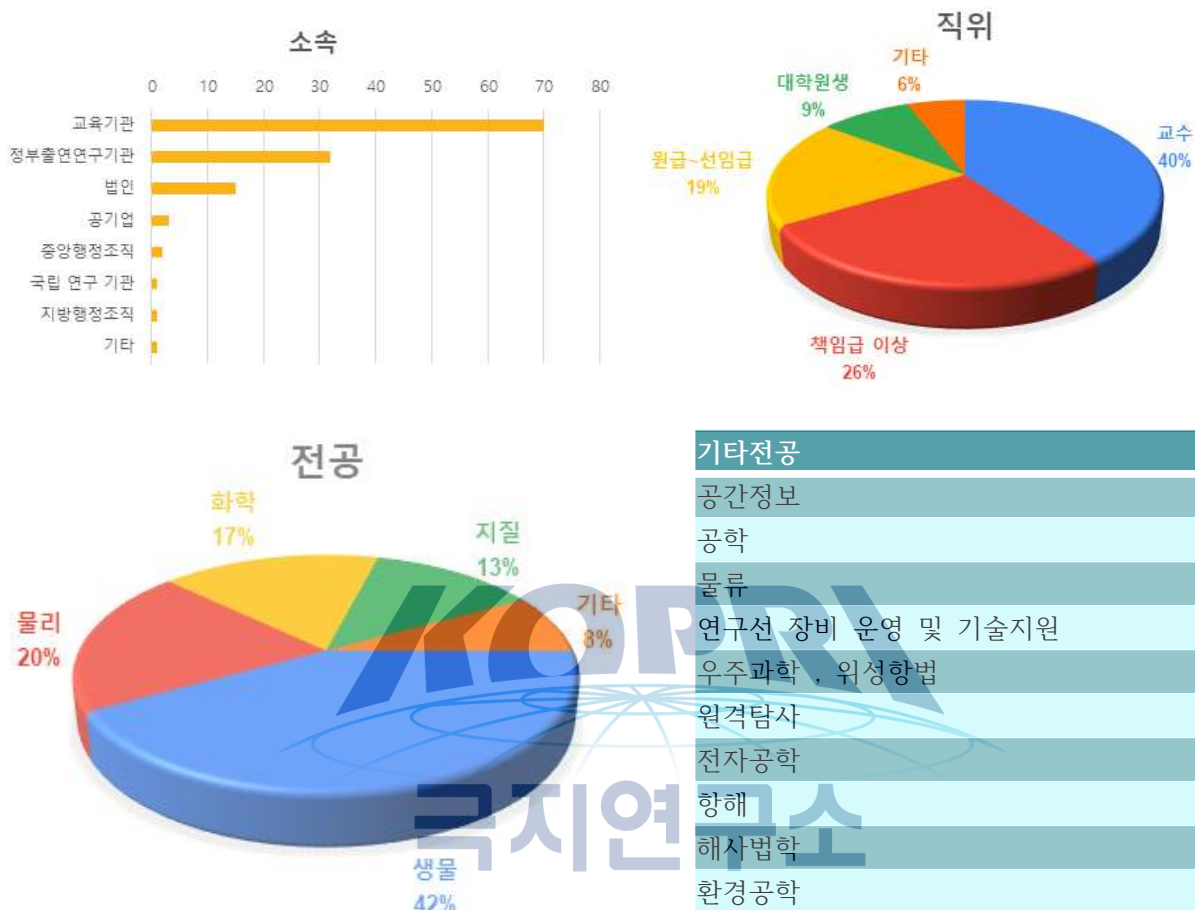
○ 최종보고회 겸 전문가 협의

- 2023년 5월 16일 실시
- 작성된 관측 프로그램 및 교육 프로그램 제시
- 서면 및 학회를 통해 자문을 진행한 전문가들의 검토 의견 청취

4. 설문/자문 결과

가. 사전 설문 조사

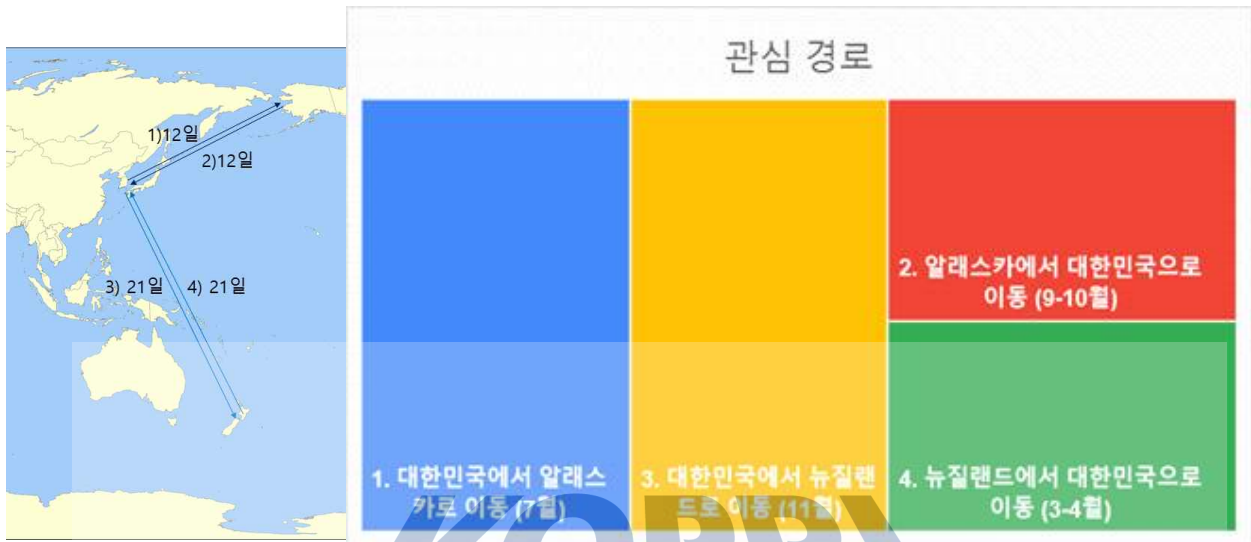
○ 응답자 현황



- 교육기관에 소속된 응답자가 가장 높게 나타났으며 정출연과 법인 소속이 그 뒤를 이었음
- 교육기관의 응답이 높게 나타난 것과 같이 응답자의 40%는 교수인 것으로 나타났으며, 연구 기관과 법인의 책임급 이상이 26%로 나타나 응답자의 66%가 연구 책임자 급임

- 생물 전공이 42%로 가장 높게 나타났으며 물리,화학 그리고 지질 순으로 나타남
- 기타 전공은 공간정보, 공학, 물류, 우주과학, 항해, 법학 등
- 조사선 탑승 경험은 79%의 응답자가 탑승 경험이 있는 것으로 나타남

○ 경로 관심도



- 북극과 남극으로 이동하는 항해에 관한 관심도가 북극과 남극에서 돌아오는 항해에 관한 관심도가 높게 나타남

극지연구소

○ 관측 관심도

관심항목	응답수
이동관측 - 수온, 염분, pH, 용존산소 등	72
이동관측 - 수심, 저질 구조 측정 등	26
이동관측 - 대기 성분 분석	20
이동관측 - 에코사운드 프로파일 등	19
이동관측 - 해파리, 유영동물 목시조사	18
이동관측 - 미생물 총 균수	17
이동관측 - 선상 삼성분 자력, 중력 측정 등	1
이동관측 - 지자기자료 및 멀티빔(해저지형) 자료 획득, 암석샘플 채취	1
이동관측 - 질산염 농도, 엽록소 형광	1
이동관측 합계	175
정선관측 - 동,식물플랑크톤 네트	35
정선관측 - 로젯 샘플링을 통한 수층 조사	27
정선관측 - 중,대형 저서동물 그랩/코어	22
정선관측 - 난,자치어 네트	14
정선관측 - 저질 그래비티 코어	11
정선관측 - 드렛지	1
정선관측 - 저질 그래비티코어,	1
정선관측 합계	111
기타 의견 합계	28

- 이동관측에 대한 수요가 175개로 정선관측에 관한 수요 111개 보다 50% 높게 나타남
- 이동관측 중에서는 기초 항목인 수온, 염분, pH, 용존산소 등의 측정이 가장 높게 나타남
- 정선관측 중에서는 동,식물플랑크톤/수층채집/저서동물 채집에 관한 수요가 모두 높게 나타남
- 기타 의견도 아래와 같이 다양한 부분에 걸쳐 28종의 수요가 조사됨

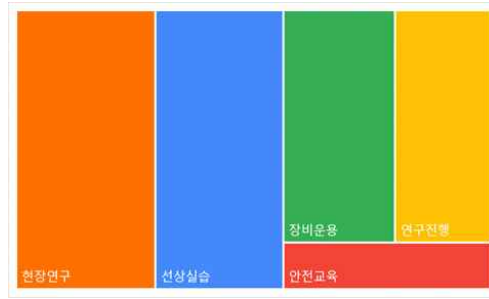


- 위 항목들은 10년 이내의 장기관측 수요가 45%로 가장 높게 나타났으며 중기관측의 수요가 33%로 역시 높게 나타남



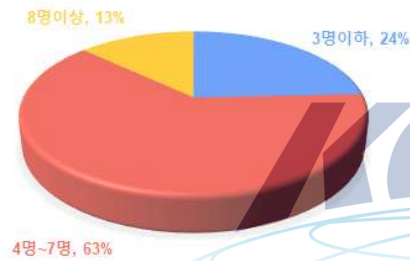
○ 응답자의 교육 관련

교육 진행 경험



- 응답자 중 34%가 선상에서 교육을 진행해본 경험을 가지고 있는 것으로 나타났으며 현장연구 및 선상실습을 진행해본 비율이 가장 높은 것으로 나타남
- 장비운용이 그 다음으로 높게 나타남

