

극지 해양환경 변동성 감시를 위한
관측망 구축 및 운영 기술개발
기획연구 보고서

2025. 3. 31

극지연구소

목 차

I. 서 론	1
1. 기획연구의 필요성	1
1.1 연구개발 배경 및 필요성	1
1.2 기존사업 차별성	5
1.3 기존사업 연계방안	7
2. 기획연구의 목표 및 주요 내용	8
2.1 기획대상의 정의	8
2.2 기획연구 목표	8
2.3 기획연구 주요 내용(범위)	8
2.4 기획연구 추진체계	9
II. 환경 및 역량분석	10
1. 정책 동향 및 법·제도 분석	10
1.1 국내·외 법·제도	10
1.1.1 국내 법·제도	10
1.1.2 해외 주요 법·제도	16
1.2 국내·외 정책 동향	21
1.2.1 국내 정책 동향	21
1.2.2 해외 정책 동향	27
2. 기술 동향 및 시장 전망 분석	34
2.1 국내·외 기술 동향	34
2.1.1 해외 기술 동향	34
2.1.2 국내 기술 동향	42
2.2 국내·외 시장 전망 분석	47

3. 기술 (R&D)동향 및 전망 분석	58
3.1 기수행된 연구개발 사업과 중복성 검토	58
4. 국내수요자 기술수요조사 및 분석	61
4.1 기술수요조사 응답자 현황	61
4.2 기술수요조사 결과	62
4.2.1 주요 이슈 및 문제점	62
4.2.2 관측의 한계 및 개선 요구사항	70
4.2.3 기존기술의 한계 및 기술 개선요구 사항	76
4.2.4 우선 개발이 필요한 기술 분야	83
4.2.5 기술수요조사 결과 키워드 분석	89
4.3 연구개발 필요성 방향 도출	92
 III. 연구개발과제 및 추진계획	98
1. 비전 및 목표	98
2. 개발목표 및 사양도출	98
2.1 남·북극 해양 물리·생지화학 분야 핵심 기후변수 감시 정보 생산	98
2.2 남·북극 위성 관측 기반 해빙·해색 감시 정보 생산	99
2.3 남극 빙권 변동성 감시정보 생산	99
3. 핵심개발과제	101
3.1 핵심개발내용	101
3.2 사업 주요내용	104
3.3 사업추진체계 및 방식	105
3.4 사업추진 로드맵	106
3.5 소요예산	107
3.6 성과목표 및 지표	108
3.7 기대효과 및 활용방안	109

3.7.1 성과활용방안	109
3.7.2 파급(기대)효과	109
3.8 사업개념도	110
IV. 사업 타당성 분석	111
1. 정책적 타당성	111
1.1 상위계획과의 부합성	111
1.2 국내 법·제도와의 부합성	112
1.3 국제 관련 기준 및 지침과의 부합성	113
1.4 법·제도 상 위험요인 및 대응방안	114
1.5 사업비 투자에 따른 경제적 파급효과	115
2. 과학·기술적 타당성	117
2.1 최신 극지 해양빙권 감시 기술 동향	117
2.2 국내 극지 연구 및 기술 현황	117
2.3 과학·기술적 기여	117
3. 경제적 타당성	118
3.1 분석 방법	118
3.2 분석 전제조건 설정	119
3.3 비용 추정	121
3.4 편익 추정	121
3.5 분석지표	133
3.6 종합평가	135
4. 사회·문화적 타당성	136
4.1 기후변화 대응 역량 강화	136
4.2 해양 및 극지 생태계 보호	136

4.3 산업 및 기술 혁신 촉진	136
4.4 국제 협력 및 글로벌 리더십 강화	136
4.5 미래 세대를 위한 교육 및 연구 기획 확대	136
첨부1. 과제제안요청서(RFP)	137
첨부2. 참고문헌	159

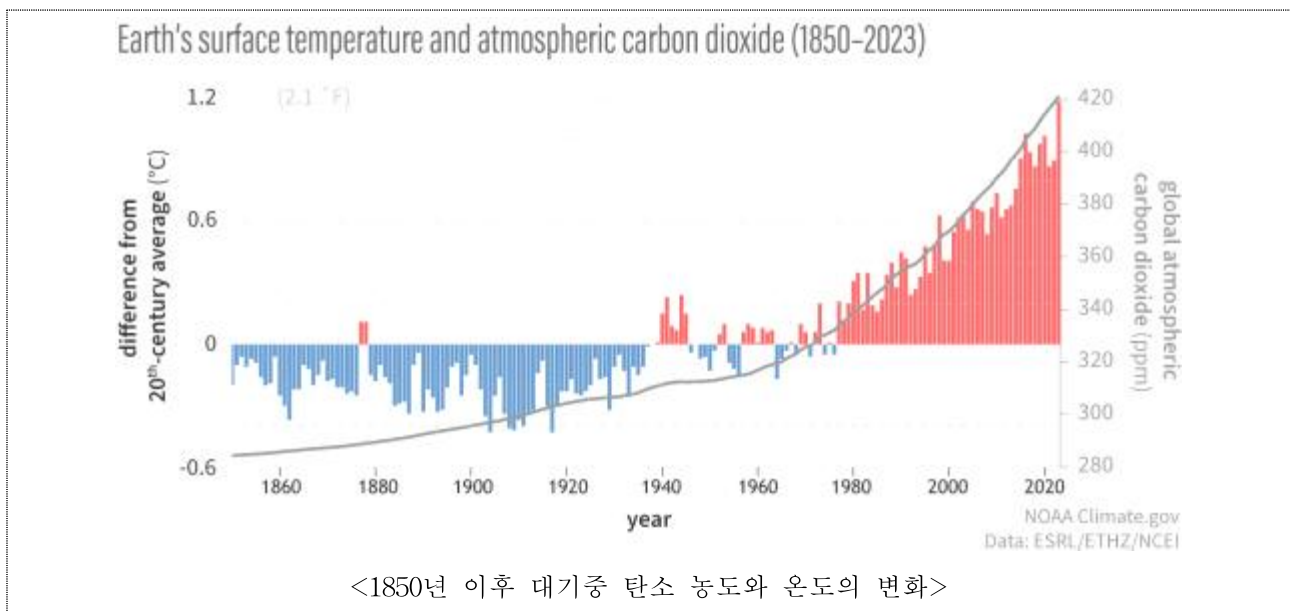


I. 서론

1. 기획연구의 필요성

1.1 연구개발 배경 및 필요성

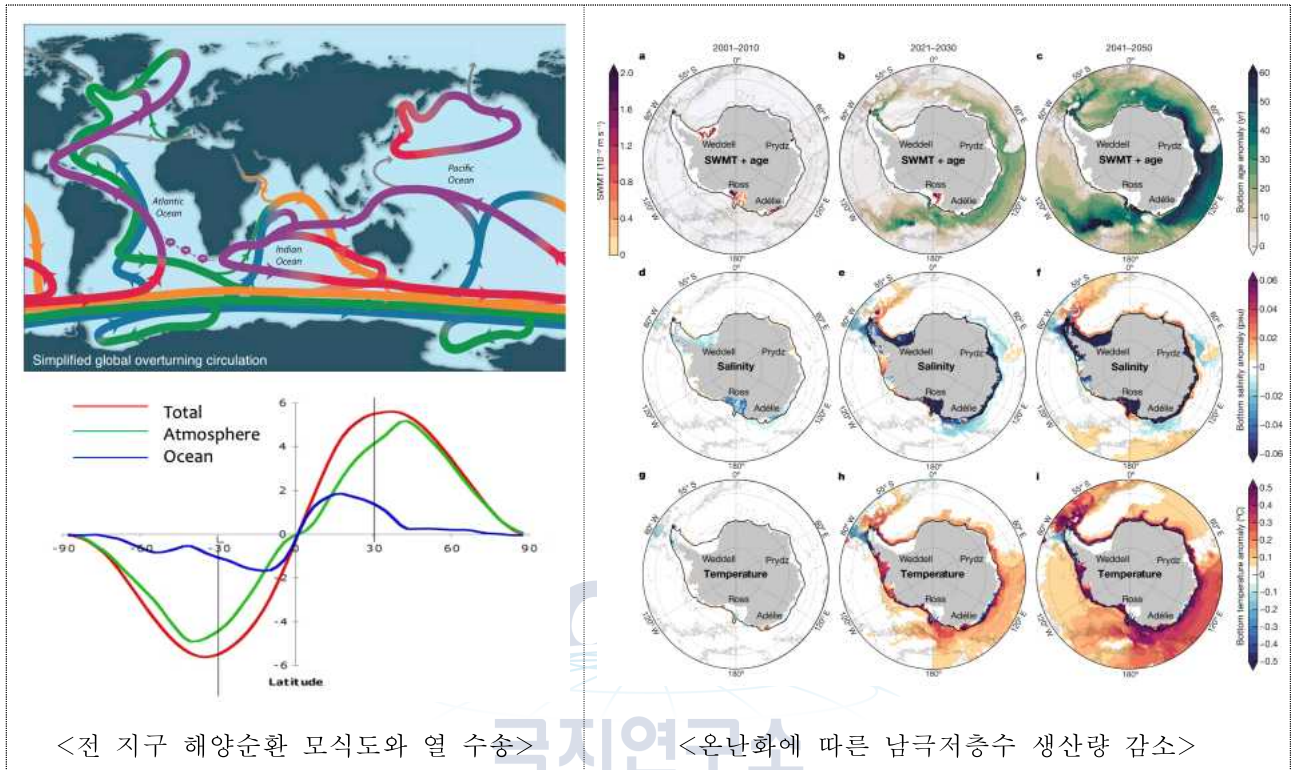
- IPCC 6차 보고에 따르면, 산업화 이후 누적 탄소 배출량은 약 2160~2640Gt이며, 2023년에 이미 산업화 이전 대비 전 지구 표면 온도가 약 1.1℃ 상승하였음. 2022년 SCAR 보고서 (Antarctic Climate Change and the Environment)에 의하면, 산업화 이후 인간 활동으로 배출된 잉여 열의 90%를 해양이 흡수하며, 특히 남극해가 이 열의 3분의 2를 흡수함.
- 남극 빙상 질량 손실은 전 지구 해수면 상승 및 해양·대기 순환 변화로 이어져 우리나라 연안 해수면과 기후변화에 영향을 미칠 수 있으며, IPCC 제6차 보고서에 따르면 남극의 빙하 용해 시 우리나라는 해수면 상승이 비교적 높게 발생하는 지역 중 하나로 전망됨.
- * 2060년부터 남극 빙하 용해가 인천 해수면 상승에 주요 원인으로 작용하며, 2100년 남극 빙하 용해로 인천 해수면 1.13m 상승(SSP5-8.5 고 탄소 배출 시나리오)



- 극지방에서 생성되어 해저를 따라 저위도로 흘러가는 해양대순환은 열, 탄소, 산소, 영양분 등의 주요 수송 수단으로 기후, 해수면 높이, 해양생태계의 생산성 등에 큰 영향을 미침.
- * 해양대순환은 적도의 열과 염분을 고위도로 수송하고, 고위도의 차가운 해수를 저위도로 전달함으로써 전지구 열 균형 조절
- 북극 주변에서 생성된 북대서양심층수는 해저를 따라 이동하여 환남극심층수가 되고, 남극 주변에서 남극저층수의 기원이 되며, 이는 해양 바닥을 따라 전 지구로 확산되어 태평양·인도양 차가운 심층수의 원천수로서 적도를 냉각하는 등 전 지구 대기·해양 순환 시스템의 한 고리를 담당함.

- 지구 온난화로 인한 남극 빙하 용해의 가속화와 이로 인한 저염의 용빙수 배출은 남극저층수 염분 농도를 낮추고 생산량을 줄여 전 지구 해양 순환이 약화시키며 전 지구 열 균형 조절 역할 소실을 위협함.

* 남극역전순환과 대서양 자오선 역전 순환류(AMOC)가 점점 느려지다 붕괴하면 이상 기후 현상이 빈번해지고 저위도 열의 고위도 전달이 끊겨 빙하기까지 도래 가능



- 미래 기후변화 예측 성능 향상을 위해서는 전 지구 기후시스템의 한 축으로 기후변화의 취약지이자 조절자인 극지 환경에 대한 감시·예측 정보가 필요하며, 이를 실현하기 위한 법적·정책적 근거가 존재함.
- 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」 제5조제3항, 제7조제2항, 제8조제4항('24.10.25 시행) : 극지의 환경 및 생태계를 감시하고 기후변화 감시 정보를 생산하기 위해 “해양·극지분야의 관측망”을 구축·운영 필요
- 해양환경보존 및 활용에 관한 법률」 제17조제1항, 시행령 제7조1항('22.03.25 시행) : 기후변화에 대응하기 위하여 해양에 대한 조사, 영향 예측 필요
- 「해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률」 제3조('24.02.15 시행) : 기후변화예의 적응·대응 및 해양재해의 예방 실현을 위해 해양조사 실시 필요
- 「극지활동진흥법」 제12조('21.10.14 시행) : 극지활동을 위한 국제협력(외국과 정보교환, 기술협력, 공동 조사·연구) 촉진 필요
- 「국정과제41(해양영토 수호 및 지속가능한 해양 관리)」 : 미래 세대가 함께 누릴 수 있는 깨끗하고 안전한 해양·연안 공간 조성

- 「제5차 해양환경 종합계획(‘21~’30)」: 해양 기후변화에 대한 과학적 대응 능력 강화를 위한 해양 기후환경 통합관측시스템 구축
- 「제4차 기후변화대응 해양수산부문 종합계획」: 기후위기대응 이행력 확보를 위해 극지·대양 연구를 통한 해양기후변화 영향 분석(극지 현장 관측체계 강화 및 데이터 활용도 제고 등)
- 「제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획」: 기후변화에 따른 남극 환경변화 진단과 미래 예측 강화
- 극지는 기후시스템의 한 축으로 전 지구 기후변화의 감시와 예측을 위해 극지 환경변화의 지속적 모니터링이 필요함. 특히, 전 지구 해양순환의 한 고리를 담당하는 북대서양심층수와 남극저층수의 장기 변동성 및 남극반도에서의 해양환경 변동성의 장기관측을 위한 남·북극과학기지(장보고, 세종, 다산 과학기지) 기반의 관측망 구축 및 운영함으로써 온난화의 현재 진행 상황을 파악하고 미래 추세를 전망함.
- 더불어 온난화에 의한 해양 생지화학 기후변수의 변화는 해양생태계 및 탄소 흡수력을 평가하는 척도가 되므로, 해양 생지화학 기후변수의 장기관측이 필요하며 제한된 접근성과 극한 환경으로 인한 현장 관측자료가 부족한 해색 및 해빙 인공위성 관측자료의 자동처리 시스템 개발 및 구축을 통해 체계적인 자료 생산 및 축적이 요구됨.
- 또한, 최근 지구 온난화에 의해 가속화되고있으며, 남극저층수 생성 및 해수순환에 영향이 큰 로스해 주변 빙상의 손실을 관측하기 위해 빙하 이동속도, 두께 변화, 적설량 등의 지속적 모니터링이 필요하고, 이를 위해서는 장보고과학기지 인근 주요 빙하 거점의 관측망 구축 및 운영이 필요함.
- 기존의 남·북극 해양 및 빙권 분야 관측자료 생산은 각 과제의 특성과 목적에 맞추어 짧은 기간에 집중적, 간헐적 관측이 주를 이루어 지구온난화에 따른 극지의 온난화 진행 상황을 파악하고 미래 추세를 전망하기 위한 자료로 불충분함. 핵심기후변수의 안정적이고 연속적인 장기 감사를 위한 극지 해양 및 빙권 관측망 구축 및 운영이 필요함.

필요성	극지 관측 현황 및 문제점	개선 방향
전 지구 열 균형에 중요한 해수 순환의 장기 모니터링 필요	• 현장 방문 자료획득에 의존해 관측자료의 획득에 1~2년 지연 시간 발생 • 유빙, 해빙, 악기상에 의한 높은 빈도로 관측망 유실 및 파손 발생	• 안정적인 기후관측망 체계 확립을 위한 자동화 및 무인 관측체계 기반 마련 • 데이터 수집/전송을 자동화하여 원거리 또는 수중네트워크를 이용한 극지과학기지 기반 실시간 모니터링 시스템 도입 • 인공지능을 이용한 관측자료의 자동화된 품질관리 시스템 도입
해양생태계 및 탄소흡수력 평가를 위한 해양 생지화학 기후변수 장기관측 필요	• 여름철로 제한된 현장 직접방문 조사로 제한되어 사계절 관측자료 부재 • 자료의 시공간 해상도의 부족과 불균형으로 지역적인 단기 변동 추세 파악만 가능	• 극지과학기지 기반의 해양생지화학분야 핵심기후변수의 연속적 장기 모니터링이 가능한 준실시간 관측 기술개발 • 관측된 자료의 품질 유지를 위한 관측 시스템 유지보수 방안 마련
지구 온난화에 따른 해빙 및 빙하 (이동속도, 두께, 적설량) 변동성 관측 필요	• 중, 저 해상도 위성 데이터를 활용으로 인해 해빙 세부 특징(균열, 두께, 융빙) 파악 불가능 • 다중 빙하 모니터링 시스템 부재로 인해 빙하의 동적 변화 실시간 모니터링 불가능	• 해빙의 다층 분석이 가능한 중-고해상도 위성 원격탐사 통합 관측 및 자동 자료관리 시스템 도입 • 남극장보고과학기지 인근 주요 빙하에 다수의 빙권 고정관측 거점을 확보하여 동적 빙하 관측망 구축

1.2 기존사업 차별성

- 다학제적 연구를 바탕으로 기후변화가 초래하는 극지 환경변화를 이해
 - 남극해 빙권 변화 등 물리 환경변화에 초점을 둔 기존 연구와 다르게 극지해 물리·생지화학·생태 환경변화뿐 아니라 빙권의 변동성 등 다학제적 연구를 통해 온난화에 따른 극지해 환경변화를 종합적으로 이해하고자 함.
- 남극해 핵심기후변수의 준 실시간 사계절 관측망 체계 개발 및 구축
 - 기존 연구에서 남극해 현장관측은 해빙 및 유빙에 의해 매우 제한적이었음. 특히, 해양 생지화학적 현장관측은 접근이 가능한 여름철로 제한되어 있으며, 해양물리 관측자료는 계류 시스템 회수 후 자료 획득이 가능해 자료 획득 주기가 1년 이상임. 이런 자료는 단기 기후 예측을 위한 입력자료로 활용할 수 없음.
 - 본 연구에서는 수중음향통신 기술을 활용해 수중계류시설의 기존 관측자료 획득 주기를 개선한 준실시간 사계절 해양 관측망 체계를 개발·구축하고자 함.
- 중요 지점에서 중·장기 안정적 연속 관측을 통한 극지해 환경변화 감시
 - 기존 과학기지 인근 해역 해양생태계 연구는 단순 생물량 수집에 머물러, 해양생태계 변화와 원인 추정에 제한적이었음. 본 연구에서는 안정적 연안 관측시설을 활용해 기후변화의 지시자로 활용될 가능성이 높은 해양생물의 종조성 및 군집 변화를 감시하고자 함.
 - 또한, 한정된 과제수행 기간으로 인해 해양환경의 단기적 변동성 관측을 목표로 설정했던 기존 연구들과는 달리 남극해 중요 지점에서 중·장기 안정적 연속관측과 자동화된 자료관리시스템을 통해 핵심기후변수의 장기변동성을 파악하고자 함.

<표 I -2> 기존사업과의 차별성

기존사업(기술·정책 등)	한계 및 문제점	차별성
(미국)남극파머기지 장기생태연구프로그램 (Parmer Station Antarctica Long Term Ecological Research)	• 여름철에 국한된 해양 생태 연구에 집중되어 운영됨. • 실시간 및 준 실시간 자료획득 및 관리 시스템 부재	• 해양물리 및 생지화학 변수의 사계절 준 실시간 자료 관측시스템 개발 및 구축함 • 빙권 실시간 관측시스템 구축
(해수부)급격한 남극 빙상 용융에 따른 근미래 전지구 해수면 상승 예측기술 개발	• 해양 생지화학분야 연구 부재	• 남극 세종·장보고과학기지를 기반으로 준 실시간 관측시스템을 구축·운영하여 해양 생지화학분야 핵심기후변수(부유생물, 서식지, 영양염, 용존산소 등)을 안정적으로 연속관측함.

1.3 기존사업 연계방안

- 기존사업들에서 확보한 서남극 연안 해양물리 환경자료(수온, 염분)로부터 남극저층수의 공간적 분포를 파악하고 이로부터 관측망 위치를 선정함
- 기존사업에서 관측 중인 남극전선 및 서남극 연안에서의 탄소 및 열의 고해상도 공간분포와 본 사업에서 구축 예정인 수중계류시설로부터 관측될 시계열 자료와 통합·연계 분석을 통해 남극 연안 환경변화의 원인 및 추세 파악
- 북극다산기지(대서양 섹터) 기반 관측자료를 통해 온난화에 따른 해류 변동성(대서양기원수 유동)과 이에 따른 북극해 수괴 변화를 파악하여 기존 북극해 태평양 섹터에서의 수행중에 해양생태계 변화 감시 사업에 학술적 근거자료 마련

<표 I -4> 기존사업과의 연계방안

기존사업(기술·정책 등)	주요특징	연계방안
(극지연 주요사업) 서남극해 온난화에 따른 탄소 흡수력 변동 및 생태계 반응 연구	• 남극전선에서의 열 및 탄소 수송량 관측 및 변동 메커니즘 규명 • 서남극 연안 해류 및 수괴 변동성을 관측하고 이에 따른 해양생태계 반응 파악	• 서남극 연안 해수 수괴 및 해류의 고해상도 공간분포 자료와 연계분석을 통해 남극 연안 기후변화 감시망의 시공간적 범위 확대 • 남극 연안 해양기후 변동성 원인 규명에 기존 연구에서 관측하는 남극전선 열 및 탄소 수송량 관측자료 활용
(해수부) 북극해 온난화-해양생태계 변화 감시 및 미래전망 연구	• 북극해 태평양 섹터(처치해)에서 온난화에 따른 해양 특성 변화가 생태계에 미치는 영향 규명	• 북극해 대서양 섹터에서의 해류 및 수괴 시계열 관측자료는 기존 연구의 태평양 섹터 해양 환경 변동성 관측자료와 연계 분석 • 지구 온난화가 북극해 해양생태계 변화를 초래하는 과정 및 메커니즘 파악

2. 기획연구의 목표 및 주요 내용

2.1 기획대상의 정의

- 기후변화의 취약지이며, 전 지구 기후시스템의 한 축인 극지에서 지구 온난화에 따른 극지 해양 및 빙권 분야 핵심기후변수(수심별/표층 수온·염분, 해류, 영양염, 부유생물, 해빙, 빙하 등)를 지속적으로 관측할 수 있는 관측망을 구축 운영함으로써 기후변화 대응에 필요한 감시·예측 정보를 생산 및 극지 기후 분야 국제 입지 강화

2.2 기획연구 목표

- 극지 연안 해양·빙권 환경관측망 구축 및 운영을 위한 기술개발
 - 극지 관측의 최신 국내외 정책 및 시장, 연구 동향을 파악 및 국내 수요자 요구 분석
 - 극지 관측망 구축 및 운영 기술개발을 위한 사업 로드맵 수립

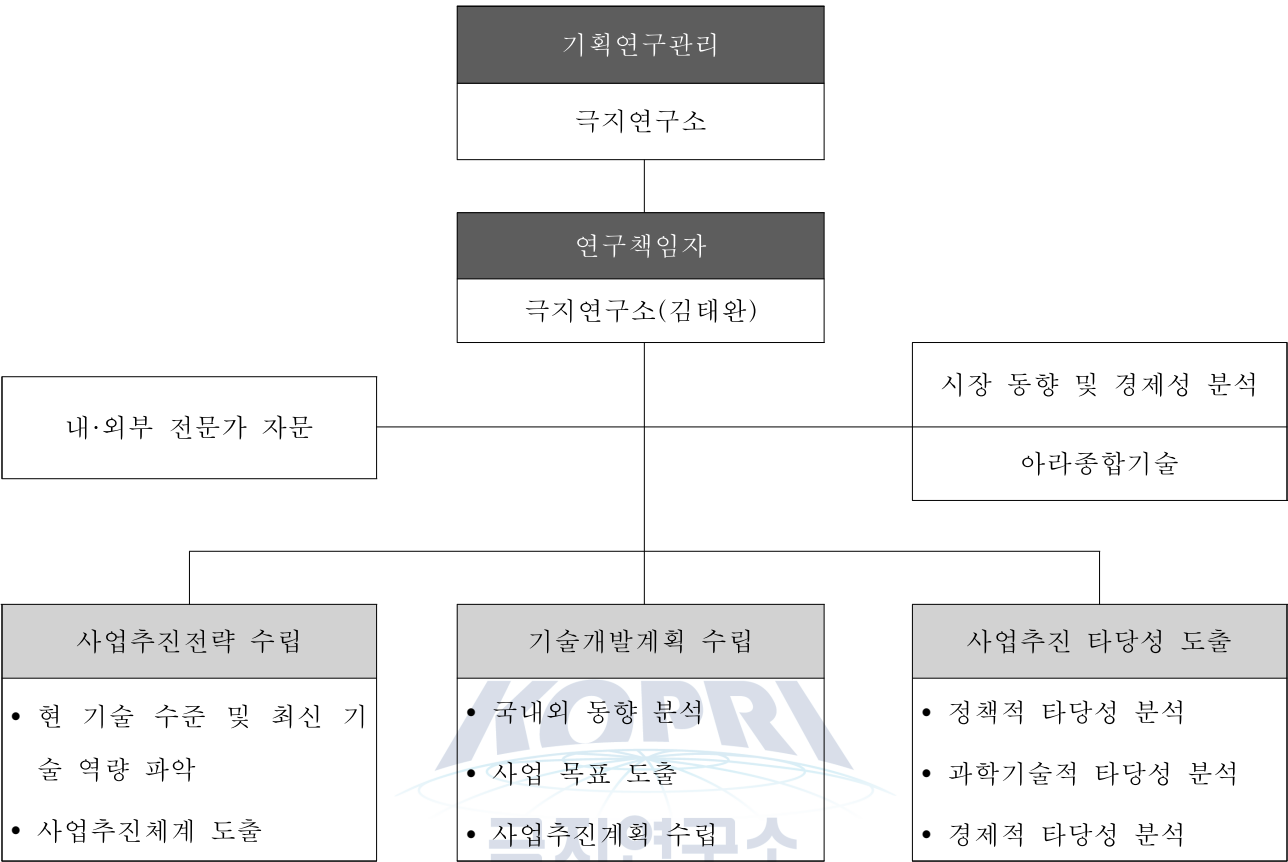
2.3 기획연구 주요 내용(범위)

<표 I -1> 기획연구 내용 및 범위

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2024)	○ 극지연안 해양환경 변동성 감시 관측망 구축·운영을 목적으로 하는 신규 사업 발굴을 위한 환경·타당성 분석과 추진 체계 및 전략 수립	- 기후 감시를 위한 극지 관측망 구축·운영에 대한 정책 동향 및 법·제도 분석 - 기후변화가 야기하는 극지 해양환경변화에 대한 최신 연구현황 파악 - 극지연안 해양환경변동성 관측망 구축·운영을 위한 현 기술 수준 분석 및 신규 기술 정보수집 - 극지 관측망 구축·운영을 위해 필요한 예산, 인력, 인프라 및 연구 기간 조사 - 관측망 기반자료를 활용한 기후모델 검증·평가 방법 도출을 위한 최신 연구 및 기술 정보수집

2.4 기획연구 추진체계

<표2-2> 기존연구 추진체계



II. 환경 및 역량분석

1. 정책 동향 및 법·제도 분석

1.1 국내·외 법·제도

- 국내 기후변화와 관련한 법률은 「기상법」, 「기후변화감시예측법」, 「기후기술법」, 「탄소중립기본법」, 「대기환경보전법」, 「자연환경보존법」, 「자연재해대책법」, 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」, 「지속가능발전법」, 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」 등이 있음.
- 본 연구에서 다루고자 하는 기후변화의 취약지이자 조절자로서의 극지 환경에 대한 감시·예측과 관련한 법률은 기후변화의 대응(탄소 감축), 기후변화의 적응 및 기후변화의 감시 및 예측과 직접적인 관련이 있는 「탄소중립기본법」과 「기상법」, 「기후변화감시예측법」이 중심됨. 따라서, 「탄소중립기본법」, 「기상법」, 「기후변화감시예측법」을 중심으로 국내 주요 법·제도에 대하여 분석함.

1.1.1 국내 법·제도

가. 「탄소중립기본법」

- 탄소중립기본법은 기후변화로 인한 전 세계적 위기에 대응하기 위해 제정되었음. 최근 기후변화로 인해 홍수, 가뭄, 한파, 산불 등의 자연재난과 화재, 감염병 등의 사회재난, 그리고 일자리 감소 등 경제적 위기가 초래되고 있으며, 이러한 재난과 위기의 빈도와 강도는 지속해서 증가하는 경향을 보이고 있음. 2015년 파리협정을 통해 국제사회는 각국이 자발적으로 온실가스 감축 목표를 설정하고 이행하도록 했으며, 우리나라도 이러한 국제적 흐름에 동참하여 2020년 10월에 2050년 탄소중립 목표를 선언하였음. 기존의 저탄소 녹색성장 기본법이 온실가스 감축과 기후 위기 대응의 기본 틀을 제공했으나, 탄소중립 사회로의 전환과 정의로운 전환을 포괄하기에는 한계가 있어 이를 보완하고자 탄소중립기본법이 제정되었음.
- 탄소중립기본법은 2050년까지 탄소중립 사회 실현을 목표로 하며, 이를 달성하기 위한 국가 전략 수립을 규정하고 있음. 이 국가전략에는 경제와 환경의 조화로운 발전을 위한 구체적인 방안이 포함되며, 정부는 이를 토대로 중장기 감축목표를 설정하고 매년 이행 현황을 점검함. 또한 중앙행정기관, 지방자치단체, 공공기관은 감축목표 이행이 미진할 경우 개선사항을 정책에 반영하도록 의무화되어 있음.
- 국가와 지방자치단체는 기후위기 적응과 대응을 위한 기본계획을 수립해야 하며, 국가 차원의 기본계획은 5년 단위로 수립됨. 지방자치단체는 이를 기반으로 지역 특성에 맞는 계획을 작성하게 되며, 이 계획에는 온실가스 감축과 기후위기 적응 대책, 정의로운 전환을 위한 특별지구 지정, 지역경제와 취약계층 보호 방안이 포함되어 있음. 이러한 정책과 계획의 심의·의결을 위해 대통령 소속으로 2050 탄소중립녹색성장위원회가 설치되었으며, 각 지방자치단체도 지방 위원회를 구성할 수 있음.

- 온실가스 감축을 위해서는 배출권 거래제와 목표 관리제가 강화되었으며, 기후변화영향평가, 탄소흡수원 확충, 탄소포집·저장·이용(CCUS) 기술개발 등 다양한 제도가 운용되고 있음. 아울러 기후위기 적응을 위한 물 관리, 녹색국토 관리, 농림수산업 전환 촉진도 추진되고 있으며, 정부는 녹색기술 개발과 녹색산업 육성을 지원하고 관련 세제 및 금융 제도를 마련하여 기후위기 대응과 지속가능한 경제성장을 동시에 추구하고 있음.
- 특히 이 법은 탄소중립 사회로의 전환에 필요한 자원 확보를 위해 기후 대응 기금을 신설하여 운영하도록 규정했으며, 이를 통해 탄소중립과 녹색성장 관련 사업을 지원하고 기후변화로 인한 사회·경제적 피해를 최소화하기 위한 재정적 기반을 강화했음. 또한 지방정부와 시민의 참여를 강조하여 지방정부가 탄소중립 실천 연대를 구성·운영하고 녹색생활 운동과 교육·홍보를 통해 탄소중립 사회로의 전환을 촉진하도록 하였으며, 이러한 노력을 통해 기후위기 적응 및 대응 체계가 지역 사회 전반으로 확산될 수 있도록 지원하고 있음.

나. 「기상법」

- 현행 「기상법」은 1961년 제정된 「기상업무법」을 기원으로 하여 발전해 왔음. 2005년 전부 개정을 통해 「기상업무법」에서 「기상법」으로 전환되었으며, 기후업무까지 포함하는 내용을 담았음. 이 과정에서 기상관측의 표준화를 위해 일부 내용을 「기상관측표준화법」으로 분리하였음. 특히 2023년에는 두 차례의 중요한 법 개정이 있었는데, 2월 개정을 통해 기후변화 감시 강화를 위한 법적 근거를 마련하였으며, 10월에는 「기후변화감시에측법」의 제정에 따라 기후 및 기후변화와 관련된 조항이 삭제되었음.
- 2005년의 전부 개정은 국가 기상 행정의 기본법으로서 「기상법」의 위상을 확립하는 중요한 전환점이 되었음. 이를 통해 기상조직과 시설 확충을 위한 시책을 마련하도록 규정하였으며, 기상업무 기술 기본계획을 도입하여 5년 주기로 기상업무 발전 목표와 정책 방향을 설정하고 매년 시행계획을 추진하게 되었음. 또한 긴급 방송 요청권을 부여함으로써 국민에게 신속한 기상 정보를 제공하여 기상재해 예방에 기여하였으며, 기후 문제에 체계적으로 대응하기 위해 기후 전문위원회 설치의 법적 근거도 마련하였음.
- 2023년의 법 개정은 기상업무의 전문화와 체계화를 더욱 강화하였음. 2월 개정에서는 기후변화 관측망 구축 및 운영에 관한 근거를 신설하여 기후변화로 인한 재해로부터 국민 안전을 강화하였음. 이는 기상업무와 기후업무의 세분화를 통해 보다 전문화된 서비스를 제공하기 위한 것이었음. 같은 해 10월에는 「기후변화감시에측법」이 제정되면서 기상법에서 관련 조항이 삭제되었으며, 이를 통해 기상 및 기후 관련 법률의 역할 분담과 체계화를 도모하게 되었음.
- 현행 「기상법」은 기상청장이 기상업무 발전을 위한 5년 주기의 기술 기본계획을 수립하고, 이를 기반으로 매년 시행계획을 추진하도록 규정하고 있음. 또한 국내외 기상 정보를 종합적으로 관리하고 공동 활용하기 위해 기상정보시스템을 구축하고 있으며, 긴급 재난방송 요청

을 통해 기상재해 발생 시 신속하게 대응할 수 있는 체계를 운영하고 있음.

- 이와 같은 「기상법」의 주요 개정과 발전은 기상 및 기후업무의 전문화를 통해 효율적이고 체계적인 서비스를 제공하는 데 기여하고 있음. 또한 기후변화 관측 및 대응 역량을 강화함으로써 국민의 안전과 재산 보호에 실질적으로 이바지하고 있으며, 향후 「기상법」과 「기후변화감시예측법」의 긴밀한 연계를 통해 법적 혼란을 최소화하고 보다 효과적인 기상 및 기후 서비스 제공을 기대할 수 있음.

다. 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」

- 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률(이하 '기후변화감시예측법')은 기후 및 기후변화에 대한 체계적이고 과학적인 감시 및 예측을 통해 생태계와 기후 체계를 보호하고 공공 복리 증진을 도모하기 위해 제정되었음. 이 법은 기존 기상법에서 기후변화 관련 업무를 분리하여 독립된 법률로 체계성을 확보하고, 기후변화 정보의 생산, 관리 및 활용을 전문화함으로써 국가적 대응 역량을 강화하는 데 중점을 두고 있음.
- 이 법의 목적은 기후변화로 인한 생태계와 사회적 영향을 최소화하기 위해 기후 및 기후변화에 대한 감시와 예측의 과학적 기반을 마련하는 것임. 이를 통해 정부와 민간이 모두 활용할 수 있는 정보체계를 구축하여 기후변화에 대한 대응력을 향상시키고자 함.
- 기후변화감시예측법의 주요 내용을 살펴보면, 우선 제4조에서는 기상청장이 5년 단위로 종합적이고 체계적인 기후변화 감시 및 예측 기본계획을 수립하고, 이를 바탕으로 연도별 시행계획을 마련하여 실행하도록 규정하고 있음. 이 기본계획은 국내외 기후변화 동향을 반영하며 정부 정책과 연계하여 설계됨.
- 제5조에서 제7조까지는 기후변화 관측망 구축 및 정보생산에 관한 사항을 규정하고 있음. 기상청장은 기후변화의 정확한 관측을 위해 관측망을 구축하고, 온실가스 농도, 해수면 상승, 기온 변화 등 다양한 기후 관련 데이터를 수집, 분석 및 생산하는 업무를 수행함.
- 제8조부터 제11조에서는 예측 정보와 표준 시나리오 개발에 관한 사항을 다루고 있음. 기상청장은 국가 차원에서 필요한 기후변화 예측 정보를 제공하고, 이를 위해 표준화된 기후변화 시나리오를 개발하여 정책 수립 및 산업계 활용에 필요한 핵심 자료로 활용하도록 함.
- 제12조와 제13조는 정보 제공 및 활용 촉진에 관한 내용을 담고 있음. 기상청장은 국민들이 쉽게 접근할 수 있는 기후변화 정보를 제공하고, 이를 위해 기후변화감시예측 정보시스템을 구축하여 운영함으로써 기후 데이터의 활용성을 높이고 대응 전략 수립을 지원함.
- 마지막으로 제17조에서 제20조는 기후변화 연구·개발과 국제협력을, 제22조와 제23조는 교육과 인식 제고에 관한 사항을 규정하고 있음. 기상청장은 기후변화 감시 및 예측 기술의 발전을 위해 연구·개발을 추진하고 국제협력을 통해 글로벌 대응 네트워크에 기여하며, 학교 교육을 지원하고 전문 교육자(기후변화과학교육사)를 양성하여 기후변화에 대한 과학적 이해를

높이고 대응 역량을 강화하도록 함.