교육팀 규모



- 교육을 진행한다면 4~7명의 규모로 진행해야 한다는 의견이 63%로 가장 높게 나타남

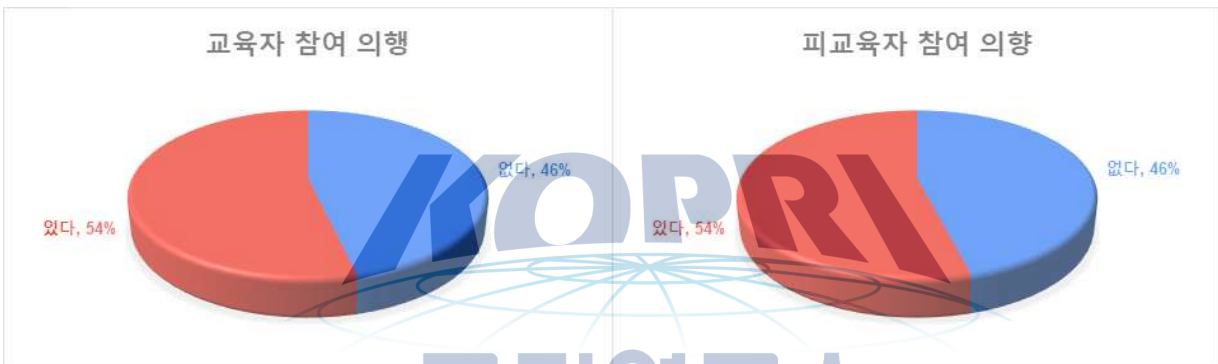
교육을 받아본 경험



- 49%의 응답자가 선상에서 교육을 받아본 것으로 나타남
- 교육은 선상 실습을 받아본 경험이 가장 많은 것으로 나타났으며, 안전교육 경험이 그 다음으로 높게 나타남



- 교육에대한 수요는 장비운용이 가장 높게 나타났으며, 선상실습이 그 다음으로 나타남
- 기타 의견으로는 ROV, 잠수정 운용, 지역별 해양특성, 실시간 생물 배양, 수심 별 채집 방법, 해사 사이버 보안, 선박화재 진압, 특정 분야 연구 다양한 교육 수요가 나타남



- 응답자중 54%가 교육자로 선상교육 프로그램에 참여할 의향이 있는 것으로 응답하였으며, 54%의 응답자가 프로그램이 개설될 경우 교육을 받기를 원하는 것으로 나타남

나. 전문가 서면자문 결과

- 전문가 자문 결과는 아래와 같이 응답이 나타남

Q1. 이동 향해 관측 수요는 수온, 염분과 같은 기초 항목 측정이 가장 높게 나타났지만, 이동 및 정선 관측에서 측정이 가능한 대부분의 항목 측정이 필요하다고 응답하였습니다. 이 중에서 장기적인 관측을 수행할 경우 의미 있는 결과가 도출될 항목에 대해 가급적 우선순위와 함께 말씀해주시고, 어떤 이유로 그 항목이 장기 관측이 필요한지 말씀해 주시기 바랍니다.

A1

수온 염분, 용존산소와 같은 항목은 가장 기본적으로 수행되어야 할 분석 항목임. 하지만 장기간의 기후 변화에 의한 해양환경에서의 1차생산은 수온, 염분과 같은 항목으로는 평가하기 어려운 점이 존재함. 1차 생산에 큰 영향을 끼칠 수 있는 요인으로는 해수 중에 존재하는 여러 화학물질들의 농도 분포와 순환 기작을 파악하는 것이 중요하다고 판단됨. 그러므로 가장 기본이 되는 영양염 (질산염, 인산염, 규산염 등)을 포함한 여러 화학적 물질들의 농도 분석을 위한 해수시료의 채취가 정선관측에서 실시되어야 함. 만약 충분한 ship time이 주어진다면 Clean sampling을 따로 실시하여 미량원소의 농도 분석도 진행할 경우, 해양 환경에서 기후변화에 의한 1차 생산의 변화를 평가하는데 많은 도움이 될 것으로 생각함. 가장 바람직한 방향은 CTD-CMS 자체를 Clean sampling이 가능하도록 개선하는 것이지만 이는 경제적으로 많은 부담이 갈 것으로 판단됨.

A2

쇄빙연구선 이동 궤적을 활용한 관측은 정선 관측에 필요한 시간 제한으로 인해 표층 연속 관측 위주로 진행되는 것이 불가피함

해양 표층은 대기와 해양 사이의 물질 교환(온실기체, 에어로졸 등)이 일어나는 경계임
온실기체(CO₂, CH₄, N₂O 등)나 해양기원 휘발성 물질(DMS, isoprene 등)의 해양 분포는 표층 미생물의 광합성과 호흡에 큰 영향을 받음

장차 기후 변화에 따라 해양 표층의 일차생산에 상당한 변화가 예상되며, 이에 따라 해양 표층의 온실기체와 해양기원 휘발성 물질의 공간 분포도 영향을 받을 것임

표층 연속 관측이 가능한 일차생산 지표(fast repetition rate fluorescence나 O₂/Ar)와 함께 온실기체, 해양기원 휘발성 물질의 표층 분포를 장기적으로 관측함으로써 기후 변화에 따른 해양과 대기의 물질 교환 변화 양상을 파악할 필요가 있음

이와 관련하여 다음 관측 항목의 장기 관측을 제안함:

- (1), 표층 수온, 염분, 용존 산소, 엽록소 형광, 질산염,
- (2) O₂/Ar, FRRF,
- (3) CO₂, CH₄, N₂O,
- (4) DMS

A3

장기적인 관측 수행 시 일관된 방식으로 지속 수집해야만 자료의 활용도가 크며, 반대로 매번 이동 관측의 경로나 정선 관측 정점이 변경되면 자료의 활용도가 떨어지는 점을 반드시 고려할 필요가 있습니다. 즉, 정선 관측뿐만 아니라 이동 관측 시에도 의미 있는 결과를 도출할 수 있는 자료를 수집하기 위해서는 측정 항목뿐만 아니라 우선 측정하는 위치부터 신중하게 고려할 필요가 있습니다. 심지어 측정 위치에 따라서 중요하게 고려되어야 할 측정 항목은 달라질 수도 있습니다.

특히 정선 관측의 경우에는 이동 관측과 달리 공해인지 특정국의 EEZ 해역(배타적경제수역)인지의 여부에 따라 사전(최소 6개월 전)에 상대국의 협조(MSR 제출 등)를 받아야 하므로 과학적인 목적 외에 다른 목적까지 고려하여 관측 정점을 신중하게 결정해야 합니다. 최소한, 이동 경로상의 매번 달라지는 불특정 위치에서 위치에 무관하게 특정 시간(매일 1회 등)마다 정선 관측을 시도하는, 의미 있는 결과 도출이 어려워질, 비효율적인 자원 낭비만큼은 없어야 할 것입니다.

장기적인 관측 수행 시 설문조사를 통해서도 파악할 수 있는 것처럼 수온, 염분과 같은 기초 항목의 수요가 크고, 생지화학적 과정을 연구하기 위해 필수적으로 물리적인 과정에 대한 기초적인 이해가 필요하므로 기초 항목은 매번 반드시 측정되어야 할 가장 높은 최우선 순위 관측 항목이라고 할 수 있습니다. 다른 항목은 해당 해역의 해양 과정/현상을 고려하여 매번 중요한 관측 해역을 결정하고 해당 해역의 해양 과정에 관심을 둔 승선연구자의 연구 목표에 적합한 관측 항목을 측정해도 될 것으로 보입니다. 이보다 더 중요한 문제는 매번 반드시 측정해야 할 기초 항목을 어느 위치에서 어떻게 측정할 것인지를 문제입니다. 따라서 정점 위치 선정을 위해 가장 먼저 이동 경로 상의 주요 수괴 구조와 해수의 순환에 대한 기초적인 이해가 요구됩니다. 이를 바탕으로 가장 효율적으로 장기간 지속 수직 프로파일링 측정할 정점을 결정해야 하겠습니다.

A4

우선순위: 조사선 운항중 가능한 측정 및 채집 가능한 모든: 수온, 염분, pH, DO, 수중음향, 대기성분, 채수 등

이유: 사전 검토 및 유지보수가 용이하고 자동화가 가능한 모든 장비

A5

- 장기관측으로 데이터가 가치를 인정받기 위해서는 자료의 활용 목적성을 염두에 둔 자료 수집이 필요함
- 수온, 염분과 같은 기초자료는 장기 자료 축적시 수괴변동, 생태계 변화 등 장기변화에 대한 아주 초기적인 신호로 활용할 수 있으나, 단순히 기초자료 수집만을 맹목적으로 하기보다는 추가 센서 장착(pco2, 생리활성도 측정기 등)하여 규명하고자 하는 목적을 먼저 설정하는 것이 필요함
- 의미있는 결과(예상) 도출순위 : 이동관측에서는
 1. 질산염 농도/엽록소 형광(자료 장기 수집시 쇄빙선 이동 경로상 가로지르는 빈영양해역의 변화양상 파악 가능) ,
 2. 수온,염분, 용존산소 등(장기 수집시 자연현상변화 해석에 활용가능)
 3. 대기성분 분석(기후변화와 연결 가능성)
 4. 해파리, 유영동물 목시조사(꼭 목시 조사가 아니더라도 에코센서 등과 연계하여 유영동물에 대한 자료가 포유류나 유해생물 연구에 활용 가능)
- 정선관측에서는
 1. 로젯샘플링 수층조사(항목의 획기적 다양화 가능)
 2. 동/식플 네트(생태계 변화에 대한 기초자료로 활용가능)
 3. 저질 그래비티 코어(자료의 가치는 높으나 승선시간 상 거의 불가능할 것으로 예상됨)

A6

- 매년 동일 시기에 반복되는 장기 관측은 수괴 특성 및 물질 분포 변화를 추정하는데 기초 자료가 됩니다. 가장 의미 있는 결과는 이들의 interannual 변동성을 분석할 수 있는 자료의 제공이라고 봅니다. 나아가 기후변화 진단에 귀중한 자료가 됩니다. 이와 관련하여 수온과 염분이 우선순위가 가장 높습니다.
 - 이동 항해 관측의 경우 설치된 관측 센서에 의존한 자동 관측이 전제가 됩니다. 만일 관측에 인력 이용이 필수적인 경우는 우선순위가 낮은 항목이라고 봅니다.
 - 매년 이동 항해의 항로가 변경되는 경우라면 이동 항해 중 지구물리 관련 관측 자료는 해저 지형 (수심, 구조 등) 자료의 생산이라는 점에서 의미가 큼니다.
- 새로운 관측 항목을 추가하는 경우에 이사부호에 해당 관측 센서를 설치해야 하는데 이것보다 현재 이동 항해 중 생산되고 있는 자료의 활용성을 고려하는 것을 우선해야 할

것으로 판단됩니다.

생산되는 자료는 자료 질 검정 후 바로 공개되어야 합니다. 이것에 맞는 관측 항목이 상위 우선순위가 되어야 합니다.

A7

이동궤적 활용관측은 이동항해 간 보다 효율적인 선박 사용을 위해서는 정선 관측 보다는 이동관측이 더 필요할 것이라고 생각합니다. 이동항해 관측동안 수심이 깊은 대양을 횡단하므로 정선을 하여 시료 샘플을 얻게되면 정점당 최소 3-4시간이 소요할 것입니다. 이동항차간 다양한 연구관측이 이뤄질텐데 장기관측으로 매 항차간 정선 작업이 수행된다면 운항일정 및 기타 다양한 연구관측에 차질이 발생할 수 있을 것이라고 생각합니다. 또한 정선 작업 중 원치않은 문제가 발생할 경우 이동항해 중 시간을 지체할 수 있을 가능성이 있다고 판단됩니다.

한편, 아라온이 통과하는 수역은 전 지구적인 지구조 시스템을 이해하기에 잠재적으로 매우 중요한 곳입니다. 수온, 염분자료 뿐만 아니라 이 일대는 지질학적으로 아직 연구조사가 많이 이뤄지지 않은 곳입니다. 따라서 위 지역에서 자료를 획득하여 좋은 논문을 쓸 수 있는 자료를 제공한다면 전 세계적으로 극지연구소의 위상이 제고될 것입니다. 이동항차간 자료획득이 가능한 지구물리 자료는 중력, 자력(해수면 견인 및 삼성분 자력계), 다중음향측심계 및 SBP 자료가 있습니다. 하지만 위 지구물리 자료들은 시계열상 변화가 거의 없으므로 매 항차간 측정경로를 대양 통과 시 쇄빙선의 방위각을 조금씩 바꿔 조사를 진행한다면 매우 획기적으로 지질지구물리 자료를 획득할 수 있을 것이라 사료됩니다.

A8

연속적인 이동관측을 통해 표층수온, 염분의 수평적 변화를 관측하는 것이 가장 중요한 요소임. 정기적 방문이 가능한 대표정점(일명, Super-station)을 저/중/고위도 별로 선정하고, 매해 정선관측을 통해 전수층 CTD를 수행하는 것을 권장함. 정점갯수와 방문빈도는 전체 항해시간을 고려하여 최종결정.

- 수온, 염분과 같은 해수물성변화에 반응하는 생화학적 항목(예, DO, Chl-a, pH)을 관측의 다음 우선순위에 두는 것이 합당함.
- 이동항해의 특성상 짧은 주기의 변동을 감지하기는 어렵기 때문에 연간 변동을 감지하는 데 목적을 두고 장기관측(5년 이상)을 추진하는 것이 타당함.

A9

수요조사에 포함되지 않은 다른 항목들과 함께 모든 해양 현장관측 항목은 이동시에도 중간에 정선관측을 통해서 얻어질 수 있을 것이다.

다만, 시간과 비용 문제로 인해 이동 중 정선관측은 한정적일 수 밖에 없을 것이며, 별도의 투자 없이 상시 획득 가능한 이동관측만 놓고 본다면 장기 관측을 통해 얻어져야 할 항목들로, 기상자료와 함께 기본적인 표층 수온, 염분, pH, 용존산소 등은 당연한 관측 항목으로 언급될 수 있을 것 같고, 이 밖에 해양 표층의 관측이기 때문에 해양 플랑크톤에 대한 관측이 보다 기회가 많을 수 있을 것이다.

플랑크톤에 대한 관측항목은 동식물 플랑크톤의 생물량, 종조성/군집조성 등을 우선 생각해 볼 수 있고 최근 다양한 연속 자동관측 기기에 의해 일부 관측이 이루어지고 있다고 판단되며, 이 부분에 대한 기술 수준 향상 노력이 나름 현실적으로 좋은 방안이 될 수 있을 것이다.

A10

- 쇄빙연구선 이동 및 정선 관측에서 해수중 포함된 무기탄산, 영양염, 유기탄소, 동식물 플랑크톤 조사도 장기적인 해양 탄소 순환 및 일차생산력과 생지화학적 유기물 거동을 이해하기 위해 필요할 것 같습니다.

- 또한 동식물플랑크톤 조사 결과는 수산자원 변화 파악 등 수산생물 관리 차원에서도 필요할 것 같습니다.

Q2. 정선 관측의 경우 이동 향해 시간의 늘어나는 문제로 연구항해와 같이 전 경로에서 정선하여 관측 정점을 구성하기 힘든 상황입니다. 이동 중 정선 관측이 꼭 필요할 경우 이동 향해 중 매일 1회와 같이 같은 간격/위치로 조사를 수행하는 것을 추가 하고자 합니다. 이럴 때 정선관측 시 필수적으로 포함해야 하는 항목을 우선순위와 함께 말씀해주시고, 어떤 이유로 그 항목을 정선관측 해야 하는지 말씀해 주시기 바랍니다.

A1

대양에서 미량금속을 포함한 해수에 존재하는 여러 화학물질의 전지구적 순환과정을 규명하고자 시작된 국제 project인 GEOTRACES에서는 중요하다고 판단되는 해역에서 동-서, 남-북의 섹션으로 정점을 결정하여 시료를 채수하고 있음. 해당 project에서는 대양에서 생지화학적 순환을 알아보기 위해 적어도 위,경도의 5도 간격으로 섹션 정점을

정하는 것을 권하고 있음. 그러므로 연구해역의 규모가 크더라도 5도 이내의 간격으로 조사를 수행하는 것이 적절하다고 판단됨. 위에서 언급한 바와 같이 CTD-CMS를 통해 염분, 수온, 용존산소, Chl a와 같은 기본적인 항목들의 자료가 취득될 것이고 일반적인 해수시료 또한 획득이 가능함. 그리고 clean sampling 또한 가능할 경우 해수 중에 포함된 모든 화학적 물질들의 채수가 가능할 것으로 판단됨.

A2

이동궤적을 활용한 연구에서 불가피하게 표층 연속 관측 위주로 진행되지만, 해양의 일차생산과 그에 따른 온실기체, 해양기원 휘발성물질의 수직 분포 양상을 명확히 이해하기 위해서는 정기적인 정선 관측을 통해 상기 연속 관측 항목의 해양 상층(<200 m) 분포를 파악해야 함

A3

이동 항해 중 매일 1회 정선하여 매년 달라지는 해당 위치의 정점에서 장비를 내리고 올리며 측정하는 방식으로 이동 항해 시간을 사용하는 것이야말로 앞에서 말씀드린 것처럼 대표적인 자원 낭비입니다. 예를 들면, 뉴질랜드 리틀톤(Lyttelton)까지 20일 정도의 이동 기간 중 매일 1회 정선 후 장비를 내리고 올리며 5시간 내외의 시간을 사용하며 이동하게 되면 100시간(약 4일) 정도의 추가 항해 시간을 사용하게 되는데, 매년 이렇게 수억 원의 용선료에 해당하는 비용을 들여 활용도가 없는 20개 정점의 정선 관측 자료를 수집하는 방향으로 관측 프로그램이 기획되어서는 곤란하다는 의견입니다.

앞에서 말씀드린 것과 같이 관측 항목을 정하는 문제보다는, 기초 항목만을 측정하더라도 어느 위치에서 어떻게 측정할 것인지의 문제가 훨씬 더 중요합니다. 앞의 예와 같이 100시간의 추가 항해 시간을 사용할 수 있다면, 해역에 무관하게 매일 1회씩 정선 관측을 수행할 것이 아니라 의미 있는 자료 활용이 가능한 해역에서 조밀한 간격으로 구성된 정점에서 집중적으로 정선 관측을 수행하는 것이 훨씬 더 효율적인 자원 활용이라는 의견입니다. 대표적인 해역으로 남극 이동 시 반드시 가로질러 건너게 되는 적도 부근의 열대 서태평양 해역을 꼽을 수 있습니다. 위 사례의 20개 정점 중에서 10개 정점만 열대 서태평양의 특정 경도(156°E 또는 165°E)를 따라 적도 중심의 남북 방향 관측선(북위 10도부터 남위 10도까지의 범위)을 구성하고, 이 관측선을 가로지르며 정선 관측 자료를 수집하면 자료 활용도가 매우 높으며 국제적으로도 인정 받는 훌륭한 관측 프로그램을 발전할 수 있을 것으로 기대됩니다. 물론 이동 경로 자체를 다소 수정하면서 이동 항해 시간이 추가되는 부분이 불가피하지만 그만큼 정선 관측 정점을 줄여서(20개-100시간 대

신 10개-50시간) 이를 상쇄할 수 있겠습니다.