라. 「해양환경보존 및 활용에 관한 법률」

- 해양환경보존 및 활용에 관한 법률은 해양환경의 보전과 지속가능한 활용을 통해 해양 생태계를 보호하고 국가적 이익을 증진하기 위하여 제정되었음. 이 법은 해양환경을 체계적으로 관리하고, 오염 방지 및 복원을 통해 해양의 건강성을 유지하며, 지속가능한 해양 자원의 활용을 목표로 하고 있음.
- 이 법에서는 해양환경을 해양 생물체와 이를 둘러싼 해양수, 해양지, 해양대기 등 비생물적 환경을 포함한 자연적·생활적 상태로 정의하고 있으며, 해양환경 보전 및 활용은 오염 방지, 복원, 자원 활용 등 해양의 건강성을 유지하며 지속 가능한 발전을 도모하는 행위를 포함하고 있음.
- 정부는 해양환경의 체계적 관리를 위하여 10년마다 해양환경종합계획을 수립하고, 이를 바탕으로 5년 단위로 해양환경관리 시행계획을 마련하고 있음. 종합계획에는 해양환경 보호, 오염 방지, 복원 및 자원 관리와 관련된 정책 방향과 세부 실행 방안이 포함되어 있음.
- 해양환경 관측과 데이터 관리는 이 법의 중요한 요소로서, 정부는 해양환경의 변화와 오염 상태를 관측하기 위한 관측망을 구축하고, 수집된 데이터를 분석하여 정책 수립과 산업계 활용에 필요한 정보를 제공하고 있음. 특히 기후변화 대응과 관련된 해양조사와 영향 예측에 대한 체계적인 데이터 생산과 관리를 강조하고 있음.
- 해양오염 방지와 복원 조치는 법률의 핵심 내용으로서, 정부는 해양으로 유입되는 오염물질의 억제와 관리 방안을 마련하며, 오염된 해양환경을 복원하고 지속 가능한 활용을 위하여 다양한 복원 기술과 대책을 적용하고 있음.
- 기후변화 대응을 위한 해양 조사 및 영향 예측과 관련하여, 정부는 온실가스 농도, 해수면 상승, 해양생태계 변화 등을 포함한 기후변화와 관련된 해양 데이터를 수집하고 이를 분석하여 국가적 대응 역량을 강화하고 있음. 또한 표준화된 기후변화 예측 정보를 통해 정책 수립과 산업계 활용을 지원하고 있음.
- 국제협력 측면에서 대한민국은 해양 환경보전과 관련된 국제협약을 준수하며, 국제 공동연구와 데이터 공유를 통해 해양 오염 문제해결과 해양생태계 보호에 기여하고 있음.
- 이 법의 주무 부처인 해양수산부는 해양환경 관리와 관련된 다양한 법적·제도적 지원을 수행하며, 해양환경 보호 및 복원, 오염 방지, 기후변화 대응 등 다양한 해양환경 관련 정책과 계획의 수립과 실행을 책임지고 있음.
- 이러한 해양환경보전 및 활용에 관한 법률은 해양 자원의 지속 가능한 이용과 해양생태계 보호, 기후변화 대응을 통해 국가적 경쟁력을 강화하고 국민 삶의 질을 향상하는데 기여하는

중요한 법률로서의 역할을 수행하고 있음.

마. 「해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률」

- 해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률은 해양환경, 자원, 기후변화 등 해양 관련 정보를 체계적으로 조사하고 관리하며, 이를 국가적·사회적 목적으로 활용하기 위해 제정된 법률임. 이 법은 해양조사와 정보를 통한 과학적 데이터 확보와 활용을 통해 해양 정책 수립, 산업 발전 및 재난 대응 역량 강화를 목표로 하고 있음.
- 이 법에서 정의하는 해양조사는 해양환경, 해저지형, 생물자원, 기상·기후 등을 포함한 해양 관련 정보의 수집, 분석 및 평가를 의미하며, 해양정보는 이러한 조사 결과로 생산된 데이터와 이를 활용한 정보체계를 포함하고 있음.
- 정부는 10년 단위로 해양조사 기본계획을 수립하고, 이를 바탕으로 5년 단위의 시행계획을 마련하여 해양조사의 체계적 추진 방향과 세부 실행 방안을 설정하고 있음. 기본계획에는 해양조사 대상, 방법, 데이터 관리 및 활용 방안 등이 포함되어 있음.
- 해양조사의 주요 내용은 해양환경, 해양자원, 해양공간 정보 등을 조사하고, 이를 통해 국가 해양 정책과 연계된 과학적 데이터를 제공하는 데 중점을 두고 있음. 특히, 해양생태계 보호, 자원 개발, 기후변화 예측 및 대응을 위한 데이터를 확보함으로써 정책과 산업 발전을 지원하고 있음.
- 기후변화 대응과 관련된 해양조사와 정보 활용은 이 법에서 중요한 부분으로 다뤄지고 있음. 해수면 상승, 해양생태계 변화, 기후변화로 인한 해양 재난 등을 예측하고 대응하기 위한 정보체계를 구축하며, 이를 통해 국가적 기후변화 대응 역량을 강화하고 있음.
- 해양정보의 관리와 제공은 이 법의 핵심 요소임. 정부는 조사된 해양 데이터를 데이터베이스화하여 효율적으로 관리하고, 이를 민간과 공공 부문에서 활용할 수 있도록 개방하고 있음. 이를 통해 연구와 산업, 정책 수립에 필요한 자료를 제공하며 해양정보의 활용성을 높이고 있음.
- 국제협력을 통해 해양조사와 정보 활용의 범위를 확장하고 있음. 국제적 해양조사 프로그램에 참여하거나 데이터 공유를 통해 글로벌 해양 문제해결에 기여하며, 국내외 연구기관과의 협력을 통해 해양 과학기술의 발전을 도모하고 있음.
- 이 법의 주무 부처는 해양수산부이며, 해양조사와 정보 활용과 관련된 법적·제도적 지원을 제공하며, 해양조사 결과와 정보를 체계적으로 관리하고 제공하고 있음.
- 해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률은 해양 관련 데이터의 체계적 조사와 관리를 통해 과학적 기반을 마련하고, 이를 국가 정책, 산업, 재난 대응 및 기후변화 대응 등에 활용하여 해양 관련 문제를 해결하는 데 기여하는 중요한 법률임.

바. 「극지활동 진흥법」

- 극지활동 진흥법은 남극 및 북극 지역에서의 과학연구, 자원 개발, 환경 보호 및 국제협력을 촉진하기 위해 제정된 법률임. 이 법은 대한민국의 극지 활동을 체계적으로 지원하고, 국가 차원의 극지 정책을 수립하며, 연구 및 탐사의 효율성을 높이는 것을 목표로 하고 있음. 극지 환경은 전 세계 기후변화와 밀접하게 연결되어 있어 지속 가능한 개발과 보존을 통해 인류 공통의 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 하고 있음.
- 이 법에서 정의하는 극지는 남극과 북극 지역을 포함한 전 세계 극한 환경을 지닌 지역을 의미하고 있음. 극지 활동은 이들 지역에서 이루어지는 과학연구, 탐사, 국제협력, 환경 보호 및 자원 활용을 포함하며, 이를 통해 국가적 및 국제적 이익을 도모하고 있음.
- 정부는 5년마다 극지활동 진흥 기본계획을 수립하여 국가 차원의 극지활동 방향을 설정하고 있음. 이 기본계획에는 연구개발, 국제협력, 탐사 활동, 환경 보호 및 인프라 구축 등 다양한 세부 항목이 포함되어 있음. 이를 통해 극지활동의 장기적 비전과 구체적인 실행 방안을 마련하여 지속 가능한 발전을 도모하고 있음.
- 극지활동의 성공적인 수행을 위해 전문인력 양성이 필수적임. 극지활동 진흥법은 극지 연구와 탐사를 수행할 인력을 양성하고, 이들의 역량을 강화하기 위해 교육 프로그램과 훈련 시스템을 운영하도록 규정하고 있음. 이를 통해 연구의 질적 수준을 높이고, 극지 관련분야의 기술적 자립을 도모하고 있음.
- 남극과 북극 기지의 운영 및 신규 기지 설립은 극지 활동의 중요한 요소임. 이 법은 연구용 채빙선, 관측 장비, 위성 활용 등 과학적 인프라를 개발하고 확충하는 것을 규정하고 있음. 이러한 인프라는 극지 환경의 데이터를 수집하고 분석하여 기후변화와 관련된 과학적 정보를 제공하는 데 중요한 역할을 하고 있음.
- 극지활동 진흥법은 남극조약과 북극이사회 등 국제기구와 협력하여 책임 있는 극지 활동을 보장하고 있음. 국제적 조약과 협정을 이행하며, 국제 공동연구와 데이터 공유를 촉진하여 대한민국의 국제적 위상을 제고하고 극지 연구에 대한 국제사회의 신뢰를 확보하고 있음.
- 극지 환경의 보존은 극지활동 진흥법의 중요한 부분임. 이 법은 극지 환경의 훼손을 방지하기 위한 구체적인 조치와 기준을 마련하며, 환경 영향을 최소화하는 탐사 활동을 규제하고 있음. 이를 통해 극지 환경의 지속 가능성을 보장하고, 기후변화의 영향을 효과적으로 완화하고 있음.
- 극지활동 진흥법의 주무 부처는 해양수산부와 극지연구소임. 이들은 극지활동과 관련된 법적, 제도적 지원을 수행하며, 극지 연구기관 및 단체의 활동을 감독하고 지원하고 있음. 법률에 따른 체계적인 관리와 지원을 통해 극지활동의 효율성을 높이고 관련 정책의 일관성을 유지하고 있음.
- 극지활동 진흥법은 기후변화 대응, 자원 개발, 국제적 의무 이행 측면에서 중요한 법률임. 극

지 환경변화는 전 세계 기후변화와 직결되므로 이를 연구하고 대응하는 활동의 필요성이 높음. 또한, 극지 지역은 풍부한 자원 매장량을 보유하고 있어 장기적인 국가 경쟁력 확보에 중요한 역할을 하고 있음. 끝으로 남극조약과 북극이사회 등 국제협력 기구와의 협력은 대한민국의 국제적 신뢰를 강화하고, 극지 활동의 선진화를 도모하고 있음.

사. 극지 환경 감시·예측 관련 법률 사항

<표Ⅱ-1> 극지 환경 감시·예측 관련 법 조항

관련 법	관련 법률 조항
「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」	제5조제3항, 제7조제2항, 제8조제4항('24.10.25 시행) : 극지의 환경 및 생태계를 감시하고 기후변화 감시 정보를 생산하기 위해 “해양·극지분야의 관측망”을 구축·운영 필요
해양환경보존 및 활용에 관한 법률」	제17조제1항, 시행령 제7조1항('22.03.25 시행) : 기후변화에 대응하기 위하여 해양에 대한 조사, 영향 예측 필요
「해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률」	제3조('24.02.15 시행) : 기후변화에의 적응·대응 및 해양재해의 예방 실현을 위해 해양조사 실시 필요
「극지활동진흥법」	제12조('21.10.14 시행) : 극지활동을 위한 국제협력(외국과 정보 교환, 기술협력, 공동 조사·연구) 촉진 필요

1.1.2 해외 주요 법·제도

가. 미국

- 미국의 기후변화 대응 법제도와 정책은 '완화(Mitigation)'와 '적응(Adaptation)'이라는 두 축을 중심으로 체계적인 접근을 진행하고 있음. 주요 법·제도로는 「기후위기 대응 행정명령」, 「인플레이션 감축법」, 그리고 「청정 공기법」이 있음.
- 「기후위기 대응 행정명령」은 2021년 바이든 행정부가 기후위기를 최우선 과제로 선언하며 제정한 행정명령으로, 2050년까지 온실가스 배출을 순제로(Net-Zero)로 감축하도록 의무화하고 있음. 재생 가능 에너지 전환과 청정에너지 기술개발을 추진하며, 취약계층 지원 확대, 연방 토지 및 해양 보호 강화, 생태계 보전 정책 등을 포함하고 있음.
- 「인플레이션 감축법(IRA)」은 2022년에 통과된 미국 역사상 최대 규모의 기후변화 대응 투자 법안으로, 약 3690억 달러의 예산을 배정하였음. 청정에너지와 전기차 보조금 확대, 재생에너지 설비 확충, 에너지 효율성 강화, 농업 부문 탄소 배출 감축 기술 지원 등이 주요 내

용이며, 2030년까지 2005년 대비 약 40%의 온실가스 감축을 목표로 하고 있음.

- 「청정 공기법」은 1963년 제정 이후 여러 차례 개정을 거친 법률로, 환경보호청(EPA)에 온실가스 배출 규제 권한을 부여함. 발전, 교통, 산업 등 주요 배출 부문의 감축 목표를 설정하고, 메탄 배출 규제 강화, 석탄 발전소 단계적 축소, 청정에너지 대체 방안 도입 등을 포함하고 있음.
- 미국의 기후변화 대응은 초기 소극적 태도에서 점차 적극적으로 변화해 왔음. 1970년 대기오염방지법, 1990년 지구변화연구법, 1992년 에너지 정책법 등을 통해 기후정책의 기반을 마련하였으며, 2022년 인플레이션 감축법으로 약 4,300억 달러를 기후변화 대응에 투입하였음.
- 행정적으로는 2021년 바이든 행정부의 행정명령을 통해 기후변화를 외교정책과 국가안보의 중요 요소로 설정하고, 연방 기후 대책위원회 설립, 지속 가능한 자동차 및 청정에너지 조달 전략 실행 등을 추진하고 있음. 백악관 환경정의 기관 간 협의회를 통해 환경정의와 기후변화 대응을 위한 조정 역할을 수행하며, 이를 통해 청정에너지 산업과 기술에 대한 실질적 재정 지원을 제공하고 지속 가능한 녹색 경제로의 전환을 도모하고 있음.

나. 유럽연합(EU)

- 유럽연합(EU)은 기후변화 대응과 지속 가능한 발전을 위해 다양한 법제도를 시행하고 있으며, 기후 중립을 핵심 목표로 하여 환경 보호와 경제발전을 동시에 추구하고 있음. 주요 법제도로는 「유럽기후법」과 「탄소중립산업법안」이 있음.
- 「유럽기후법」(European Climate Law, Regulation (EU) 2021/1119)은 2050년까지 유럽 경제와 사회를 기후 중립으로 전환하는 것을 목표로 하고 있음. 2021년 7월에 발효된 이 법은 유럽 그린딜의 목표를 법제화하여 2050년까지 온실가스 순 배출량을 제로로 줄이는 것을 법적 구속력 있는 의무로 정하고 있음. 2030년까지는 1990년 대비 온실가스 순 배출량을 55% 이상 감축하는 중간 목표를 설정하고 있음.
- 유럽기후법은 EU 정책이 기후 중립 목표에 기여하도록 규정하고 있으며, EU 배출권 거래제 개정, 재생에너지 지침 개정, 탄소 국경 조정 메커니즘 도입, EU 산림 전략 마련 등 다양한 환경 개선 조치를 포함하고 있음.
- 「탄소중립산업법안」(Net Zero Industry Act)은 유럽의 탄소중립 기술 제조 역량을 강화하고 2030년까지 관련 제조 역량을 EU 전체 보급 수요의 40%까지 확대하는 것을 목표로 하고 있음. 이 법안은 탄소중립 기술 개발 및 프로젝트 지원을 위한 행정 절차 간소화와 허가 기간 단축을 통해 투자 환경을 개선하고자 함.
- 특히 탄소 포집 및 저장 기술 개발을 지원하여 2030년까지 연간 50Mt의 탄소포집저장 능력 확보를 목표로 하고 있음. 또한 '탄소중립산업 아카데미' 설립을 통한 기술 인력 양성, 혁신 기술 테스트를 위한 규제 유예제도 도입 등 기술 혁신을 위한 다양한 지원을 제공하고 있음.

- EU는 Fit for 55 패키지를 중심으로 재생에너지와 에너지 효율 향상, 대체 연료 인프라 구축, 자동차 CO2 배출 기준 설정, 탄소 국경 조정 메커니즘 도입 등 다양한 법안을 개정하고 있음. 사회기후기금을 통해 에너지 전환의 사회적 비용을 완화하고, 지속 가능한 항공 및 해운 연료 관련 법안을 통해 교통 부문의 탄소 배출 감소를 추진하고 있음.

다. 독일

- 독일은 유럽연합의 기후정책 목표와 궤를 같이하면서도, 국가 차원에서 독자적인 기후변화 대응 및 적응을 위한 법제도를 구축하였고, 이들 법제도는 체계적이고 구체적인 조치를 통해 국가 및 지방정부, 공공기관, 시민사회를 아우르는 전방위적 대응 체계를 목표로 함. 주요 법제도로는 연방기후보호법과 연방기후적응법이 있음.
- 연방기후보호법
 - 연방기후보호법은 2019년 12월에 제정된 이후, 2021년에 개정되어 보다 강화된 기후 목표와 이행 방안을 담고 있으며, 이 법은 독일의 온실가스 배출을 법적으로 감축하고 탄소중립 달성을 위한 명확한 경로를 제공하는 것을 목적으로 함.
 - 이 법은 1990년 대비 2030년까지 온실가스 배출량을 최소 55% 감축하고, 2045년까지 온실가스 중립을 달성하는 법적 구속력을 가짐. 이를 달성하기 위해 부문별 연간 허용 배출 목표가 설정되며, 에너지, 산업, 농업, 교통, 건물 등 모든 부문이 포함됨. 각 부문은 설정된 감축목표를 초과할 경우, 관할 부처는 즉각적인 대응 프로그램(Sofortprogramme)을 시행해야 함.
 - 이 법은 2019년에 출범한 독립적인 기후 문제전문가위원회를 중심으로, 각 부처의 기후 행동계획을 사전에 검증하고 구체화하도록 하고 있음. 위원회는 정책의 과학적 타당성을 평가하며, 온실가스 배출 감축 계획과 실제 성과를 비교 분석함. 독립성과 전문성을 바탕으로 한 이 위원회는 독일의 기후정책이 실질적인 효과를 거둘 수 있도록 지원함.
 - 연방기후보호법은 기후변화 대응이 국가적 차원을 넘어 모든 사회구성원의 참여와 협력해야 한다고 명시함. 연방정부는 주 정부, 지방자치단체, 경제 단체, 시민단체 등과 협력하며, 공공 협의 절차를 통해 기후 행동 프로그램에 대한 의견을 수렴함. 이를 통해 시민과 이해관계자들의 적극적인 참여를 유도하고, 기후변화 대응이 공동의 책임임을 강조함.
 - 공공기관은 기후 목표 달성을 위해 선도적 책임을 수행해야 함. 이 법은 공공기관이 정책과 결정을 내릴 때 기후 보호법의 목표를 고려하도록 규정하며, 연방 행정을 2030년까지 기후 중립적으로 운영할 것을 명시하고 있음.
- 연방기후적응법
 - 연방기후적응법은 기후변화의 영향을 최소화하기 위한 적응 전략을 법적으로 규정한 최초

의 법률로, 2023년 12월 제정되어 2024년 7월부터 시행됨. 이 법은 연방정부, 주정부, 지방자치단체가 구속력 있는 기후적응 전략을 수립하고 이행하도록 요구함.

- 연방정부는 "예방적 기후적응전략"을 수립해야 하며, 이를 4년마다 새로운 과학적 발견을 바탕으로 갱신하도록 함. 이 전략은 측정 가능한 목표와 이를 달성하기 위한 구체적인 지표를 포함하며, 연방 차원의 적절한 조치와 함께 실행됨.
- 기후변화의 영향과 위험을 사전에 평가하기 위해 기후위험분석과 데이터 수집이 체계적으로 이루어짐. 이 분석은 지역 데이터를 포함하며, 이를 통해 이미 발생한 기후변화의 영향을 평가하고, 필요한 경우 목표 달성을 위한 교정 조치를 수행함.
- 연방기후적응법은 연방정부와 주정부 간의 협력을 강조하며, 각 주정부는 자체적인 기후적응 전략과 조치 계획을 수립해야 함. 특히 지방자치단체는 지역적 특성을 고려하여 통합적인 기후적응 개념을 마련하도록 요구됨. 또한, 연방정부는 주와 지방정부가 이러한 전략을 이행할 수 있도록 재정적, 기술적 지원을 제공함.
- 이 법은 공공기관이 소유하거나 관리하는 공공재산이 기후변화에 적응할 수 있도록 관리방안을 마련해야 한다고 규정함. 연방정부는 모범 사례를 제시하며, 모든 공공기관이 학제적이고 통합적인 방식으로 기후적응 계획을 수립하도록 유도함.

라. 일본

- 일본에서는 기후변화로 인한 다양한 영향이 전국적으로 나타나고 있음. 대표적으로 기온 상승, 폭우 증가, 농작물 품질 저하, 열사병 위험 증가 등이 포함됨. 이러한 기후변화의 주된 원인은 온실효과 가스 배출이며, 향후 더 극단적인 폭염과 호우가 예측됨. 일본은 이러한 기후변화에 대응하기 위해 '완화'와 '적응'이라는 두 가지 정책적 접근을 채택하고 있음. 완화는 온실효과 가스 배출량을 줄이고 산림 등 흡수원을 증가시켜 지구 온난화의 원인을 억제하는 것을 목표로 하며, 적응은 이미 나타나고 있는 기후변화의 영향을 최소화하거나 기후변화의 유리한 측면을 활용하기 위한 대책을 말함. 일본은 완화와 적응을 동시에 추진하며 기후변화로 인한 피해를 경감하고 생활 환경을 개선하고자 함.
- 일본의 기후변화 법제는 「지구온난화대책추진법」과 「기후변화적응법」을 중심으로 구성되어 있음. 이 두 법은 각각 온실가스 감축과 기후변화 적응이라는 두 가지 축에서 일본의 기후변화 대응 체계를 강화하고 있음. 「기상업무법」은 이를 뒷받침하는 과학적 기반을 제공하며, 일본의 기후변화 대응이 과학적 근거와 정책적 체계를 바탕으로 진행되고 있음을 보여줌. 이러한 법제는 일본이 기후변화에 대한 국가적 대응을 체계적으로 추진하고, 지역 및 국제사회와의 협력을 통해 기후변화 문제를 해결하려는 노력을 반영하고 있음.
- 지구온난화대책추진법
 - 「지구온난화대책추진법」은 1997년 교토의정서 채택을 계기로 1998년에 제정되었음. 이 법은

온실가스 농도의 안정화를 통해 지구온난화를 방지하고, 2050년까지 탈탄소 사회를 실현하는 것을 목표로 함. 이 법에 따라 일본 정부는 지구온난화 대책 계획을 수립하고, 온실가스 감축 목표를 정하며, 지방자치단체 및 국민과 함께 온실가스 배출량 감축에 나서고 있음.

- 이 법은 정부와 지방자치단체가 온실가스 배출량 감축 계획을 수립하고, 이를 실행하는 것을 의무화함. 또한 온실가스를 일정량 이상 배출하는 사업자는 배출량을 보고하도록 하며, 정부는 이를 공시하여 투명성을 확보함. 예를 들어, 일본은 2030년까지 온실가스를 2013년 대비 50% 감축하는 목표를 설정하고 있으며, 태양광 발전 확대, 건물의 에너지 효율화, 전 기차와 LED 조명 도입 등 다양한 조치를 추진하고 있음.

○ 기후변화 적응법

- 「기후변화적응법」은 2018년에 제정되어 기후변화로 인한 영향에 적응하기 위한 체계를 마련하였음. 이 법은 기후변화가 사회, 경제, 자연환경에 미치는 영향을 평가하고 이에 관한 적응책을 수립하도록 규정함. 주요 내용으로는 정부와 지방자치단체가 기후변화 적응 계획을 수립하고, 국립환경연구소가 기후변화 영향에 대한 과학적 데이터 수집 및 제공함.
- 또한 지역 차원의 적응 계획 수립을 지원하고, 지역 기후변화적응센터를 통해 지역별 특성에 맞는 적응 대책을 실행하도록 돕고, 「기후변화적응법」은 농업, 방재, 생태계 보호 등 다양한 분야에 대한 적응 대책을 제시하며, 지역 주민과 관련 단체의 협력을 통해 기후변화 적응을 효과적으로 추진하는 것을 목표로 함.

○ 기상업무법

- 1952년에 제정된 「기상업무법」은 기상업무에 관한 기본 제도를 규정하고, 재해 예방, 교통 안전 확보, 산업 발전 등 공공복지 증진에 기여하는 것을 목적으로 함. 이 법은 일본 기상청의 주요 임무로 기후변화 관측, 장래 예측, 기후 및 지구환경 변동 요인의 연구를 규정하고 있음. 또한 기후변화의 관측 결과와 예측 정보를 정리하여 관계부처, 일반 시민, 국제 사회에 제공하는 역할을 포함함. 이를 통해 일본은 기후변화 관측과 분석, 관련 정보의 공표를 통해 기후변화 대응의 과학적 근거를 강화하고 있음.

1.2 국내·외 정책 동향

- 본 연구에서 다루고자 하는 기후변화의 취약지이자 조절자로서의 극지 환경에 대한 감시·예측과 관련한 국내 정책으로는 미래 세대가 함께 누릴 수 있는 깨끗하고 안전한 해양·연안 공간 조성이 목표인 「국정과제41(해양영토 수호 및 지속가능한 해양 관리)」, 해양 기후변화에 대한 과학적 대응 능력 강화를 위한 해양 기후환경 통합관측시스템 구축이 목표인 「제5차 해양환경 종합계획(‘21~’30)」, 기후위기대응 이행력 확보를 위해 극지·대양 연구를 통한 해양기후변화 영향 분석이 목표인 「제4차 기후변화대응 해양수산부문 종합계획」, 기후변화에 따른 남극 환경변화 진단과 미래 예측 강화가 목표인 「제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획」 등이 있음.
- 따라서, 기후변화의 대응(탄소 감축), 기후변화의 적응 및 기후변화의 감시 및 예측과 직접적인 관련이 있는 「제1차 극지활동 진흥 기본계획(2023~2027)」과 「제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획(2022~2026)」, 을 중심으로 국내 주요 정책에 대하여 분석함.

1.2.1 국내 정책 동향

가. 대한민국 정부 120대 국정과제

- 현 정부는 2022년 120대 국정과제를 선정하였으며, 그중 41번 해양영토 수호 및 지속 가능한 해양 관리를 위한 과제로 ①해양영토 수호·확장, ②해상교통관제 강화, ③섬 주민 이동권 증진, ④공간관리·연안안전 강화, ⑤청정 해양환경 조성을 제시함.
- 이 중 극지 해양환경 변동성 감시 관측망 구축 및 운영과 관련한 내용으로는 해양영토 수호·확장 항목에 극지활동진흥 기본계획 수립이 포함돼 있음.

<표Ⅱ-2> 국정과제41 주요 내용

항목	주요 내용
해양영토 수호·확장	• 주변국 위협에 대응하여 해양영토 관리역량 강화 - 어업관리단을 어업관리본부로 개편, 대형 어업지도선 및 해경함정 증강 배치, 해상경비정보융합플랫폼(MDA) 구축을 통한 해양주권 위협 조기 대응
해상교통관제 강화	• 선박교통관제센터를 권역별 광역 센터 통합(’25년), 관제 레이더 확충(86→107개) 등 해상관제 고도화로 선박안전 확보 - 민간구조대 지원 강화, 전문교육 확대로 해양 인명구조 민관협력 공고화
섬 주민 이동권 증진	• 연안여객선 공영제 실시(’25년), 해상교통 소외도서 제로화를 추진하고, 섬 주민 여객선 요금 경감
공간관리·연안안전 강화	• 지자체 간 해상경계 획정, 해상풍력 등 해양개발 행위에 대한 상생·공존 체계 마련 및 ‘해양이용영향평가’ 제도 도입 - 국내 연안에 태풍·해일 등 재해 감시망 구축, 주요 연안에 친환경 완충구역 조성, 재해안전항만 구축 등 연안 안전망 확보
청정 해양환경 조성	• 갯벌·바다숲 등 탄소흡수원(블루카본) 확대, 권역별 국가해양정원 조성, 친환경 부표 보급 등 해양쓰레기 예방·수거 강화

나. 제5차 해양환경 종합계획('21~'30)

- 해양수산부는 「해양환경보전 및 활용에 관한 법률」에 의거하여 해양환경 정책에 대한 성과점검 및 미래 전망 등을 바탕으로 10년간의 해양환경 정책 방향·과제를 제시하기 위하여 제5차 해양환경 종합계획을 수립하였고, 주요 내용으로는 ①해양 기후변화과학적 대응능력 강화, ②해양 분야 온실가스 저감 수단 다양화, ③해양생태계 기후변화 적응력 확보, ④해양 환경 분야 국제협력 선도, ⑤시민 참여형 해양쓰레기 관리기반 구축, ⑥스마트 해역환경 관리체계 구축, ⑦해양보호구역 확대 및 관리체계 고도화, ⑧디지털 기반 스마트 해양대기관리 시스템 구축, ⑨해양 생태관광 활성화, ⑩첨단 해양바이오산업 활성화를 제시함.
- 이 중 극지 해양환경 변동성 감시 관측망 구축 및 운영과 관련한 내용으로는 해양기후변화 통합관측·예측 및 분석 역량 강화 항목이 포함돼 있음.

핵심과제	주요내용
해양 기후변화 과학적 대응능력 강화	• 해양 기후 변화 통합관측·예측 및 분석 역량 강화 - 각 기관에 산재된 해양 관측 데이터를 수집·연계 및 공유·제공을 위해 (가칭)해양 기후전담 조직 설립 및 전담인력 확보추진 - 해양 기후변화 예측 슈퍼컴퓨터 시스템을 구축하고, 분야별로 전지구 해양 기후변화 수치예측 모델 개발
	• 기후변화에 따른 해양 분야별 취약성 평가 - 해양 기후변화 통합정보 및 장기 시나리오를 활용하여 기존취약성 평가 개선 및 해양수산 분야 포괄적 위험성 평가체계 마련 - 해수온 상승에 따른 수인성 감염병 등 확산 여부, 양식생물의 질병, 외래종 유입 가능성 등 취약성을 평가하고 예방대책 수립
	• 해양수산 기후변화 대응 장기전략 제시 및 활용 플랫폼 구축 - 우리나라에 특화된 장기 해양 기후변화 시나리오를 생산하고, 기후변화 대응 해양수산 장기전략 제시 - 해양예측정보 기반 의사결정 지원을 위해 수요자 맞춤형 해양기후변화 정보를 생산·제공하는 통합플랫폼 구축
해양 분야 온실가스 저감 수단 다양화	• 해양수산 분야 온실가스 저감 수단 발굴연구개발
	• 갯벌(블루카본)복원 확대
	• 대규모 지중 저장소 확보
	• 해양미생물 활용 수소 생산
해양생태계 기후변화 적응력 확보	• 해양생물 종복원센터 건립 추진
	• 해양생태계 기후변화 영향 모니터링 강화
	• 국민참여형 해양생태계 위협요인 관리 강화
해양환경 분야 국제협력 선도	• 해양환경 국제협력 전담 조직 설립 추진
	• 해양환경 분야별 국제협력 강화
	• 신남방국가 등 해양환경 역량강화 지원

핵심과제	주요내용
시민참여형 해양쓰레기 관리기반 구축	• 반려 해변 제도 도입
	• 어구 보증금 제도 도입
	• 집하장 확충
	• 해양쓰레기 대국민 홍보 강화
스마트 해역환경 관리체계 구축	• 연안해역 광역 스마트 감시체계 구축
	• 빅데이터 활용 해양환경 기준 설정
	• 해역별 맞춤형 관리 강화
해양보호구역 확대 및 관리체계 고도화	• 해양보호구역 영해 내 면적의 20%로 확대
	• 해양보호구역 관리 효과성 평가 실시
	• 절대보전구역 등 해양보호구역 세부 용도 구분
디지털 기반 스마트 해양대기관리시스템 구축	• 해양-연안-항만 대기환경 조사체계 구축
	• 유무선 네트워크 기반 배출-오염 측정체계 구축
	• 디지털트윈 기반 분석·예측 플랫폼 구축
해양생태관광 활성화	• 가로림만 등 해양정원 조성
	• 갯벌생태관광 인증제 도입 및 갯벌생태해설사 양성
첨단 해양바이오산업 활성화	• 해양바이오산업화 혁신거점 조성
	• 스마트형 해양바이오 빅데이터 플랫폼 구축·운영
	• 감염병 예방 등 현안대응 연구 확대

다. 「제4차 기후변화대응 해양수산부문 종합계획」

- 해양수산부는 ‘해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵’의 5개년 단위 이행계획 성격을 가지는 것으로 국가온실가스감축목표(NDC) 이행을 위해 계획기간을 넘어 2030년까지의 구체적인 이행방안과 목표를 제시하기 위하여 제4차 기후변화대응 해양수산부문 종합계획을 수립하였고, 주요 내용으로는 ①온실가스 배출 저감, ②온실가스 흡수 및 전환, ③기후위기 선제적 대응, ④기후위기대응 이행력 확보를 제시함.
- 이 중 극지 해양환경 변동성 감시 관측망 구축 및 운영과 관련한 내용으로는 데이터 기반의 해양 기후변화 관측·예측 특히, 극지·대양 요인의 관측·연구 강화 항목이 포함돼 있음.

추진전략	주요내용
온실가스 배출 저감	• Port to Port 탄소중립 해운물류망 도입
	• 수산업 가치사슬의 단계별 저탄소 모델 제시
	• 온실가스 저감 관점의 해양폐기물 전주기 관리

추진전략	주요내용
온실가스 흡수 및 전환	• 블루카본 확충·관리 분야 국제사회 선도
	• 해양에너지 및 CCS의 상용화 추진
	• 해양수산업 인프라 기반 신재생에너지·수소경제 확산
기후위기 선제적 대응	• 연안 기후재해의 선제적 예방체계 완비 - 연안재해 예방을 위한 기초조사 고도화 및 대응체계 개편, 해양 기후재해 예·경보 시스템 도입 등 연안 기후재해 대응 기반 정비 - 연안 지역의 기후재해 적응력 제고를 위해 해안선을 생태친화적으로 재설계하거나 완충구역을 확보하는 등 연안정비·재생 체계개선
	• 수산업의 기후위기 대응체계 공고화 - 수산업·어촌의 기후위기 실태 분석을 위한 기초조사를 강화하고, 기후변화 사회 적응력을 확보하는 방향의 제도 신설·개선추진
	• 해양생태계 기후변화 영향 정밀 분석·대응 - 해양 기후변화 영향에 따른 한반도 해양생태계 영향 분석 및 예측체계를 마련하고, 생물다양성 감소, 유해·교란종 발현 등 잠재적 위험요인 관리
	• 해운·항만 기후위기 대응력 강화 - 항만별 기후변화 영향사전 평가·관리를 위해 연안·항만 방재 연구 인프라를 구축하고, 재해안전항만 구축을 위한 장기 계획 마련 - 온실가스 배출 목표관리제·배출권거래제 및 IMO 온실가스 감축 규제 등 해운업계의 국내외 환경규제 대응 지원
기후위기대응 이행력 확보	• 데이터 기반의 해양 기후변화 관측·예측 - 해수면·해수온 상승, 해양산성화 등 주요 해양기후변화 현상의 연근해 관측을 강화하고, 스마트기술 등을 활용하여 고도화 추진 - 한반도 연근해 해양기후변화 예측력 강화를 위해 해양 기후예측 모델을 구축하여 기후변화 시나리오를 생산하고, 극지·대양 요인의 관측·연구 강화
	• 해양수산 온실가스 감축 실적 확보·관리 강화 - 국가 온실가스 인벤토리 산정 및 평가·관리체계 개편을 통해 기존 통계에서 분류되지 못하던 해양수산부문 배출량 산정·검증추진 - 해양수산분야의 2030 NDC달성 기여, 국제감축사업 활성화 등 파리협정 이행 대응을 위한 정책 지원체계 개편
	• 기후위기대응 협력적 거버넌스 구축 - 연안 지역사회의 탄소중립 전환 수용성을 제고하고, 지자체와의 공동 대응을 위해 협업체계 구축 및 국가 주도의 관측·예측 데이터 공유 - 해양학과와 연계한 해양수산분야 기후변화 인재 양성, 해양환경관련 기업 사회공헌 활동(CSR)모델 개발·추진등 산학연관 연계 강화 - 해양 관련 국제기구·회의체에서 해양 기후변화 의제 주도 및 기후변화 대응 ODA, 국제감축사업 발굴 등을 위한 양자협력 전략적 확대

라. 제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획(2022-2026)

- 제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획은 남극활동을 체계적으로 지원하고 국가과학역량을 제고할 필요에 의하여 수립되었으며, 추진과제는 ①차세대 이슈 주도를 위한 핵심 연구 인프라 확보, ②현안 해결에 기여하는 남극 연구 역량 강화, ③남극 거버넌스 입지 확대를 제시함.