위와 같이 열대 서태평양의 적도를 가로지르는 남북 관측선을 구성하여 10개 정도의 정점에서 정선 관측 조사를 매년 같은 계절에 지속하는 경우 수집되는 자료의 활용도가 높으며 국제적으로도 대한민국 해양관측의 위상을 확연히 높일 수 있는 관측 프로그램으로 발전시킬 수 있습니다. 앞에서 특정 경도로서 156oE 또는 165oE의 2가지를 말씀드린 것은 미국 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 등에서 장기간 지속 중인 국제 기후 및 해양관측 프로그램 중 열대 해양 계류 관측 프로그램 (Global Tropical Moored Buoy Array, <https://www.pmel.noaa.gov/gtmba/>)의 TAO (Tropical Atmosphere-Ocean) 계류 부이들이 배치된 곳이기 때문입니다. 다른 경도는 육지에 가려 적도를 가로지르는 남북 단면의 길이가 충분하지 않거나 아니면 쇄빙연구선의 기본 이동 항적으로부터 너무 멀리 떨어져 있어 이동 항해 시간 추가 소요가 너무 크기 때문에 적절하지 않아서 위 2가지 경도 중에서 1가지에 관측선을 구성하는 것이 가장 좋은 방안입니다. 인도양 및 대서양의 열대 계류 관측과 달리 태평양 열대 계류 관측 프로그램은 미국과 일본이 유일한 partner 국가인데, 만약 대한민국이 쇄빙연구선 이동 항적을 활용하여 이 해역에 매년 정선 관측 자료를 수집하는 경우 미-일 양국과의 해양관측 국제협력도 크게 활성화할 수 있을 것으로 기대됩니다.

열대 서태평양 남북 관측선의 매년 정기 정선 관측이 가지는 과학적 의미는 짧은 지면에 모두 소개하지 못할 정도로 많은데, 기본적으로 열대 해역은 동-서로 흐르는 강한 적도 해류 시스템으로 인해 수온, 염분, 용존산소, 용존탄소, 질산염, 인산염 등의 해수 특성이 남북 방향으로 큰 차이(gradient)를 보이고 동서 방향으로의 차이는 크지 않아서 남북 방향으로 적도를 가로지르는 단면에서의 구조를 확인하는 것이 중요합니다. 해파리 등의 유영동물, 미생물과 동/식물 플랑크톤 등 수많은 해양생물과 해저지형부터 수산자원에 이르는 각종 조사에 사용하는 음파의 전달특성(음속 등)에 영향을 미치는 기본적인 수온 구조의 영향을 받기 때문에 수온의 공간 변화가 큰(열대 서태평양 워밍풀 warm pool 해역의 해표면 수온은 전 세계에서 가장 높은 수온) 해역에서의 관측은 물리적인 환경 뿐만 아니라 각종 생지화학적 연구에도 파급효과가 큼니다. 더구나, 이 해역은 엘니뇨-라니냐와 같은 경년 변동성(interannual variability)이 커서 매년 관측 시기마다 달라지는 구조를 관측하여 그 자료의 활용도를 높일 수 있습니다.

A4

우선순위: 동식물플랑크톤, 난자치어, 채수, grab, core, 중력 core, 드레지 등

이유: 동식물플랑크톤 및 난자치어는 계절 및 위도에 따른 변동이 심하기 때문임

저서동물 및 최적물 시료는 안정된 환경상태로 존재하므로 년단위의 조사 정점을 달리한다면 공간적 생물의 다양성과 퇴적상 분석이 가능할 것으로 판단됨

A5

영국에서 수행하고 있는 AMT(대서양 종단 프로그램)의 경우 매일 2회 (정오, 자정) 정선 관측을 실시하고, 특별히 관심있는 해역에서는 집중조사를 추가하며, 이동중에 정선채 집한 시료를 전처리, 또는 실험, 분석하는 방식을 취하고 있음. 한번 정선을 할 때 가능하면 저층까지 CTD를 내리는 방식으로 진행함 (독일의 플라스텐의 경우 이동중 관심해역에서는 멀티코어 작업도 병행)

외국의 사례를 그대로 적용하기에는 한번 정선시 최소 3시간 가량 소요됨. 따라서 매일 1회 조사를 한다고 해도 늘어나는 항해 시간이 현실적으로 감당하기 힘들것으로 생각됨. 만약 적용한다면 보다 면밀한 해석하고자 하는 현상과 조사항목을 정하여 목표하는 수심, 항목에 대한 조사만 실시, 1회 정선시 2시간 이내로 소요시간 줄이는 노력 필요

정선 관측시 필수적으로 포함되어야 하는 항목 :

1. 최소한 500미터까지의 CTD+로젯 샘플링은 필요
2. 그 외 항목은 규명하고자 하는 현상에 따라 유동적으로 조정(예를 들어 oligotrophic 해역의 영양구조를 알고 싶다면 영양염, 배양 실험 등 추가)

A6

정선 관측은 이동궤적 활용 관측을 추진하는 취지에 맞지 않는 면이 있습니다. 매일 1회씩만 하더라도 총 항해 기간이 수일 단위로 늘어날 가능성이 있습니다. 연구자의 연구 항해를 겸한다면 문제가 없다고 봅니다(해당 연구선 사용료를 연구자가 부담).

정선 관측이 포함된 교육 훈련과 병행하는 방법을 고려해보는 것도 좋겠습니다.

생산되는 자료는 자료 질 검정 후 바로 공개되어야 합니다. 이것에 맞는 관측 항목이 상위 우선순위가 되어야 합니다. 설문 조사의 결과는 특정 연구자가 승선했어야 할 것으로 판단되는 항목들이 많은데 이 부분은 연구 항해의 성격이 강합니다.

A7

정선관측이 필요할 경우 항차간 1-2회정도는 가능할 것이라고 생각하지만 매일 1회의 관측은 무리라고 생각합니다. 부득이하게 정선 관측이 꼭 필요한 경우 이동항차 간 총 정선관측시간을 규정해놓고 하는 것이 바람직하다고 생각합니다.

예시) 항차간 정선관측 시간이 12시간일 경우- 이동항차간 3시간 4회 관측. 단, 정선관측 동안 시간지연시 배정된 시간에서 차감

A8

- 정선 관측시 필수항목은 전수층 CTD 관측임. 연구항차의 항해시간 희생을 최소화하기 위해 XCTD 혹은 XBT을 활용할 필요있음.
- 로젯 샘플링을 통한 채수샘플 수행이 필요함.
- 특히 해저지형에서는 중력코어 혹은 멀티코어를 이용한 바닥퇴적물 채취 필요함.

A9

우선순위는 어쩌면 익숙한 방법에서 찾을 수 있을 것이다.

현재 아라온호 해양관측 시 정선관측을 수행할 경우, 당연히 매 정점에 포함되는 항목은 CTD casting 일 것이며, 이 밖에 로젯 시스템에 의한 해수 채수 병행시 우선 측정하는 항목으로 식물플랑크톤 엽록소 농도와 색소 분석을 통한 분류군, 주요 영양염 농도, 무기탄소와 유기탄소 측정항목들을 열거할 수 있을 것 같고, 그 다음 동식물플랑크톤 수직네트 채집이 뒤를 이을 수 있을 것이다.

A10

- 해수중 포함된 무기탄산, 영양염, 유기탄소, 동식물플랑크톤 조사를 포함해주고 교육 훈련 프로그램을 개발하여 젊은 인력 양성 기회로 진행하면 좋을 것 같습니다.

Q3. 관측된 자료를 제공하기 위해 ‘해양환경정보포털’과 같은 DB공개 시스템을 이용하거나, 극지연구소 GIS 시스템을 통한 주문자 제공 방식과 같은 시스템을 이용하고자 합니다. 혹은 새로운 자료 시스템을 구축하는 방법도 생각하고 있습니다. 이러한 방안에 관해 의견을 적어 주시기 바랍니다.

A1

어떤 DB공개 시스템을 활용하더라도 가장 중요한 것은 새로운 데이터들이 자주 업데이트 되어 해당 자료시스템의 활용도를 높이는 것이라 판단됨.

A2

자료 제공 방식은 질문에서 제시한 어떤 형태든 크게 문제되지 않음. 제공 방식보다는

자료의 신뢰성이 중요한 요소라고 판단함. 관측 센서의 체계적인 관리와 표준 물질의 측정 등을 통해 자료의 신뢰성을 높이는 방안이 필요함

A3

자료 제공을 위한 시스템도 중요하지만, 이동 관측과 정선 관측을 통해 수집한 자료를 그대로 제공해서는 자료 활용도를 높이기 어렵다는 점을 먼저 지적하지 않을 수 없습니다. 센서로부터 측정된 자료를 처리하고 검/교정하며 자료 품질 관리를 하는 시스템도 자료 제공 시스템과 동일하게 중요한 부분이므로 이에 대한 고민이 필요합니다. 자료 제공 시스템에서는 검색 기능이 중요하다는 점도 언급해야 할 듯합니다. 관측 항목뿐만 아니라 위치, 수심, 시간 등으로 자료를 검색할 수 있어야 합니다.

A4

- 관측자료의 공개는 다양한 방법으로 가능할 것으로 판단됨
- 디지털 관측 원시자료 공개와 채집된 시료의 제공으로 양분하는 것이 좋을 것 같음

A5

- 영국의 경우 AMT 자료를 정해진 엑셀 형식(지금의 국가해양생태계 종합조사 품과 유사)에 맞춰 제출하고 이를 DB로 관리하고 있음. DB에 대한 설명을 홈페이지 게시판 형태에 제시하고 연구자가 별도로 요청하여 제공, 활용하는 식으로 운영됨
- 관측된 자료를 바로 GIS형태로 제공하는 것은 큰 의미가 없어 보이며(예산 낭비), 일단 자료 제출 의무를 부과하여 별도 관리하는 게시판을 만들어 자료 사장이 되지 않도록 관리 필요 (새로운 자료 시스템 구축은 분명 낮은 활용도로 인한 공격을 받게 되므로 일단 극지연구소나 기존 구축된 정보시스템에 별도메뉴 구성하는 방안 권고)

A6

현재 운영 중인 극지연구소의 자료 관리 시스템을 활용하는 것이 가장 좋다고 봅니다. 특정 항목 관측 자료의 기초 처리를 극지연구소에서 담당하기 어려운 경우에는 본 기획의 본래 취지와 맞지 않은 점이 발생합니다.

어떠한 경우라도 자료의 질 검증은 철저히 한 뒤에 제공되어야 하며 자료 형태(data format)에 대한 논의도 있어야 합니다.

A7

효율적인 자료제공도 연구관측만큼 매우 중요하다고 생각합니다. 가장 대표적인 시스템으로는 미국 NOAA에서 운영하고 있는 국가해양환경정보 시스템 (NCEI) 입니다. 잘 구축된 외국 시스템을 사용할 수도 있지만, 우리나라의 자료포털을 만들어 해외 여러기관이 우리나라 자료를 액세스 하여 사용하는 것도 중요하다고 판단됩니다. 국내 자료포털을 구축해야하는 이유는 다음과 같습니다.

1. 국내 연구진들을 우선적으로 자료사용에 우선권을 줄 수 있음.
2. 자료에 국가적 보안문제가 걸려있지만 이를 인지하지 못하고 자료를 해외 자료포털에 등록할 경우 회수가 불가능함.
3. 독자적인 데이터베이스 구축으로 국제위상 제고.

현재 서울대학교 지구환경과학부에서 PlanetA라는 지질해양대기 DB포털을 구축하고 있습니다. 이 시스템이 잘 구축된다면 적극 활용할 수 있습니다. 또한 관련 정부출연연 또는 정부기관 (해양과학기술원, 극지연구소, 지질자원연구원, 기상청, 국립해양조사원 등)에서 통합 DB체계를 구축하는 방안을 마련하는 것도 중요한 일이라고 생각합니다.

A8

새로운 DB포털을 구축하기보다는 기존 구축된 포털(예, Korea Polar Data Center (KPDC))을 활용하는 것이 합리적인 선택임. 연구커뮤니티 내에 이미 인지도가 있기 때문에 사용자가 쉽게 자료에 접근할 수 있음. 다만, 자료수집자와 주관기관이 사전협의를 통해 자료의 종류, 공개시기, 범위, 사용우선권 등을 결정한 후, DB포털에 공개해야함.

A9

어떤 방식의 시스템인지 보다 실질적인 자료 공유가 가능한지가 항상 더 중요한 것 같습니다.

방식은 현재 극지연구소 북극 해양관측 자료 데이터베이스 및 자료 시각화&배포 서비스 시스템인 KAOS와 같은 정도의 방식으로 이동항해 관측 자료가 관리, 공유된다면 좋을 것 같습니다.

A10

- 가장 범용적인 관측 자료인 수온과 염분 등과 같은 자료에 대해서는 '해양환경정보포털'에 결과를 공개해주면 좋을 것 같고 일부 자료는 극지연구소 GIS시스템을 이용한 주문자 제공 방식을 병행하면 좋을 것 같습니다.

Q4. 이동 항해 교육 프로그램 구성시 필수적으로 교육내용에 포함되어야 하는 것은 어떤 교육인지, 그 교육이 포함되어야 하는 이유는 어떤 이유인지 말씀해 주시기 바랍니다.

A1

연구 책임자들이 정점을 결정하는 시점부터 교육내용에 포함시켜 미래 연구자들이 향후 연구 항해를 진행하는 해역에서 정점을 정할 때 어떠한 요인을 우선적으로 고려하여야 하는지를 아는 것이 필요하다고 생각함. 지금까지는 단순히 정점이 정해지면 수동적으로 시료채취 준비를 하였으나, 모든 참여원들이 해당 정점에서 시료를 채취하는 이유를 알고 연구활동을 진행할 경우 보다 좋은 결과를 도출할 것으로 기대함. 이 후 해수 시료의 채취 방법 및 전처리 방법에 대한 교육이 집중적으로 이루어질 경우 시료의 오염을 배제한 양질의 시료를 획득 할 수 있을 것이라 판단됨.

A2

주요 대학의 해양학과에서는 학부 교과목으로 해양조사 실습을 개설하여 운영하고 있음. 이에 비해 이동 항해는 2주 내외의 장시간 교육이 이루어질 수 있는 환경으로 CTD 운영과 자료처리, 용존산소, 영양염 채수 및 분석, 플랑크톤 채집 관찰 등 연구선에서 이루어지는 기초 관측에 관한 교육이 체계적으로 이루어진다면 고급 교육과정으로 차별성을 가질 수 있을 것으로 판단함

A3

교육프로그램 구성 시 교육내용에 우선 1) 무엇을 관측해야 하는지에 대한 “WHAT” 부분과 왜 그런 관측 자료를 수집해야 하는지에 대한 “WHY” 부분이 필수적으로 포함되어야 하겠고, 2) 이러한 관측 자료를 어떻게 수집, 처리, 분석할 수 있는지 그 방법에 대한 “HOW” 부분 역시 필수적으로 포함되어야 하겠습니다.

1) WHAT & WHY: 집중적으로 정선 관측 등의 자료를 수집할 해역에 대한 기본적인 해양 순환과 주요 수괴 특성 등 과학적인 배경에 대한 교육과 더불어 그 시공간적인 변동에 대한 다양한 선행 연구 결과를 소개할 필요가 있으며, 과거에 수집된 관측 자료의 분석 결과와 함께 해당 관측 시기(예: 엘니뇨 해) 조건에서 지속 관측할 때 예상되는, 즉 그 해에 새로 “관측하려는” 해양환경도 교육내용에 포함해야 하겠습니다. 어떤 측정 항목을 왜 측정하여 해당 해양환경을 이해하고자 하는지의 당해 관측의 세부 목표와 함께 그 내용을 소개하는 것이 중요하겠습니다.

2) HOW: 위 1)에서 제시한 당해 관측의 세부 목표를 달성하기 위해서는 어떤 측정 장비를 어떻게 활용하여 어떤 관측 자료를 수집할 수 있는지, 각각의 장비를 운용하는 방법과 함께 교육할 필요가 있습니다. 또, 수집된 관측 자료를 어떻게 처리하며 자료의 품질을 어떻게 평가할 수 있는지, 자료의 검/교정은 어떻게 이루어지는지 등의 교육하고, 최종적으로는 다양한 연구 목적으로 해당 자료를 분석하는 방법을 소개할 필요가 있습니다.

A4

안전교육 및 장비 운영교육

이유: 이동중 인적 물적 사고는 현장에서 처리가 매우 어렵거나 불가능하기 때문임

A5

학부생 승선실습으로 운영하기에는 항해 일정이 너무 길기 때문에 이동 항해 교육은 어느정도 해양학적 경험이 있는 대학원생 또는 업계 초년생이 대양연구에 대한 경험을 제공하는 교육으로 운영하는 것이 바람직해 보임(만약 특정 과목과 연계한 장기 승선이 가능하다면 학부생 4학년 대상도 가능할 것으로 보임)

필수적인 교육내용으로는 연속측정 장비 운영 및 활용(승선기간이 길어서 승선 중 자료 처리 완료 가능), 대양연구 특화 장비(기후 장비 등) 교육, 정선관측이 이루어질 경우 로켓샘플러 채집 시료 전처리, 분석, 배양실험(deck 활용) 등 교육 가능

A6

단순한 장비 활용 교육보다는 관측 자료 분석을 포함한 교육 프로그램을 권장합니다. 장비 활용 교육은 쇄빙연구선이 아니더라도 우리나라 주변 해양에서 교육이 가능합니다. 교육 프로그램의 수준은 대학원 이상의 수준에 맞추는 것을 권장합니다. 쇄빙연구선의 이동궤적은 주로 남북방향 이동입니다. 해역별 관측 자료의 비교 분석 등에 대학원 수준의 배경 지식이 필요할 것으로 판단됩니다.

POGO의 Training Partner가 되는 것도 하나의 방법입니다.

POGO Shipboard training 참고

<https://pogo-ocean.org/capacity-development/shipboard-training/>

A7

실질적으로 연구선에 승선하여 탐사를 하고, 자료처리를 하는 과정은 대학에서 가르치는 이론과는 매우 상이합니다. 또한 아라온 뿐만아니라 국내의 해양탐사 연구선 별로 내규와 문화가 따로 존재하기 때문에 이와 같은 부분은 대학에서 가르칠 수 있는 영역이 아니므로 미리 교육이 필요하다고 생각합니다. 위 내용을 이동항차 또는 연구선실무와 같은 단기강좌를 만들어 극지연구소에서 이론교육을 하고 아라온의 동해 시험항차기간동안 실무를 경험해 보는 등의 교육이 필요할 것으로 생각합니다.

A8

- 선상안전교육
- 해양관측분야의 역사
- 분야별 대표적인 관측장비 소개
- 해양관측기기의 운용원리 설명
- 관측자료 전처리 및 분석방법 설명
- 국제공동연구기반 글로벌 규모 해양관측프로그램 소개

A9

현장교육 측면에서, 이동항해와 일반적인 해양관측 활동을 명확히 구분하긴 어려울 것 같습니다.

이동항해를 통해 비교적 꾸준히 얻어질 수 있는, 그리고 중요한 관측항목에 대한 기본적인 실수가 방지할 수 있는 방향으로, 경험이 부족한 학생들이 관측을 수행하더라도 안정적으로 신뢰성 있는 자료가 얻어질 수 있는 매뉴얼이 잘 만들어져야 할 것 같습니다.