추진 과제	추진내용
1. 차세대 이슈 주도를 위한 핵심 연구 인프라 확보	
남극 내륙 연구 3대 거점 확보	• 남극 내륙 연구거점 개척 및 심부빙하 시추 • 남극 내륙 우주탐사를 위한 무인관측소 구축 공모예정 • 블루아이스 기반 과거 온실기체 농도 복원 • 남극 David 빙하 빙저호 열수시추 기술 개발
내륙 탐사 지원기반 고도화	• 빙저지형탐사 무인항공레이더 개발 및 빙저지형도 작성 • 국토위성 활용 남극 공간정보 제작 및 제공 기술 개발 • (다부처) 스마트 관측 스테이션 구축(해수부, 과기정통부, 산업부)극지연, KIOST, 로봇융합연구원 • 극지 해양조사 및 해도제작
국내 남극 협력 연구 활성화 여건 조성	• 쇄빙연구선 아라온호 공동활용 해수부 • 극지환경 재현 실용화 센터 건립 • 극지통합정보시스템 구축
2. 현안 해결에 기여하는 남극 연구 역량 강화	
미래 기후변화 대응 연구 강화	• 서남극 빙하 퇴적물 시료 확보 및 과거 온난기 서남극 빙상주변 해양 및 빙하 퇴적 양상 복원 • 서남극 빙하 시료 확보를 통한 과거 2,000년 기후 복원 • 분석 대상 기후요소 확대를 통한 남극 기후변화 특성 파악 • 남극 기후 환경 변화 이해와 전지구 영향 평가 • 서남극해 온난화에 따른 기후변화 및 생태계 반응 연구 • 서남극 스웨이즈 빙하 돌발 붕괴가 유발하는 해수면 상승 예측 • 급격한 남극 빙상 용융에 따른 근미래 전 지구 해수면 상승 예측 기술 개발 • 남극 지체구조 연구를 통한 지질 재해 예측 기술 개발
종합적 남극 환경·생태연구 역량 확충	• 남극특별보호구역 환경시료의 초저온 저장 및 오염물질 모니터링 • 남극특별보호구역 모니터링 및 남극기지 환경관리에 관한 연구 • 로스해 해양보호구역의 보존조치 이행에 따른 생태계 변화 연구 • 극한환경 적응 과정 규명을 위한 원격 탐사 등 모니터링기술 개발 • 극지 생태 메커니즘 규명을 위한 생물 반응종합 관측
남극 특성화 응용 기술 개발	• 남극 지의류 유래 치매치료제 실용화 연구 • 극지 유래 생물자원을 활용한 항생제 후보물질 개발

추진 과제	추진내용
	• 극지 미생물 유래 단백질 분해효소 개발 • 남극 어류 유전체 기반 실용화 기술을 위한 유전자원 추가 확보(포스트 극지유전체 프로젝트) • 얼음화학 기반의 정화기술 및 환경/에너지 신소재 개발
3. 남극 거버넌스 입지 확대	
국제협력 이슈 주도	• 국제기구 활동 자문위원회 운영 • 세종국제연구자상 운영
인재 양성과 국민 인식 증진	• 남극포럼 운영 • UST-School 인증 및 석박사 과정 융복합 커리큘럼 개발 • 차세대 극지전문인력 글로벌 네트워킹 역량 강화 • 남극케어 등 극지과학문화 확산



1.2.2 해외 정책 동향

가. 국가별 남극 관련 정책 동향

국가	주요 내용
미국	□ 남극 리더십과 영향력 유지·강화 (정책방향) 남극의 평화적 이용을 주도하면서 개별국가에 의한 영유권 주장에 강하게 반대하는 한편, 남극에 관한 실질적인 연구를 통해 남극조약 관련 회의에서 자국의 위상과 영향력을 확대 (과학연구) ①해수면 상승의 크기와 속도, ②남극 생명의 적응과 진화, ③우주의 기원 규명을 '3대 전략적 연구 우선순위(National Academies)'로 추진 (인프라) 세계 최대의 남극 과학기지(맥머도기지)를 포함하여 3개의 상주기지와 3척의 쇄빙선을 운영 □ 남극 연구프로그램(USAP, Antarctic Program)을 통해 천체물리, 생태계, 지구과학, 해양·대기 등 중장기적 종합적 기초 연구 수행- 육지-해양생태계, 빙하-해양·대기 등 남극 환경 요소 간 상호작용과 남극이 전 지구적 시스템에 미치는 영향 연구 강조 추세
일본	□ 전략적 투자와 연구 인프라 강화 (정책방향) 전 지구적 기후변화 연구와 환경관련 연구투자 비중을 확대하는 등 연구 활동에 대해 전략적으로 투자하고 있는 한편, 남극해에서의 조업 등 자원획득에도 관심 (과학연구) '남극으로부터 다가오는 지구시스템 변동'을 주요 주제로, ①남극-지구 대기시스템, ②대기-빙상-해양의 상호작용, ③남극 고환경 복원을 주요 연구 분야로 추진* * (제9기 남극지역관측 6개년 계획, '16~'21) 국제공동연구에서의 리더십 확보와 국제협력 강화, 차세대 연구인력 양성 프로그램 등을 포함 (인프라) 쇼와 기지(1957~) 등 4개의 남극기지(상주1, 하계3)와 쇄빙 연구선 '시라세'에 이어 신규 쇄빙연구선 건조 추진 □ 남극 관측의 중요성에 방점을 두고 빙상, 해양, 대기 관측 연구 '제10기 6개년 관측계획'을 수립하여 학술적, 사회적 수요에대응하고 독창적, 선구적 연구 성과 창출을 위한 중장기 관측 강조 '과거와 현재 남극으로부터 찾는 미래 지구 환경'을 주제로 빙하시료 확보, 빙상-해빙-해양 통합 관측, 대기·우주 관측 중점 수행
중국	□ 국가 차원의 대규모 투자 추진 (정책방향) 남극활동을 국가적인 해양진출 전략의 차원에서 접근하고 있으며, 우주개발계획과 더불어 극지연구의 전략적 체계와 인프라를 확충 (과학연구) 해양-해빙-대기 상호작용, 빙봉-해양 순환작용, 기지주변 종합모니터링, 빙하탐사 등 5가지 프로젝트로 구성된 PANDA(Prydz Bay, Amery Ice Shelf and Dome A Observation) 프로그램 추진

	(인프라) 남극 2개 상주기지에 이어 2009년에 남극 쿤룬 기지를 건설하고, 제2 쇄빙 연구선(10,000톤급) 건조를 추진 (극지환경 종합조사 및 평가) ①남극 해양 조사, ②육상 환경 조사, ③환경 종합평가로 구성되며, 해양, 생물, 기상, 천문, 지질, 빙하 등 5개년 단위 종합 연구 수행 □ 남극 생물자원, 위성·무인기 활용 빙상 모니터링 연구 강화 ○ (중국) 국가해양국이 승인하는 ‘중국 극지환경 종합 조사 및 평가프로그램’을 통해 5개년 해양·육상 조사, 환경 종합 연구 수행 - 다만 최근 남극 크릴 관련 연구와 무인기 활용 남극 연구, 위성을 활용한 해빙 연구 등으로 연구범위를 확대 중
영국	□ 국가 차원의 대규모 투자 추진 (정책방향) 남극조약의 창립국 중 하나로 남극의 평화적 사용과 과학적 연구를 지지함. (과학연구) 영국의 남극연구는 British Antarctic Survey의 주도로 1940년 후반부터 계속되고 있으며, 기후변화, 빙하 및 얼음 연구, 해양 생태계, 지구 물리학, 천문학 등에 집중되어 있다. (인프라) 남극 2개 상주기지 (Rothera Research Station, Halley Research Station)를 운영중 (영국, 지구를 위한 극지 과학, 계속) 빙권, 해양, 고기후 복원, 생태계, 우주 5개 분야를 핵심으로 전 지구적 관점에서 기후, 환경문제 대응을 위한 연구 수행
러시아	□ 남극 미개발 연구 선점을 위한 연구 인프라 현대화 추진 남극연구활동계획(RAE, Russia Antarctic Expedition OperationsPlan)을 바탕으로 지질, 기후변화 연구를 수행 중 보스톡 기지 인근 과거 심부 빙하 시추공을 재가동하고, 가장 오래된 빙하시료 확보 추진 예정으로, 최근 과거 기후 복원 연구 강화 중

나. 국가별 북극 관련 정책 동향

국가	주요 내용
미국	□ 2009년/ 「National Security Presidential Directive 66/ Homeland Security Presidential Directive 25」 ① 북극지역 관련 국가 및 국토 안보 강화 ② 북극 환경보호와 생물자원 보존 ③ 북극지역 천연자원 관리 및 환경적으로 지속가능한 경제발전 보장 ④ 북극이사회 국가(A8) 간 협력체계 강화 ⑤ 북극 원주민 공동체에 그들의 삶과 관련된 의사결정 참여 보장 ⑥ 지방, 지역, 글로벌 환경 관련 과학적 모니터링 및 연구 강화 □ 2013년/ 「National Strategy for the Arctic Region」

	① 3가지 방침 : 미국의 안보 이익 우선, 책임감 있는 북극 지역 관리 모색, 국제협력 강화 ② 접근 원칙 : 평화와 안정성, 최선의 정보를 이용한 의사결정, 혁신적인 협의 추구 (국제 파트너십), 알래스카 원주민과의 협력 □ 우주과학자들은 빙저호 환경이 목성의 위성 유로파와 유사할 것으로 추정하며, NASA 등 연구소들은 빙저호 탐사 수중로봇을 개발해 유로파에서 생명의 흔적을 찾고자 하는 노력을 기울이고 있음[1]
캐나다	□ 2009년/ 「Canada's Northern Strategy Our North, Our Heritage, Our Future」 ① 사회·경제적 발전 촉진 ② 환경적 유산 보호(생태계 기반 관리접근법 촉진, 과학연구 강화 등) ③ 북극해 거버넌스 개선(북극지역 원주민 참여 지원 등) ④ 북극 영토 강화(북극 지역 주권 수호와 관련 군 역할 강조)
러시아	□ 2008년/ 「Fundamentals of the State of the Russian Federation in the Arctic up to 2020 and Beyond」 ① 북극지역에서 러시아의 지식 축적과 인적 자산의 발달을 통한 국가적, 산업적, 개인적 안전 보장 ② 경제의 혁신적 발전과 다양화를 통한 북극 천연 자원의 안정적 사용 ③ 북극해 항로의 안정적 기능 ④ 북극의 새로운 통치 형식 □ (러시아 연방 남극 활동 개발 전략, '20~'30) 남극에서 과학적 잠재력 강화와 기후적 위협 예방을 목적으로 인프라 현대화를 중점 추진하며, 신 보스톡 기지 건설 중('19~'23)
노르웨이	□ 2009년/ 「New Building Blocks in the North: The next step in the Government's High North Strategy」 ① 북극지역 기후 및 환경에 대한 지식 발전 ② 북방 수역에서의 감시, 긴급대응 및 해양안전시스템 개선 ③ 연해 석유 및 재생가능 해양자원의 지속가능한 이용 촉진 ④ 북극에서의 해양산업 발전 촉진 ⑤ 북극에서의 기반시설 추가 발전 ⑥ 북방에서의 단호한 주권행사와 국경협력 강화 ⑦ 토착민의 문화와 생활 보호
덴마크	□ 2011/ 「Kingdom of Denmark Strategy for the Arctic 2011-2020」 ① 평화롭고 안전한 북극 ② 자급자족의 성장 및 발전 ③ 북극에 대한 배려(북극의 기후, 환경 및 자원을 이해) ④ 국제 파트너들과 긴밀한 협력
핀란드	□ 2010/ 「Finland's strategy for the Arctic region」 ① 대외적 관계를 강조하며 안보, 환경, 경제, 인프라, 원주민 등 다양한 이슈를 논의 ② 수송 관계의 개선, 수출의 진흥, 북극 연구 및 북극이사회 역할 강화 등 제안

스웨덴	☐ 2011/ 「Sweden's strategy for the Arctic region」 ① 북극 지역을 통한 경제적, 사회적, 환경적으로 지속가능한 개발을 도모 ② 기후변화와 환경, 경제 발전, 인류 문제 등 세 가지 우선순위를 표명
아이슬란드	☐ 북극 지역과 다자 간 협력의 중요성을 강조 ① 연안 북극 국가로서의 인식을 강조 ② 북극 내와 북극 관련된 교육과 지식 증대를 강조 ③ 비즈니스 개발과 협력을 추진 ④ 북극이사회 역할의 중요성 강조
중국	☐ 중국 국가해양국 주요 조치 - 극지과학탐사 및 연구수준 제고와 극지탐사사업을 지원하기 위해 중국극지과학 전략 연구 기금을 설립 - 기금 지원 원칙: (1) 국가극지발전전략의 실현에 이롭고 (2) 과학연구수준의 제고에 이롭고 (3) 청년 인재의 양성에 이롭고 (4) 국제적 협력을 추진하는데 이롭도록 하는 것 ☐ 2013년/ 중-아이슬란드 FTA 체결(4월)
일본	☐ 2012년/ 해양정책연구재단 : 북극해의 지속가능한 이용을 위해 일본이 실행해야 할 시책 ① 총리실 산하 '종합해양정책본부'를 북극해 정책 사령탑으로 함 ② 북극해 관리를 위한 일본 참여 확대, 북극해 환경문제 적극 대응 ③ 북극해 자원에 대한 조치 강화, 북극해 항로 개척에 따른 물류 변화 대응안 마련 ④ 북극해 항로 개척 후 방위정책 입안 ⑤ 북극해 관련 국제질서 형성에 기여 ⑥ 북극해 문제의 총괄 처리를 위한 러-일 간 대화창구 개설 ☐ (일본, 제10기 6개년 남극관측계획, '22~'27) 해수면 변동 예측, 고기후 복원, 고층대기 및 우주 관측을 목표로 중장기 연구수행, 기지 현대화도 추진

다. 국제 협력체 정책동향

○ 남극조약협약당사국회의(ATCM)

- 남극조약협약당사국회의(ATCM)는 남극조약 제9조에 따라 정보교환과 조약 목표 달성을 위한 조치를 마련하기 위해 매년 개최되는 협의체로, 현재 54개국이 가입하고 있음. 최근 주요 논의는 기후변화가 남극 환경에 미치는 영향과 인간 활동으로 인한 환경문제 해결에 집중되고 있음. 용빙 현상으로 외래종이 유입되고, 펭귄과 같은 주요 종의 서식 환경이 변화하는 등 생태계 변화에 대응하기 위한 환경보전 노력의 필요성이 강조됨.
- 또한, 코로나-19 확산 방지와 지속적인 과학연구 활동을 위한 국제 협력과 남극 연구 자료 공유 확대의 중요성도 함께 논의되고 있음.

○ 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR)

- 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR)는 1982년 출범한 기구로 남극 해양생물의 보존과 지속 가능한 이용을 목표로 활동하고 있음.
- 기후변화가 남극 해양생물자원에 미치는 영향을 분석하고 모니터링 하는 한편, 해양생물 보호를 위한 보존 조치와 정책이 논의되고 있음.
- 특히 남극 해양보호구역(MPA)의 확대 여부가 주요 이슈로 부각 되었는데, 미국과 유럽 등 19개국은 보호구역 확대를 지지하고 있지만, 중국과 러시아는 데이터 확보의 필요성을 강조하며 우려를 표명했음. 우리나라는 해양보호구역 확대 지정에 지지입장을 밝히며 국제협력에 동참하고 있음.

○ 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)

- 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 1988년 유엔환경계획(UNEP)에 의해 설립되어 기후변화 대응을 위한 과학적 근거를 제공하고 있음. IPCC는 2100년까지 평균온도 상승을 1.5℃ 이하로 억제해야 한다는 필요성과 예측치를 제시하며, 2030년까지 탄소 배출량을 45% 감축하고 2050년까지 탄소중립을 달성해야 한다고 강조했다.
- 우리나라 역시 '2050 탄소중립 전략'을 수립하고 2030년까지 탄소 배출량을 40% 감축하는 목표를 설정했음. 남극해는 주요 탄소 저장소이자 배출원으로 기능하지만, 관련 데이터가 부족한 상황이어서 추가적인 과학연구의 필요성이 커지고 있음.
- 여섯 번째 평가보고서(AR6) 종합보고서를 승인하며, 기후변화에 대응하기 위한 적극적인 행동의 중요성을 강조하였음. 이번 보고서는 특히 현재부터 2030년까지의 단기적인 기후 행동이 시급하다는 점을 명확히 하고 있음. 이 기간에 이루어지는 기후변화 대응 조치가 미래 세대가 살아갈 환경에 지대한 영향을 미친다는 점을 분명히 하며, 즉각적이고 과감한 행동의 필요성을 제기하였음.
- 보고서는 기후변화로 인한 극단적인 기후 현상과 그에 따른 생태계 및 사회적 위험을 완화

하기 위해, 정책 결정자와 국제사회가 빠른 속도로 행동에 나설 것을 촉구함. 이와 함께, 현재의 대응이 미흡할 경우 기후 위기가 더욱 심화되어 환경적, 사회적, 경제적 비용이 기하급수적으로 증가할 것이라는 경고를 덧붙였음. 보고서는 또한 탄소 배출 감축, 재생 가능 에너지 전환, 기후 적응 정책의 실효성을 높이기 위해 국제적인 협력과 기술 혁신이 필수적이라는 점을 강조하였음.

- 특히 IPCC는 이러한 단기 행동이 단지 환경적 요구사항을 충족시키는 데 그치지 않고, 사회와 경제에 긍정적인 변화를 불러올 기회로 활용되어야 한다고 보고서에서 언급함. 보고서는 현시점에서의 선택이 향후 수십 년간 지구와 인류가 직면할 기후환경의 방향성을 결정짓는 중요한 기로임을 상기시키며, 적극적인 기후 행동의 필요성을 거듭 강조하고 있음.

○ 남극연구과학위원회(SCAR)

- 남극연구과학위원회(SCAR)는 1958년에 설립된 민간 학술기구로, 남극 연구 활동의 주요 이슈와 계획을 설정하며 ATCM과 IPCC 등에 과학적 자문을 제공하고 있음. SCAR는 향후 20년간 남극에서 해결해야 할 7대 연구 주제를 발표했으며, 이를 세부적으로 80개 과학적 질의로 완성했음.
- 연구 주제는 남극 대기와 전 지구적 연관관계, 남극해와 해빙 변화, 남극 빙하와 해수면 상승, 남극 얼음 아래 지각 변동 규명, 극한 환경에서의 생명 연구, 남극에서의 우주 관측, 인간 활동과 지속 가능성 등으로 구성됨.
- 우리나라는 이 중 우주 관측을 제외한 6개 주제에 관한 연구를 수행하고 있으며, 해수면 상승, 단기 기후 예측, 생태계 변화 연구를 인류사회에 기여할 주요 과제로 설정하고 있음.

○ WMO(세계기상기구)

- 기후변화 대응을 위해 중장기 목표를 설정하고 이를 평가하기 위한 과학적 근거를 제시하고 있으며, WMO의 2024-2027 전략 계획은 세 가지 주요 우선 과제를 중심으로 구성되어 있음.
- 첫 번째는 극한 수문 기상현상에 대비한 역량을 강화하고 폭우, 가뭄, 태풍과 같은 극단적인 기상 상황에서 각국이 효과적으로 대응할 수 있도록 조기경보 시스템 개발과 데이터 기반 예측 기술을 지원하고 있음.
- 두 번째는 기후 위험에 대한 적응 능력과 탄력성을 구축 및 향상하는 것임. 이를 통해 각국이 보다 지속 가능하고 기후 스마트한 결정을 내릴 수 있도록 과학적 데이터와 기술적 지원을 제공하고 있음.
- 세 번째는 날씨, 기후, 수문 및 관련 환경 서비스의 사회경제적 가치를 향상하는 것임. 이를 위해 기후 데이터의 활용도를 높이고, 교육 및 인식 제고를 통해 대중의 참여를 유도하고 있음.

○ 전지구기후관측체계(GCOS)

- 기후변화에 영향을 미치는 핵심 기후변수 55개에 대한 이행계획을 유엔기후변화협약 등 국제사회에 제시하고 있음. 이 체계는 IPCC(기후변화에 관한 정부 간 협의체)의 평가보고서를 위한 과학적 근거로 활용되고 있음.
- 핵심 기후변수는 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 기반으로 지구의 기후를 특징짓기 위해 선정되었음. 예를 들어, 대기의 경우 기온, 강수량, 기압 등이 포함되며, 육지에서는 토양수분과 생물권 관련 변수, 해양에서는 해면 수온과 해양 상태 등이 포함됨.

○ 세계기후연구계획(WCRP)

- 2019년부터 2028년까지 10년간의 목표를 설정하고 있음. 이 비전은 지속 가능한 미래를 보장하는 세계를 만드는 것임. 이를 위해 탄소중립 구현을 위한 미래 기후변동성과 날씨 패턴에 대한 정보를 제공하는 중요성을 강조하고 있음.
- 또한, 지구 시스템 모델링 및 관측 프로그램을 구축하고 이를 확대하기 위한 다양한 활동을 추진하고 있음.



2. 기술 동향 및 시장 전망 분석

2.1 국내·외 기술 동향

- 해외에서는 해저 관측 케이블, 빙저 탐사, 다중 플랫폼 통합기술이 발전하고 있음. 미국의 OOI 프로젝트는 실시간 데이터를 제공하며, AI 기반 분석 기술을 활용해 데이터 정밀도를 높이고 있음. 캐나다의 NEPTUNE 프로젝트는 고속 통신 플랫폼으로 지진과 쓰나미를 모니터링하며 AI 기술과 센서를 개발 중임. 유럽의 ESONET 프로젝트는 EMSO 및 ANTARES 관측시스템을 통해 탄소 순환 및 환경 데이터를 정밀히 수집하고 있음.
- 빙저 탐사에서는 AUV 기술이 핵심임. 미국, 영국, 독일 등은 AI 기반 자율 항법과 센서 기술로 극지 데이터를 수집하고 있으며, NASA의 BRUIE 프로젝트는 빙저 생태계 분석에 기여하고 있음. 웨이브 글라이더는 파도와 태양광을 활용해 지속적 데이터 수집이 가능하며, ARGO 플로트는 심층 데이터 수집과 AI 경로 최적화를 통해 기후변화 관측을 지원함.
- 국내에서는 대형 부이 시스템을 중심으로 해양 관측 기술이 발전하고 있음. 황해와 동해에서 기후변화 모니터링이 이루어지고 있으며, 소형 부이와 AI 기반 이상기후 예측 모델이 개발 중임. 초기 단계의 빙저 탐사 기술은 Hybrid AUV 개발을 통해 탐사 효율성을 높이고 있으며, 초음파 기반 데이터 전송과 클라우드 통합 관리 기술이 해양 재난 대응력 향상에 기여하고 있음.
- 향후 AI와 빅데이터 기술로 데이터 분석이 더욱 정밀해지고, 다중 플랫폼 융합을 통해 광역적이고 정밀한 해양 관측할 수 있을 전망이다.

2.1.1 해외 기술 동향

가. 해저 관측 케이블 기술

- 해저 관측 케이블 기술은 해양환경을 실시간으로 모니터링하고 기후변화 연구를 지원하는 데 있어 중요한 역할을 하며 이를 통해 전 세계적으로 다양한 관측 데이터를 수집하고 분석하여 자연재해 예측, 기후변화 대응, 생태계 보호 등 다방면에 활용되고 있음. 아래는 주요 국가와 지역에서 추진된 해저 관측 케이블 기술개발 프로젝트에 대한 상세한 내용임.
- 미국 Ocean Observatories Initiative (OOI)
 - 미국은 국립과학재단(NSF)의 지원으로 2008년부터 2022년까지 약 6천억 원(\$500,000,000)을 투입하여 대규모 해양 관측 네트워크인 Ocean Observatories Initiative(OOI)를 구축했음. 이 프로젝트는 기존의 부이 기반 관측시스템과 차별화된 전 지구적 3차원 다중 관측시스템으로 설계되어 해양 및 해저 환경의 물리적, 화학적, 생물학적, 지질학적 요소를 관측할 수 있음.
 - OOI는 Axial Seamount와 같은 화산활동을 모니터링하고, Endurance Array와 Pioneer Array를 통해 기후변화와 생태계 변화를 추적하는 데 활용되고 있음. 관측 데이터는 실시간으로 제공되며, 현재 AI 기반 데이터 처리 기술을 접목하여 데이터 분석의 정밀도를 높이

고 있음.

○ 캐나다 NEPTUNE 프로젝트

- 캐나다의 NEPTUNE 프로젝트는 해저 관측기지용 네트워크로, 고속 광대역 통신 플랫폼을 통해 데이터 스트리밍, 비디오 스트리밍, 센서 제어 등을 지원함. 이 프로젝트는 2000년에 시작되어 2007~2008년 동안 \$112,000,000를 투자하여 광통신 네트워크를 구축했으며, 2009년부터 본격적으로 운영되고 있음.
- 현재는 Ocean Networks Canada(ONC)에서 관리하고 있으며, Cascadia Subduction Zone과 Endeavour Hydrothermal Vents를 포함한 다양한 관측 사이트에서 지진, 쓰나미, 심해 생태계 변화 등을 실시간으로 관측하고 있음. 향후 심해 생태계와 해양 산성화 연구를 위해 AI 기반 데이터 분석 기술과 새로운 센서 개발이 추가로 진행되고 있음.

○ 유럽 ESONET 프로젝트

- 유럽은 2007년 프랑스를 중심으로 9개국 14개 기관이 참여한 ESONET(European Seafloor Observatory Network) 프로젝트를 시작했고 이 프로젝트는 해양의 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 장기간 실시간으로 관찰할 수 있는 해저 관측 네트워크를 구축하기 위한 것으로, 지진과 쓰나미 같은 자연재해 예측과 지구 온난화와 같은 장기적 환경변화를 감시하는 데 중점을 두고 있음.
- 심해 장기간 모니터링을 위해 육상에서 전원을 공급하고, 위성 이미지, 연구선 조사, 부이 계류 등 다양한 방법을 통합적으로 활용함. 주요 프로젝트로는 EMSO와 ANTARES가 있으며, 이를 통해 해양 물리학 및 생태학 연구의 핵심 데이터를 제공하고 있음. 현재는 탄소 순환과 지구온난화와 관련된 정밀 데이터를 수집하기 위한 새로운 장비 개발이 이루어지고 있음.

○ 추가 기술개발 동향

- 이들 국가와 지역의 프로젝트는 AI와 빅데이터 기술을 활용하여 관측 데이터 분석 속도와 정확성을 높이는 데 초점이 맞춰져 있음. 또한, 해양 위성과 드론, 무인 수중 로봇을 포함한 다중 플랫폼을 연계하여 관측망을 더욱 정교화하고 있음. 더불어, 해저 관측시스템의 장기 운영을 위해 해양 에너지 기반의 친환경 전력 공급 기술개발도 활발히 진행되고 있음.
- 해저 관측 케이블 기술은 지구 환경변화에 대한 데이터를 수집하고 분석하는 데 핵심적인 도구로 자리 잡고 있음. 이러한 기술개발은 전 세계적으로 기후변화 대응 및 자연재해 대비 역량을 강화하며, 해양생태계 보존과 같은 지속 가능한 발전에도 기여하고 있음.

나. 빙저 탐사 기술

- 빙봉 및 해빙 하부 탐사는 극지 연구의 핵심 영역으로, 수중 로봇 기술의 발전이 필수적임.

남극의 빙붕과 북극의 해빙은 서로 다른 특성을 가지며, 각각 탐사 환경에서 높은 기술이 필요로 함. 최근 수중로봇 기술은 항법 시스템, 자율제어 기술, 고정밀 센서 분야에서 혁신적인 발전을 이루고 있음. 특히 기술 선진국을 중심으로 다양한 국가들이 극지 수중 탐사에서 두각을 나타내고 있으며, 연구 결과는 기후변화 예측, 해양생태계 연구, 항로 개발 등 다양한 분야에서 활용되고 있음.

○ 국가별 수중로봇 기술

- 수중로봇 기술은 지난 수십 년 동안 크게 발전하며 극지 환경 연구의 핵심 기술로 자리 잡았음. 초기 단계(1970~1990년대)에는 Tethered 시스템, 즉 케이블로 연결된 원격 조정 방식이 주로 사용되었으며 이 시기의 수중로봇은 자율성이 제한적이고 탐사 범위가 짧아 지속적인 모니터링이 필요했지만, 극지 탐사의 제한적인 조건에서도 운용할 수 있었음.
- 대표적으로, 1972년 UARS AUV는 북극 Fletcher's Ice Island에서 빙하 아래 수중 탐사를 성공적으로 수행하며 빙저 환경 연구의 가능성을 보여줬음. 이 단계에서 수집된 주요 데이터는 빙하와 해빙의 초기 물리적 환경을 이해하는 데 기여했음.
- 2000~2010년대에는 Untethered 시스템이 도입되면서 자율 무인 잠수정(AUV)의 상용화가 이루어졌음. 이들 AUV는 자율 항법과 센서통합기술을 활용해 인간의 개입 없이 넓은 해역을 탐사할 수 있었음.
- 대표적으로, 영국의 NERC(자연환경연구위원회)가 개발한 AutoSub2와 AutoSub3는 남극 빙저 환경과 해류 연구에서 중요한 성과를 냈음. 독일과 미국 또한 AUV 기술을 활용해 해저 지형과 해양생태계 연구에서 두각을 나타냈고 이 시기의 성과로는 빙저 구조와 복잡한 해류 흐름을 정확히 파악하며 해양 변화에 대한 이해를 증진한 점을 들 수 있음.
- 2020년 이후, AI 기반 자율 항법과 다중 센서 통합 시스템의 발전으로 탐사 효율성이 크게 향상되었고 최신 수중 로봇은 클라우드 기반 데이터 처리 기술과 하이브리드형태의 설계를 통해 실시간 데이터 분석과 공유가 가능해졌음.
- NASA의 BRUIE는 빙붕 하부 환경 연구를 위해 개발된 로봇으로, 고정밀 카메라와 센서를 이용해 빙저와 해빙 생태계를 분석했음. 독일의 HAFOS 프로젝트는 자율 수중로봇을 활용해 북극 해류와 빙저 환경의 장기적 변화를 연구하고 있음. 이 단계에서는 극지 환경의 물리적, 화학적 데이터가 대규모로 축적되어 기후변화 모델링에 필요한 중요한 자료를 제공하고 있음.
- 수중 로봇은 극지 연구의 다양한 분야에서 활용되고 있으며 기후변화 감시에서는 빙붕 하부와 해빙 아래에서 물리적, 화학적 데이터를 수집하여 해수 온도, 염분 농도, 해류 흐름 등을 분석함으로써 극지 환경변화에 대한 이해를 높이고 있음. AutoSub3는 남극 파인 아일랜드 빙하에서 해류와 열수 플럭스를 분석하여 빙하 침식 메커니즘을 연구한 바 있음. 또한, 빙붕 구조와 해빙 이동을 분석하기 위해 수중 로봇을 활용하여 빙붕의 두께와 균열 상태를 측정하고, 해빙 이동 경로를 실시간으로 모니터링하고 있음. REMUS 6000은 북극 해빙 이

동을 분석하여 안전한 항해 경로 데이터를 제공했음.

- 해양생태계 연구에서도 수중 로봇은 중요한 역할을 하며 NASA의 BRUIE는 해빙 하부 생태계를 탐사하며 극한 환경에서의 생물 다양성을 분석하는데 기여했음.
- 항로 개척 및 해저 지도화에서는 Boaty McBoatface가 남극 해저를 정밀 지도화하여 북극 항로 개척과 빙저 환경 데이터를 제공한 사례가 있음. 마지막으로, 극지 광물과 자원 탐사에서는 Deepglider와 같은 수중 로봇이 북극 해저의 광물 자원 탐사에 기여하고 있음.

다. 수중계류 시스템 기술

- 국외에서는 수중계류 시스템 기술이 다양한 방식으로 발전하고 있으며, 각국은 이를 해양 에너지 생산, 기후변화 연구, 환경 감시 등의 분야에 활용하며 중요한 성과를 거두고 있음. 기술적 정밀성과 안정성이 강화됨에 따라, 극한 환경에서의 장기 운영이 가능한 시스템이 개발되고 있으며, 데이터 전송과 관리 기술 또한 빠르게 진화하고 있음.
- 미국은 수중 음향 통신 기술에서 세계를 선도하는 위치를 차지하고 있음. 2024년 기준, 미국 해양대기청(NOAA)은 다중 경로 수신 기술을 상용화하여, 데이터 손실률을 기존 대비 15% 이상 감소시켰음. 이 기술은 수심 1,000m 이상의 심해에서도 데이터를 안정적으로 전송할 수 있어, 기후변화 연구와 해양환경 모니터링에서 중요한 역할을 함. 특히, 플로리다 해협에서 운영 중인 수중계류 시스템은 심해의 염도와 온도를 실시간으로 관측하며, 데이터는 기후 모델링 연구에 직접적으로 사용되고 있음. 이 시스템은 태풍 시즌에도 강한 내구성을 발휘하며, 연평균 97%의 데이터 전송 성공률을 기록하고 있음.
- 또한, 미국은 AI 기반 데이터 분석을 적용하여 수집된 데이터를 실시간으로 처리하고 시각화하고 있음. 이를 통해 기후변화로 인한 해양생태계의 변화를 더 빠르게 예측할 수 있게 되었으며, 최근 캘리포니아 근해에서 발견된 해양 산성화 증가와 같은 중요한 현상을 조기에 감지했음. 이 기술은 국제 협력 프로그램인 ARGO와 통합되어, 전 세계 해양 감시에 기여하고 있음.
- 유럽연합(EU)은 극한 환경에서도 안정적으로 작동하는 수중계류 시스템 개발에 집중하고 있음. 2023년, 그린란드 인근에 설치된 부이형 계류 시스템은 -40°C 이하의 극저온 환경에서도 98% 이상의 데이터 신뢰도를 기록하며, 3년간 무정비로 운영되었음. 이 시스템은 태양광 패널과 연료전지로 전력을 자급자족하며, 배터리 교체 없이도 지속적으로 데이터를 전송함.
- 유럽연합은 또한 특수 코팅 기술을 적용하여 극지의 해빙과 부유물로부터 장비를 보호하고 있음. 이러한 기술은 특히 빙산 충돌 가능성이 높은 지역에서 중요한 역할을 한다. 연구팀은 해빙에 의한 물리적 충격을 최소화하기 위해 충격 흡수 부력체를 개발하고 이를 시스템에 적용했음. 이 시스템은 대서양의 해류와 온도 변화를 감시하며, 북극의 해빙 감소와 관련된 데이터 수집에 핵심적인 역할을 하고 있음.