그리고, 한가지 더, 이동관측의 특성만을 고려한다면, 관측의 루틴과 (즉, 시간활용, 배분 등) 일관적인 자료 획득 (소위 손을 타지 않는)을 위한 방법과 주의사항을 사전에 습득하여야 할 것 같습니다.

A10

- 우선 이동 항해 중에 측정 가능한 항목 (수온, 염분, 용존산소 등) 정도 관리와 정선 관측시 해수 채취 및 플랑크톤 채집 방법과 시료 처리 및 보관 요령 교육 필요.
- 연구선 실험실에서 광학 현미경을 통한 동물플랑크톤 군집 조성 분류 요령 교육

Q5. 이동 항해를 활용한 교육프로그램이 개발되면, 안정적인 운영을 위해 국내 대학, 기

관 등과 MOU를 통해 교육자 및 교육 참가자 구성을 추진하려 합니다. 이에 적합한 기관 및 연구자를 추천해 주시기 바랍니다.

A1

이동 항해를 진행하는 주된 주체인 한국해양과학기술원과 극지연구소가 적극적으로 해당 프로그램을 추진해야 할 것으로 판단되며, 현재 한국 여러 대학교의 교수진들이 포함되어 있는 전국해양학교수협의회와 해당 프로그램 개발을 의논하는 것이 바람직하다고 판단됨.

A2

대학의 해양학과에서는 주요 연구기관에서 수행한 인턴 활동에 대해 학점을 부여하고 있음. 쇄빙연구선의 교육 프로그램 참여가 학점 대체 활동으로 인정된다면 참가자 구성이 원활히 이루어질 것으로 예상함

A3

<대학> - 가나다순

경북대학교: 박종수, 박선영, 박종진, 윤승태, 김민경

경상대학교: 김기범

부경대학교: 김태진, 박재형, 전찬형

부산대학교: 함도식, 이상헌

서울대학교: (해양물리) 남성현, 나한나, (해양화학) 김규범, 황점식, (해양생물) 정해진, 황청연, (해양지질) 박정우, 이상묵

인하대학교: 박재훈, 조형미, 하호경

전남대학교: 최병주, 김태훈

제주대학교: 김정현, 문재홍

충남대학교: 박장준, 최만식, 최근형

한양대학교: 신경훈, 최지웅, 현정호

한국해양대학교: 양인호, 이경은

<연구소>

한국해양과학기술원(본원): 박영규, 민홍식, 김용선, 김동국, 노수연, 김동선, 강수진, 김인태, 서준형, 최상화, 김응, 강돈혁, 김병남, 정의영

극지연구소: 김태완, 나형술, 박기홍, 박지수, 박태욱, 양은진, 이원상, 윤숙영, 이태식, 정진영, 조경호

<산업체>

(주)지오시스템리서치: 장경일, 이재학, 박성진, 손영태, 김경만

A4

단순한 교육 프로그램보다는 연구와 연계된 과제 공모가 좋을 듯함

해양/수산/기상학은 물론 생물학/화학/지구과학 관련 대학 또는 연구기관(민간기업 포함)

A5

특혜시비를 피하기 위해 특정 대학보다는 전해교 또는 해양과학공동연구소(부경대) 등과 공동으로 수업이나 프로그램을 만드는 방안이 적절해 보임

초기에는 아무래도 프로그램 활성화를 위해 KIOST, 극지연구소의 산학연계학생들을 대상으로 교육프로그램을 운영하고 교육자도 양기관의 전문가를 활용하는 것이 현실적일 수 있음

KMI도 항로에 따라서는 극지 정책과 관련한 교육자 제공 가능 할 것으로 생각됨
해양수산인재개발원, 해양환경교육원(해양환경공단) 등 교육기관 내 별도 프로그램으로 운영하는 것을 극지진흥법 등 법적근거를 확보 한 후 추진하는 것도 고려 가능

A6

이 질문은 극지연구소에서 하는 질문인가요? 아니면 기획과제에서 제시하는 (안)인가요?

교육 프로그램의 성격을 명확하게 설정할 필요가 있습니다. 그래야 대상이 학교일지 산업체나 타 연구기관도 포함될지 결정됩니다.

A7

해양관측자료는 전지구적인 자료(지질 해양 대기)를 모두 포함하고 있기 때문에 분야별 전문인재육성이 절실하게 요구됩니다. 따라서 극지연구소와 각 분야별 고등교육 육성기관인 대학과의 MOU로 이뤄져야 한다고 생각합니다.

현재 제가 알고있는 해양지질분야 전문 교수진은 아래와 같습니다.

해양지구물리탐사(탄성파 제외): 최한진 교수(부산대), 김승섭 교수(충남대)

해양탄성파탐사: 정우돈 교수(강원대)

해양퇴적조사: 양기호 교수(부산대)

A8

<전국해양학교수협의회>에 소속된 18개 대학교의 교수와 학생을 교육자와 교육 참가자로 구성할 수 있음. 특히, 대양관측분야 경험이 많은 대학교수 혹은 극지연구소 전문가들을 섭외하여 이동항해 교육프로그램을 개발할 수 있음.

A9

앞서 말씀드렸다시피 일반적인 해양관측과 이동항해 관측은 기본적으로 해수를 다루고 기기를 사용해 분석하는데 크게 차이점이 없기 때문에 별도의 고려라기 보다는 꾸준히 시간을 투자해 교육프로그램을 수행할 수 있는 전문가 (혹은 전문가에 준하는) 인력 확보가 중요할 것 같습니다.

A10

- 식물플랑크톤/원생생물: 정해진교수 (서울대학교), 박명길교수 (전남대학교), 박종수교수 (경북대학교), 김선주교수 (부경대학교), 박범수교수 (한양대학교) 등
- 동물플랑크톤: 이원철교수 (한양대학교), 서호영교수 (전남대학교), 최근형교수 (충남대학교), 채진호박사 (해양환경연구소), 이강현박사 (마린액트) 등

Q6. 교육 프로그램을 이수할 경우, 이수자에게 혜택을 부여하려고 합니다. 어떤 혜택을 주는 것이 이수자에게 가장 적합 할 수 있는지 의견 주시기 바랍니다.

A1

교육프로그램을 진행하는 주체에서 공식적으로 교육생들에게 이수증을 발급할 경우, 이수자들은 향후 취업 시 해당 이수증을 활용할 수 있을 것으로 생각함. 또한 우수한 교육생에게는 별도의 수상 및 간단한 상금 수여가 가능하다면 교육생들의 보다 활발한 참여가 가능할 것으로 생각함.

A2

위에 제시한 학점 대체가 인정된다면 이동 항해 교육프로그램 참가자는 학점 취득 혜

택이 주어짐

A3

이 교육프로그램에 참가하기 위해서는 쇄빙연구선 승선을 위한 선내 berth 숙식과 사전 안전교육(필수) 교육비 외에도 편도 항공 이동과 육상 기항지 숙박 등의 여비 지원이 필수적으로 필요하겠고, 이러한 혜택 외에도 이수하는 경우 이수증을 발급하여 해양관측 유관 업무 시 이력으로 활용할 수 있게 해야 하겠습니다. 이 교육프로그램을 이수한 사람들이 좋은 활동을 이어가면 추후 해양관측 유관기관들(관련분야 대학원 포함)에서 자연스럽게 추가적인 혜택을 제공할 것을 기대할 수 있겠습니다.

A4

최소한 석박사 학위와 연계성이 높아야 한다고 생각함
최상은 취업과의 연계성

A5

학생의 경우 특정과목과 연계한 학점부여
KIOST, 극지연구소 등 대양/극지연구 관련 기관에 취업지원시 가점(아주 작더라도) 부여
현재 진행중은 북극청소년 체험 프로그램처럼 아라온 승선과 특정 기항지(뉴질랜드 등)에서의 유관 연구소 방문기회를 제공한다면 그것도 혜택이 되리라 생각됨

A6

대학(원)의 실습 관련 학점

A7

교육 프로그램기간 동안 이수점수 제도를 만들고 향후 극지연구소에서 인재 채용 시 이수점수에 따른 가점 제도를 운영하는 방안을 제안합니다.

예를들어 100점만점 중 70점 미만 이수증 교부 불가. 80점 획득 시 채용가점 5점 만점 중 80%인 4점 부여.

A8

교육 프로그램의 최종단계에서 교육내용에 대한 평가를 포함시켜, 우수 이수자에게 상장(수여자: 극지연구소장)과 장학금을 지급

A9

특별한 의견이 떠오르지 않습니다.

이동항해를 참여하기 위한 기본적인 라이선스로 교육 프로그램 이수를 강요해야 할지도 사실 좀 잘 모르겠습니다.

다만, 이동항해 관측 프로그램이 앞으로 확대된다면, 기본적인 연구윤리와 선상 공동체생활, 연구실 공동사용 등에 대한 교육과 이에 따른 고민이 있어야 할 것 같습니다.

A10

- 대학 소속 학생들에게는 극지연구소 현장 실습 학점을 인정해주면 좋을 것 같습니다.
- 이수자에게는 극지연구소 연수생 연구원 선발시 가산점 부여 방안도 검토 할 수 있음

Q7. 이동 항해 동안 관측/교육을 수행할 경우 소모되는 재원을 조달하기 위해서 가장 적합한 방법은 어떤 것이 있을까요?

A1

이동 항해를 진행하는 연구기관은 대부분 해양수산부 소속으로 알고 있으며, 교육생들은 대부분 교육기관에 소속된 학생들이므로, 해양수산부와 교육부가 서로 협의하여 해당 프로그램을 개발하는 것이 좋을 것으로 판단됨.