- 유럽연합은 또한 수중 생태계 모니터링 기술을 결합한 부이 시스템을 개발하여, 실시간으로 플랑크톤의 밀도와 분포를 추적하고 있음. 이 데이터를 통해 연구자들은 해양생물의 서식 환경변화를 조기에 감지하고, 기후변화의 영향을 더욱 구체적으로 분석할 수 있음.
- 중국은 대규모 해양 데이터 수집과 관리에 초점을 맞추고 있다. 2024년, 상하이 근해에서 운영 중인 부이형 계류 시스템은 클라우드 기반 데이터 처리 기술을 도입하여, 해양 데이터를 실시간으로 분석하고 시각화하고 있음. 이 시스템은 하루 평균 500GB 이상의 데이터를 수집하며, 이를 자동으로 분류하고 품질 검사를 수행함.
- 특히, 중국은 해양 데이터의 품질을 높이기 위해 AI 기반 데이터 복원 기술을 도입했음. 결측값을 자동으로 복원하고, 데이터의 이상치를 감지하여 제거하는 이 시스템은 수집된 데이터의 신뢰도를 95% 이상으로 끌어올렸으며, 중국은 이러한 기술을 활용해 동중국해와 남중국해의 해양환경 변화를 모니터링하며, 불법 어업 감지 시스템과 연계해 해양 자원을 보호하고 있음.
- 중국은 또한, 심해 탐사에 적합한 고내구성 부이 시스템을 개발하여, 최대 수심 3,000m까지 데이터를 수집할 수 있는 기술을 확보했음. 이 시스템은 대형 연료전지를 탑재하여 최대 5년간 유지보수 없이 운영될 수 있으며, 수온, 염도, 그리고 해류의 3차원 분포를 정확하게 기록할 수 있음.



<미국 국립과학재단(NSF) 해양 관측 네트워크이니셔티브(OOI)>

라. 해외 해양 관측 데이터 체계 구축 기술

○ 미국 NOAA의 해양 관측시스템

- 미국 NOAA는 해양환경 감시와 예측을 위해 다양한 시스템과 기술을 운영하고 있음. National Data Buoy Center(NDBC)는 약 90개의 부표와 60개의 Coastal-Marine Automated Network(C-MAN) 스테이션을 통해 바람 속도, 방향, 대기압, 해수 온도, 파고 등 주요 데이터를 수집하고 있고 이 데이터는 실시간으로 제공되어 기상 예측과 해양환경 분석에 활용됨. 2024년에는 인공지능 기반 모델링과 고해상도 실시간 관측 기술이 도입되어 데이터의 정확도가 크게 향상되었음.
- NOAA의 PMEL과 일본 JAMSTEC가 협력하여 운영하는 TAO/TRITON Array는 열대 태평양의 기후변화와 엘니뇨 및 남방진동(ENSO) 예측을 위해 해양 데이터를 실시간으로 관측함. 최신 기술로 자동화된 드론과 수중 글라이더가 보조적으로 투입되어 관측 공백을 줄이고 데이터 수집 밀도가 강화되었음.
- 북서 태평양 쿠로시오 직류 해역에 위치한 KEO 부이는 장기적인 해양-대기 상호작용 연구에 기여하고 있음. 2024년에는 태양광 전력 시스템과 인공지능 기반 센서 관리 기술이 도입되면서 유지보수 비용이 절감되었음.

○ Integrated Ocean Observing System (IOOS)

- 미국 IOOS는 위성, 수중 무인기(AUV), 무인항공기(UAS), 계류 부이 등을 활용하여 통합 해양 관측망을 구축하고 있으며 NOAA의 NODC는 표준화된 포맷으로 데이터를 영구 보존하고 다양한 기관에 제공함. 2024년에는 머신러닝 기술이 해양 데이터 분석에 활용되며 해양 오염과 이상 현상 탐지를 자동화하고 있음. 고정밀 센서가 도입되어 수온, 염분, 용존산소 등 데이터를 더욱 정밀하게 측정하고 있으며, 클라우드 기반 데이터 플랫폼을 통해 실시간 데이터 처리 속도가 개선되었음.

○ Argo 프로그램

- Argo는 전 세계 20여 개국이 참여하는 전지구 해양 관측 네트워크로, 약 4,000개 이상의 Argo 플로트를 운영하고 있고 이 시스템은 해양 상층부의 수온, 염분, 압력 데이터를 실시간으로 수집해 기후변화 이해와 예측에 기여하고 있음. 2024년에는 심층 데이터를 수집하는 Deep Argo 기술이 도입되었으며, 생지화학적 요소를 관측하는 BGC-Argo가 운영되면서 해양생태계 변화 감시가 강화되었음. 인공지능 기반 경로 최적화 기술이 적용되면서 데이터 수집 효율성도 크게 향상되었음.

○ 영국 PML의 E1 및 L1 부이

- 영국 PML은 수십 년간 E1과 L1 부이를 운영하며 해양과학연구에 기여를 해왔으며 이 부이들은 장기적인 시계열 데이터를 제공하여 해양생태계와 기후변화 연구에 활용되고 있음.

2024년에는 자율 전력 시스템과 스마트 센서가 도입되어 유지관리 비용이 절감되고 데이터 정밀도가 개선되었음.

○ 캐나다 NEPTUNE/VENUS 프로젝트

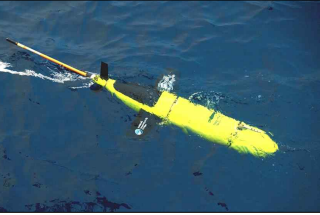
- 캐나다의 NEPTUNE 프로젝트는 해저 케이블을 활용한 장기 모니터링 시스템으로 수심 2,660미터에서 다양한 데이터를 수집하고 있음. 온도, 염분, 해류, 해저 지진 데이터를 실시간으로 제공하며 연구자들이 시계열 데이터를 활용할 수 있도록 지원함. 2024년에는 5G 기반 실시간 데이터 전송 기술이 도입되면서 데이터 처리 속도가 개선되었고, 광학 센서와 해저 드론을 통해 해저 생태계 변화 관측이 더욱 정밀해졌음.

○ 최신 해양 관측 기술

- 글로벌 해양 관측 기술은 더 효율적이고 정확한 데이터 수집을 위해 발전하고 있음. 웨이브 글라이더와 해양 글라이더는 비용 효율적이면서도 지속해서 자료를 수집할 수 있어 중요성이 커지고 있음. 이 장비들은 선박과 인공위성, 부이의 데이터를 통합하여 해양 관측망을 더욱 체계화하고 있음.
- 대만과 미국 등은 무인항공기(UAS)를 활용하여 불법 어업 감시와 해양 오염 모니터링을 강화하고 있음. 최신 기술로는 인공지능 기반 이미지 분석이 도입되어 이상 현상을 빠르게 탐지하고 대응할 수 있게 되었음.
- NOAA는 매년 30페타바이트 이상의 데이터를 저장하고 있으며, 인공지능과 빅데이터 분석 기술을 통해 해양 관측과 기후 예측 모델의 정확도를 높이고 있음. 실시간 웹 GIS 시스템은 관측 데이터를 지도 기반으로 시각화해 연구자와 일반인 모두가 쉽게 활용할 수 있도록 돕고 있음.

<표Ⅱ-3> 극지 빙저 탐사에 활용된 수중로봇

로봇이름	국가	프로젝트 및 기간	사양	주요 기능	성과 및 활용	이미지
Seaglider	미국	Polar Oceans Research (2009~현재)	길이: 1.8m, 작동 시간: 6개월 이상	자율항법, 염분/온도/압력 데이터 수집	북극과 남극에서 장기적인 수온, 염분 변화 관찰	
Boaty McBoatface	영국	BAS 프로젝트 (2017~현재)	길이: 3.5m, 심도: 6,000m까지	자율 탐사, 소나 기반 지형 매핑, 해류 속도 측정	남극 빙저의 열 플럭스와 해류 데이터 수집	
HUGIN	노르웨이	Arctic Seabed Mapping (2010~현재)	길이: 7m, 심도: 4,500m	해저 3D 맵핑, 다중빔 소나, 지질학적 샘플링	북극 해저 탐사 및 빙저 구조 연구	

로봇이름	국가	프로젝트 및 기간	사양	주요 기능	성과 및 활용	이미지
REMUS 6000	미국	Hydrothermal Vent Exploration (2015~현재)	심도: 6,000m	자율항법, 화학 센서, 멀티빔 소나	빙저와 심해 열수구의 화학적 분석 및 맵핑	
AUV 62	스웨덴	Polar Defense Project (2013~현재)	길이: 4.5m, 작동 시간: 24시간	자율항법, 음향 통신, 환경 데이터 수집	북극에서 환경 모니터링 및 군사 용도로 활용	
Deepglider	미국	Oceanographic Studies (2012~현재)	작동 시간: 12개월 이상	초저전력 설계, 수온/염분/밀도 데이터 수집	빙저 해역의 장기적 해양 데이터 기록	
Slocum Glider	미국	NSF Antarctic Research (2006~현재)	길이: 2m, 심도: 1,000m	자율항법, 수온/염분/산소 데이터 수집	남극에서 지속적인 해양환경 모니터링 수행	
Echo Voyager	미국	Boeing Autonomous Program (2018~현재)	길이: 15m, 작동 시간: 수개월	대용량 에너지 시스템, 자율 탐사, 멀티센서 데이터 수집	북극 해양의 장기적 환경 모니터링 및 빙저 탐사	
Iver3	미국	Coastal and Polar Studies (2014~현재)	길이: 1.2m, 작동 시간: 14시간	자율항법, 고해상도 소나, 데이터 전송	극지 연안 및 빙저 탐사, 해저 맵핑	

- 최근 기술 발전, 특히 장수명 배터리와 고급 무선통신 기술은 해양과학 분야에서 혁신적인 변화를 선도하고 있음. 중국은 2020년에 직경 15m에 달하는 초대형 부이를 개발하여 동중국해에서 운영을 시작하였고 이러한 초대형 부이들은 배터리 수명의 연장과 무선통신 기술의 발전을 바탕으로 한 무인 연속 관측시스템에서 중요한 역할을 함. 이 부이들은 실시간 데이터 수집 및 처리 능력을 갖추고 있으며, 해양 데이터의 대규모 수집을 가능하게 함.

○ 수중청음기 기술

- Teledyne의 자회사인 덴마크의 RESON, Brüel & Kjær, 그리고 미국의 High Tech Inc.는 선도적인 수중청음기 기술을 개발하여 시장에 제공하고 있음. 이들 기술은 해양에서 발생하는 소리와 인위적인 충격으로부터 발생하는 소리를 감지하는 데 사용되며, 감도 범위는 일반적으로 -170dB에서 -220dB, 주파수 응답은 2Hz에서 100kHz임. 최근 CPU 기술의 발전은 이러한 수중청음기들이 디지털 데이터 전송에 필수적인 고속 신호 처리를 가능하게 하고

있음.

○ 빅데이터 및 AI 기술

- 데이터 산업은 연평균 7.3%의 성장률을 기록하고 있으며, 클라우드라는 하둡을 기반으로 하는 빅데이터 분석 프로그램을 통해 업계를 선도하고 있음. 이 기업은 데이터를 수집하고 분류하여 분석 가능 형태로 제공함으로써 기업의 의사결정 과정을 지원함. 특히, 이 기술은 대규모 데이터셋을 효율적으로 처리할 수 있는 능력을 갖추고 있으며, 호튼웍스와의 합병을 통해 시장 내 위치를 강화하였음.

○ 북극해 부표 관측망 기술

- 북극해 부표 관측망 기술은 Copernicus 프로그램과 같은 대규모 위성 데이터 연계 프로그램을 통해 유럽에서 중점적으로 발전하고 있으며 미국과 캐나다는 해양 및 대기 변수를 고 해상도로 관측할 수 있는 기술을 개발하고 있으며, 부표의 실시간 데이터 전송 능력을 크게 향상시키고 있음. EvoLogics의 S2C 기술은 이 분야에서 특히 뛰어난 신뢰성을 제공함.

○ 웨이브 글라이더 기술

- 웨이브 글라이더는 파도의 운동 에너지와 태양광을 이용하여 동력을 공급받는 해양 관측 플랫폼임. 이 플랫폼은 수온, 염분, 해류 및 기상 데이터를 포함한 다양한 해양 데이터를 수집함. Liquid Robotics의 웨이브 글라이더 SV3 모델은 특히 해양 보안, 기후 연구 등 다양한 분야에서 중요한 역할을 함.

○ 극지 해양공학 장비 기술

- 극지 해양공학 장비는 극한의 환경에 적합하도록 설계된 수중 장비와 데이터 수집 플랫폼으로 구성됨. Teledyne Marine 및 Woods Hole Oceanographic Institution은 이 분야에서 획기적인 발전을 이루고 있으며, EvoLogics 및 Brüel & Kjær의 수중 음향 모델과 청음기 기술은 이러한 장비의 핵심 구성 요소임.

2.1.2 국내 기술 동향

가. 해양 관측 기술

- 우리나라의 부이 개발은 해양 관측 정확성을 높이고 해양 재난 대응력을 강화하기 위해 꾸준히 발전하고 있음. 과거 직경 4미터 이하의 소형 부이가 주로 활용되었으나, 도난과 손망실로 인한 관리 비용 문제로 인해 대형화와 기술 고도화를 중심으로 발전 방향이 설정되었고, 이러한 노력은 특히 해양 재난 및 기후변화 대응을 위한 국가적·국제적 프로젝트와 밀접하게 연계되고 있음.
- 현재 우리나라에서는 직경 10미터급 대형 부이가 도입되어 운영되고 있음. 이들 부이는 황해와 같은 주요 해역에서 실시간 관측과 조기 경보 시스템을 지원하며, 구체적으로 다음과 같

은 프로젝트에 활용되고 있음.

- 첫째, 황해나 동해 해양 재난 대응 프로젝트는 2020년부터 현재까지 진행되고 있음. 이 프로젝트는 해양 재난인 지진, 쓰나미 등의 조기 경보와 대비를 목적으로 함. 부이로부터 실시간 수온, 염분, 해수면 상승 정보를 수집하여 조기 경보 체계를 강화하고 있으며, 2023년 황해에서 발생한 해양 지진 모니터링에 기여하여 기상청과 국립해양조사원에 중요한 관측 데이터를 제공했음.
- 둘째, 기후변화 모니터링 및 생태계 연구 프로젝트는 2019년부터 진행되고 있고, 이 프로젝트는 기후변화가 해양생태계에 미치는 영향을 지속적 모니터링하기 위한 것임. 동해와 황해의 해양 온도, 염분, 용존 산소 데이터를 부이를 통해 수집하고 있으며, 2021년 동해안 지역의 해양 산성화와 명태 개체수 감소 현상 분석에 활용되었음.
- 셋째, 해양 재난 대비 및 해상 안전 프로젝트는 2018년부터 시작되었음. 이 프로젝트는 태풍과 같은 극한 기상현상에 대비하기 위한 것으로, 부이를 통해 주요 해역의 기상 및 해황 데이터를 실시간으로 전송함. 2022년 태풍 힌남노 예측 및 피해 최소화 과정에서 부이 데이터를 활용하여 중요한 역할을 했음.
- 현재 운영되고 있는 황해 중부의 부이는 2021년에 설치된 직경 10미터급 대형 부이로, 추가로 2기의 대형 부이가 2024년까지 황해 잠정조치 수역에 설치될 예정임. 동해 먼바다로도 확장 계획이 진행 중임. 이러한 부이들은 기상청의 해황 관측 강화 계획과 연계되어 활용되고 있으나 대형 부이는 진수 및 회수 과정에서 어려움이 많아 중형 및 소형 부이 개발이 논의되고 있음. 2023년에는 해양수산부와 한국해양과학기술원(KIOST)이 협력하여 이동성과 센서 운용이 용이한 소형 부이 개발 연구를 착수했음.
- 우리나라 부이 기술은 다중 플랫폼을 기반으로 발전하고 있음. 위성 관측, 드론, 무인 수중기와 연계 운용이 계획되고 있으며, 이를 통해 2030년까지 동해와 황해뿐만 아니라 남해 주요 해역으로 확장하여 전국 해양 관측망을 완성할 계획임. 또한 일본과 중국과 협력하여 아시아 태평양 지역의 해양 기후변화 공동 대응 프로젝트에서 주요 데이터를 제공하고 있으며, 2025년까지 AI 기반 실시간 해양 데이터 분석 시스템 구축도 계획하고 있음.

나. 수중 계류 시스템 기술

- 수중 계류 시스템은 해양 또는 수중의 한 지점에 고정적으로 설치하여 해양환경자료를 연속 관측하는 시스템임. 계류선은 부유체를 해저의 고정점(앵커)과 연결하여 외부 환경(조류, 파도, 바람 등)의 영향을 최소화한다. 이 시스템은 주로 수중 감시와 같은 해양환경 모니터링에 활용됨. 특히 2020년 이후 기후변화 대응 및 해양 감시 필요성이 대두되면서 수중계류 시스템의 기술개발이 가속화되었음.
- 부이형 수중 감시 시스템은 부이 조립체, 계류라인, 배열 센서 조립체로 구성되며, 해양 관측

과 환경 모니터링에 최적화되어 있음. 2019년 북극해에서 설치된 부이형 시스템은 극저온에서도 작동하며, -30°C 에서도 수온, 염도, 유속 데이터를 5년 이상 유지보수가 거의 필요 없이 평균 90% 이상의 데이터 관측 성공률을 기록했다.

- 수중계류 시스템의 설계와 운영에는 여러 요소가 중요함. 계류라인은 외부 하중에 대응할 수 있어야 하며, 높은 신뢰성과 내구성을 보장해야 함. 나일론이나 폴리에스터 등 고강도 재질을 사용하며, 부식을 방지하기 위해 코팅 처리된 소재를 활용함. 또한, 온도, 압력, 염분 등 다양한 정보를 수집하는 고정밀 센서를 사용함.
- 극지 환경에서는 극저온에서도 작동할 수 있는 고내구성 장비와 방수·방한 처리된 배터리 시스템이 필요함. 수중 계류 시스템은 해양환경 연구와 개발에서 중요한 역할을 하며, 다양한 산업 분야에서 지속해서 사용될 전망이다. 기술 발전과 함께 신뢰성 있는 데이터 수집과 분석이 가능해짐에 따라 기후 변화 대응과 해양 자원 관리에 더욱 기여할 것임.

다. 국내 수중음향 기술

- 우리나라의 수중음향 기술은 해양환경, 해양생물, 해저 구조물 및 잠수함 탐지 등을 위한 핵심 기술로 자리 잡고 있음. 수중음향 기술은 능동탐지와 수동탐지 방식으로 나뉘고, 능동탐지는 고주파 음향 시스템을 통해 수중으로 방사된 펄스 음파가 해양생물, 해저지형, 해저 구조물 등에 반사되어 수신기로 되돌아오는 신호를 분석하는 방식임.
- 이 기술은 해저지형 조사, 구조물 손상 평가, 해양 생태연구 등에 활용됨. 반면, 수동탐지는 음파를 방사하지 않고 수중청음기를 이용해 저주파 대역의 수중 소음을 탐지하는 방식으로, 주로 잠수함 탐지, 해양생물 의사소통 연구, 그리고 수중 소음 모니터링 등에 사용됨.
- 수중음향 기술은 국내 다양한 프로젝트에서 중요한 역할을 해왔음.
 - 2015년 해양수산부와 극지연구소는 극지 해양생태계 보전 연구를 통해 북극과 남극 해역에서 고래와 해양생물의 이동 경로를 추적하고 음향 데이터를 활용해 생태계 변화를 연구했음.
 - 2020년에는 국립수산물과학원이 동해와 남해에서 고래 서식지 데이터를 수집해 고래 보호구역 설정에 기여했음.
 - 이외에도 국방과학연구소는 2019년 잠수함 탐지 기술 고도화 프로젝트를 통해 해군의 해양 경계 감시 능력을 강화했으며, 한국해양과학기술원(KIOST)은 2021년 해양 구조물 상태 평가와 해저 케이블 손상 탐지에 음향 기술을 활용했음.
 - 또한, 해양조사원은 2018년 동해의 해저지형 변화를 연구하기 위해 능동탐지 기술을 적용하여 정밀 해저지도를 제작했음.
- 수중통신 기술 역시 국내에서 활발히 개발되고 있고, 이 기술은 수중 데이터 전송과 네트워크 구축에 필수적이며, 국내에서는 양방향 통신모뎀, 문자 전송 시스템 등 다양한 프로젝트가 진행되었음.

- 2016년, 한국해양과학기술원은 양방향 수중통신모뎀을 개발하여 해양 데이터 수집과 구조물 모니터링에 활용했으며, 2018년에는 SKT와 호서대학교가 수중네트워크 기반 문자 전송 시스템을 개발해 해양 작업자의 효율성을 높였음.
- 2022년에는 한국해양과학기술원과 한국해양대학교가 자율형 수중 로봇 통신 네트워크를 구축해, 자율 로봇이 수집한 데이터를 실시간으로 전송하고 분석할 수 있는 기반을 마련했음.
- 현재 수중음향과 통신 기술은 고도화가 진행 중임. 초음파 기반 저전력 수중 데이터 전송 기술과 더불어, 드론, 위성, 자율형 수중 로봇 간 통합 네트워크 기술이 연구되고 있음. 또한, 해양수산부와 한국해양과학기술원은 2024년부터 수중음향 데이터를 통합 분석하고 예측할 수 있는 빅데이터 플랫폼 구축 프로젝트를 착수할 예정임. 한국전자통신연구원은 극한 환경에서 활용할 수 있는 고해상도 수중 센서를 개발 중이며, 이를 통해 해양 재난 대비 및 기후 변화 모니터링 능력을 강화할 계획임.

라. 국내 빙저탐사 기술

- 우리나라의 빙저탐사를 위한 수중로봇 기술개발은 최근 들어 활발히 추진되고 있으나, 현재까지 국내에서 제작된 AUV(무인자율 수중로봇)나 ROV(원격조종 수중로봇)를 활용하여 극지 탐사를 수행한 사례는 없음. 대신 해외 연구기관과의 공동연구를 통해 극지 빙저 환경 탐사를 수행하면서 기술적 경험과 데이터를 축적하고 있음.
- 선박해양플랜트연구소(KRISO)를 중심으로 2019년부터 ‘극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT 원천기술 개발’ 사업이 추진되고 있음. 이 사업은 5개년 사업으로, 극지 환경에서 빙하 아래 탐사를 위한 핵심 기술 확보를 목표로 함. 주요 내용으로는 빙홀(빙하에 뚫린 구멍)을 통해 진수 및 회수할 수 있는 Hybrid AUV 개발이 포함되며, 극지 환경의 수중통신, 음향 기술, 저온 환경 성능 평가 기법 연구가 진행 중임. 또한 빙저에서의 해양환경을 탐사하기 위해 멀티 스케일 응용 기법과 저온 내구성 기술을 개선하고 있음. 이러한 연구는 극지 해역에서 수중로봇 운용성을 극대화하고 탐사 성공률을 높이기 위해 진행되고 있음.
- 현재까지 우리나라는 자체 수중로봇을 이용하지는 못했지만, 해외 AUV 보유 연구기관과의 협력을 통해 탐사를 수행한 바 있음. 대표적인 사례로는 호주 타즈메니아 대학의 NUPIRI MUKA AUV를 활용하여 남극 빙봉 탐사를 진행한 것이고, 이 탐사는 2020년에 수행되었으며, 2022년 상반기에도 추가 탐사가 계획되어 남극 빙봉 아래 해양환경의 데이터를 수집했음. 또한 미국 MBARI와 스웨덴 예테보리 대학과의 협력을 통해 남극과 북극 일부 지역에서 탐사가 이루어졌다. 이 탐사에서는 빙하 아래 수온, 염분, 해저 지형 등의 환경 데이터를 확보하는 데 중점을 두었음.
- 그러나 극지 수중로봇 기술은 여전히 해결해야 할 과제가 많고, 극저온 환경에서 수중로봇의 방한 성능과 내구성을 평가하는 기술이 아직 초기 단계이며, 수중 음향 간섭과 같은 통신 문제를 극복하는 기술개발이 필수적임. 이에 따라 선박해양플랜트연구소는 극지 환경에서 운용

가능한 수중로봇의 저온 내구성과 성능 개선을 지속해서 연구하고 있음. 특히 차세대 Hybrid AUV는 다양한 센서시스템을 효율적으로 통합하고 빙저탐사에 최적화된 구조를 갖출 것으로 기대됨.

마. 국내 해양 관측 데이터 수집 및 관리 기술

- 국내 해양관측 데이터 수집 및 관리 현황은 해양환경 모니터링, 재난 대비, 연구개발(R&D), 산업 지원 등 다양한 목적을 위해 통합적이고 체계적으로 관리되고 있고 최근에는 빅데이터와 AI 기술을 활용한 고도화된 플랫폼 개발이 활발히 이루어지고 있음.
- 해양수산부는 JOISS 시스템을 통해 국내외 해양과학 자료와 해양 R&D 과제 데이터를 통합적으로 관리하고 있고 이 시스템은 '해양데이터 리포지토리' 구축을 통해 데이터 개방과 품질 관리를 강화하고 있으며, 데이터 관리 계획(DMP)을 도입해 연구 프로젝트의 효율성을 증대시키고 있음. 2020년 이후 JOISS 시스템은 수온·염분 분포도와 같은 산출물을 제공했으며, 2023년부터는 DMP 가이드를 개발해 연구자들에게 지원하고 있음.
- 해양환경정보포털은 해양환경관리법에 따라 해양환경, 폐기물 해양 배출, 해양 생태 및 해양 이용 영향 평가를 위한 데이터를 지도 기반으로 제공하고 있음. 조사 지점과 결과 데이터를 시각화하여 연구자와 기업에 제공하며, 2024년에는 중금속 및 미생물 데이터를 기반으로 해양 생태 건강지수를 산출하는 서비스를 추가 개발할 계획임.
- 국립수산물과학원의 한국해양자료센터는 연안 정지 관측, 부이 관측, 위성 데이터를 포함한 다양한 해양 데이터를 관리하고 있고, 이 데이터는 텍스트와 엑셀 형식으로 제공되며, 2019년부터 적조 예측 데이터를 통해 연안 어업 피해를 줄이는 데 활용되고 있음. 2023년부터는 AI 기반 이상 해황 조기경보 시스템 개발도 추진되고 있음.
- 한국해양과학기술원(KIOST)은 이사부호 등 연구선의 관측 데이터를 실시간으로 통합 관리하는 KUMOS 시스템을 운영 중임. 이 시스템은 WebGIS 기반으로 구축되어 관측자료 모니터링과 연구선 운항 관리 등을 지원하며, 2021년부터 태풍 발생 시 동해나 황해 데이터를 실시간 분석하는 데 사용되고 있고 2025년까지 AI 기반 이상기후 예측 모델을 개발할 예정임.
- 한국극지데이터센터(KPDC)는 남극과 북극에서 획득한 데이터를 영구적으로 보존하고 국제 네트워크에 공유하는 시스템임. 메타데이터 관리를 통해 체계적인 데이터 관리와 공유를 수행하며, 2018년부터 극지 연구의 국제적 위상을 강화해 왔고 2024년부터는 극지 생태 모니터링 데이터를 3D 모델로 시각화하여 제공할 계획임.
- 행정안전부는 정형 및 비정형 데이터를 통합 관리할 수 있는 빅데이터 공통 플랫폼을 운영 중이고 2020년부터 해양수산부와 협력하여 AI 분석을 통해 해안 침수 위험 지역 예측 연구를 지원하고 있음.

- 최근 국내에서는 해양 데이터를 효과적으로 수집, 분석, 활용하기 위한 새로운 플랫폼과 시스템이 개발되고 있음.
- KUMOS 2.0은 기존 KUMOS 시스템을 확장 및 고도화하여 연구선의 실시간 데이터 분석과 WebGIS 기반 서비스를 강화하고 있으며 주요 기능으로는 연구선 운항데이터 실시간 모니터링, AI 기반 데이터 분석 기능 추가, 고도화된 데이터 시각화 서비스 제공이 있음.
- 다중 플랫폼 통합 해양 감시망은 위성, 무인항공기, 해양 레이더, 수중 무인기 등을 통합하여 해양환경과 재난을 실시간으로 감시할 수 있는 시스템이다. 이 플랫폼은 불법 선박 탐지 및 해양오염 모니터링, 적조와 유류 유출 같은 해양 재난 대응에 활용됨.
- 기상청의 해양기상 정보포털은 AI 기반 해양기상 예측 모델을 적용하여 고해상도 GIS 기반 맞춤형 해양 기상 정보를 제공하도록 고도화되고 있음. 이 포털은 해양 재난 예방과 기상 데이터 분석에 중점을 두고 있음.
- 해양수산부의 바다허브(Vadahub)는 해양 및 수산 데이터를 융합 및 개방하여 활용도를 높이는 플랫폼이고 AI 기반 해양 모델 개발과 실시간 데이터 융합 서비스를 확대하는 것이 주요 목표임.

2.2 국내·외 시장 전망 분석

가. 해양 데이터 산업

- 인공위성 기반 지구관측 데이터 서비스 세계시장은 2018년 기준 약 71억 달러에 이르는 것으로 추정되며 2018년부터 2023년까지 약 9.10%의 연평균 성장률을 기록할 것으로 예상됨.
- 지구관측 데이터는 농업, 기상예보, 환경모니터링, 탐사산업 등에 기여, 2023년에는 약 110억 달러까지 성장할 것으로 예상됨.
- 해양 빅데이터 세계시장은 2017년부터 2025년까지 21.5 %의 연평균 성장할 것으로 예상되며, 2025년까지 3,240.5만 달러에 이를 것으로 예상함.
- 해양정보의 수집, 관리, 전달, 사업화에 이르는 해양 빅데이터 시장은 초고속 성장세를 보일 것으로 전망됨.

나. 해양 예측 서비스 산업

- 해양 예측 서비스 시장의 경우, 전 세계적으로 '16~'23년까지 연평균 13.1% 성장한 27억 77만 달러로 예상되며, 기상 예측시스템 및 솔루션 시장의 경우 '17~'22년까지 연평균 7.21% 성장한 38억 달러로 전망됨.

다. 해양환경 관측시스템 분야

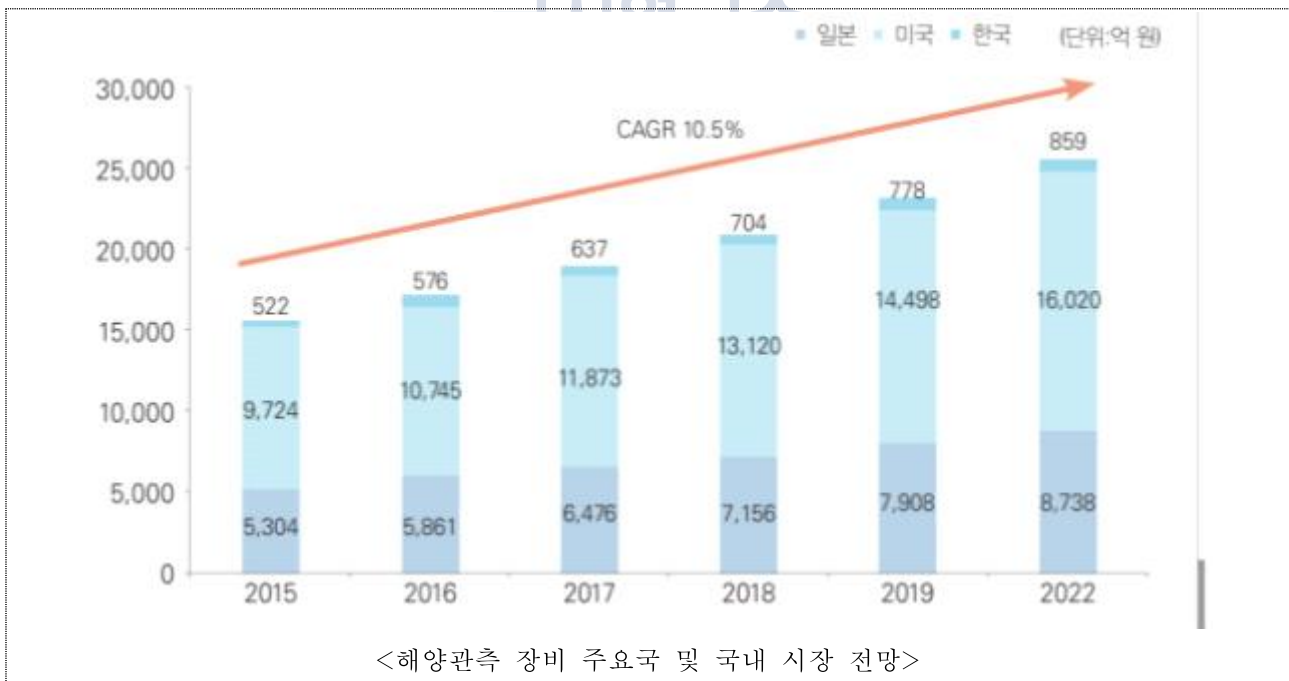
- 해양산업 전망은 2006년 기준으로 글로벌 해양 관측시스템 시장은 약 18억 달러(한화 약

1.8조 원) 규모였으며, 2011년에는 약 24억 달러(한화 약 2.4조 원)로 성장할 것으로 전망됨. 이는 연평균 성장률(CAGR) 약 6%에 해당함. 특히, 해양 공공서비스(모니터링) 분야는 해양 관측, 해양 위성 관측, 해양예보 등 기술을 포괄하며, 연안과 해양에서의 자연재해(적조, 태풍), 오염(유류 및 해양환경), 생태계 파괴 문제를 해결하기 위한 정보생산이나 신속한 전파의 필요성이 크게 대두되고 있음.

- 시장 매력도와 경쟁력은 해양 산업위원회(2014)는 해양 안전 및 서비스 분야의 시장 매력도를 5점 척도에서 3점 수준으로 평가하였으나, 경쟁역량은 선진국 대비 60~70% 수준으로 다소 낮은 편이며 이를 극복하기 위한 국내 기술 개발과 국가 지원이 지속되고 있으며, 2030년까지 이 분야의 시장 성장을 기대하고 있음.

라. 해양관측 관측 장비 산업

- 해양관측 장비 전체 시장 규모는 연평균 10.5% 성장률에 따라 '15년 약 1.5조 원에서 '22년 2.4조 원 이상 될 것으로 예상되며, 국내 시장의 경우 '15년 약 522억 원에서 '22년 859억 원으로 전망됨.
- 미국과 일본을 중심으로 주요국 시장을 살펴보면, '15년 미국의 해양관측 장비 시장은 9,724억 원에서 '20년 1조 6,020억 원 규모로 성장할 것으로 전망되고, 일본의 해양관측 장비 시장은 동기간 5,304억 원에서 8,738억 원 규모로 성장할 것으로 전망됨.



- 해양관측 장비로는 대표적으로 해양 스마트 부표와 해양 모니터링시스템이 있으며, 주로 해외업체가 세계시장을 주도하고 있음.
- 해양관측 장비 분야의 경쟁기업은 네덜란드의 Datawell, 노르웨이의 Miros, AANDERAA,

미국의 Nobska 등이 존재함.

- Datawell은 해양환경에서 장기적으로 안정된 모션센서를 개발하였으며, 주력 제품은 파고부이와 선박용 모션센서 등이 있고, 최근에는 파고 방향 및 해수면 온도를 측정하는 제품을 출시함.
- Miros는 파고와 조류를 모니터링하는 센서시스템을 개발함으로써 Met-Ocean and Heli-deck Monitoring system, MIRIS 등의 주력 제품이 존재함.
- AANDERAA는 부표뿐만 아니라 다양한 해양 모니터링 시스템, 조류센서 등의 제품군을 보유하고 있음.
- 국내 주요 기업으로는 오션이엔지, 오션테크, 신동디지텍, 지오시스템리서치 등이 존재함.
- 오션이엔지는 부표 관측 센서 및 시스템 개발에 대한 역량을 보유한 해양기상관측 전문기업으로 경량의 소형 관측용 부표를 주력으로 함.
- 지오시스템리서치는 해양환경 관련 엔지니어링 전문기업으로 수로조사, 연안조사 측량, 항로표지위탁관리 등을 수행하고 있으며, '13년 해양기상부표 공급을 시작으로 사설 항로 표지 시설 위탁관리 등을 수행하고 있으며, 신동디지텍은 '05년 해양기상관측 부표를 최초로 국산화한 해양장비 전문기업으로 선박 위치 실시간 감시시스템, 선박용 VSAT 위성 수신시스템 등을 개발하였고, '15년 카타르에 160만 달러 규모의 해양기상부표를 수출하는 등 기술력을 인정받음.

극지연구소

마. 해양 정보서비스 산업

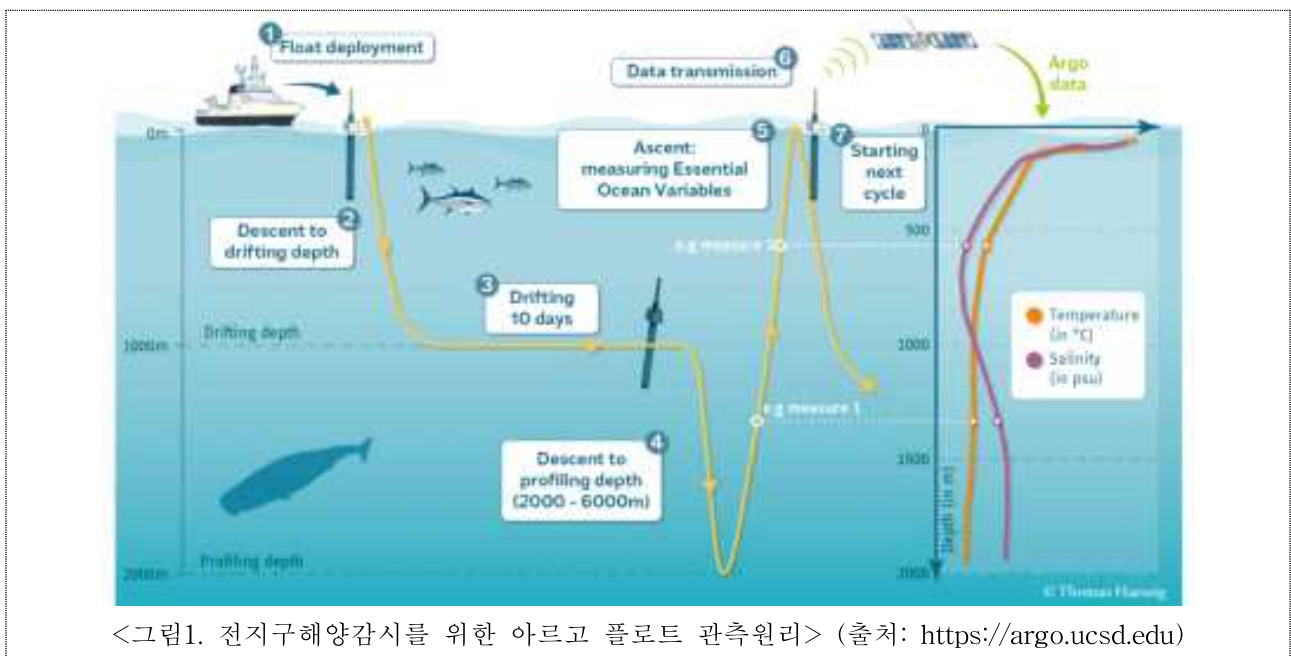
- 해양정보서비스 분야의 전 세계시장은 2030년 약 100억 달러(10조 원) 이상으로 성장할 것으로 예측됨.
- 해양정보서비스 분야는 해양관측, 위성관측, 해양예보 서비스를 모두 포함하는 개념
- 해양공공서비스(모니터링) 분야는 '해양관측, 해양위성 관측, 해양예보 등을 포괄하는 기술'로 특히 최근 해양과 연안에서의 자연재해, 유류오염, 해양환경오염, 적조, 생태계 파괴 등의 문제해결을 위한 해양예측정보의 생산 및 신속한 전파 필요성 증대하고 있음.
- 국내 산업의 경우 해양공공서비스(모니터링) 분야의 기술수준, 연구개발예산 인프라, 인적역량 등을 종합적으로 분석하면 최고국 수준 대비 70% 정도의 역량을 보유한 것으로 나타남.

바. 해양기후 감시 인공위성과 로봇 탐사산업

- 인공위성을 활용한 해양관측은 적외선 또는 마이크로파 센서를 이용하여 해면 수온, 해수면 높이, 해상풍, 해면 염분, 해빙 면적 및 두께 등을 도출하고 있으며, 가시광선 센서를 이용하

여 염록소a, 적조, 부유물, 유기탄소, 일차생산 등 다양한 생지 화학-생태계 변수도 추정 생산하고 있음. 덕분에 인공위성 관측은 드넓은 지구 바다에 대한 기후 월 평균값을 산출하고 그 편차를 분석할 수 있는 가장 근본적인 도구가 됨.

- 하지만 인공위성으로부터 도출한 해양 변수값들의 정확도와 정밀도를 유지, 개선하기 위해서는 전통적인 해양탐사 플랫폼인 선박을 이용한 현장 관측값이 기반이 되어야 함. 다만 해양 조사선 관측은 넓은 영역을 동시에 관측할 수도 없고, 한 정점에서 연속적으로 관측을 하는데에는 부적합함. 이에 대한 대안으로 뜰개 관측기술과 부이 계류관측 기술을 활용해 왔음.
- 우리나라 주변 배타적 경제수역내에서는 국립해양조사원과 국립수산물과학원을 위주로 오랫동안 상당히 조밀하고 연속적인 관측을 해 왔으며, 이는 해수면 상승이나 수온, 염분, 영양염 등의 변화를 진단하는 데 있어 매우 중요한 자료로 활용됨.



<그림1. 전지구해양감시를 위한 아르고 플로트 관측원리> (출처: <https://argo.ucsd.edu>)

- 인공위성을 활용한 해양관측은 적외선 또는 마이크로파 센서를 이용하여 해면 수온, 해수면 높이, 해상풍, 해면 염분, 해빙 면적 및 두께 등을 도출하고 있으며, 가시광선 센서를 이용하여 염록소a, 적조, 부유물, 유기탄소, 일차생산 등 다양한 생지화학-생태계 변수도 추정 생산하고 있음. 덕분에 인공위성 관측은 드넓은 지구 바다에 대한 기후 월 평균값을 산출하고 그 편차를 분석할 수 있는 가장 근본적인 도구가 됨.
- 하지만 인공위성으로부터 도출한 해양 변수값들의 정확도와 정밀도를 유지, 개선하기 위해서는 전통적인 해양탐사 플랫폼인 선박을 이용한 현장 관측값이 기반이 되어야 함. 다만 해양 조사선 관측은 넓은 영역을 동시에 관측할 수도 없고, 한 정점에서 연속적으로 관측을 하는데에는 부적합함.
- 이에 대한 대안으로 뜰개관측 기술과 부이 계류관측 기술을 활용해 왔음. 우리나라 주변 배타적 경제수역내에서는 국립해양조사원과 국립수산물과학원을 위주로 오랫동안 상당히 조밀하고 연속적인 관측을 해 왔으며, 이는 해수면 상승이나 수온, 염분, 영양염 등의 변화를 진단

하는 데 있어 매우 중요한 자료로 활용됨.

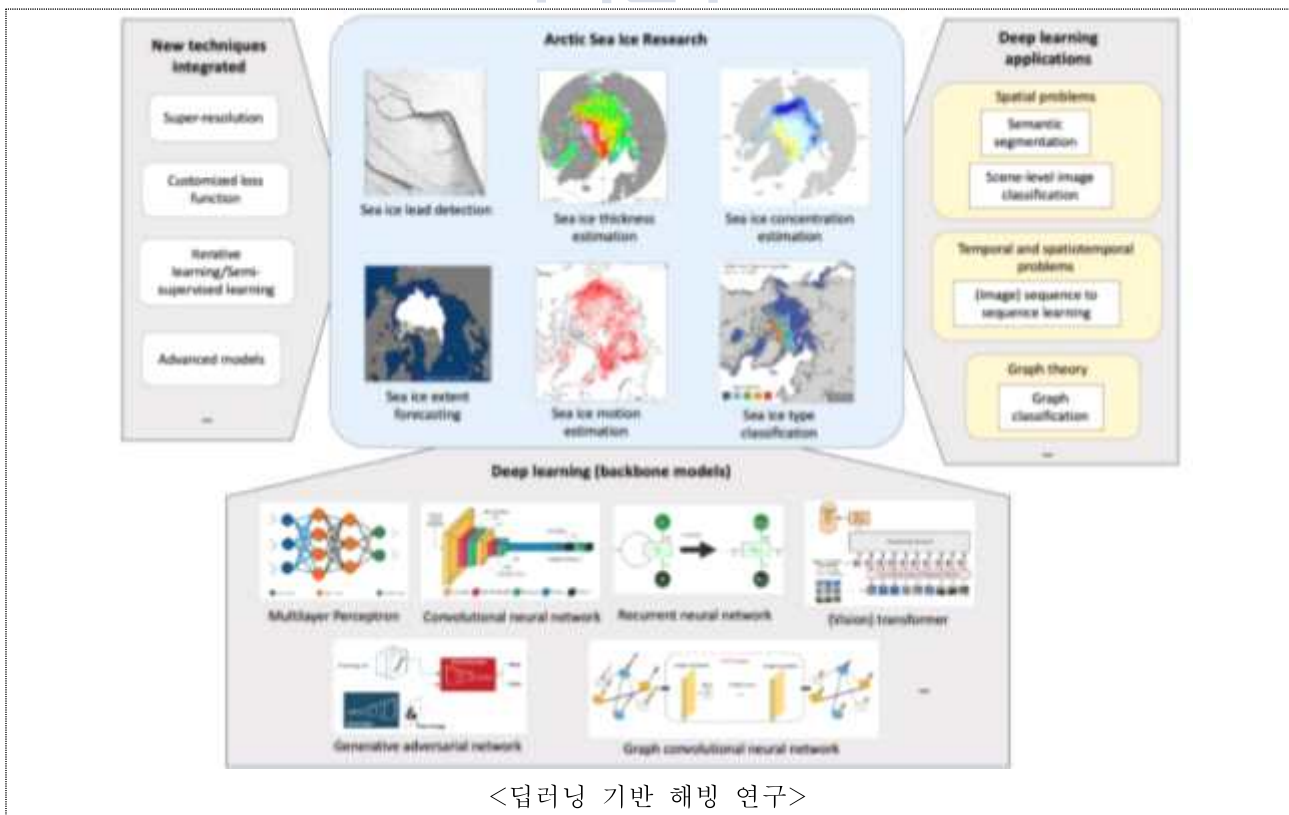
- 북극해와 남극해를 중심으로 세계 각국이 참여하는 다양한 관측 프로그램이 있으며, 각종 자료가 기후변화 감시와 진단에 활용되고 있음. 전 지구적인 해양 감시를 위한 획기적인 방법이자 대표적인 성공적인 사례는 1998년 이래 지속되는 국제 아르고(Argo) 프로그램임. 아르고 프로그램에 사용되는 관측 기기는 부력조절을 통해 연직운동이 가능하지만 수평이동 동력은 없는 플랫폼에 수온, 염분, 압력 센서를 탑재하고 위성통신 기술을 융합한 최초의 해양 탐사 로봇으로 볼 수 있음.
- 지금도 약 3,800개의 아르고 탐사 로봇이 전세계 바다에서 운영되고 있으나, 우리나라의 기여도는 동해를 제외한 대양에서는 상대적으로 매우 작은 편임. 최근에는 용존산소, pH, 형광, 탁도, 질산염 등 다양한 생지화학 센서를 추가로 탑재한 BGC(또는 Bio) 아르고 탐사 로봇의 활용이 증가하는 추세이며 이외에도 원격 이동 제어가 가능한 무인체인 파랑글라이더(Wave Glider), 수중글라이더(Underwater Glider), 세일드론(Saildrone) 등을 활용한 대양 관측 기술이 활발하게 이용되고 있으며 새로운 수상, 수중무인체를 활용한 관측기술 개발도 시도되고 있음.

사. 지구시스템모형과 인공지능 산업

- 해양 관측자료는 아무리 많아도 바다의 시공간을 모두 채울 수는 없기 때문에 그 틈새를 메우고, 역학적 과정을 이해하며, 또 미래 변화를 예측하기 위한 유용한 도구로서 수치모형을 활용함. 특히 지구기후체계를 구성하는 각 요소간의 상호작용을 고려하기 위해서 각 구성 요소별 모형을 결합한 모형을 지구시스템 모형이라고 하는 데, 지구의 과거-현재 기후를 재현하고 미래 기후를 예측하는 데 사용함.
- 지구시스템모형의 각 구성 요소 모형은 개별 모형 단독으로 활용하거나 필요에 따라 결합의 정도를 조절하면서 다양한 역학 과정 또는 민감도 실험을 할 수 있는 장점이 있고 미래 기후변화를 예측하기 위해서는 이산화탄소와 같은 온실기체의 예상 배출 농도를 먼저 예상해야 하는데, 이는 사회경제적 수요와 경제발전 정도에 따라 달라지기 때문에 이에 대한 시나리오를 구성해서 예측할 수밖에 없음.
- 최근 발표된 정부간기후변화협약체(IPCC) 6차보고서(AR6)에서 활용된 시나리오는 기후변화 적응과 완화라는 두 축을 기반으로 한 공통 사회경제(SSP: Shared Socioeconomic Pathways) 경로임.
- 세계기후연구프로그램(WCRP)의 결합모형 상호비교 프로젝트(CMIP)에서는 IPCC 평가 주기에 맞추어 지구 시스템형을 이용한 기후변화 시나리오 기반 미래 예측 결과와 현재까지의 변화 재현 결과를 연구자들에게 제공하고 있으며, 여기에는 전세계 약 16개 나라 50여 개 모델링팀이 참여하고 있음.
- 우리나라에서는 기상청, 서울대학교, 한국해양과학기술원 등이 제6차 결합모형 상호비교연구

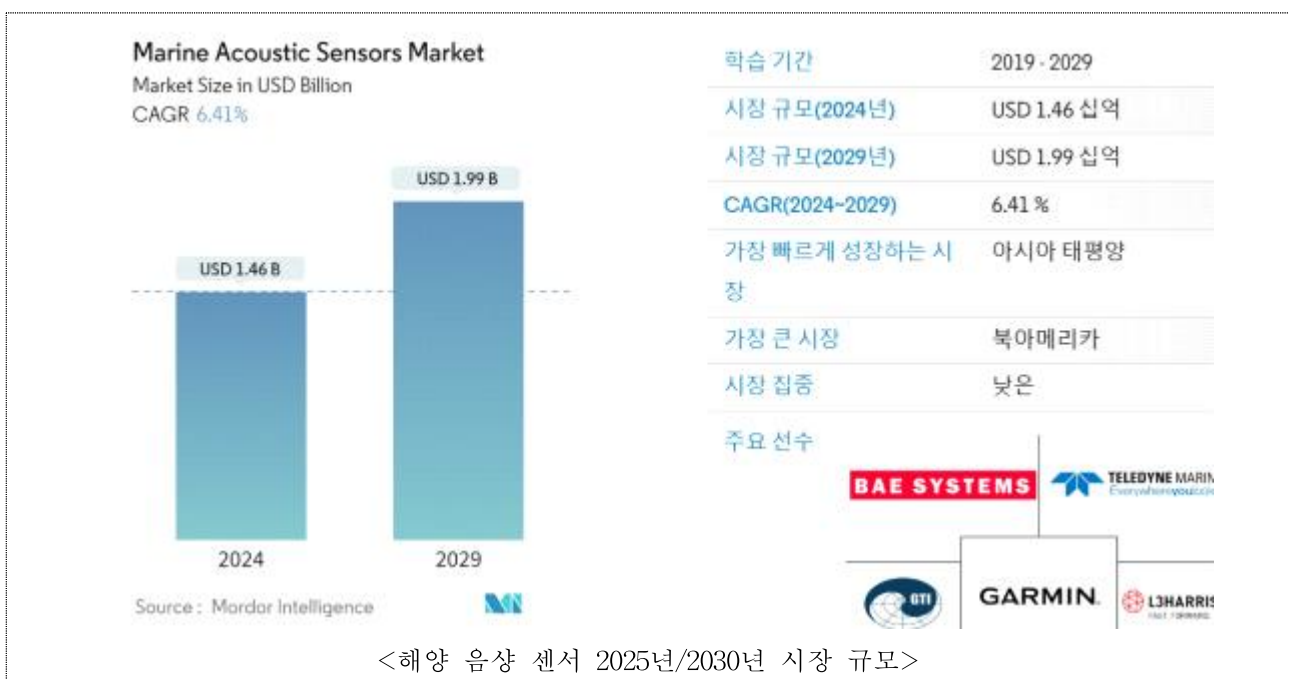
과제(CMIP6, 2014~2023)에 지구시스템모형 결과를 출품하였으며, 이제는 CMIP7 (2023~)을 준비해야 하는 시점임.

- 해양 온난화와 같은 장기 변화 추세에 더불어 해양열파(고수온), 해양한파(저수온), 태풍 등의 이상기후 발생 빈도나 강도 증가로 기후재해 발생 위기도 급증하고 있음. 이런 이상기후 현상은 장기 전망도 중요하지만, 계절 및 중기 전망의 정확도에 따라 대응 가능성이 달라지며 피해 예방 효과도 크며 해운, 신재생에너지, 연안 침식, 침수/범람 등은 해상공, 파랑, 해류, 일조량 등의 계절 변동성 크기와 극한 변동성에 따라 효율과 생산성 그리고 피해 규모가 크게 영향을 받음.
- 양식산업 및 수산업도 여름철에는 고수온, 저염분, 저(빈)산소, 겨울철에는 저수온 등의 발생 빈도와 강도에 영향을 받는다. 계절 예측 또는 3~12개월 정도 규모의 중장기 변동성을 예측하는 것은 3~10일 정도의 단기 예측과 이산화탄소 배출 시나리오를 기반으로 하는 장기 예측하기에 놓여 있는 도전적인 과제로서, 무엇보다 해양의 장기기억력에 대한 의존도가 높음. 자연생태의 식물플랑크톤 계절생태 역시 수온과 일조량 그리고 영양염 공급 수준에 따라 춘계 및 추계의 변성 시작 및 종료 시기, 변성강도, 지속기간 등의 변화와 일차생산 변화를 유발하고 먹이망을 교란하며 상위생태계 및 수산자원 변동으로 전파될 가능성이 높으므로 중기 전망은 매우 중요함. 하지만 해양환경 변수의 중장기 예측을 위한 과학적, 정량적 예측성이 단거나 장기 예측보다도 상대적으로 낮으므로 이의 예측성을 높이기 위해서는 지구시스템 모형과 같은 역학 모형뿐만 아니라 통계모형의 개발 및 활용이 필수적이며, 최근에는 이들을 조합하거나 더 나아가 인공지능 기반 융합 예측 기술개발과 활용으로 확장 추세임.



아. 해양 음향센서 시장

- The Marine Acoustic Sensors Market size is estimated at USD 1.55 billion in 2025, and is expected to reach USD 2.12 billion by 2030, at a CAGR of 6.41% during the forecast period (2025-2030). 해양 음향센서는 다양한 선박 유형의 소형 장치에서 실시간 데이터 수집 및 환경 모니터링에 사용됨. 이러한 장치는 다양한 용도로 다양한 형태로 제공되며, 해양 음향센서는 해양생물 탐지, 모니터링 및 기타 목적으로 사용됨.
- 최근 지능형 업무 기술혁명 개념으로 사물인터넷(IoT) 기술이 제시되고 있음. 해양 산업은 음향센서 기술 애플리케이션의 급속한 증가와 저가형 컴퓨팅 구성 요소의 기능으로 인해 광범위한 기회에 접근할 수 있게 될 것임.
- 도크는 글로벌 해양 기술에 IoT가 빠르게 도입됨에 따라 클라우드 기반 IoT를 지원하기 위해 단독 네트워크에서 전 세계적으로 지원되고 있음. 지능형 스마트 포트는 모든 장치가 IoT 스마트 포트를 통해 연결되어 완전 자동화된 것으로 설명할 수 있음. 이는 스마트 포트의 중앙 인프라를 구성하는 음향센서 및 무선 장치를 포함한 지능형 센서 네트워크로 구성됨.
- 군함, 잠수함, 선박을 보호하고 실시간 상황 인식을 제공하는 기술 기반 음향센서가 증가하면서 예측 기간 시장 성장이 가속화되고 있음.
- 해양 음향 센서를 사용하면 신호 처리와 센서 기능을 하나의 제품에 통합할 수 있음. 그러나 음향 센서는 부적절한 안정성 및 신뢰성과 같은 운영 문제에 직면하여 채택 증가에 영향을 미침.
- 완전 자율 선박 확장을 위해 전 세계 주요 조선소 및 시스템 개발자의 R&D 활동에 대한 투자가 증가함에 따라 해양 음향센서에 대한 필요성이 증가했음. 자율 선박은 해양 산업을 위한 지속 가능하고 안전하며 효율적인 프로세스 모드로 출시될 것으로 예상됨.



자. 빅데이터 시장

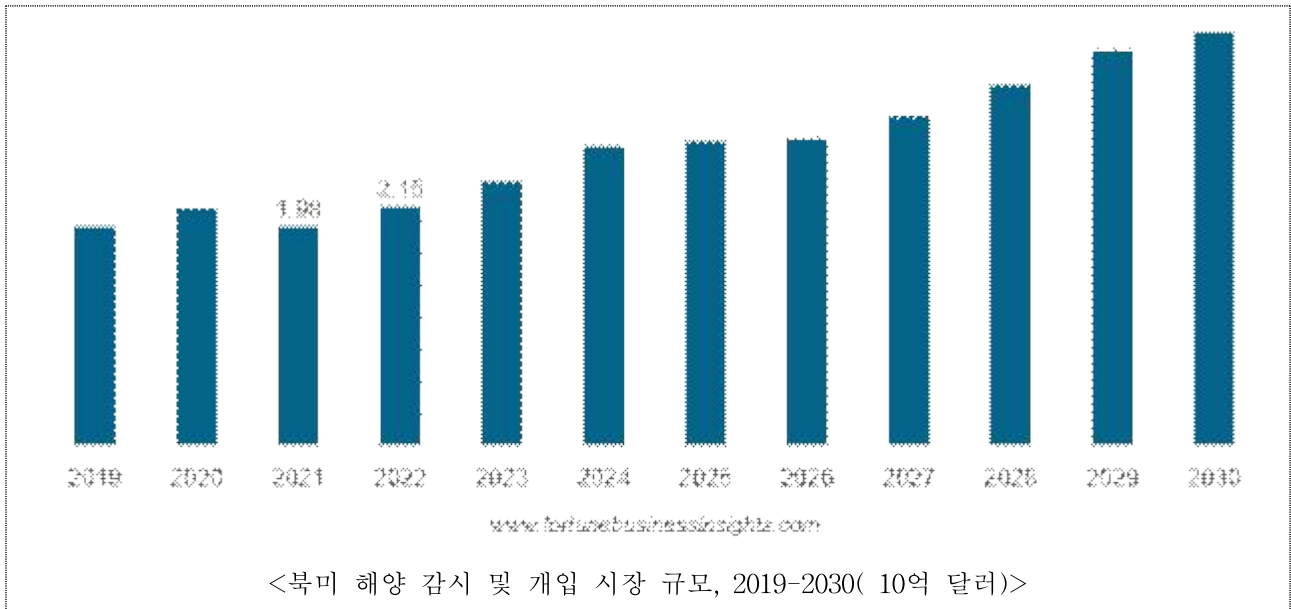
- 빅데이터 기술은 해양 변동성 감시와 같은 대규모 데이터 관리 및 분석이 요구되는 분야에서 중요한 도구로 자리 잡고 있음. 기후변화와 해양 환경변화로 인한 생태계 및 경제적 영향이 증가하면서 빅데이터 기반 해양 데이터 수집 및 분석 기술은 세계시장에서 점점 중요한 역할을 하고 있음.
- 빅데이터는 위성 관측, 드론, 글라이더, 부이 및 해양 센서를 통해 수집된 방대한 데이터를 실시간으로 처리해 해양 변동성의 패턴을 파악하고 이상 기후 및 재난을 예측하는 데 사용됨. 이는 태풍 및 해일 예측, 해양 산성화와 같은 생태계 변화 감시, 불법 어업 활동 모니터링 등 다양한 해양 문제해결에 기여함.
- 빅데이터 기반 해양 감시 시장은 2023년 약 5억 달러 규모였으며, 연평균 성장률 10.5%로 2028년까지 약 8억 2천만 달러에 이를 것으로 예상됨. 기후변화 대응을 위한 국제협력, 첨단 해양 데이터 기술의 발전, 정부 및 민간 기업의 데이터 중심 정책이 시장 성장을 이끄는 주요 요인임. 북미는 해양 관측 및 감시를 위한 최대 시장으로 거대 기술중심 기업과 연구소가 기술개발을 주도하고 있으며, 아시아-태평양 지역에서는 중국, 한국, 일본이 해양 자원 활용 및 해양 오염 관리에서 빅데이터 기술을 활발히 활용하고 있음. 유럽은 지속 가능한 해양 관리 정책을 통해 데이터 기술 도입을 확대하고 있음.
- 빅데이터 기술의 핵심은 위성, 드론, 부이를 통해 수집된 데이터를 하둡 기반 플랫폼에서 분석하고 AI 기반 예측 모델로 해양 변동성을 실시간으로 분석하는 것임. 클라우드 인프라는 대규모 데이터 저장과 처리를 가능하게 함. 주요 기업으로는 하둡 기반 데이터 분석 플랫폼을 제공하는 클라우데라, 해양 데이터 관리와 분석을 위한 AI 및 클라우드 솔루션을 제공하는 IBM, 위성 데이터를 활용한 해양 변화 감시를 전문으로 하는 플래닛랩스, GIS 기술을 활용해 해양 데이터를 시각화 및 분석하는 ESRI 등이 있음.
- 빅데이터 기술은 해양 기후변화 감시, 지속 가능한 어업 및 에너지 자원 탐사, 태풍 및 해양 오염 사고 대응 등 다양한 분야에서 혁신을 지원함. 예를 들어, 해양 온도 변화와 산성화를 분석해 기후변화의 장기적 영향을 예측하고, 실시간 데이터 분석으로 재난 관리 체계를 강화함.
- 빅데이터 기반 해양 감시 시장은 AI와 클라우드 기술과의 융합을 통해 지속해서 성장할 것으로 전망됨. 글로벌 기후 협약과 환경 보호 정책에 따라 공공 및 민간 투자가 증가할 것으로 예상됨. 그러나 데이터의 표준화 부족, 보안 문제, 고급 센서 및 분석 인프라 구축 비용 등은 해결해야 할 과제로 남아있음.
- 빅데이터 기술은 해양 변동성 감시에서 필수적인 도구로, 기후변화 대응과 해양 자원의 최적화를 통한 지속 가능한 발전에 기여하고 있음. 정부와 민간 기업의 협력을 통해 데이터 기반 해양 관리가 더욱 강화되며, 혁신적인 해양 관리 솔루션을 제공할 새로운 기회를 열어가고 있음.

○ 빅데이터 및 인공지능 활용

- 빅데이터 분석 기술 발전은 국내 데이터 산업 시장 규모는 2017년 6조 5,000억 원에서 2018년 6조 9,862억 원으로 성장하며 연간 성장률 6.4%를 기록하였음. SKT는 하둡(Hadoop)을 포함한 빅데이터 분석 기술을 대규모로 도입하여 기존 서버 40대를 1,100대로 확충하였고, 데이터 분석 시스템으로 임팔라(Impala)와 타조(Tajo)를 활용하였음.
- 해양 관측에서의 AI 활용은 2020년부터 2022년까지 진행된 "북극 해빙 예측 시스템" 프로젝트는 인공지능을 이용해 6개월 후 북극 해빙 농도를 98% 정확도로 예측할 수 있는 모델을 구축하였다. 이는 과거 40년의 해빙 데이터를 기반으로 AI와 결합한 결과로, 기후변화 연구의 새로운 지평을 열었음.

차. 해양 감시 기능 로봇 시장

- 로봇 기술 채택이라는 새로운 추세로 인해 고급 자율 수중 차량의 개발이 증가했음. (AUV) 및 수중 개입 차량. 이 로봇 차량은 감시 기능을 한 단계 더 발전시킴. 이러한 솔루션은 고품질 카메라, 고급 센서, 레이저 프로파일러 등과 같은 고급 전자 부품으로 구성됨.
- 예를 들어 Kongsberg Gruppen ASA는 자율 수중 차량인 Hugin과 Hugin Superior라는 다른 업데이트 버전을 설계했음. 이 시스템은 상업용은 물론 국방용으로도 사용할 수 있음. 국방 분야에서는 정보, 감시, 정찰(ISR), 신속한 환경 평가, 지뢰 대책 등의 애플리케이션에 사용됨.
- 해상 감시 및 개입 솔루션에 대한 수요를 촉진하기 위해 해양 안전 및 보안 강화에 중점을 두고 있음.
- 해상 운송의 증가로 바다에 다양한 무역선이 존재하게 되었고, 동시에 전 세계적으로 해양 범죄율도 증가했음. 이에 따라 불법 이민, 불법 복제, 밀수 등과 같은 해양 범죄 활동을 방지하기 위한 MSI 솔루션의 채택이 촉발되었음. 게다가, 국제적인 압력과 테러 활동이 심화되면서 국가의 해양 복지와 안보를 강화하기 위해 MSI를 선택하게 되었음. 이는 해양 감시 및 개입 시장의 성장을 담당하는 개발 요소임.
- 성장을 돕기 위해 최적화된 감시 및 개입 시설을 제공하기 위한 업그레이드된 해상 감시 및 개입 항공기 개발 열화상, 자동 식별 시스템 등 추세를 선도하는 혁신 기반 프레임워크, 위성 레이더, 수중 로봇 시스템, 장거리 식별 및 추적 장치는 해상 정찰 및 보안 활동의 역량을 향상 시키기 위해 활용됨. 이러한 방식으로 정찰 프레임워크를 조정한 획기적인 해양 감시 및 개입 항공기에 관한 관심이 확대되고 있음. 이 비행기는 일반적으로 해상 개발을 감시하기 위해 만들어졌으며 센서 프레임워크가 불법적인 움직임을 인식하면 해당 사항을 추가로 처리하기 위해 해양법 시행 그룹에 바로 전송됨. 예를 들어, Saab AB가 제작한 해상 감시 항공기는 보호, 불법 이민 통제, 수색 및 구조 작업, 해안선 감시, 경제 구역 모니터링 등 다양한 작업에 활용됨.



카. 해양 변동성 감시플랫폼 서비스 시장

- 해양 변동성 감시는 기후변화, 해양생태계 보호, 재난 관리 및 해양 자원 개발에 필수적인 요소로, 이를 효과적으로 수행하기 위해 대규모 데이터 처리와 실시간 분석 능력을 갖춘 플랫폼 서비스가 요구됨. 국내에서는 이러한 요구를 충족하기 위해 2010년대 중반부터 대규모 데이터 플랫폼 기술개발과 적용이 본격화됨. 특히, 데이터 처리와 분석 기술을 활용한 플랫폼의 시행 시기는 2015년을 기점으로 하여 지속해서 확장되고 있음.
- 대표적인 사례로는 SK텔레콤이 2017년부터 시작한 빅데이터 활용 시스템 구축이 있음. 이 시스템은 통신으로부터 발생하는 대규모 데이터를 효과적으로 수집하고 분석하기 위해 오픈소스 기반의 기술을 적극적으로 활용하였음. SK텔레콤은 기존 40대였던 하둡(Hadoop) 서버를 1,100대로 대폭 확장하였으며, 데이터의 실시간 처리와 관리 효율성을 높이기 위해 주키퍼(Zookeeper), 플럼(Flume), 스톰(Storm), 스파크(Spark) 등의 기술을 도입하였음. 이에 따라 초당 약 1,000만 건 이상의 데이터를 안정적으로 처리할 수 있는 역량을 확보하였음.
- 또한, SK텔레콤은 SQL on Hadoop 기술을 활용하여 기존의 하이브(Hive)뿐만 아니라 임팔라(Impala)와 타조(Tajo)와 같은 고성능 분석 도구를 2018년부터 도입하였음. 이를 통해 데이터 처리 속도가 기존 대비 약 30% 이상 향상되었으며, 대규모 데이터를 더욱 신속하고 정확하게 분석할 수 있는 환경이 마련되었음. 이러한 기술은 해양 데이터를 분석하는 데도 효과적으로 활용될 수 있음. 예를 들어, 실시간 해양 데이터 분석을 통해 기후변화의 영향, 해양생태계의 변화 및 해양 사고 대응을 더 신속하게 수행할 수 있음.
- 해양 변동성 감시플랫폼은 방대한 양의 해양 자료(수온, 염도, 해류, 파고 등)를 수집하고 분석하여 예측 모델을 개선하고 해양 자원의 효율적 관리를 가능하게 함. 이러한 플랫폼은 위성, 부이, 연구선 등 다양한 데이터 수집 장비로부터 데이터를 받아 이를 실시간으로 통합하고 분석하는 기능을 포함함. 국내에서는 하둡 기반의 분산 컴퓨팅 기술과 스파크를 활용하여

실시간 데이터 처리와 분석을 구현하고 있으며, 이러한 기술은 해양환경 변동성을 더욱 정밀하게 모니터링할 수 있는 기반을 제공함.

- 특히, 해양 분야에서의 빅데이터 활용은 데이터 분석을 통해 태풍, 해일, 지진해일과 같은 자연재해를 사전에 예측하거나 대응 계획을 수립하는 데 중요한 역할을 함. 2022년부터 해양 분야에서 데이터수집 및 분석 자동화를 위한 클라우드 기반 시스템의 도입이 확대되었으며, 이를 통해 평균 데이터 처리 속도는 약 20% 향상되었음. 현재까지 구축된 시스템은 초당 최대 500GB 이상의 데이터를 처리할 수 있는 성능을 가지고 있으며, 이러한 기술은 해양 데이터를 신속하게 분석하고 시각화하여 의사결정에 실질적인 도움을 줄 수 있음.
- 향후 국내 플랫폼 서비스는 해양 변동성 감시 분야에서 기후변화 대응과 재난 관리의 핵심 요소로 자리 잡을 것으로 예상됨. 이를 위해 2025년까지 데이터 수집 장비의 네트워크를 기존 대비 50% 확장하고, 클라우드 기반의 데이터 저장소를 활용한 실시간 분석 시스템을 구축할 계획임. 또한, 고성능 분석 기술 및 실시간 데이터 시각화 기술의 접목을 통해 해양 데이터를 더욱 직관적으로 활용할 수 있는 환경이 마련될 것임. 이러한 기술적 진보는 국내 해양 변동성 감시 능력을 국제적 수준으로 끌어올리고, 기후변화와 해양 재난에 대한 대응력을 강화하는 데 기여할 것임.



3. 기술 (R&D)동향 및 전망 분석

3.1 기수행된 연구개발 사업과 중복성 검토

가. 기관 고유사업과의 중복성

- 북극 해양-해빙 변동에 기인한 북극과 한반도의 재해기상 현상 모델링 시스템 (2020~2023)
 - 북극 해빙과 해양 변동이 한반도의 재해가뭄에 미치는 영향을 모델링하여 예측하는 시스템을 개발하는 것이 기존 연구의 주요 목표였음. 이 연구는 관측망 구축보다 모델링에 초점을 맞추고 있어, 해양환경 변동과 관련된 관측망 구축의 기술적 요구와 중복될 가능성이 큼. 그러나 본 연구는 관측망 자체의 설계와 운영을 중점적으로 다루므로 기존 연구와 차별화할 여지가 있음. 이를 위해 관측 데이터를 실시간으로 활용할 수 있는 체계 구축과 극지 생태계 및 해양환경에 대한 직접적인 적용 가능성을 강조해야 함. 또한, 예측 모델과 관측망의 통합 운영 방안을 추가하여, 관측망에서 수집한 데이터를 모델링에 효과적으로 활용할 수 있는 방법론을 포함할 필요가 있음.
- 남극 기후 환경 변화 이해와 전 지구 영향 평가 (2020~2025)
 - 남극 기후변화의 주요 요인을 분석하고 그 결과를 글로벌 수준에서 평가하는 것이 기존 연구의 목표였음. 남극 지역에서의 관측 및 기후변화 요인 분석이라는 측면에서 본 연구와 중복 가능성이 존재함. 그러나 본 연구는 남극뿐만 아니라 북극을 포함하여 양극 지역의 관측망을 통합적으로 다루며, 이를 통해 지역적 차별화를 시도할 수 있음. 특히, 기후변화 요인 외에도 해양생태계와 물리적 환경의 변동성을 감시하는 새로운 연구 영역을 추가하여 차별화해야 함.
- 극지 대기 및 기후변화 연구 (2006~2010)
 - 극지 대기 및 기후변화 연구(COMPAC) 연구는 남극과 북극에서 대기 및 기후변화와 관련된 자료를 수집하고 분석하는 것을 목표로 했음. 이 연구는 극지 환경에서 관측자료를 수집하는 기술적 측면에서 본 연구와 상당히 유사한 부분이 많음. 그러나 관측망 기술을 현대화하고 무인 플랫폼을 활용한 새로운 기술을 도입함으로써 본 연구는 기존 연구와 차별화할 수 있음. 특히, 해빙, 해수면 온도 및 염분 변화 등 해양 중심 데이터를 수집하여 기존 연구보다 확장된 관점에서 연구를 수행하는 것이 중요함.

나. 국가연구 사업과의 중복성

- 급격한 남극 빙상 용융에 따른 근미래 전지구 해수면 상승 예측기술 개발 (2023~2025)
 - 이 연구는 남극 빙상의 용해로 인해 발생하는 근해 및 전지구 해수면 상승을 예측하기 위한 기술을 개발하는 데 중점을 두고 있음. 본 연구와 비교했을 때, 해빙과 해양환경변화를 감시하고 데이터를 활용한다는 점에서 유사성이 존재함. 그러나 기존 연구는 예측 기술에 초점을 맞추지만, 본 연구는 관측망의 구축 및 운영에 중점을 두고 있다는 점에서 차별화할

여지가 있음. 본 연구는 생태계 및 환경 변동성 감시에 초점을 맞추고, 예측보다는 관측 데이터의 실시간 활용성과 극지 환경에 대한 직접적인 적용 가능성을 강조할 수 있음.