A2

이동궤적을 활용한 장기 관측과 교육을 목적으로 하는 연구 과제의 재원으로 운영하는 것이 적절하다고 판단됨

A3

관측 프로그램과 자료 관리 프로그램이 정부의 해양수산 R&D에 기여하는 측면을 고려할 때 민간 재원보다는 해양수산부와 과학기술부 R&D 재원을 최우선적으로 활용하는 것이 바람직하겠고, 교육프로그램을 고려하면 교육부 재원도 일부 활용할 수 있겠습니다. 1차적으로는 극지연구소의 쇄빙연구선/인프라 운용 예산을 증액하여 핵심적인 재원 조달이 가능할 것이라 기대하며, 여기에 정부 주도 R&D 프로그램화하는 경우(특히 국제적인 관측 프로그램으로 발전시키는 경우) 추가 재원을 조달할 수 있을 것으로 기대됩니다. 아울러 필요시 교육 대상의 소속 기관에서 자체적인 예산을 활용하여 추가 재원을

matching할 수 있도록 교육프로그램을 기획하면 더욱 좋을 듯한데, 예를 들어 교육 대상이 학생인 경우 각 대학교의 자체 예산, 산업체 사원인 경우 해당 기업의 자체 예산을 사용하여 더욱 효과적인 교육이 이루어질 수 있도록 matching을 유인할 수 있는 방안으로 기획하는 것입니다.

A4

쇄빙선 그 자체는 대한민국의 거대한 최첨단의 고가 연구인프라이다. 이러한 인프라 활용 시간의 대부분은 연구해역으로 이동하기 위한 항해에 사용된다. 연구 해역에서도 정점간 이동 시간은 상당하다. 연구선 활용 효율이 낮음을 시사한다.

첨단 쇄빙선 인프라의 활용성을 높이기 위해서는 연구해역으로의 이동 항해동안 수행 가능한 다양한 연구 주제의 개발이 필요하다. 특히, 한국에서 연구해역으로, 연구해역에서 한국으로의 이동항해 동안 수행 가능한 연구를 의미한다. 이 항로는 연구선이 아니면 접근이 어려운 곳이기 때문이다. 이때 연구선은 공해와 EEZ를 경유하게 되므로 이동항해 연구 기획 단계에서 EEZ 관할국에 연구신청을 면밀히 검토해야 한다.

연구선 이동중 선호하는 연구 항목은 설문 조사를 통해 이동관측과 정선관측 크게 2개로 구분되었다. 양질을 자료와 시료를 확보하기 위해서는 관측장비의 검교정과 유지보수, 분야에 따라서는 훈련된 전문가의 승선은 필수이다.

먼저 이동관측의 특징은 연구선 장착장비(자동화 가능)를 활용하여 선박의 이동 속도의 영향이 받지 않고 관측 자료를 얻을 수 있다. 이들 연구의 특징은 4가지 정도로 구분 가능하다. 첫 번째는 직접 채수한 시료(표층 해수 또는 대기) 기반의 다양한 이화학적 분석이다. 수온, 염분, pH, 대기성분, 질산염 농도, 엽록소 형광, 미생물 총 균수 등이다. 두 번째는 수중음향 이용이다. 에코사운드 프로파일(수중음향)과 멀티빔(해저지형) 등이다. 세 번째는 지자기 분석이다. 네 번째는 거대 해양생물(해파리, 유영동물)의 목시 조사이다. 이러한 연구는 대부분 자동화가 가능하다. 생산된 자료는 모두 디지털 자료이다. 분석 항목에 따라 Big Data도 산출된다. 자료가 공개되면 다양한 연구자들이 경쟁적 분석을 통해 정교한 해석이 가능해질 것이다.

정선관측은 연구선의 완전 정지상태 또는 저속으로 운행하면서 수행하는 2가지로 구분된다. 정지상태의 조사로는 로젯 샘플링은 통한 수층조사(채수), 저질 그래비티 코어, 중대형 저서동물 그랩/코어 등 세 종류이다. 로젯 샘플링으로 채집된 수층별 채수 시료의 현장 처리 방법에 따라 이화학적 특성에서부터 생물까지 다양한 분야의 연구가 가능하다. 전문 연구 인력의 수가 많으면 많을수록 다양한 연구 결과의 산출이 가능하다. 그랩과 코어는 생물상 연구가 기본이다. 저질 그래비티 코어는 지질학적 특징 연구가 기본이

다. 특히 저질 그래비티 코어는 현장의 시료처리 방법 또는 시료 보관방법에 따라 생물학적인 연구에도 활용이 가능하다. 이러한 장비의 활용은 현장의 날씨에 영향을 매우 많이 받는다.

연구선이 저속운행하는 동안 생물시료를 확보할 수 있는 장비는 동식물플랑크톤네트, 난자치어네트, 드렛지 3 종류이다. 동식물플랑크톤 네트와 난자치어 네트는 수층의 생물을 채집수단이다. 드렛지는 저층의 저서동물과 암석 채집용 두 종류이다. 먼저 동물플랑크톤 네트와 난자치어는 공동활용을 통해 운영시간을 줄일 수 있다. 네트의 망목은 동물플랑크톤 용도에, 입구 면적은 자치어 네트 요구 조건을 수용하면 된다. 식물플랑크톤네트는 정선상태에서 동물플랑크톤이나 자치어 네트와 별도 운영이 필요하다. 드렛지는 저서층까지 그물을 내려야 한다. 수심이 깊을수록 운영 숙련도가 매우 중요하다. 이 드렛지는 동식물플랑크톤이나 난자치어네트보다 기본적으로 운영에 많은 시간이 소요되고 실패율도 매우 높다.

지금까지 설문을 통해 도출된 이동항해 연구 항목은 이동항해에 적합한 연구와 불가능한 연구(정선연구)로 구분된다. 전자의 연구 항목들은 연구자료의 생산이 매우 높다. 뿐만 아니라 자동화가 가능한 항목들이 많다. 이 때 장비의 유지보수와 검교정은 생명이라고 할 수 있다. 이와 반대로 후자의 연구항목은 연구자들이 직접 승선 및 수작업을 통해 자료를 생산하므로 자료의 생산성이 매우 낮다. 다시 말하면 연구의 빈공간이 전자보다 매우 많다는 의미이다. 이러한 관점에서 최첨단 거대 쇄빙선의 이동항로 그 자체가 새로운 연구의 산실일 것이다.

A5

단기적으로는 해수부(해양개발과, 해양정책과 등)에서 예산을 마련(대양연구 미래인력 양성 등)하여 운영하고, 중장기적으로는 연구과제로 KIMST를 통한 예산 확보 필요(이 경우 명확한 조사목적과 예상성과를 제시하여 AMT와 같은 방식으로 운영할 필요있음)

A6

극지연구소의 일반 과제

해양수산부 R&D 산학연 협력 사업 개발

참여자의 연구사업 이용

외부 기부금 사업 개발 (예, POGO Capacity Building Program은 Nippon Foundation에서 지원합니다)

A7

인재육성사업인 만큼 교육부 또는 과기부를 통해 재원조달을 하거나, 이 부분이 여의치 않을 경우 해당 교육사업 참여대학의 교육생으로부터 일정부분 교육비를 받는 방안도 있습니다.

대학에서 수행하는 연구과제로부터 교육/훈련비사용 비목이 있기 때문에 인당 10-30만원 정도의 조달은 충분히 가능할 것으로 사료됩니다.

A8

- 후속세대 양성을 위한 독립적인 연구과제가 필요함. 해양수산부 예산편성을 통한 지속 가능한 재원을 조달할 필요있음.

- 현재 KIMST에서 운영 중인 <인프라공동활용 프로그램>의 일환으로 “연구선 이동궤적 관측 및 교육”을 추가시키면 지속가능한 프로그램으로 운영이 가능할 것으로 판단됨.

A9

앞의 내용들에 대한 하계 구성원들의 고민을 통해 다수에게 이익이 돌아가는 좋은 프로그램으로 발전한다면 당연히 별도 추진 과제나 정부 출연금을 통해 수행되어야 할 것으로 보입니다.

A10

- 극지연구소에서 해수부에 요청하여 쇄빙선 이동항해 교육프로그램을 위한 별도의 예산을 지원 받아 진행함



4. 프로그램 개발

가. 관측 프로그램

○ 관측 프로그램 개발 시 유의점

- 이동 관측 우선
 - 정선관측은 타국 EEZ 연구 허가 및 운항시간의 급격한 증가로 인해 배치가 어려움
 - 운영을 계획하더라도 정점배치에 관한 심도 깊은 고려가 필요함
- 관측항목 구성
 - 표층/대기 연속 관측이 우선
 - 현 아라운의 장비로 연속 관측이 가능한 항목을 우선 구성
 - 추가 장비 구입이 필요한 경우 관측의 필요성 도출
- 경로 선정
 - 생물,화학 분야의 경우 매년 경로가 변경된다면 의미 있는 장기 관측 결과를 얻기 힘들
 - 지구물리의 경우 매년 방위각을 변경하여 조사를 진행하는 것이 더 유리함
 - 이 두가지의 경우의 조합이 필요
- 관측 자료 제공
 - 자료의 신뢰성 검증 필수
 - 기존 시스템 중 적합한 시스템을 선정하여 제공
 - 자료의 종류, 공개시기, 범위, 사용우선권 등의 결정이 선행

○ 1단계 : 아라운 장비 활용 관측 (2023~)

- 아라운에 설치되어있는 관측 장비를 사용한 관측
- 이동관측 수행
- 현행관측요소
 - Precision Depth
 - Thermo-Salinograph
 - Flurometer
 - Wind Speed&Direction
 - Air Temp &Humidity
 - Air Pressure
 - Pyranometer
 - Pyrgeometer
 - Net Radiometer