○ 북극해 온난화-해양생태계 변화 감시 및 미래전망 연구 (2021~2026)

- 이 연구는 북극 해양환경변화에 대한 관측과 예측을 통해 지역적 응답을 분석하는 데 목적을 두고 있음. 본 연구와 비교하면 관측 및 예측이라는 초점이 중복될 가능성이 높다. 그러나 본 연구는 북극뿐만 아니라 남극을 포함한 양극 지역의 종합적 관측망 구축과 상호작용 연구를 포함하여 기존 연구와 차별화할 수 있음. 특히, 기후변화뿐만 아니라 해양생태계와 물리적 환경의 변동성 감시를 강화하는 방향으로 연구를 진행할 수 있음.

○ 무인기 획득 영상 기반 빙하 모니터링 기술 연구 (2019~2023)

- 이 연구는 무인기를 활용하여 빙하를 모니터링하는 기술을 개발하는 데 초점을 두고 있음. 본 연구와 비교하면 관측기술 개발이라는 점에서 기술적 중복 가능성이 존재함. 그러나 본 연구는 무인기뿐만 아니라 위성, 해양부이 등 다양한 플랫폼을 통합하여 관측망을 설계하고 운영하는 방안을 제시함으로써 기존 연구와 차별화를 꾀할 수 있음.

○ 서남극 스웨이트 빙하 돌발붕괴의 기작규명 및 해수면 상승 영향 연구 (2019~2023)

- 이 연구는 서남극 빙하의 돌발 붕괴 메커니즘을 규명하고, 이로 인한 해수면 상승의 영향을 분석하는 것을 목표로 함. 본 연구와 비교했을 때 빙하 붕괴와 환경 영향 분석이라는 초점에서 중복 가능성이 존재함. 그러나 본 연구는 붕괴 메커니즘보다는 관측망 운영과 생태계 및 환경 변동성에 중점을 두어 기존 연구와의 차별화를 이룰 수 있음.

다. 일반수탁사업과의 중복성

○ 기후변화에 의한 북극 동토 생태계 생지화학적 변화 이해(2021~2024)

- 이 연구는 북극 동토 생태계의 변화를 관측하고 그 변화를 이해하는데 초점을 맞추고 있음. 본 연구와의 중복 가능성은 기후변화 관측이라는 공통된 목표에서 발생하지만, 기존 연구는 북극 지역에 국한되고 특정 협력국 간의 관측 데이터 교환 및 분석에 집중하고 있음. 반면, 본 연구는 북극과 남극을 아우르는 종합적인 관측망을 구축하여 극지 전체의 변동성을 연구한다는 점에서 차별화됨. 특히, 본 연구는 관측망의 물리적 인프라뿐만 아니라 데이터 통합 플랫폼의 개발과 실시간 분석 기술을 포함하여 다양한 이해관계자와의 협력을 통해 데이터를 정책과 산업에 활용하도록 설계됨.

○ 남극특별보호구역 모니터링 및 남극기지 환경관리에 관한 연구 (2022~2024)

- 이 연구는 남극특별보호구역에서 환경 관리와 모니터링을 수행하며, 특정 지역에 초점을 맞추고 있음. 본 연구와의 중복 가능성은 관측 및 환경관리라는 기술적 접근에서 나타날 수 있음. 그러나 본 연구는 특정 보호구역에 국한되지 않고 극지 전반의 환경 변동성 감시를 목적으로 하며, 관측 대상 또한 물리적 환경뿐 아니라 해양 화학적 변화, 해빙과 해류의 물

리적 동태, 생태적 반응 등을 다룸. 따라서 본 연구는 지역적 한계를 넘어선 글로벌 차원의 환경 변동성 감시 및 이를 활용한 다양한 정책 및 산업적 활용 방안을 제공한다는 점에서 기존 연구와 차별화됨.

○ 해빙 해역의 수중음향 장기 관측자료 획득 (2023~2026)

- 이 연구는 특정 해저 지역의 수중 환경을 장기적으로 관측하여 자료를 축적하는 데 초점을 맞춤. 본 연구와는 장기 관측이라는 측면에서 유사점이 있지만, 기존 연구는 특정 지역에 국한된 데이터를 수집하는 데 중점을 둠. 반면, 본 연구는 극지 전반에 걸쳐 물리적, 화학적, 생물학적 데이터를 통합적으로 수집하여 이를 실시간으로 분석하고 글로벌 데이터베이스에 활용할 수 있도록 설계하는 점에서 차별화됨.

○ 남극 해양조사 및 해도제작 (2022~2025)

- 이 연구는 남극 지역에서의 해양조사와 해도 제작을 수행함. 본 연구와는 해양 데이터 수집 및 활용이라는 점에서 유사성이 있으나, 기존 연구는 남극 지역에 국한되며 특정 데이터 제작에 중점을 둠. 반면, 본 연구는 극지 전역에서 데이터를 통합적으로 수집하고 이를 통해 해양환경 변동성을 실시간으로 감시하며, 정책적 및 산업적 활용으로 연결되도록 설계됨.



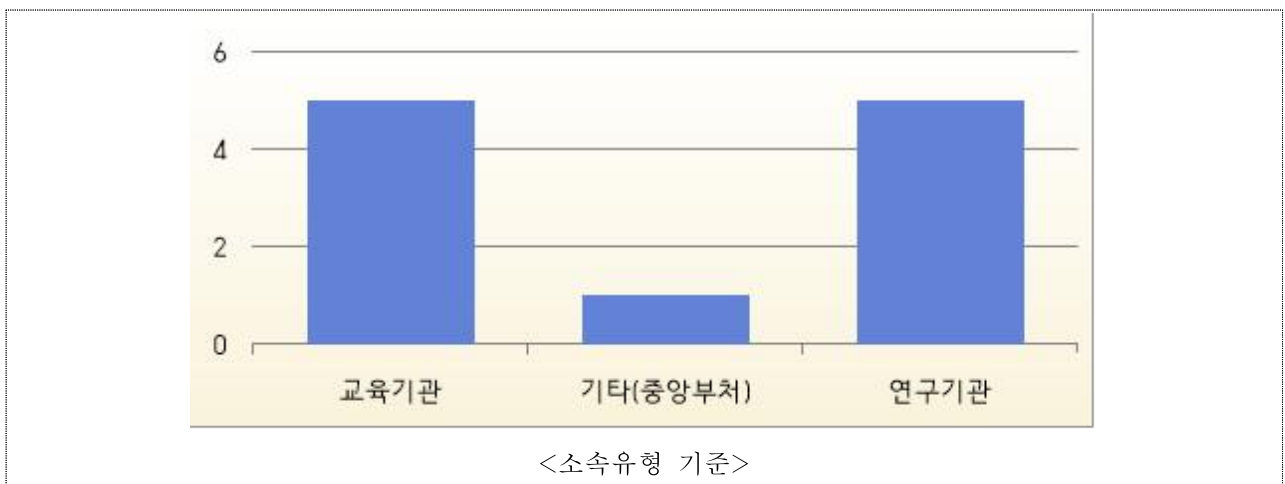
4. 국내수요자 기술수요조사 및 분석

4.1 기술수요조사 응답자 현황

■ 기술 수요조사 응답자 현황

성명	소속	직위	소재지	소속 유형
OOO	경북대학교	조교수	대구	교육기관
OOO	국립환경과학원	연구사	인천	연구기관
OOO	한국해양과학기술원	연구원	부산	연구기관
OOO	국립수산과학원	연구사	부산	연구기관
OOO	국립해양조사원	실장	부산	연구기관
OOO	부산대학교	조교수	부산	교육기관
OOO	국립해양조사원	연구사	부산	기타(중앙부처)
OOO	광주과학기술원	교수	광주	교육기관
OOO	강원대학교 지구물리학과	조교수	춘천	교육기관
OOO	동아대학교	조교수	부산	교육기관
OOO	국립해양생물자원관	실장	서천	연구기관

- 이번 기술 수요조사에서는 다양한 소속과 직위를 가진 응답자들의 의견이 반영되었다. 응답자는 교육기관, 연구기관, 기타(중앙부처) 소속으로 분류되며, 교육기관과 연구기관 소속 응답자가 큰 비중을 차지함. 이는 학문적 연구와 실무적 전문성을 바탕으로 한 균형 잡힌 의견이 수렴되었음을 보여줌.
- 직위별로는 조교수, 교수, 연구사, 실장 등이 포함되었으며, 주요 직위는 조교수와 실장이 중심을 이루었음. 이러한 직위 분포는 교육 및 연구 현장의 전문성과 실무 경험을 아우르는 의견 수집을 가능하게 하였음.



- 이번 조사에 반영된 응답자들의 정보는 다양한 소속유형과 직위를 포함하며, 기술 수요와 현장의 필요성을 폭넓게 반영할 수 있는 기반을 제공하였음. 이를 통해 보다 포괄적이고 실질적인 연구개발 방향 설정이 가능할 것으로 기대됨.

4.2 기술수요조사 결과

4.2.1 주요 이슈 및 문제점

1) 응답자 1

○ 주요 이슈 및 문제점

- 극지는 기후변화가 지구 및 해양환경에 미치는 영향이 가장 첨예하게 나타나는 해역임. 계절적, 연간 변동성이 크고, 실시간으로 변해 가는 극지 환경을 파악하기 위해서는 주요 연구 정점에서의 실시간/장기간 모니터링 연구가 필요함.
- 극지는 접근성이 매우 어렵기 때문에 하계에 한정해서 데이터를 획득해야 하는 어려움이 있음. 데이터의 부족과 불균형으로 인하여 극지해역의 자료는 지역적으로 매우 편향되어 있어서 단기적인 변화와 장기적인 추세를 구분하여 변동 추세를 파악하는 것은 매우 어려움.

○ 향후 개선 방향

- 중장기, 시계열 관측 연구가 필요함. 특히 해빙으로 인해 연간 접근이 제한적인 극지방에서는 장기 모니터링정점을 꾸준히 운용하며, 핵심 기후변수(수온, 염분, 해빙, 탄소, 영양염 등)를 중장기 관측하는 것이 필수적임.
- 핵심 기후변수를 지속적으로 관측할 수 있는 중장기 관측망의 구축이 필요함.
- 극지해역의 극한 기후환경 조건은 장비의 설치와 유지보수를 어렵게 하므로 수중드론, 글라이더, ROV & UAV 등과 같은 새로운 기술이 도입됨에도 불구하고 연중 활용하기에 어려움이 있음. 따라서 다양한 장비 도입과 지속적인 데이터 보정을 통해서 품질과 신뢰성 개선이 필요함.
- 극지해역은 극지데이터를 공유하거나 협력 연구를 진행하는 것이 제한이 있으므로 국제 네트워크를 활용한 자료 공유 등이 개선점으로 생각됨.

2) 응답자 2

- 탄소중립 및 온실가스 감축목표(NDC) 이행을 위하여 온실가스 배출량을 산정으로 인류 활동으로 야기된 지구온난화가 극지 생태계를 위협하고 있음.
- 블랙카본은 화석연료, 바이오 연료가 불완전 연소될 때 발생하는 물질로서 국내 산업부분에서 배출되는 상당량이 대기 중에 오랜시간 떠다니면서 극지로 유입되어 극지 생태계에 큰 영향을 끼치고 있음.
- 최근 청정지역인 북극해에서도 과불화화합물, 미세플라스틱 발견이 보고되고 있음.
- 과불화화합물(PFAS) 중에서도 과불화옥탄산(PFOA), 과불화옥탄술폰산(PFOS)은 산업계에 그 사용을 자발적으로 폐지하고 있으나 여전히 환경에 잔류함.

3) 응답자 3

- 기후변화의 민감해역이자 완충지대인 극지 해양의 탄소순환, 온난화로 인한 빙하, 유빙 및 해양 물성 환경변화, 기후변화 관련 해양 일차생산 인자 등의 시공간적 변동성 등에 대한 고정관측점에서의 정기적/중장기 모니터링 부재
- 일회성, 또는 특정 시기 지역적 사례연구가 아닌, 극지와 지구 기후 미래변화 예측을 위한 기후 상태와 추세 진단을 위한 다양한 물성/일차생산 관련 인자/외부 물질 유입에 대한 고정관측점에서의 중장기적 추세 변동성 연구 필요

4) 응답자 4

- 해양온난화에 따른 빙붕/해빙 면적 감소 및 용해수 유입
- 극지 연구는 높은 전문성이 요구되지만, 해당 분야의 전문 인력 부족
- 극지 연구에 대한 예산과 지원이 다른 주요 연구국 대비 부족한 상황
- 해양온난화에 따른 심층수 생성 기작 변화
- 극지 환경 모니터링을 위해 첨단 장비와 기술이 필요하지만, 국내 연구 장비 및 인프라는 여전히 제한적이며, 극한 환경에서 장기간 안정적으로 데이터를 수집할 수 있는 기술과 시설이 부족

5) 응답자 5

- 극지 기후변화의 가속화
- 극지방은 지구 평균보다 2배 이상의 빠른 온도 상승
- 해빙 감소와 해양 순환 변화가 전 지구 기후시스템에 중대한 영향 미침
- 해양 물리 환경의 변화
- 해수 온도 상승, 염분 변화, 해류 패턴 변화 관측
- 지역 생태계와 전 지구 해양 순환에 영향
- 데이터 공백과 관측체계 부족
- 지속적이고 정밀한 관측 데이터 부족, 기후 및 해양물리 변화 평가 어려움

6) 응답자 6

- 남빙양 기후변화 모니터링을 위한 수중 계류 확대와 음향 통신을 활용한 (준)실시간 자료 획득 기술 활용
- 남빙양의 변화는 ENSO를 통한 원격상관 및 장시간에 걸친 직-간접적 해양순환을 통해 우리나라 기후 및 북태평양 해양환경에 영향을 끼친다고 알려졌으나, 남빙양의 변화를 연속적

으로 파악할 수 있는 중-장기적인 관측 체계가 부재함.

- 전 지구적 온난화로 인해 극지해환경 뿐 아니라, 남빙양-태평양, 남빙양-대서양, 남빙양-인도양의 역학관계가 변화가 나타날 수 있음. 그러나 현 단계의 수중계류 관측은 충분한 자료를 제공하지 못하는 실정으로, 특히, 여름철을 제외한 기간에 일어나는 남빙양 수중 변화는 거의 관측되지 못하고 있음.
- 최신의 음향활용 계류관측기술은 수층의 물성별 수온 변화를 장기간 모니터링에 활용될 수 있고, 음향수중통신기술을 활용한 (준)실시간 자료 획득이 가능하여, 연중관측과 (준)실시간 관측자료 획득을 할 수 있음.

7) 응답자 7

- 극지 해양환경 연구는 지구 시스템 내 중요 역할을 하는 극지 해양 변화 이해를 위해 필수
 - (지구온난화 영향 관측) 극지 해역은 지구 온난화로 인한 변화가 가장 빠르게 나타나는 지역으로, 해빙 감소, 빙하 후퇴, 해수 온도 상승 등의 현상이 급격하게 진행되고 있음. 이러한 변화는 전 지구적 해수면 상승, 해양생태계 변화, 그리고 기후시스템에 심대한 영향을 미침.
 - (탄소·열 흡수 핵심 지역) 극지는 전 세계 탄소 및 열 순환에 중요한 역할을 하며, 특히 남극해는 인위적 탄소와 열의 상당 부분을 흡수함. 극지의 환경변화를 모니터링하지 않으면 이러한 역할이 어떻게 변하는지 알 수 없어 기후변화 모델의 정확도가 떨어질 수 있음.
 - (정책 및 기후 대응 전략 수립 지원) 극지 연구는 국가적 환경 정책 및 국제적 협약(예: 파리협정)에서 중요한 의사결정을 지원함. 장기적인 관측자료는 미래 기후변화 시나리오를 예측하고 효과적인 대응 방안을 마련하는 데 필수적임.
- 기술적 한계, 인프라 부족, 재정 및 인력 부족 등
 - (기술적 한계) 극한 환경에서도 장기적으로 안정적인 관측 장비의 추가 확보가 요구됨. 또한, 실시간 데이터 전송 기술의 개발 및 적용이 필요함.
 - (인프라 부족) 관측 장비의 다양성과 확장성이 제한적이며, 극지 해역을 장기간 조사할 수 있는 선박, 관측기지 등 물리적 인프라가 부족한 실정이라 충분히 확보할 필요가 있음.
 - (재정 및 인력 부족) 극지 연구에 투입되는 예산과 전문 인력이 상대적으로 부족함. 다학제적 연구를 위한 협력 네트워크가 제한적임.
- 연구·관측 운영에 연구결과 신뢰성 저하, 연구 공백 발생, 국제경쟁력 약화 등 부정적 영향을 미칠 수 있음.
 - (신뢰성 저하) 자료 품질과 수집 주기의 제한으로 기후변화 모델 검증과 같은 핵심 연구에 제약이 발생할 수 있음.

- (연구 공백) 여름철 이외 계절에는 연구 및 관측이 중단되는 상황이 발생할 수 있음.
- (국제경쟁력 약화) 극지 연구는 다국적 협력과 경쟁이 심화되고 있는 분야로, 기술과 인프라 부족은 우리나라의 국제적 연구 기여도와 협력 기회를 감소시킬 수 있음.
- 기술적 개선, 인프라 확충, 자료 활용 체계 강화, 재정 및 인력지원 확대 필요함.
 - (기술적 개선) 극저온, 해빙 환경에서도 안정적으로 작동할 수 있는 장비 및 실시간 데이터 전송 기술 등 극지 적응형 관측시스템을 개발하고, 데이터 수집, 품질 관리, 분석 과정을 자동화한 시스템을 구축하여 인력 부담을 줄이고 효율성을 높임.
 - (인프라 확충) 장기적 관점에서 극지 연구를 위한 전용 선박 및 장기 관측기지를 확충하고, 다양한 장비를 활용한 다중 플랫폼 기반의 관측망으로 고도화할 필요가 있음.
 - (자료 활용 체계 강화) 통합 데이터 플랫폼을 개발하여 자료의 상호 운용성과 접근성을 강화하고, 인공지능(AI) 및 머신러닝 기반의 자료 분석 기술 도입을 검토할 필요가 있음.
 - (재정·인력 지원 확대) 극지 연구와 관련된 정부 예산을 확대하고, 장기적 재정 계획을 시급히 수립할 필요가 있음. 또한, 다학제적 연구를 위해 관련 전문 인력을 확보하고, 국내외 연구자 간 협력 네트워크를 강화시킬 필요가 있음.
 - (국제 협력 확대) 국제 연구기관과의 협약 등 협력체계를 강화하여 선진국과 기술 및 인프라를 공유하라 필요가 있으며, 자료 표준화를 통해 글로벌 기후 연구에서의 활용도를 제고할 필요가 있음.
- 관측 항목의 제한성, 해상도의 제한, 자료 수집 주기의 문제, 환경적 제약
 - (관측 항목 제한) 현재 관측되는 주요 항목(수온, 염분, 해류 등)은 기본적인 해양환경 변수에 집중되어 있지만, 극지 해양환경의 복잡성을 충분히 반영하기에는 부족함. 예를 들어, 해양생태계의 변화, 부유생물, 영양염, 그리고 빙권의 동적 변화(빙하 속도 등)와 같은 추가적인 변수들이 고려되지 않으면, 해양환경의 전체적인 변동성을 포괄적으로 분석하기 어려움.
 - (해상도의 제한) 현재 해상도는 극지 환경의 미세한 변화를 추적하기에 충분히 높지 않음. 특히, 해빙 및 유빙과 같은 복잡한 현상을 정확히 감지하기 위해서는 고해상도 관측이 필수적임. 예를 들어, 해빙 두께나 해양생물군의 변화를 고해상도로 추적할 수 있는 시스템이 부족하여 정확한 예측이 어려운 상황임.
 - (자료 수집 주기) 극지 해양환경의 변화는 빠르고 불규칙적이기 때문에, 현재의 데이터 수집 주기와 주파수는 변동성을 충분히 반영하지 못할 수 있음. 관측 주기가 길거나 데이터 전송에 시간차가 생기면 실시간 변화를 포착하기 어려워 기후 예측에 한계가 발생함.
 - (환경적 제약) 극지 환경은 접근이 제한되고 날씨나 해상 조건이 매우 가혹하여, 관측망의 지속적인 유지 및 운영이 어려움. 특히, 해빙과 유빙으로 인해 표층부이를 통한 실시간 관측이 불가능한 기간이 존재하여, 일부 계절에서는 중요한 데이터를 놓칠 수 있음.

- 다양한 관측 항목 추가, 고해상도 관측 기술개발, 자료 수집 및 전송 주기 단축, 자율적 운영 시스템 도입 등
 - (항목 추가) 해양생태계, 부유생물, 영양염, 빙하속도 등 추가적인 관측 항목을 도입하여 극지 해양환경의 변동성을 더욱 포괄적으로 감시할 필요가 있음. 해양 화학적 변수(예: 용존 메탄, 아산화질소)와 빙권 변수(예: 빙상 두께, 적설량 등)도 함께 관측하여 다양한 환경 요소들의 상호작용을 분석할 수 있어야 함.
 - (고해상도 관측) 극지 해역에서의 해양환경변화를 정확하게 추적할 수 있도록 해상도를 높은 센서와 장비의 개발이 필요함. 특히 해빙, 유빙, 빙하 등 동적 요소들을 세밀하게 관측할 수 있는 고해상도 위성 데이터 및 해양 관측 장비가 요구됨.
 - (자료 전송 시간 단축) 극지 해양환경은 급격히 변할 수 있으므로, 데이터를 실시간 또는 준실시간으로 수집할 수 있는 시스템을 마련해야 함. 수중 음향 통신, 위성통신 등을 활용하여 겨울철에도 수집되는 데이터를 빠르게 전송하고, 분석할 수 있는 능력을 갖추어야 함.
 - (자동화 시스템) 자동화된 시스템을 통해 극지 환경에서도 장기적으로 안정적인 관측이 가능하게 해야 함. 자율적인 운영 및 데이터 품질 보장을 위한 시스템을 구축하여, 인력의 부담을 줄이고 관측의 지속성을 높여야 함.
 - (협력적 연구 및 기술개발 강화) 다국적 협력 및 국제적인 연구기관과의 협력을 통해 기술개발과 장비 도입이 이루어져야 함. 각국의 기술과 자원을 공유함으로써 극지 연구의 범위와 정확도를 높일 수 있음.
- 정확한 기후 모델링 가능, 효율적인 기후변화 대응, 국제적 연구 리더십 강화, 기후 예측 및 대응능력 향상, 다학제적 연구 및 혁신 촉진 등
 - (정확한 기후모델링) 고해상도 관측과 다양한 변수들이 통합된 데이터를 기반으로 기후 모델을 더 정확하게 구축할 수 있음. 이는 미래 기후 예측의 신뢰성을 높이고, 극지 해양환경의 변화를 더 정확하게 전망할 수 있게 함.
 - (효율적 기후변화 대응) 극지 해양환경의 변동성에 대한 보다 정밀한 관측은 기후변화 대응 정책 수립에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있음. 극지 연구는 글로벌 해수면 상승, 해양생태계 변화 등 세계적인 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 하므로, 이를 해결하기 위한 전략을 효과적으로 설계할 수 있음.
 - (국제적 연구 리더십) 극지 해양환경 연구가 개선되면, 우리나라는 국제적인 극지 연구 분야에서 리더십을 강화할 수 있음. 이를 통해 국제 협력과 기술 교류의 기회를 확대하고, 연구의 영향력을 높일 수 있음.
 - (기후 예측 및 대응능력) 극지 해양환경의 정확한 데이터를 통해, 기존의 기후 예측 모델의 성능을 높일 수 있음. 또한, 예측 모델을 개선함으로써 기후변화의 영향을 더 잘 이해하고, 이를 바탕으로 정책적 대응을 강화할 수 있음.

- (다학제 연구 및 혁신)극지 연구가 발전함에 따라 다양한 분야(해양학, 기후학, 생태학 등)의 연구자들이 협력하게 됨. 이는 연구의 범위를 넓히고 혁신적인 방법론과 기술을 개발하는 데 기여할 것임.

8) 응답자 8

○ 전지구적 기후변화와 북극해의 역할

- 북극해는 기후변화에 매우 민감하게 반응하는 동시에 기후변화에 미치는 영향이 큰 해역임. 북극지방은 지난 수십 년 동안 다른 지역보다 3-4배 빠르게 온난화되었으며, 특히 겨울 온난화가 여름 온난화를 초과함에 따라 계절성이 뚜렷해졌음. 이에 따라 북극해 해빙의 면적, 두께, 특성 등이 크게 변화되고 있으며 특히 해빙면적 감소는 알베도 저하와 해수 온도 상승을 촉진함.
- 북극해의 차가운 해수는 대기로부터 많은 양의 탄소를 흡수하는 온실가스의 흡수원 역할을 해왔으나, 1970년대 이후 저위도 해역에 비하여 심각한 온난화를 겪으면서 이러한 기능이 저하되고 있음.

○ 해양열파와 생물다양성 손실

- 지구온난화로 북극해의 여름철 복사플럭스가 증가되면서 수심이 얕은 대륙붕에서 해빙이 사라지고 해양열파가 발생하는 현상이 관측되고 있음. 이는 다시 다년빙의 축소를 가속화하고 일년빙을 확장하는 결과를 가져옴. 온실가스 농도가 계속해서 증가하고 있는 현 추세를 고려하면 향후에도 지속적으로 해양열파가 발생될 것으로 예측되므로 수온과 기본 해수물성의 정밀 관측이 필요함.
- 해양열파의 발생은 비정상적으로 해수면 온도를 높이는 결과를 야기하므로 생태계에 상당한 교란을 가져옴. 사회경제적으로는 수산자원 특히 온도에 민감한 어종의 개체수를 감소시키며, 생물다양성 손실을 초래함.

○ 온실가스의 대기방출 증가

- 강력한 온실가스인 메탄은 이산화탄소에 비하여 높은 온난화 잠재력을 보이므로 북극지방의 메탄방출 증가는 지구온난화를 더욱 가속화한다고 알려져 있음.
- 최근의 연구 결과에 따르면 메탄은 주로 대륙붕 퇴적물에서 생성되며, 농도의 분포는 좁은 해역 내에서도 매우 이질적인 양상을 보여서 북극해를 아우르는 방출량 산정이 어려운 측면이 있음.
- 수온 상승으로 해저 동토층이 녹는 현상은 메탄의 퇴적물-수층, 수층-대기 이동을 증가시킴. 하이드레이트나 미생물기원 메탄이 대기로 방출될 경우 온난화가 더욱 가속화할 수 있으므로 해양에서 대기로 방출되는 메탄농도의 관측이 필요함.

○ 동토층 붕괴로 인한 탄소순환 변동

- 현재 동토층이 녹으면서 막대한 양의 유기탄소가 북극해로 운반되고 있음. 이는 해양의 탄소흡수 저해를 가져오는데, 최근 매년 온도가 1도가 상승할 때마다 북극해는 이전보다 대기 이산화탄소를 100만~200만 톤 정도 적게 흡수된다고 발표됨.
- 버포트해의 경우 대기 중 탄소의 흡수원 역할을 한다고 알려져 왔으나 최근 들어 흡수되는 이산화탄소의 양보다 배출되는 양이 많아져 탄소방출원의 역할을 한다고 보고됨. 이는 맥켄 지장에서 막대한 양의 유기탄소가 배출되기 때문임. 하천수 유입이 높은 얇은 대륙붕 해역을 중심으로 유기/무기 탄소의 관측이 필요함.

○ 국내 극지해양환경 연구의 문제점

- 탐사선 운용에 의존하는 북극해 관측은 특정 해역에서 해수, 퇴적물을 채취하여 원하는 인자를 매우 정밀하게 측정할 수 있는 장점이 있으나 전 계절을 포함하는 관측과 광범위한 해역 관측이 어려운 단점이 있음.
- 원격탐사에 의존하는 온실기체, 해빙, 수온, 염분 등의 관측은 광범위한 해역을 지속적으로 관측하는 장점이 있으나 해상도 한계로 국소적 정밀성이 낮은 한계가 있음.

9) 응답자 9

○ 해양 관측 자료의 시공간적 불연속성으로 인한 해양, 빙권, 기후변동성 연구의 한계

- 해양과 대기, 빙권 변동 간의 복잡한 상호작용을 이해하기 위해 시공간적으로 고해상도의 해양/빙권 관측자료가 필요함.
- 현재 대부분의 해양/빙권 관측자료는 취득 간격이 넓고 불완전한 시계열을 가지므로, 이러한 자료만을 통해서는 해양-대기-빙권 상호작용 메커니즘을 명확히 규명하기 어렵고, 나아가 기후변화 연구에 활용하기에도 한계가 있음.
- 또한 대규모 해빙 및 빙붕의 급격한 붕괴 등 극지에서 발생하는 빙권 변화 메커니즘을 이해하고 그에 따른 해양환경의 반응을 평가하는 데 필요한 관측자료가 부족한 실정임.
- 극지에서의 장기적인 환경변화 추세를 파악하고, 높은 정확도로 미래의 변화를 예측하기 위해서는 지속적이고 일관된 극지 해양·빙권 핵심기후변수 관측이 필요한 상황임.

○ 육상/연안 빙권 환경의 변화와 연계된 관측자료 부족

- 빙상 및 빙붕에서 해양으로의 담수 유입이 연안 해양의 열/염분 구조, 해양생태계 등에 지대한 영향을 미치지만, 이를 규명하는 데 필요한 관측자료의 종류와 해상도가 불충분한 실정임.
- 빙상 및 빙붕의 용해, 해수의 담수화, 빙산의 형성과 이동, 해빙 면적과 두께, 강도 등의 변화를 시공간적 고해상도로 관측하기 위한 인공위성 관측 및 정보 활용 체계의 구축이 필요함.

- 현장 관측이 제한적인 영역에서 위성 관측 및 정보 활용 시스템의 구축 필요
 - 극지 위성 관측 및 정보생산/활용 시스템을 통해 해양 및 연안 빙권에 대한 시공간적으로 연속적인 관측자료를 고해상도로 구축하고, 이를 통해 지구 시스템과 기후변화의 이해를 높일 필요가 있음.

10) 응답자 10

- 극지 해양환경 연구의 시급성과 중요성
 - 극지 해양환경은 기후변화의 지표로 전 지구적 영향을 미치는 중요 핵심 영역
 - 유빙 변화는 해양생태계와 해류 순환의 중요 영향 요인으로 정밀 관측 연구 필요
 - 해빙 감소와 유빙 이동 가속화로 극지 생태계에 심각한 변화 초래 가속화
- 우리나라 극지 연구의 기술적 한계
 - 극지 환경 전문 장비 및 기술개발 미흡
 - 데이터의 연속성 및 장기적 축적 부족으로 신뢰성 높은 분석을 통한 예측 한계
- 관측망 부족이 연구 수행에 미치는 영향
 - 신뢰성 있는 실시간 데이터 부족으로 기후 예측 모델의 정밀도 저하
 - 극지 환경의 급변하는 상황에 대한 신속한 대응 미흡
 - (개선 방향) 극지 환경 최적화된 내구성 높은 관측 장비 및 실시간 데이터 전송 기술 개발과 관측 데이터 자동 관리 및 장기적 데이터 축적을 위한 시스템 구축 필요

11) 응답자 11

- 기후변화의 핵심 지표인 해빙 및 연안 빙하 변화 관측 필요
 - 연안 빙하의 면적 및 이동 속도 변화는 기후변화의 영향에 대한 명확한 증거를 제시하고, 대규모 빙하 융빙으로 인한 해수면 상승과 해양 순환 변화는 전 지구 해양환경에 영향을 미침.
 - 북극해 해빙 감소는 태양 복사 에너지가 더 많은 흡수로부터 지구온난화를 가속함.
- 연안 빙하 및 해빙 변화에 대한 위성 관측의 의의
 - 서남극 Thwaites Glacier, Pine Island Glacier, 동남극 Totten Glacier, 그린란드 Jakobshavn Glacier, Helheim Glacier 등 극지의 많은 지점에서 대규모 빙하 후퇴 및 해수면 상승에 큰 기여가 예상됨에 따라 원격지에서의 정밀 관측 연구가 필요함.
 - 해빙 진화의 이해와 기후변화에 따른 영향 분석 과정에서 고해상도 위성 관측은 해빙의 분포, 두께, 움직임 규명에 중요한 역할을 함.

4.2.2 관측의 한계 및 개선 요구사항

1) 응답자 1

○ 관측 항목 및 해상도 한계 및 개선 제안

- 쇄빙선 운용의 시공간적 제약으로 인해 관측 항목의 시공간적 해상도가 낮음. 장기 계류 정점을 운용하거나 중장기 관측망을 구축하고, 쇄빙선 보유국 간의 탄력적 공동연구 혹은 관련 사업 등을 통해 루틴한 장기 모니터링 정점 유지보수 및 운용이 필요함.
- 현장에서 획득된 자료의 실시간 업데이트는 중장기 변동 패턴을 파악하고, 예측모델을 위해서 매우 유용하게 활용될 수 있기에 데이터의 실시간 획득 및 데이터 시스템 구축 등이 필요함.
- 극지 해역 연구의 주요 쟁점 중 하나는 용빙수의 유입임. 물리 관측자료를 활용한 해석에 병행하여 물동위원소 및 탄소동위원소를 활용한 연구를 동시 수행한다면 향후 필수자료 확보 및 관련 데이터베이스 구축에 효과적일 것으로 생각함.

○ 개선에 따른 기여 기대

- 장기 관측망을 통해 고품질, 고해상도의 자료 확보가 가능하며, 향후 미래 기후 예측에 중요한 핵심 자료를 제공 가능함.
- 관측 결과를 효과적으로 활용, 공유하기 위한 최첨단 시스템 구축, 데이터베이스와 관련 시스템 설계, 홈페이지 구축 등의 부수적 효과 또한 기대함.
- 특히 데이터를 지속적으로 구축하고, 업데이트하고, 누구나 함께 활용할 수 있는 데이터 시스템 구축은 매우 중요함. 현재 국내에서 사용되고 있는 극지데이터센터는 데이터가 매우 제한적이며, 데이터를 쉽게 공유할 수 없게 설계 되어 있기에 데이터 품질과 함께 데이터 공유 부분이 개선된다면 극지 연구의 시너지 효과 창출에 크게 중요할 것임.
- 장기 모니터링정점의 보수 및 유지를 위해서는 여러 인력이 필요하며, 이는 신진 연구인력의 양성으로 이어질 수 있음. 한 예로 뉘알레순에서 장기 모니터링 연구를 수행 중인 독일 극지연구소(AWI)에서는 신진 연구 인력을 교육, 양성하여 장기 모니터링 정점에 교대로 체류하도록 하고 있음.

2) 응답자 2

- 블랙카본은 최근에 수질 시료에서 추출하는 농도 측정 기술이 소개되고 있으나 동위원소비를 활용한 기원 추적은 전무한 상황이며 대기에서는 직접 측정 기법외에 추출 기법은 미비한 현황임.
- 과불화화합물은 농도 측정 기반은 활발히 이루어지고 있으나 동위원소 분석을 통한 기원 추적연구는 이루어지고 있지 않음.