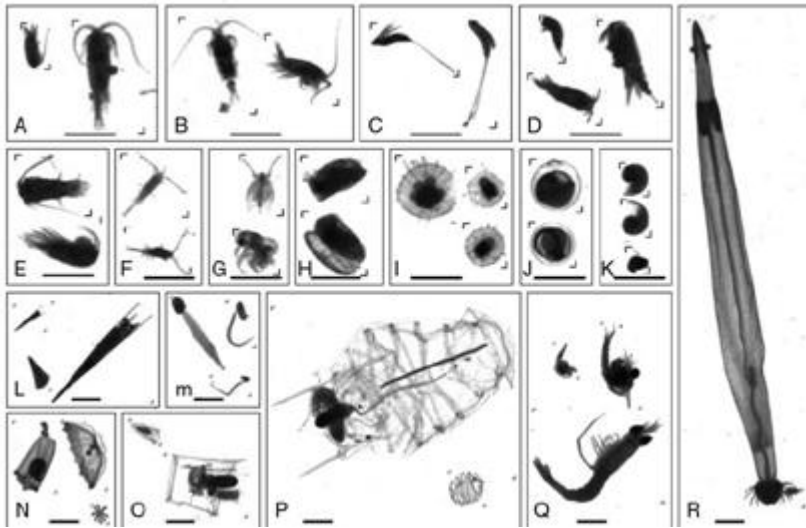
- 추가 관측요소
- 대기 성분
 - CO Analyzer
 - Hg Analyzer
 - NO Analyzer
 - Ozone Analyzer
- Underway Sub-Sample
 - pCO₂ System
 - Sea Water Analyzer
 - 식물 Plankton 분석
- 저층구조파악
 - Multi-Beam Echo Sounder
- 에코사운드 프로파일
- 기후 변화에 따른 해양과 대기의 물질 교환 변화 양상 파악

○ 2단계 : 추가 장비 구입/설치 (2025~)

- 추가 요소 관측을 위한 장비 사용
- 이동관측 수행
- Continuous Plankton Recorder
- 남극 이동 항차 구간에는 기존에 조사된 바가 없음

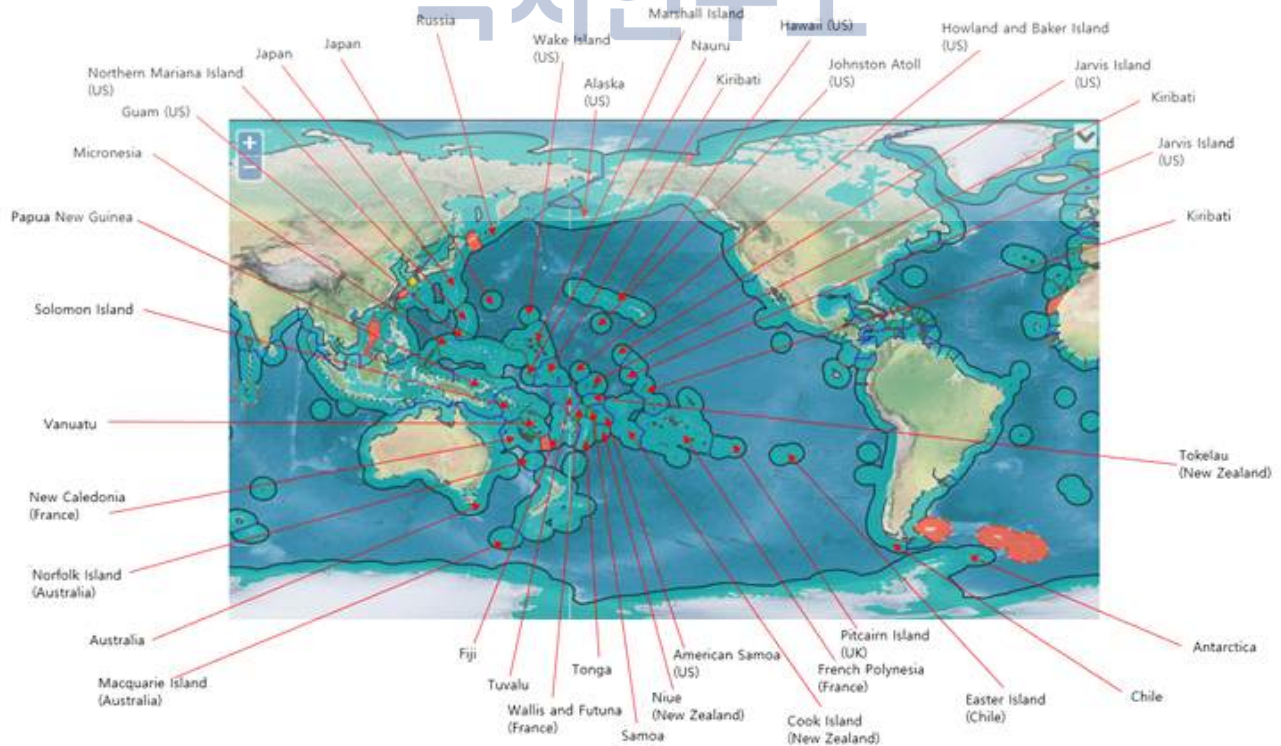


- 동물플랑크톤 분석을 통한 생태계 변화에 대한 기초자료 분석
 - ZooScan
- 선상에서 채집된 동물 플랑크톤 종 분석



○ 3단계 : 차세대 쇄빙선 운행 (2027~)

- 이동항해 운영시간 확대를 통한 정선 조사 진행
- 이동+정선 관측 수행
- EEZ를 제외한 구간 중 환경변화에 의미가 있는 구간 선정
- PP-Net, ZP-Net, Rosette sampler
- 시료 채집을 통한 관측 자료 확보
- EEZ중 해양조사를 수행하지 못하는 국가와 MOU를 통한 지역 관측 자료 확보



나. 교육 프로그램

○ 교육 프로그램 개발 시 유의점

- 교육대상선정
 - 관련 학과의 대학원생
 - 관련 연구소/기업의 연구원
- 교육내용구성
 - 단순장비활용교육이 아닌 연구목적에 따른 정점 구성, 필요 장비 활용, 자료 전처리 및 분석 전 과정 교육
- 교육자 구성
 - 전문적이고 연속성이 보장되는 교육자 구성
- 혜택부여
 - 대학원 학점 대체
 - 이수증 발급으로 이력활용
 - 관계기관 가산점 확인

○ 교육 프로그램 종류

일반교육	특화교육	기관교육
해양학 연구자 기본 교육	특정 연구 분야 통합 교육	기관 소속 연구자 종합 교육
<ul style="list-style-type: none"> • 선상에서 이루어지는 다양한 관측 항목에 관해 관측 방법에 대하여 교육 • 해양학 관련 학과 재학중인 대학원생이나 해양학 관련 업무를 수행하는 연구소/법인의 직원을 대상으로 교육 • 사전교육-선상교육-관측 자료 분석으로 이어지는 교육 수행 	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 목적을 가진 연구 분야/과제를 수행하기 위한 방법 교육 • 해양학 관련 학과 재학중인 대학원생이나 해양학 관련 업무를 수행하는 연구소/법인의 직원을 대상으로 교육 • 사전교육-선상교육-확보 자료 분석 방법 교육으로 이어지는 교육 수행 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양학 관련 기관에서 소속 연구원의 능력 함양을 위한 교육 • 해양학 관련 학과 재학중인 대학원생이나 해양학 관련 업무를 수행하는 연구소/법인의 직원을 대상으로 교육 • 사전교육-선상교육-자료 분석 방법 교육으로 이어지는 교육 수행

○ 교육 프로그램 내용

	교육내용	사전교육	선상교육	후속교육	혜택
일반교육 4-7명 규모 극지로 이동 항해 활용	<ul style="list-style-type: none"> 정기교육 관측항목 연계 방법론 위주 교육 관측 장비 사용 방법을 중심으로 한 선상 교육 진행 	<ul style="list-style-type: none"> MOU 체결 대학 활용 연구선 실무 교육 장비의 운용 및 자료 전처리 등 교육 정기 관측장비를 관리하기 위한 교육 진행 	<ul style="list-style-type: none"> 관측 프로그램에 사용되는 장비의 운용교육 관측을 통해 획득한 자료 처리 방법 사전 교육에서 교육된 선상생활 실제 경험 		<ul style="list-style-type: none"> 이수증 발급 우수 이수자 포상 MOU를 통한 학점교류
특화교육 1-3명 규모 한국으로 이동 항해 활용	<ul style="list-style-type: none"> 부정기교육 특정 분야 관측 관련 복합교육 연구 내용을 구성하는 부분에 대해 교육 진행 	<ul style="list-style-type: none"> 관측분야 연구팀공간활용 연구선 실무 교육 장비의 운용 및 자료 전/후처리 등 교육 특정 관측장비를 관리하기 위한 교육 진행 	<ul style="list-style-type: none"> 대상 연구에 사용되는 장비의 운용교육 관측을 통해 획득한 자료 처리 방법 	<ul style="list-style-type: none"> 자료 활용 방법 보고서 작성 방법 	
기관교육 기관 요청 규모 한국으로 이동 항해 활용	<ul style="list-style-type: none"> 부정기교육 기관요청 분야 관측관련 복합 교육 연구 내용을 진행하는 부분에 대해 교육 진행 	<ul style="list-style-type: none"> 요청 기관 공간활용 연구선 실무 교육 장비의 운용 및 자료 전/후처리 등 교육 특정 관측장비를 관리하기 위한 교육 진행 	<ul style="list-style-type: none"> 일반 교육 중 기관에서 요청한 관측 장비의 운용 교육 관측을 통해 획득한 자료 처리 방법 사전 교육에서 교육된 선상생활 실제 경험 	<ul style="list-style-type: none"> 자료 활용 방법 보고서 작성 방법 	



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 안됩니다.