3) 응답자 3

- 기후상태와 추세 진단을 위해선 해양 물성, 생산력 관련 기초 인자뿐만 아니라, 다양한 물성/지화학적 해양 다중(다매체) 추적자(지시자)를 활용한 장기 관측의 부재로, 물성변화, 수괴(수층) 및 물리적 특성 변동 파악, 담수기원추적, 빙하(육상)기원 생물친화인자 기원 및 유입량 등의 정기적/주기적 연단위 모니터링이 필수적
- 다양한 생지화학적, 시간규모의 특성을 지닌 (방사능)동위원소 추적자 활용을 위한 고정 관측점 (계류선 등)내에 방사능동위원소 핵종별 흡착체계류 (mooring)을 통한 정기적/중장기적 물성/생지화학/물질순환유입기원 변동성 파악 연구 제안

4) 응답자 4

- 해빙, 유빙 등 극한 극지환경에서 표층부터 저층까지 안정적인 관측자료 확보
- 해양부이 등 설치 어려운 환경이며, 극복을 위해 무인기(glider, apex 등) 투입하여야 하나 높은 장비 도입 가격, 운영요원 부족으로 어려움이 있음.
- 기후관측망 체계 확립을 위한, 장기(10년 이상) 모니터링 디자인 설계 및 운영 기반 마련
- 장기간 연속적 관측을 위해 자동화된 관측시스템 및 실시간 데이터 전송 기술 도입
- 현장 관측 및 유지보수를 위한 쇄빙선 운항 일정 및 연구진 수급 등 관측 기반 마련 요구
- 국제연구 프로젝트를 통한 협력 네트워크 강화로 극지 기후관측망 거점 선정 및 지속적인 유지 관리 필요
- 데이터와 기술력, 국제협력을 바탕으로 극지 연구에 있어 주요 리더국 기반 마련

5) 응답자 5

- 기후 데이터 공백
- 계절적 제약으로 인해 불완전한 데이터 및 연중 지속적인 관측 어려움.
- 해양 물리 관측의 제약:
- 강한 해류와 해빙 환경에서 장비 안정성과 정확성 부족
- 장기간 데이터 축적 부족:
- 단기 관측에 치중, 장기적 기후 및 해양 변화 파악 데이터 부족

6) 응답자 6

- 극지 관측 현황과 한계
- 극지연구소 관측은 한정된 예산에서 다양한 노력으로 극지 해양 관측을 주도하고 있으나, 주로 과학기지 주변의 변화 이해를 위한 관측이거나, 해양기후변화 관측을 위한 소수의 계

류관측이 수행되고 있음. 남빙양과 대양(태평양, 대서양, 인도양)이 연결되는 해역의 관측은 충분한 재원이 투입되지 못하여 기후변화 감시 및 예측의 기초가 되는 현장 관측이 수행되고 있지 못함.

- 극지연구소는 아라온호의 공동활용과 국제공동연구를 통한 남빙양-대양간 계류관측을 수행되고 있으나, 대부분이 해외 연구자의 기술 및 장비에 의존하고 있어서 연중자료를 확보할 수 있는 계류관측 부분에서는 극지연구소의 주도권이 약함.

○ 최신 관측 기술의 도입과 자원 확대 / 대학과의 연구협력 확대

- 최근 능동 및 수동 음향 테크닉을 활용한 해양관측은 해양 수층별 수온의 단기변동성 및 중-장기적 경향성(trend), 고해상도 해양 성층구조 변화(finescale구조), 해양 열함량 및 해수면 높이의 시간적 및 공간적 변화의 고해상도 관측이 가능함.
- 음향관측장비에는 수중 무선통신기술이 탑재되어 있으며 해당 기술을 활용한 원격해양자료 획득 및 (준)실시간 모니터링 시스템을 갖출 수 있음.
- 기후변화감시예측을 위한 관측의 확대는 인프라 구축과 숙련된 전문가 양성이 반드시 수반되어야 함. 도입 단계부터 대학과 공동연구를 수행함으로써 장기간에 걸친 신기술 적용과 자료 분석이 가능한 전문가를 양성하고, 양성된 전문가를 연구소가 활용할 수 있는 미래 인재 확보 시스템 구축이 바람직함.

7) 응답자 7

○ 관측 항목의 제한성, 해상도의 제한, 자료 수집 주기의 문제, 환경적 제약

- (관측 항목 제한) 현재 관측되는 주요 항목(수온, 염분, 해류 등)은 기본적인 해양환경 변수에 집중되어 있지만, 극지 해양환경의 복잡성을 충분히 반영하기에는 부족함. 예를 들어, 해양생태계의 변화, 부유생물, 영양염, 그리고 빙권의 동적 변화(빙하 속도 등)와 같은 추가적인 변수들이 고려되지 않으면, 해양환경의 전체적인 변동성을 포괄적으로 분석하기 어려움.
- (해상도의 제한) 현재 해상도는 극지 환경의 미세한 변화를 추적하기에 충분히 높지 않음. 특히, 해빙 및 유빙과 같은 복잡한 현상을 정확히 감지하기 위해서는 고해상도 관측이 필수적임. 예를 들어, 해빙 두께나 해양생물군의 변화를 고해상도로 추적할 수 있는 시스템이 부족하여 정확한 예측이 어려운 상황임.
- (자료 수집 주기) 극지 해양환경의 변화는 빠르고 불규칙적이기 때문에, 현재의 데이터 수집 주기와 주파수는 변동성을 충분히 반영하지 못할 수 있음. 관측 주기가 길거나 데이터 전송에 시간차가 생기면 실시간 변화를 포착하기 어려워 기후 예측에 한계가 발생함.
- (환경적 제약) 극지 환경은 접근이 제한되고 날씨나 해상 조건이 매우 가혹하여, 관측망의 지속적인 유지 및 운영이 어려움. 특히, 해빙과 유빙으로 인해 표층부이를 통한 실시간 관측이 불가능한 기간이 존재하여, 일부 계절에서는 중요한 데이터를 놓칠 수 있음.

- 다양한 관측 항목 추가, 고해상도 관측 기술개발, 자료 수집 및 전송 주기 단축, 자율적 운영 시스템 도입 등
 - (항목 추가) 해양생태계, 부유생물, 영양염, 빙하속도 등 추가적인 관측 항목을 도입하여 극지 해양환경의 변동성을 더욱 포괄적으로 감시할 필요가 있음. 해양 화학적 변수(예: 용존 메탄, 아산화질소)와 빙권 변수(예: 빙상 두께, 적설량 등)도 함께 관측하여 다양한 환경 요소들의 상호작용을 분석할 수 있어야 함.
 - (고해상도 관측) 극지 해역에서의 해양 환경변화를 정확하게 추적할 수 있도록 해상도를 높은 센서와 장비의 개발이 필요함. 특히 해빙, 유빙, 빙하 등 동적 요소들을 세밀하게 관측할 수 있는 고해상도 위성 데이터 및 해양 관측 장비가 요구됨.
 - (자료 전송 시간 단축) 극지 해양환경은 급격히 변할 수 있으므로, 데이터를 실시간 또는 준실시간으로 수집할 수 있는 시스템을 마련해야 함. 수중 음향 통신, 위성통신 등을 활용하여 겨울철에도 수집되는 데이터를 빠르게 전송하고, 분석할 수 있는 능력을 갖추어야 함.
 - (자동화 시스템) 자동화된 시스템을 통해 극지 환경에서도 장기적으로 안정적인 관측이 가능하게 해야 함. 자율적인 운영 및 데이터 품질 보장을 위한 시스템을 구축하여, 인력의 부담을 줄이고 관측의 지속성을 높여야 함.
 - (협력적 연구 및 기술개발 강화) 다국적 협력 및 국제적인 연구기관과의 협력을 통해 기술개발과 장비 도입이 이루어져야 함. 각국의 기술과 자원을 공유함으로써 극지 연구의 범위와 정확도를 높일 수 있음.
- 정확한 기후 모델링 가능, 효율적인 기후변화 대응, 국제적 연구 리더십 강화, 기후 예측 및 대응능력 향상, 다학제적 연구 및 혁신 촉진 등
 - (정확한 기후모델링) 고해상도 관측과 다양한 변수들이 통합된 데이터를 기반으로 기후 모델을 더 정확하게 구축할 수 있음. 이는 미래 기후 예측의 신뢰성을 높이고, 극지 해양환경의 변화를 더 정확하게 전망할 수 있게 함.
 - (효율적 기후변화 대응) 극지 해양환경의 변동성에 대한 보다 정밀한 관측은 기후변화 대응 정책 수립에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있음. 극지 연구는 글로벌 해수면 상승, 해양생태계 변화 등 세계적인 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 하므로, 이를 해결하기 위한 전략을 효과적으로 설계할 수 있음.
 - (국제적 연구 리더십) 극지 해양환경 연구가 개선되면, 우리나라는 국제적인 극지 연구 분야에서 리더십을 강화할 수 있음. 이를 통해 국제 협력과 기술 교류의 기회를 확대하고, 연구의 영향력을 높일 수 있음.
 - (기후 예측 및 대응능력) 극지 해양환경의 정확한 데이터를 통해, 기존의 기후 예측 모델의 성능을 높일 수 있음. 또한, 예측 모델을 개선함으로써 기후변화의 영향을 더 잘 이해하고, 이를 바탕으로 정책적 대응을 강화할 수 있음.

- (다학제 연구 및 혁신) 극지 연구가 발전함에 따라 다양한 분야(해양학, 기후학, 생태학 등)의 연구자들이 협력하게 됨. 이는 연구의 범위를 넓히고 혁신적인 방법론과 기술을 개발하는 데 기여할 것임.

8) 응답자 8

○ 유기탄소 및 온실가스 관측의 한계와 개선 사항

- 유기탄소, 무기탄소, 온실기체 농도는 전 계절을 아우르는 측정값이 있어야 전반적 버짓을 산정하고 거동을 정량화 할 수 있으므로 지속적 관측이 필요함.
- 원격탐사를 통한 온실가스 관측의 경우 광범위한 해역 관측이 용이하나 국지적 해상도가 낮아 좁은 해역 내에서도 방출량이 상이한 양상을 보이는 메탄, 이산화탄소 등의 측정에는 적합하지 못함.
- 탐사선 기반 온실기체 관측은 그 값이 정확하나 겨울을 포함한 전 계절 관측이 어렵고, 관측 해역이 제한되는 단점이 있음. 따라서 방출량이 높은 대륙붕을 중심으로 계류장치를 이용한 연속 측정이 필요함.

○ 해빙 관측의 한계와 개선사항

- 해빙의 감소로 온난화가 가속화되고 있으므로 빙권의 광범위한 모니터링이 필요함. 기존의 원격탐사 자료는 해빙의 정량화 정도가 제한적이므로 해빙의 두께, 면적, 특성에 대한 정밀한 정보 산출을 위한 개선이 필요함.

○ 해수의 기본물성 관측 한계와 개선사항

- 현재 북극해 전반의 온도, 염분, 탁도, 클로로필 농도 등은 원격탐사에, 국지적 자료는 쇄빙선 탐사에 의존하고 있음. 위성자료는 광범위하나 국지적 정밀성이 낮고, 아라운 탐사의 경우 공간적, 계절적 제한이 있음. 북극해에서 기후변화에 가장 민감하게 반응하는 해역은 해빙이 빠른 속도로 감소하고 있는 대륙붕이므로 대륙붕 해역을 중심으로 계류장치를 이용한 연속관측이 필요함.
- 북극해의 수온상승과 유기탄소 유입 증가는 해수의 무기탄소 흡수능을 저해할 뿐만 아니라 세균과 기타 미생물의 활동도를 높이는 결과를 가져옴. 해수 내 세균량과 활동도는 생태계 먹이망 구성 및 오염물질의 중변환에 중요한 인자이므로 이에 대한 지속적 관측도 중요함. 세균량 및 용존산소 농도의 연속 관측을 제안함.

○ 입자침적량 관측 한계와 개선사항

- 북극지방 동토층 용융은 하천수를 통한 무기/유기 입자의 이동을 촉진하고 있으며, 유입된 입자의 해양퇴적층 침적은 탄소와 오염물질의 동반침적, 저서생태계 변형, 퇴적층 내 오염물 중변화 등을 유도하나 위성 데이터를 이용한 산정은 정확성이 떨어짐.

- 퇴적물트랩을 설치하여 정확한 입자 침적량을 관측할 경우 저서생태계 변동과 수층 탄소량 및 오염물질 제거율 해석에 중요한 자료를 제공함.

9) 응답자 9

○ 연안 빙권 관측의 고해상도 자료 및 관측의 다양화 요구

- 극지 연안은 육지, 해빙, 빙봉 또는 빙산 등 다양한 특성을 가지는 주변 요인과 그 요인의 높은 변동성으로 인해 환경의 변화가 심한 편임.
- 따라서 해안에 가까운 연안일수록 해양 관측점의 밀도가 높아야 하며, 시간적으로 연속적인 관측 및 관측자료의 송수신이 안정적으로 이루어져야 함.
- 또한 빙권 핵심기후변수 관측의 다양화가 요구됨. 해빙의 분포, 빙하 및 빙봉의 면적과 속도와 같은 대표적인 빙권 기후변수 외에도, 해빙 두께와 강도, 빙하/빙봉/빙산의 두께, 담수 유출량 및 온도 등에 대한 관측이 수행될 필요가 있다고 보임.
- 연안 해양/빙권 환경에 대한 관측의 다양화와 높은 시공간 해상도는 기존 해양 관측망의 한계를 개선하면서 과학적/실용적인 측면에서 새로운 정보를 제공할 것으로 기대할 수 있음.
- 특히 높은 해상도의 관측은 연안의 국지적 환경변화를 정밀하게 분석할 수 있게 하며, 이로부터 대규모의 극지 환경변화를 추론하고 이해하는 데 도움을 줄 것이라 예상함.
- 또한 해빙 및 빙봉의 붕괴와 융해 등으로 인해 발생할 수 있는 극지 연안 지역의 위험성을 예측하고 대응하는 데에도 기여할 수 있음.

○ 해양·빙권 기후변수 관측 해상도의 한계와 개선 요구

- 현재 다양한 해양·빙권 기후변수들이 관측되고는 있으나, 관측점의 수가 적고 관측 기간에 제한이 있는 상황임
- 이는 기존 관측 장비가 실제 극지 환경에서 운용하는 데 어려움이 있으며, 장비의 목적성이 극지 환경에 특화되지 않은 부분도 영향이 크다고 판단됨.
- 시간, 공간적으로 고해상도의 기후변수 관측을 위해 극지 환경을 고려하여 상시 관측망 구축에 적합한 성능을 가지는 장비의 개발과 운용 계획 수립이 요구됨. 또한 관측점 수의 확대를 위하여 관측망 개발 비용 문제도 고려해야 할 것으로 보임.

○ 극지 위성 관측 정보의 다양화 및 체계화 요구

- 국내외에서 인공위성 영상 분석을 통해 해양, 해빙, 빙하와 관련된 위성 정보들이 생산되어 서비스되고 있으나, 극지 위성 정보의 다양화/체계화는 계속해서 요구되고 있는 이슈임.
- 해색, 해빙 농도, 빙하 흐름속도와 같이 이미 기술적으로 완성도가 높고 활용 측면에서도 성숙도가 높은 극지 위성 정보들이 있지만, 극지 환경변화와 기후변화 메커니즘의 명확한

규명 및 더욱 정확한 미래 예측을 위해서는 해빙의 두께와 강도, 빙하의 담수화(빙하 용융도) 및 그에 따른 해양환경변화 지시자 등에 대한 고해상도 위성 정보 개발이 요구됨.

- 높은 정확도를 가지는 다양한 극지 위성 정보의 개발뿐만 아니라, 이러한 위성 정보를 체계적으로 처리, 생산, 가공하여 제공할 수 있는 시스템 또한 개발이 필요하다고 보임.

10) 응답자 10

○ (現) 극지 관측 항목 및 해상도 부족

- 극지 환경변화를 포괄할 수 있는 관측 항목의 부재
- 기존 관측 데이터의 저화질 해상도로 미세한 환경변화 감지 제한
- 관측 장비의 기술적 한계로 특정 계절 및 지역의 안정적 데이터 수집 제약 발생

○ 관측망 개선을 통한 관측 고도화

- 고해상도 및 다차원 데이터 수집용 첨단 관측 장비 개발
- 극지 환경 적합 내구성 높은 장비 및 데이터 품질관리 자동화 시스템 도입
- 기존 관측망 보완을 통한 실시간 관측 및 신규 수집 데이터 융합 시스템 구축

11) 응답자 11

○ 기존 위성 원격탐사 기반 연안 빙하 변화 관측의 제한점

- 공간해상도가 낮은 중-저 해상도 위성 데이터는 소규모 빙하 또는 좁은 연안 지역의 변화 탐지에 한계가 있음.
- 단일 위성 활용 시 재방문(revisit) 주기가 긴 경우 빙하의 동적 변화의 실시간 추적이나 빠른 변화 관찰이 어려움.

○ 기존 위성 원격탐사 기반 북극해 해빙 관측의 제한점

- 중-저 해상도 위성 데이터는 해빙의 세부적인 구조적 특징(예: 균열, 파편화, 두께, 표면 융빙 등)을 정밀하게 관측하는 데 충분하지 않음.

4.2.3 기존기술의 한계 및 기술 개선요구 사항

1) 응답자 1

○ 기존기술 및 장비의 한계

- 초저온의 극한 환경, 고압, 부식방지등의 소재를 활용한 해양에서 안정적으로 작동할 수 있는 내구성 높은 장비가 필요함.

- 현재 각국에서 사용하는 다양한 모니터링 장비의 확장이 필요함, 특히 현재 우리나라에서 사용하는 장비들은 물리 시스템에 특화되어 있으므로 해양시스템 전체를 해석할 수 있는 화학 및 생물 모니터링 센서들에 대한 장비 활용이 중요함. 다른 나라에서는 이미 pCO₂, 영양염, DO, 엽록소, HPLC, 동물플랑크톤등을 모니터링할수 있는 생지화학 센서들을 다양하게 활용하고 있음
- 극지해양 연구는 실시간으로 자료를 얻는 것이 매우 어렵기 때문에 수중 통신망 등을 통한 자동화된 시스템 구축이 필요함
- 한계 극복을 위한 기술적 개선 사항 및 연구 효율성에의 변화
 - 장비 및 관측 항목의 다양성을 확대하는 과정에서 부수적으로 범국가적 극지 공동연구 활동에 대한 논의 및 인력양성 효과가 있을 것으로 기대함.
 - 관측자료 품질관리 및 고도화 작업을 통해 고해상도, 고품질의 극지 자료를 확보하고 미래 기후변화 예측의 정확성을 높일 수 있음.

2) 응답자 2

- 기존의 농도 중심의 환경오염 모니터링 기법에서 벗어나 새로운 추적 기법 도입이 필요
 - 동일한 오염물질이라도 물리 화학적인 과정에 따라 나타나는 안정동위원소비의 분별작용에 따른 미세한 차이로 오염원 규명
 - 단일 분석 성분이 아닌 다양한 환경데이터(원소/분자/가스 안정동위원소, 방사성 동위원소, 분자구조, 형광지표 등) 활용하여 다각적인 측면에서 오염원 추적 기법 도입 필요
 - 극지연구소에 구축되지 않은 장비 혹은 분석할 수 없는 항목일지라도 외부 전문기관과 협업하여 극지 연구 활성화 필요

3) 응답자 3

- 해양 방사능동위원소를 비롯한 각종 간접지시자 및 다매체 추적자가 극지해양의 물성/생지화학 연구에 도입된 사례가 거의 없었으나, 최근(2010년대 후반 이후) 미국, 유럽 등 해양추적자화학 전문가들을 중심으로 국제 공동연구들이 수행되고 시작되는 추세임.
- 한국에서도 동해, 인도양 등에서 서울대/해양과기원을 중심으로 최근 관련 연구 시도 시작 단계

4) 응답자 4

- 일부 기술력은 일부 실험이 완료되어 있는 것으로 보이며, 안정적인 기후관측망 체계 확립을 위한 자동화 및 무인 관측 체계 기반 마련
- 국제협력을 통해 광범위 관측 자료과 정보를 공유하고, 다양한 연구진과 협력을 통해 연구의 범위를 확대할 필요

○ 관측 장비 개발 등 연구활용 기술개발

- 물리적, 화학적, 생물학적 데이터를 동시에 측정할 수 있는 멀티센서 장비를 개발
- 극한 환경에서도 견딜 수 있는 더 강력한 센서와 장비를 개발하여 관측자료의 신뢰성 확보
- 데이터 수집/전송을 자동화하여 기존 선박관측 위주의 현장직접조사 의존도를 줄이고, 원거리 또는 수중네트워크를 이용한 과학기지기반 실시간 모니터링시스템 도입
- 인공지능을 이용한 관측데이터 분석 및 해석 기술개발 및 고해상도 모델링을 통한 재현 및 예측기술 활용 방안 마련

5) 응답자 5

○ 수중계류시설

- 강한 해류와 해빙 충격으로 구조적 안정성 부족
- 극지 환경에서 센서 성능 저하로 데이터 신뢰도 낮음

○ 연안관측시설

- 극저온 환경에서 내구성 부족 및 고해상도 해양 물리 센서와 데이터 실시간 전송기술 부족
- 이동하는 빙하와 해빙으로 손상 및 위치 변동

○ 극지 환경에서의 배터리 성능 저하

- 저온에서 급격히 감소하는 배터리 용량으로 장기간 관측 어려움
- 극지 환경에 적합한 에너지 효율 및 자급형 배터리 기술 필요

6) 응답자 6

○ 현재 극지 관측에서 사용되는 ADCP, CTD 등에 추가로 음향활용 관측기술을 제안

- 음향관측기술은 계류선이 없어서 시간과 비용을 비약적으로 줄일 수 있음. 그러나 기존의 ADCP와 CTD 관측이 존재할 때 정확성과 신뢰성을 확보할 수 있어서 병행이 필요함.

○ 음향 관측 장비는 계류선이 없어, 계류-회수가 용이하고, 자료 획득에도 여러 가지 옵션을 선택할 수 있음 (Pop-up data shuttle, near-real-time data retrieval from satellite)등).

○ 극지 해역 관측 연속관측 자료의 (준)실시간 확보는 기후변화감시에측에 직접적으로 활용되는 자료가 될 수 있음.

7) 응답자 7

○ 극한 환경에서의 내구성 부족, 자료 전송 및 통신의 어려움, 해상도 부족, 다양한 변수에 대한 측정 부족, 장비의 운용 및 유지관리 문제 등

- (장비 내구성) 현재 사용되는 기술과 장비는 대부분 극지 환경에서 발생할 수 있는 극저온, 해빙, 유빙, 거친 해상 조건에 대해 충분한 내구성을 갖추고 있지 않거나 장기적인 운용에 제한이 있음. 특히, 해빙이 자주 발생하는 극지에서는 표층부이, 해양 센서, 기상 장비 등이 정상적으로 작동하지 않을 수 있음.
 - (자료 전송 및 통신) 극지 환경에서는 여름을 제외하고 해빙 및 유빙으로 인해 표층부이를 통한 위성통신이 불가능한 경우가 많음. 이러한 환경에서는 수중 음향 통신 기술을 활용해야 하지만, 기존의 음향 통신 시스템이 데이터 전송 속도나 안정성에서 제한적임.
 - (해상도 부족) 현재 관측되는 해양환경 변수들의 해상도가 제한적임. 극지 해양환경의 변화를 정확하게 추적하기 위해서는 고해상도의 공간적, 시간적 데이터를 수집할 수 있는 기술이 필요함. 기존기술은 기후 모델링 및 세밀한 예측에 필요한 미세한 변화를 포착하기에 부족함.
 - (다변수 측정 부족) 기존의 장비는 주로 기본적인 해양 물리학적 변수들(수온, 염분, 해류 등)을 측정하는 데 집중하고 있음. 그러나 극지 해양환경의 복잡한 변동성을 파악하기 위해서는 해양화학적, 생태학적, 빙권적 변수들(용존산소, 영양염, 빙하속도 등)을 포함한 다학제적 데이터 수집이 필요함.
 - (장비 운용 및 유지관리) 극지에서 장기적으로 운영할 수 있는 인프라가 부족하여 장비의 고장이나 유지보수 문제로 관측이 중단되는 경우가 발생함. 또한, 극지 환경에서의 현장 관리 및 수리 작업이 어렵기 때문에 장기적인 관측이 어려운 경우가 많음.
- 극지 적응형 장비 개발, 고해상도 관측시스템, 실시간 자료 전송 및 자동화, 다학제적 자료 수집, 현장 운영과 유지보수 개선 등
- (극지 적응형 장비 개발) 극지 환경에서 작동 가능한 내구성이 높은 장비 개발이 필요함. 예를 들어, 해빙과 유빙의 영향을 받지 않도록 설계된 센서와 장비들이 필요하며, 장비가 영하의 온도에서도 안정적으로 작동할 수 있도록 극저온 환경을 고려한 기술 개선이 필요함.
 - (고해상도 관측시스템) 해양환경의 미세한 변화를 감지할 수 있는 고해상도의 센서와 측정 장비 개발이 필요함. 이를 통해 해빙 두께, 해양생태계 변화, 부유생물의 분포 등 세부적인 환경 변수를 더 정확하게 파악할 수 있음. 극지 환경에서 안정적으로 데이터를 전송할 수 있도록 해양 음향 통신 기술을 개선하고, 데이터 전송 주기 및 용량을 늘리는 기술 필요함.
 - (다학제적 자료 수집) 해양 물리학적 변수 외에도 해양 화학적, 생태학적, 빙권적 변수들을 측정할 수 있는 장비 개발이 필요함. 예를 들어, 용존 메탄, 아산화질소, 부유생물 등도 실시간으로 측정할 수 있어야 함. 위성, 수중 드론, 자동화된 해양 관측 기기 등 다양한 플랫폼을 활용하여 데이터를 수집하고 이를 융합하여 보다 정교한 연구를 할 수 있어야 함.
 - (현장 운영과 유지보수 개선) 극지 환경에서는 현장 인력을 배치하기 어려우므로, 원격으로

운영할 수 있는 자율적 시스템 및 현장 진단 시스템을 도입해야 함. 자율적인 센서 점검 및 유지보수가 가능하도록 기술을 개선해야 함.

- 정확한 자료 수집 및 예측 가능, 실시간 및 준실시간 연구 가능, 장기적인 안정적 관측, 다학제적 연구의 확대, 국제적 연구 협력 및 리더십 강화 등
 - (정확한 자료 수집 및 예측) 고해상도 관측 기술과 다양한 변수의 통합적 데이터 수집이 이루어지면, 극지 해양환경의 변동성에 대한 보다 정확한 분석이 가능해짐. 이를 통해 기존의 기후 모델들이 더욱 정확하고 신뢰성 있는 예측을 할 수 있게 됨.
 - (준)실시간 연구) 실시간 데이터 전송 및 자동화된 분석 시스템이 구축되면, 데이터의 즉시 활용이 가능해지고, 연구의 속도와 효율성이 크게 향상됨. 이는 기후 예측 모델 검증 및 연구 결과의 즉각적인 적용을 가능하게 함.
 - (장기·안정적 관측) 극지 환경에서의 내구성이 강한 장비와 자율적 운영 시스템이 도입되면, 관측망의 지속적 운영이 가능해지고 장기적인 데이터를 수집할 수 있음. 이는 극지 해양환경의 장기적인 변화를 추적하고, 기후변화에 대한 보다 정확한 대응 전략을 수립하는데 기여할 수 있음.
 - (다학제적 연구 확대) 다양한 측정 항목과 장비를 통해 얻은 데이터는 해양학, 기후학, 생태학 등 다양한 분야의 융합 연구를 촉진할 것임. 이는 더 깊이 있는 연구 결과를 도출할 수 있게 하여, 극지 해양환경 연구의 발전을 이끌 수 있음.
 - (국제적 연구 협력 및 리더십) 기술적 개선이 이루어지면, 우리나라가 국제적 극지 연구 분야에서의 기술력과 연구 리더십을 강화하는 계기가 될 것임. 더 많은 협력과 기술 교류가 이루어져 글로벌 기후 연구에서 중요한 역할을 하게 될 것임.

8) 응답자 8

- 원격탐사자료와 쇄빙선을 이용한 북극해 환경 모니터링의 제한점
 - 원격탐사 자료의 경우 광범위한 해역을 포함하고 시간적 지속성이 높은 장점이 있으나 일반연구자들이 이용하기에 자료의 접근이 제한적임.
 - 원격탐사 자료의 경우 해상도가 낮으므로 대륙붕을 중심으로 높은 해상도를 가지는 정밀한 값을 얻기 어려움.
 - 쇄빙선을 이용한 모니터링은 7-9월에 주로 이루어지므로 해양환경의 연간 변동을 관측하기 어려운 단점을 가짐. 현재 북극해는 겨울철 온난화가 심각하게 진행되고 있으므로 겨울을 포함한 전 계절 동안 온실가스와 기본물성의 관측이 필요함.
- 현장 계류장치를 통한 북극해 환경 모니터링의 필요성
 - 북극해의 절반 정도는 수심이 얕은 대륙붕으로 이루어져 있음. 대륙붕은 하천, 삼각주를 통

해 운반되는 영양염, 토사, 중금속, 유기오염물 등이 북극해로 유입되는 통로 역할을 하므로 북극해 환경모니터링에 매우 중요한 해역임.

- 북극 해빙의 감소와 해저영구동토의 붕괴는 주로 대륙붕을 중심으로 일어나고 있음. 대륙붕 해역의 물리적 화학적 변화는 대륙붕 환경변화뿐만 아니라 전 지구적 기후변화에도 영향을 주므로 계류 장치를 이용한 대륙붕 환경 모니터링이 필요함.

9) 응답자 9

○ 연안 설빙권 관측의 고해상도 자료 및 관측의 다양화 요구

- 극지 연안은 육지, 해빙, 빙봉 또는 빙산 등 다양한 특성을 가지는 주변 요인과 그 요인의 높은 변동성으로 인해 환경의 변화가 심한 편임.
- 따라서 해안에 가까운 연안일수록 해양 관측점의 밀도가 높아야 하며, 시간적으로 연속적인 관측 및 관측자료의 송수신이 안정적으로 이루어져야 함.
- 또한 빙권 핵심 기후변수 관측의 다양화가 요구됨. 해빙의 분포, 빙하 및 빙봉의 면적과 속도와 같은 대표적인 빙권 기후변수 외에도, 해빙 두께와 강도, 빙하/빙봉/빙산의 두께, 담수 유출량 및 온도 등에 대한 관측이 수행될 필요가 있다고 보임.
- 연안 해양/빙권 환경에 대한 관측의 다양화와 높은 시공간 해상도는 기존 해양 관측망의 한계를 개선하면서 과학적/실용적 측면에서 새로운 정보를 제공할 것으로 기대할 수 있음.
- 특히 높은 해상도의 관측은 연안의 극지적 환경변화를 정밀하게 분석할 수 있게 하며, 이로부터 대규모의 극지 환경변화를 추론하고 이해하는 데 도움을 줄 것이라 예상함.
- 또한 해빙 및 빙봉의 붕괴와 용해 등으로 인해 발생할 수 있는 극지 연안 지역의 위험성을 예측하고 대응하는 데에도 기여할 수 있음.

○ 해양·빙권 기후변수 관측 해상도의 한계와 개선 요구

- 현재 다양한 해양·빙권 기후변수들이 관측되고는 있으나, 관측점의 수가 적고 관측 기간에 제한이 있는 상황임.
- 이는 기존 관측 장비가 실제 극지 환경에서 운용하는 데 어려움이 있으며, 장비의 목적성이 극지 환경에 특화되지 않은 부분도 영향이 크다고 판단됨.
- 시간, 공간적으로 고해상도의 기후변수 관측을 위해 극지 환경을 고려하여 상시 관측망 구축에 적합한 성능을 가지는 장비의 개발과 운용 계획 수립이 요구됨. 또한 관측점 수의 확대를 위하여 관측망 개발 비용 문제도 고려해야 할 것으로 보임.

○ 극지 위성 관측 정보의 다양화 및 체계화 요구

- 국내외에서 인공위성 영상 분석을 통해 해양, 해빙, 빙하와 관련된 위성 정보들이 생산되어 서비스되고 있으나, 극지 위성 정보의 다양화/체계화는 계속해서 요구되고 있는 이슈임.

- 해석, 해빙 농도, 빙하 흐름속도와 같이 이미 기술적으로 완성도가 높고 활용 측면에서도 성숙도가 높은 극지 위성 정보들이 있지만, 극지 환경변화와 기후변화 메커니즘의 명확한 규명 및 더욱 정확한 미래 예측을 위해서는 해빙의 두께와 강도, 빙하의 담수화(빙하 용융도) 및 그에 따른 해양환경변화 지시자 등에 대한 고해상도 위성 정보 개발이 요구됨.
- 높은 정확도를 가지는 다양한 극지 위성 정보의 개발뿐만 아니라, 이러한 위성 정보를 체계적으로 처리, 생산, 가공하여 제공할 수 있는 시스템 또한 개발이 필요하다고 보임.

10) 응답자 10

○ 기존기술 및 장비의 한계

- 극지 환경의 극한 조건 대응 장비의 내구성 부족
- 유빙 관측 실시간 데이터 전송 기술 미흡으로 데이터 손실 가능성 존재
- 기존기술의 다양한 데이터의 통합적 수집 및 분석 한계 발생

○ 기술적 개선을 위한 기술개발

- 극한 환경에서 안정적 작동 가능 고내구성 관측 장비 개발
- 실시간 데이터 전송 및 통신 기술 개선을 통한 데이터 신뢰성 확보
- 다양한 장비 및 데이터 통합 자동 분석 시스템 개발

○ 기존기술 개선의 기대효과

- 안정적이고 신뢰성 높은 데이터 확보로 기후변화 예측 모델의 정확성 향상
- 실시간 관측망 구축으로 극지 환경변화에 대한 신속한 대응 가능
- 효율적 데이터 관리와 분석을 통한 시간 절약 및 성과 극대화

11) 응답자 11

○ 연안 빙하 및 북극해 해빙 관측의 고해상도화

- 고해상도 위성 데이터로부터 연안 빙하의 변화를 가속시키는 환경 요소(표면 알베도 감소, 표면 용빙에 의한 수계 형성 등)에 대한 정밀 관측 가능
- 고해상도 위성 데이터로부터 해빙의 세부 구조 특성 정밀 관측 및 진화 과정에 대한 상세 정보 획득

○ 다중 위성 센서 데이터 연안 빙하 및 북극해 해빙 관측의 연속화

- 기존 장기 관측자료를 구축해 온 중해상도 위성(예: Landsat 시리즈, Sentinel-2, PlanetScope 군집위성 등)과의 연계분석을 위해서는 데이터 융합(harmonization) 기술 필요

4.2.4 우선 개발이 필요한 기술 분야

1) 응답자 1

○ 중장기 관측시스템 도입

- 극지역은 기후변화의 영향을 가장 첨예하게 받고 있음. 따라서 단발성 연구가 아닌 중요한 연구 해석 및 정점을 선정하여 핵심 기후변수를 루틴하게 측정할 수 있는 장기간 모니터링 시스템을 구축한다면 수십 년간의 데이터를 확보해 미래 기후변화의 영향을 예측하는 데 중요한 자료를 제공할 수 있을 것임. 한 예로 남극의 Palmer Long-Term Ecological Research (LTER) 정점에서는 1992년부터 장기 계류를 시작하여 수십 년의 자료를 확보하였음.
- 중장기 관측시스템을 효율적으로 관리하는 방안이 우선시되어야 함. 시스템관리, 데이터관리, 빅데이터 처리 기술 등에 대한 문제해결이 중요함. 특히 극지관측장비에서 실시간 데이터를 송수신할 수 있는 위성통신 네트워크 구축이 필요함.

2) 응답자 2

○ 기후 온난화를 가속화시키는 블랙카본

- 대기를 통하여 극지 수환경 및 생태계로 유입되는 미세먼지 내 블랙카본 함유량과 그 기원(안정동위원소, 방사성 동위원소 등 활용)을 파악하는 것이 필요

○ 전 세계를 오염시키고 있는 과불화합물이 해양순환을 통하여 극지 생태계로 유입

- 환경부에서는 ‘과불화합물의 제품 이용 실태 및 관리방안 마련(2013)’을 보고하고 있고 PFAS 사용 금지를 위한 다각적 노력을 하고 있지만 극지생태계로 유입되고 PAFS 모니터링 및 기원 추적연구 필요

3) 응답자 3

○ 다양한 생지화학적, 시간규모의 특성을 지닌 다중/다매체 (방사능)동위원소 추적자를 극지 기후위한 고정 관측점 (계류선 등)내에 해양 다중/다매체 추적자의 중장기 모니터링 위한 계류 체계 구축

- 기존 물성/생지화학 기초인자 관측을 위한 계류선에 아주 소형의 미량원소/방사능동위원소 흡착물질 부착만 필요로, 시간적/공간적/물적 자원이 거의 들지 않는 효율적 해양물리특성/생지화학반응/해양담수및물질유입 관련 간접 모니터링 체계 구축 가능

4) 응답자 4

○ 고정 관측 지점에서 안정적인 자료 확보를 위한 준실시간 자료전송 체계구축

- 현재, 현장조사 기반 고정관측지점의 해양환경변화(수온, 염분, 유속 등) 모니터링체계는 관측자료 획득에 1~2년의 시간 지연을 보임.

- 자율운영기술(소형화 및 비용 절감 기술 등)
- 물리, 생물, 화학적 변화를 대규모 감시하는 광역 고해상도 원격탐사 기술
- 극한지역 실시간 데이터 전송 및 통합기술(수중네트워크 등)
- 물리, 생물, 화학적 변화를 동시에 모니터링하는 복합관측장비 개발

5) 응답자 5

- 극지 기후 및 해양 물리 관측 플랫폼 개발
 - 내구성 강한 수중계류시설, 연안관측시설, 빙권 고정관측시설
- 극지 환경 적응형 센서 기술 개발
 - 극저온, 고압 환경에서도 정밀 데이터 수집 가능한 센서 기술
- 자율운영 관측시스템
 - 에너지 자급형 및 자율 무인 관측 플랫폼
- 데이터 통합 및 원격 전송 기술
 - 실시간 데이터 통합 및 분석 플랫폼
- 장기 데이터 축적 및 분석 시스템
 - 장기 데이터 축적 및 분석 시스템으로 변화 예측
- 수온, 염분, 해류 변동 관측 방안
 - 다중 센서를 활용한 수온, 염분, 해류 데이터를 실시간으로 수집가능한 관측 부표 시스템 개발.
 - 극지 환경에서 자율운영이 가능한 무인 관측 드론 및 AUV(자율 무인 잠수정) 기술개발
 - 고해상도 위성 기반 원격탐사 기술을 활용하여 대규모 해양 물리 변수 변화 감시
 - 해양 관측 데이터를 실시간으로 분석하고 시각화하는 데이터 플랫폼 구축
- 지역 및 글로벌 관측망의 연계
 - 극지 지역에서 수집된 데이터를 국제 네트워크와 실시간으로 공유
- 위성 관측과 현장 관측 통합:
 - 위성 데이터와 현장 관측 데이터를 통합하여 대규모 변화를 감시하고 상세한 지역 데이터를 보완

6) 응답자 6

○ 음향활용 계류관측 확대

- 능동 음향을 활용한 계류관측 (Inverted echo sounder)을 활용한 넓은 해역 모니터링 (수층별 해수 물성 변화의 단-중-장기적 변화 모니터링 가능)

○ 수중음향통신 기술의 확대

- 관측자료의 (준)실시간 획득을 통한 기후변화예측을 위한 기초 현장관측자료 연속적 생산
- 음향자료를 활용한 예측 시스템 정확성 향상에 기여 가능하고, 우리나라의 해양 모니터링 기술력 향상

7) 응답자 7

○ 고해상도 해양 관측 기술, 수중 음향 통신 기술, 자율적 관측시스템 및 자동화 기술, 고내구성 및 극지 환경에 최적화된 장비 개발, 다학제적 자료 융합 및 분석 시스템 등

- (고해상도 해양 관측) 극지 환경의 미세한 변화를 추적하고 예측하기 위해서는 해양 물리학적 변수(수온, 염분, 해류)뿐만 아니라 해양 화학적 및 생태학적 변수(용존산소, 영양염, 부유생물 등)를 고해상도로 측정할 수 있는 기술이 필요함. 특히, 해빙 및 유빙과 같은 극지 특유의 환경을 고려하여 고해상도 센서와 측정 장비의 개발이 시급함.
- (수중 음향 통신 기술) 극지 환경에서는 표층부이를 통한 위성통신이 불가능한 경우가 많음. 따라서 수중에서 데이터를 안정적으로 전송할 수 있는 수중 음향 통신 기술이 필수적임. 이러한 기술은 데이터 전송 속도를 높이고, 극지에서의 관측망 유지와 실시간 데이터 송출을 가능하게 함.
- (관측 자동화 기술) 극지에서는 현장 인력의 배치가 어려워 자율적으로 운영되는 관측시스템이 중요함. 센서들이 자율적으로 데이터를 수집하고, 고장이나 이상 징후를 탐지하여 자가 점검과 수리하는 시스템이 필요함. 이를 통해 극지 환경에서도 장기적으로 안정적인 관측망을 운영할 수 있음.
- (극지환경 최적화 장비 개발) 내구성이 강한 센서와 장비는 극지의 가혹한 환경에서 지속적으로 데이터를 수집하는 데 필수적임. 특히, 해빙, 유빙, 극저온 등 극지 환경에서의 장비 내구성 강화를 위한 기술개발이 우선되어야 함.
- (다학제적 자료 융합 및 분석) 극지 해양환경은 다양한 분야의 데이터가 결합되어야 정확한 분석이 가능함. 다양한 관측 항목과 데이터를 융합하여 분석할 수 있는 시스템이 개발되어야 하며, 이를 통해 더욱 정확한 예측 모델링과 변동성 분석이 가능해짐.

○ 고해상도 해양 관측 기술과 다양한 변수에 대한 관측이 가능해지면, 극지 해양환경의 변동성을 더 정확하게 파악 가능, 이는 해양환경의 변화가 미치는 영향을 더 정확하게 예측하고, 기후 모델에 반영할 수 있어 미래 기후 예측의 정확성을 높이는 데 기여함.

- (실시간 자료 전송 및 분석) 수중 음향 통신과 자율적 관측시스템의 개발이 이루어지면, 실시간 또는 준실시간으로 데이터를 수집하고 전송할 수 있음. 이를 통해 연구자들은 더 빠르게 데이터를 분석하고, 급격한 환경변화에 즉각적으로 대응할 수 있게 됨.
- (장기·안정적 관측망 구축) 극지 환경에 최적화된 내구성 높은 장비와 자율적 운영 시스템이 구축되면, 극지에서도 장기적으로 지속 가능한 관측망을 구축할 수 있음. 이는 장기간에 걸쳐 극지 해양환경의 변화를 정확하게 추적하고 분석할 수 있게 하여, 연구의 신뢰성을 높이고, 기후변화 대응 전략 수립에 중요한 기초 자료를 제공함.
- (다학제적 연구와 융합 연구 촉진) 다양한 변수와 데이터의 융합을 통한 연구가 가능해지면, 해양학, 기후학, 생태학, 해양화학 등 여러 분야에서 협력적인 연구가 촉진될 것임. 이러한 융합 연구는 극지 해양환경에 대한 종합적인 이해를 돕고, 새로운 연구 분야를 창출할 수 있음.
- (국제적인 협력 및 연구 리더십 강화) 극지 해양환경 감시 기술의 발전은 국제적 협력과 연구 리더십을 강화하는 데 기여할 것임. 고도화된 기술을 통해 다른 국가들과 협력하여 더욱 정밀한 연구를 수행하고, 극지 환경에 대한 글로벌 대응 전략을 수립하는 데 중요한 역할을 할 것임.
- 기후 예측 정확도 향상, 극지 해양생태계 변화 추적, 해양환경변화에 대한 정책적 대응, 극지 연구에 대한 국제적 영향력 확대, 장기적인 데이터 확보 및 분석 등
 - (기후 예측 정확도 향상) 고해상도 관측 기술과 다양한 변수를 수집할 수 있는 기술이 개발되면, 극지 해양환경의 변화에 대한 정확한 데이터를 확보할 수 있음. 이는 기후 모델의 정확도를 높여 향후 기후 예측에 실질적인 기여를 하게 됨.
 - (극지 해양생태계 변화 추적) 극지 해양환경은 급격한 변화를 겪고 있으며, 이에 따라 해양생태계도 영향을 받고 있음. 다양한 해양생물, 영양염, 부유생물 등의 데이터를 실시간으로 수집하고 분석할 수 있는 기술이 개발되면, 극지 해양생태계의 변화를 빠르게 추적하고 대응할 수 있게 됨.
 - (해양환경변화에 대한 정책적 대응) 극지 해양환경변화가 해수면 상승, 생태계 변화 등 세계적인 문제로 이어지기 때문에, 연구개발을 통해 수집된 데이터는 각국의 기후변화 정책에 중요한 역할을 하게 됨. 이에 따라 기후변화 대응 전략이 더 과학적이고 신뢰성 있게 수립될 것임.
 - (극지 연구에 대한 국제적 영향력 확대) 기술적 발전은 우리나라가 극지 연구에서 국제적 리더십을 강화하는 데 기여할 것임. 이를 통해 국제적 연구 협력 및 기술 교류가 활발히 이루어지고, 극지 해양환경 연구의 질적 향상이 기대됨.
 - (장기적인 데이터 확보 및 분석) 극지 해양환경에 대한 장기적이고 지속적인 데이터를 확보할 수 있게 되면, 기후변화와 관련된 더 정확한 연구 결과를 도출할 수 있음. 또한, 이러한

데이터를 바탕으로 더 정교한 예측 모델을 개발하고, 실시간으로 극지 해양환경변화를 모니터링하는 시스템이 구축될 것임.

8) 응답자 8

- 최근 들어 북극해 해빙의 범위, 시기, 특성이 크게 변화되고 있음. 특히 2007년 이후 두껍고 변형된 얼음 덩개에서 얇고 균일한 얼음 덩개로 변환되고 있음. 기존의 위성 해빙 자료는 해빙의 농도만을 보여주는 한계가 있으므로 보다 개선된 원격탐사 기술로 해빙의 두께, 면적, 기타 특징을 측정할 필요성이 있음
- 여름철 하향 복사플럭스 증가는 대륙붕의 얇은 해역에서 해빙 후퇴를 가져오고 이는 해양 열파를 발생시킴. 해양열파는 향후 지속적으로 발생될 것으로 예상되므로 해빙의 관측과 더불어 계류장치를 이용한 수온, 염분, 클로로필, 용존산소, 탁도 등의 기본물성 연속적 관측이 필요함.
- 기후변화는 북극해로 유입되는 태평양해수, 대서양해수의 유입량을 변동시킴. 북극해 생물권 형성에 큰 영향을 미치는 해수의 층화와 생지화학적 조건은 북극해로 유입되는 태평양, 대서양 해수의 유입량과 물성에 크게 의존하므로 다양한 해류의 유속과 대양수 유입량 변동의 관측이 필요함.
- 동토층이 녹으면서 막대한 양의 유기물이 북극해로 유입되어 북극해의 탄소흡수능을 저하되고 있음. 큰 하천이 방출되는 대륙붕을 중심으로 무기/유기탄소의 국지적, 지속적 모니터링이 필요함.
- 아산화질소와 메탄과 같은 미량 온실기체는 전지구적 기후변화에 중요한 역할을 하나, 주로 대륙붕에서 국지적으로 방출됨. 계류장치를 이용한 연속 측정이 필요함.
- 위성 데이터를 이용한 입자 침적량 산정은 정확성이 부족하므로 대륙붕에 설치된 퇴적물트랩을 이용한 정확한 입자침적량 관측을 제안함.
- 계류장치를 통해 측정된 수온, 염분 등의 자료를 실시간으로 전송받을 경우 현장 관측의 안정성 지속성이 향상되므로 고해상도 데이터를 실시간 전송하는 시스템 개발이 필요함

9) 응답자 9

- 시공간적 고해상도의 환경변수 관측기술 및 극지 환경정보 생산/분석 시스템 개발
 - 해빙 분포, 두께, 강도, 빙하 용융, 빙봉 붕괴 등 핵심기후변수를 높은 해상도로 관측할 수 있는 인공위성 관측 및 분석 기술 개발 시급
 - 극지 해양 및 육상 환경에서 장기간 연속적 운용이 가능한 핵심 기후변수 자동 관측 장비 및 안정성이 확보된 데이터 송수신 네트워크 개발 필요
 - 위성 및 현장 관측 데이터의 실시간 처리/분석, 극지 환경정보 생산/제공 시스템 체계 개발 요구

○ 극지 해양·빙권 환경관측망과 극지 위성 관측시스템 체계 개발의 효과

- 극지 환경의 시공간적 변화를 연속적으로 관측하고 데이터의 통합 분석이 가능함으로써 해양-대기-빙권의 복잡한 상호작용 메커니즘과 극지의 환경변화가 전 지구적 기후시스템에 미치는 영향을 더욱 명확히 규명할 수 있으리라 예상함.
- 극지 연안 지역의 환경변화 및 위험 요인을 조기에 감지하고, 이에 대한 대응 체계와 정책 수립이 가능할 것으로 기대됨.
- 특히, 기존의 불완전한 관측을 보완하고, 장기적인 극지 환경변화 및 단기적 이벤트를 모두 추적할 수 있는 관측시스템 기반이 마련됨으로써 기후변화 대응력을 강화하고 국제사회에서 우리나라의 영향력을 확대할 수 있으리라 예상함.

10) 응답자 10

○ 우선 개발 필요 기술 분야

- 고내구성 극지 관측 장비
- 극한 환경에서 안정적 작동 가능 관측 장비 개발 필요
- 실시간 데이터 전송 기술
- 극지의 제한된 환경(유빙으로 인한 표층부이 등)에서 수중통신 및 실시간 데이터 전송 가능 음향 통신 기술
- 고해상도 관측 및 분석 시스템
- 다양한 플랫폼 수집 데이터의 자동 융합 분석 통합 시스템 및 극지 환경변화의 미세한 특성 반영을 위한 고해상도 관측 기술
- 장기 관측 데이터 품질 관리시스템
- 장기적인 관측 데이터의 신뢰성 보장을 위한 자동화 품질관리 체계 구축

○ 기대 효과

- 극지 환경변화의 실시간 모니터링 가능으로 기후변화 대응력 향상
- 데이터 품질 및 정확성 확보를 통한 기후 예측 모델 정밀도 향상
- 극지 해양환경변화에 대한 체계적이고 장기적인 관측시스템 구축
- 정밀한 데이터 활용 기후변화 예측 모델 고도화 및 정책 개발에 활용

11) 응답자 11

○ 고해상도 위성 원격탐사 기반 연안 빙하 및 북극해 해빙 변화 관측

- 고해상도 위성 원격탐사 데이터 기반 glacier terminus 자동 매핑 및 변화 탐지 기술개발
- 다중분광 고해상도 위성 원격탐사 데이터 기반 지역 및 시기별 빙하 표면 알베도 변화 평가기술 개발
- 다중분광 고해상도 위성 원격탐사 데이터 기반 연안 빙하 및 북극해 해빙 표면 수계(melt pond, supraglacial lake 등) 진화 전과정 평가기술 개발
- 중-고해상도 위성 원격탐사 데이터 융합(harmonization) 기술 개발
 - 다중 위성 센서에서 획득된 데이터의 센서별 다양한 화소 크기에 대한 업스케일링(upsampling) 및 공간해상도 특성 일치화
 - 위성 센서별 밴드의 spectral response function (SRF) 기반 파장대역 고려를 통한 분광밴드 특성 일치화
 - 데이터 융합(harmonization) 결과물의 일관성 평가 및 연속 장기분석 수행

4.2.5 기술수요조사 결과 키워드 분석

가. 주요 이슈 및 문제점

- 데이터 부족 및 관측망 한계
 - 데이터 불연속성: 계절별·시공간적 관측 불균형으로 장기적 극지 환경 변화 추적이 어려움
 - 관측 항목 제한: 물리적 변수(수온, 염분 등)에 집중, 생태 및 빙권 변화 관측 부족
 - 고해상도 자료 부족: 낮은 해상도로 미세한 환경변화 포착 및 모델 신뢰성 저하
- 기술적 한계
 - 극한 환경 적응 기술 부족: 극지 환경에서 안정적 작동할 수 있는 장비 부족
 - 실시간 데이터 전송 어려움: 겨울철 위성통신 제한으로 분석 시의성 저하
 - 다중 플랫폼 통합 미흡: 다양한 관측 장비 간 데이터 통합 체계 부족
- 국제협력 및 인프라 부족
 - 데이터 공유 한계: 국가별 데이터 관리로 국제협력 및 공유 제약
 - 예산 및 전문 인력 부족: 연구 수행 및 기술개발을 위한 자원 부족
 - 물리적 인프라 미비: 관측망 운영을 위한 기지, 장비, 선박 부족

나. 극지 해양환경 관측의 한계 및 개선 요구사항

- 장기 관측망 구축 필요성

- 여러 전문가가 장기 모니터링 정점 구축과 데이터 연속성 확보 필요성을 강조
- 실시간 데이터 전송 시스템 요구
 - 데이터 실시간 전송 및 품질 관리 시스템의 중요성 반복 언급
- 고해상도 데이터와 항목 추가
 - 기존 관측 항목의 한계를 보완하기 위한 고해상도 센서와 다양한 관측 변수 필요성 공통적으로 지적
- 국제 협력과 인프라 강화
 - 국제적 협력을 통한 기술 공유와 연구 프로젝트 확대 필요성 반복 강조

다. 기존기술의 한계 및 기술 개선 요구사항

- 고내구성 장비 필요성: 극한 환경에서 작동 가능한 장비 개발 필요
- 실시간 데이터 전송의 중요성: 수중 음향 통신과 위성 기반의 데이터 송수신 기술 개선
- 관측 항목의 다양화: 물리적, 화학적, 생물학적 변수 측정 장비 필요성
- 자동화 시스템 구축: 자동화된 데이터 수집 및 품질 관리 시스템 요구
- 에너지 효율 및 자급형 기술개발: 배터리 성능 향상 및 에너지 자급형 기술 도입

라. 우선 개발 필요한 기술 분야

- 실시간 데이터 송수신 기술
 - 수중 음향 통신과 위성 기술은 다수 수요자 의견에서 강조
- 극지 환경 적응형 장비
 - 내구성 강한 센서, 자율 무인 관측 플랫폼, 고해상도 관측 장비 필요성 반복
- 데이터 융합 및 통합 플랫폼
 - 다양한 데이터 소스를 통합하고 분석하는 시스템 구축 요구
- 장기 데이터 축적 및 품질 관리
 - 데이터의 장기적 품질 관리와 신뢰성 보장이 중요
- 고해상도 위성 기술
 - 위성 기반 원격탐사 기술개발 및 다중 데이터 융합

<표Ⅱ-4> 기술수요조사 키워드 분석표

메인키워드	세부 키워드
데이터 부족과 관측망 한계	• 시공간적 불연속성, 관측 항목 제한(수온, 염분 중심), 고해상도 자료 부재, 연중 관측 어려움(극한 환경 영향)
극지 기후변화와 생태계 영향	• 기후화 가속화(온도 상승, 해빙 감소), 탄소수 능력 저하, 온실가스 배출 증가
기술적 한계	• 장비 내구성 부족, 실시간 데이터 전송 기술 부족, 다중 플랫폼 연계 부족
국제협력 및 인프라 부족	• 국제 데이터 공유 제한, 예산 및 전문 인력 부족, 관측기지 및 물리적 인프라 미비
주요 개선 방향	• 고해상도 관측 기술개발, 관측 항목 확장(빙권, 생물·화학 변수), 자동화 데이터 관리 시스템
기술적 개선	• 극지 적응형 장비 개발, 실시간 통신 기술 구축, 다중 플랫폼 통합 운영
국제협력 및 정책 지원	• 국제 네트워크 강화, 연구 지원 확대, 정책적 기반 강화
우선 개발 기술 분야	• 극지 환경 적응형 관측 플랫폼, 실시간 데이터 전송 및 통합기술, 고해상도 관측 및 분석 기술, 다학제적 데이터 융합 시스템, 에너지 자급형 기술
통합된 키워드 요약	• 데이터수집 및 품질향상, 고해상도 관측기술, 극한환경 적응형장비, 실시간 통신 및 데이터 자동화, 국제협력 강화, 장기적 관측망 구축, 정책 지원 및 예산 증대, 다중 플랫폼 통합 시스템, 기후 변화 대응 기술

4.3 연구개발 필요성 방향 도출

가. 주요 이슈 및 문제점 분석

- 지속적이고 정밀한 데이터 수집의 중요성
 - 극지 해역은 기후변화의 최전선으로, 빠르게 진행되는 환경변화를 정확히 모니터링하기 위해 시공간적으로 연속적이고 고해상도의 데이터를 수집할 필요가 있음. 이를 위해, 수온, 염분, 해빙뿐만 아니라 생물·화학적 변수(영양염, 부유생물 등)와 빙권 변수(빙하 속도, 빙상 두께 등)를 포함한 다학제적 관측 항목을 확장해야 함.
- 극지 환경 적응형 기술 개발의 시급성
 - 극저온 및 극한 환경에서 내구성과 안정성을 유지할 수 있는 고해상도 관측 장비와 실시간 데이터 전송 기술 개발이 시급함. 수중 음향 통신, 자율무인잠수정(AUV), 글라이더 등의 첨단 장비를 활용하여 다양한 플랫폼을 통합하고, 데이터를 자동화된 시스템으로 관리하는 체계가 필요함.
- 국제 협력과 연구 지원 확대
 - 극지 데이터의 품질과 신뢰성을 높이기 위해 다국적 협력 연구와 데이터 공유를 강화해야 함. 이를 위해 국제 연구 네트워크에 적극적으로 참여하고, 연구 예산 및 전문 인력을 확보하며, 인프라를 확충해야 함.
- 장기적 관측망 구축의 필수성
 - 극지 해역에서 장기적이고 지속적인 모니터링을 가능하게 하기 위해, 핵심기후변수 관측 정점을 설정하고, 고해상도 데이터 수집 체계를 마련해야 함. 이는 기후 모델의 정확성을 높이고, 지구 시스템 내 극지의 역할을 명확히 규명하며, 기후변화 대응 전략을 수립하는 데 필수적임.

나. 관측의 한계 및 개선 요구사항 분석

- 개선 요구사항
 - 현재 극지 해양환경 관측 기술과 시스템은 극지 환경의 복잡성을 충분히 반영하지 못하고 있음. 특히 고해상도 데이터와 실시간 전송 체계의 부족이 주요 제약으로 작용하고 있으며, 관측 항목, 데이터 품질, 장비 내구성 등의 한계도 발견되고 있음.
 - 현재 관측은 물리적 변수에 국한되어 있으며, 해양생태계와 생화학적 변수, 빙권의 동적 변화를 포함하지 못하고 있음. 관측 해상도가 낮아 복잡한 해양 및 빙권 변화를 세밀히 감지하지 못하고 있으며, 계절적 제약으로 인해 장기적 데이터 축적이 어려움.
 - 또한 겨울철 음향 통신 기술 부족으로 데이터 전송이 어렵고, 품질 관리와 데이터 공유 시

시스템도 미흡하다. 관측망 인프라 역시 부족하여 장기적 관측 정점이 충분히 확보되지 못하고, 유지보수 및 예산 지원의 한계로 인해 데이터 연속성도 결여되어 있음.

- 기술적 측면에서는 극저온과 해빙 조건에 적합한 장비 개발이 미흡하며, 동위원소 분석 및 기후 관련 물질의 정량화 기술도 부족함.

○ 개선 요구사항

- 관측 항목 확대와 해상도 개선이 필수적임. 관측에는 부유생물, 영양염, 탄소동위원소, 메탄과 같은 생물학적, 화학적 변수를 포함하고, 빙하와 빙봉 두께 및 강도 측정을 강화해야 함. 이를 통해 해양 및 빙권의 미세 변화를 포착할 수 있는 고해상도 데이터 수집 시스템을 개발해야 함.
- 또한 장기적 계류 정점을 유지하고 중장기 모니터링 설계를 통해 자동화된 관측망과 실시간 데이터 전송 체계를 구축해야 함. 데이터 품질 관리시스템을 국제 표준화하고, 누구나 접근 가능한 데이터베이스를 설계하여 실시간 업데이트가 가능하도록 해야 함.
- 기술 및 인프라 확충도 필요하다. 극지 환경에 적합한 고내구성 장비를 개발하고, 무인기와 같은 관측 장비를 도입하여 운영을 지원해야 함. 국제적 공동연구와 기술 교류를 확대하고, 대학 및 연구소 간 협력을 통해 신기술 개발과 전문가 양성을 추진해야 함.

- 현재 극지 관측 기술은 고해상도 데이터와 실시간 전송 체계의 부족으로 인해 극지 환경의 복잡성을 충분히 반영하지 못하고 있음. 또한 관측의 연속성과 정밀도를 보장할 인프라와 협력체계도 부족함. 개선을 위해 관측 항목을 확대하고 고해상도 데이터를 확보하며, 자동화와 지속 가능한 관측 체계를 구축해야 함. 국제적 공동연구를 통해 비용을 절감하고 데이터 접근성을 확대해야 하며, 장기적으로 극지 연구를 주도할 국가적 리더십을 확보할 필요가 있음.

다. 기존 기술의 주요 한계 분석

○ 극지 환경 적응성 부족

- 장비 내구성의 한계: 극저온, 고압, 부식 환경에서 장비가 안정적으로 작동하지 못하는 문제가 제기됨. 특히, 해빙과 유빙 등 극한 조건에서 센서 성능 저하가 빈번히 발생.
- 배터리 성능 저하: 저온 환경에서 배터리 용량이 급격히 감소하여 장기적인 관측이 어려움.

○ 데이터 수집 및 전송의 한계

- 실시간 데이터 부족: 여름철을 제외한 기간 위성 기반 통신이 제한되며, 기존 수중 음향 통신 기술은 데이터 전송 속도와 안정성에서 한계를 보임.
- 데이터 해상도 제한: 관측 데이터의 시공간적 해상도가 낮아 극지 해양환경의 미세 변동성

을 추적하기 어려움.

○ 관측 항목 및 장비 다양성 부족

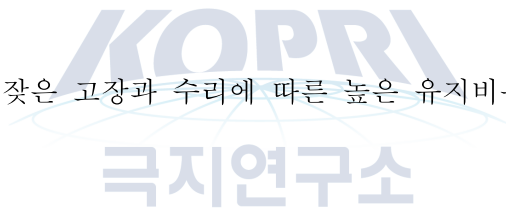
- 관측 변수 제한: 물리적 변수(수온, 염분, 해류 등)에 치중된 장비로 인해 화학적(용존산소, 영양염 등) 및 생물학적(플랑크톤, 엽록소 등) 데이터를 포함한 다학제적 연구가 제한됨.
- 신기술 적용 부족: 국제적으로 활용 중인 방사성 동위원소, 안정 동위원소 등을 활용한 침 단센서와 기술의 활용 사례가 국내에서는 제한적임.

○ 자동화 및 통합 시스템 부족

- 데이터 관리 자동화 미흡: 기존기술로는 데이터 수집, 품질 관리, 분석의 자동화가 어렵고, 이는 데이터 신뢰성과 연구 효율성을 저해함.
- 다중 플랫폼 데이터 통합 한계: 위성, 부이, 글라이더 등 다양한 관측 장비에서 수집된 데이터를 통합적으로 분석할 수 있는 플랫폼이 부족함.

○ 운영 및 유지보수의 어려움

- 현장 접근성 문제: 극지 환경의 접근성과 극한 조건으로 인해 장비 유지보수 및 관측망 관리가 어려움
- 유지비용 증가: 장비의 잦은 고장과 수리에 따른 높은 유지비용과 인력 소모



라. 기술 개선 요구사항 및 기대효과 분석

○ 극지 적응형 장비 개발

- 필요성: 극지 환경에 특화된 내구성이 강한 센서 및 장비가 필요하며, 특히 극저온과 고압 환경에서 안정적으로 작동해야 함.
- 기대 효과:
 - 데이터의 신뢰성과 정확성 확보
 - 장비 수명을 연장하여 장기 관측 가능성 향상

○ 고해상도 및 다변수 관측시스템 도입

- 필요성: 해빙 두께, 해양생태계, 생화학적 변수 등을 포함한 고해상도 데이터 수집 장비와 시스템이 요구됨.
- 기대 효과:
 - 극지 해양환경의 복잡성을 더 정밀하게 파악

- 기후모델 및 예측의 정확성 강화

○ 실시간 데이터 전송 및 자동화

- 필요성: 수중 음향 통신 기술을 개선하여 실시간 또는 준실시간 데이터 송수신이 가능해야 함. 데이터 품질 관리 및 분석 과정을 자동화하여 효율성을 높여야 함.

- 기대 효과:

- 실시간 데이터 분석으로 기후변화 대응력 강화
- 데이터 품질과 일관성 개선으로 연구 신뢰도 상승

○ 다중 플랫폼 융합 시스템

- 필요성: 위성, 수중 드론, 글라이더, 표층부이 등 다양한 관측 플랫폼을 통합적으로 운영하고 데이터를 분석할 수 있는 시스템 개발이 필요함.

- 기대 효과:

- 다학제적 데이터를 통합하여 기후변화의 원인과 영향 분석을 강화
- 연구 범위 확대 및 다국적 협력 촉진

○ 운영 및 유지보수 자동화

- 필요성: 원격 유지보수가 가능한 자율적 진단 및 점검 시스템이 요구됨. 극한 환경에서도 안정적으로 운영가능한 배터리 및 에너지 자급형 기술이 필수적임.

- 기대 효과:

- 유지보수 부담 경감으로 연구 효율성 극대화
- 관측망의 지속 가능성 확보로 장기 데이터 축적 가능

마. 우선 개발이 필요한 기술 분야

○ 중장기 관측시스템

- 필요성: 극지의 핵심 기후변수(수온, 염분, 해류 등)를 장기간 모니터링하여 기후변화 영향을 예측

- 기술 요구:

- 실시간 데이터 송수신 기술
- 시스템 관리 및 빅데이터 처리 기술
- 위성 통신 네트워크 구축

- 기대 효과: 기후변화 추세 분석과 예측에 장기적 데이터 제공
- 블랙 카본 및 과불화화합물(PFAS) 모니터링
 - 필요성:
 - 블랙카본이 극지 생태계에 미치는 영향평가
 - PFAS의 유입과 축적을 추적
 - 기술 요구:
 - 안정동위원소 및 방사성 동위원소를 활용한 기원 추적 기술
 - 미세오염물질 농도와 기원 분석 장비
- 방사능 동위원소 기반 추적 시스템
 - 필요성:
 - 방사능 동위원소를 이용해 물리·화학적 반응 및 물질 유입 경로를 간접적으로 파악
 - 기술 요구:
 - 미량원소 및 방사능 동위원소 흡착물질을 적용한 계류 체계 구축
 - 시간적, 공간적 자원이 적게 드는 효율적 모니터링 시스템
- 실시간 데이터 전송 및 통합기술
 - 필요성: 데이터 획득 지연 최소화 및 실시간 모니터링 강화
 - 기술 요구:
 - 수중 음향 통신 및 위성 통합기술
 - 자율 운영 가능한 복합 관측 장비
 - 기대 효과: 실시간 데이터 활용 및 긴급 상황 대응 강화
- 극지 환경 적응형 관측 플랫폼
 - 필요성: 극한 환경에서도 안정적인 관측 가능
 - 기술 요구:
 - 내구성 강한 센서 및 관측 장비
 - 자율 무인 관측 플랫폼(AUV, 글라이더 등)
 - 물리·화학·생물학적 데이터를 통합 측정하는 멀티센서 개발

○ 고해상도 관측 기술

- 필요성: 극지 환경의 세밀한 변화 추적

- 기술 요구:

- 위성 기반 원격탐사 기술
- 데이터 융합을 통한 공간·시간 해상도 개선
- 고해상도 센서를 통한 해양 물리 변수 관측

○ 위성과 현장 관측 데이터 통합

- 필요성: 대규모 관측과 상세한 지역 데이터의 상호보완

- 기술 요구:

- 위성 데이터와 현장 데이터를 통합하는 플랫폼
- 데이터 분석 및 시각화 기술

○ 지역 및 글로벌 관측망 연계

- 필요성: 국제협력 강화 및 글로벌 데이터 공유

- 기술 요구:

- 국제 네트워크와 실시간 데이터 공유 기술
- 다국적 데이터 표준화 시스템

○ 입자 침적량 관측

- 필요성: 퇴적물 분석을 통한 탄소 순환 및 생태계 변화 연구

- 기술 요구:

- 퇴적물트랩을 이용한 입자 침적량 정밀 분석 기술
- 대륙붕 중심의 입자 이동 모니터링체계



III. 연구개발과제 및 추진계획

1. 비전 및 목표

- 극지 관측망 구축 및 운영을 통한 해양 및 빙권 분야 핵심기후변수* 17개(표층/수심별 수온·염분 및 해류, 용존산소, 영양염, 해색, 해빙, 빙하 등)에 대한 중·장기 고해상도 관측자료를 획득함으로써 극지 기후변화 감시 정보 생산
 - * 기후변화 감시를 위한 국제 과학 협력 프로그램인 전 지구 기후 관측 체계(Global Climate Observing System)에서 선정
- 극지 환경적 제약(해빙, 유빙)을 극복한 관측망 시스템 고도화를 통해 준 실시간 관측자료를 확보하고 획득자료 품질관리·가공·배포를 위한 자동화 시스템 구축
- 관측망을 통해 확보된 극지 연안 환경의 장기 변동성 자료로부터 기후모델의 검증·평가 방안과 기준을 마련
- 기후변화 진단·감시 핵심 지역* 에서 핵심기후변수의 장기 관측으로 국제사회 영향력 유지 및 확대
 - * 남극장보고과학기지 인근해는 지구 열 균형 조절에 중요한 전 세계 해양 순환의 한 고리인 남극저층수가 형성되는 해역으로 기후변화 진단·감시에 최적지
- 극지 관측망 구축·운영 통해 환경 및 생태계에 대한 감시 정보를 생산 제공함으로써 「기후·기후변화 감시 및 예측 기본계획」의 원활한 수행 및 목표 달성에 기여하며, 기후변화 대응 정책 기준 마련에 기초 및 근거자료 제공
- 극지 준 실시간 중·장기 관측망 구축·운영을 위한 기술 개발과 관측 기법 다양화를 위한 노력을 통해 산·학·연 협력 기반 실용 기술 개발 및 관련 산업 분야 활성화에 기여

2. 개발목표 및 사양도출

2.1 남·북극 해양 물리·생지화학 분야 핵심기후변수 감시 정보 생산

- 수중계류시설을 통해 관측되는 핵심기후변수 자료의 안정적·연속적 확보를 위해 수중 음향 통신 기술을 활용한 준 실시간(1~2주 간격의 자료 획득) 관측망 구축
 - 남·북극의 과학기지에서 수 km(장보고 과학기지 최대 80km) 떨어진 수중계류시설로부터 육상 기지국까지 결빙 해역에서 운영이 가능한 수중 자료 전송망 개발
- 준 실시간 관측시설(수중계류관측시설, 연안관측시설)에서 획득한 자료의 품질관리·가공·배포를 자동적으로 수행할 관측자료 관리 자동화 시스템 기술 개발

- ①품질관리(범위 검사, 연속성 검사, 이상값 제거, 교차검증), ②결측값 복원(선형 및 비선형 보간), ③노이즈 제거(필터링), ④자료 표준화(단위, 좌표계, 자료형식 표준화), ⑤시각화 및 배포가 자동화된 시스템

2.2 남·북극 위성 관측 기반 해빙·해색 감시 정보 생산

- 원격탐사를 통해 추정하는 핵심기후변수 자료의 시공간적 연속성과 정확성 확보를 위해 추정 알고리즘의 성능 향상과 인공지능의 활용을 포함한 관측망 구축
 - 남·북극의 과학기지 주변(최대 500 km) 해역에서 단일 위성의 시공간적 관측 공백을 보간하고 교차 검증이 가능한 다중 위성 및 재 분석장/모델 합성 기반의 위성 산출물 품질 고도화 기술 개발
- 인공위성 관측망에서 획득한 자료의 품질관리·가공·배포를 위한 준 실시간 자동화 시스템 기술 개발
 - ①시계열 보간 및 인공지능 모델을 통한 결측값 복원, ②노이즈 및 이상값 제거와 교차검증을 포함한 품질 관리, ③해상도, 주기, 형식 등 자료 표준화, ④시각화 및 배포가 자동화된 시스템



2.3 남극 빙권 변동성 감시정보 생산

- 다중관측장비(GNSS, ApRES, AWS)를 결합한 통합 빙권 고정 관측 시설 설계 및 개발
 - 남극 장보고 과학기지 인근의 주요 빙하 거점에 설치하여 빙하의 이동속도, 적설량 및 기상 변수, 빙붕 하부 융해량을 연속 관측하고 이를 위성을 통해 실시간으로 전송함. 관측한 자료는 빙상 동역학 모델의 비교·검증자료로 사용하여 빙권 변동성 미래 예측 성능 개선에 활용함.

<표 III- 1> 기획기술의 목표수준 비교

구분	개발기술	선진 기관	해외 선진 수준	국내 수준 (다른 산업)	기술 수요	기획 연구 현수 수준	목 표 수준
남·북극 해양 물리·생지화학 분야 핵심기후변수 감시 정보 생산	관측자료 관리 자동화 시스템 기술	Ocean Observatories Initiative (미국) European Marine Observation and Data Network (유럽)	●●●	●●○	●●●	○○○	●●●
	관측자료 수중 전송 기술	Ocean Observatories Initiative (미국)	●●●	●○○	●●○	○○○	●●○
남·북극 위성 관측 기반 해빙 해색 감시 정보 생산	해빙·해색 인공위성 산출물 개발	MET Norway (노르웨이) NASA OBPG (미국)	●●●	●○○	●●○	●○○	●●●
	준실시간 인공위성 산출물 품질관리·가공· 배포	EUMETSAT OSI SAF (유럽연합) NSIDC (미국)	●●●	●○○	●●○	●○○	●●○
남극 빙권 변동성 감시 정보 생산	통합 빙권 관측 시설 개발	British Antarctic Survey (영국)	●●●	●○○	●●○	○○○	●●○



3. 핵심개발과제

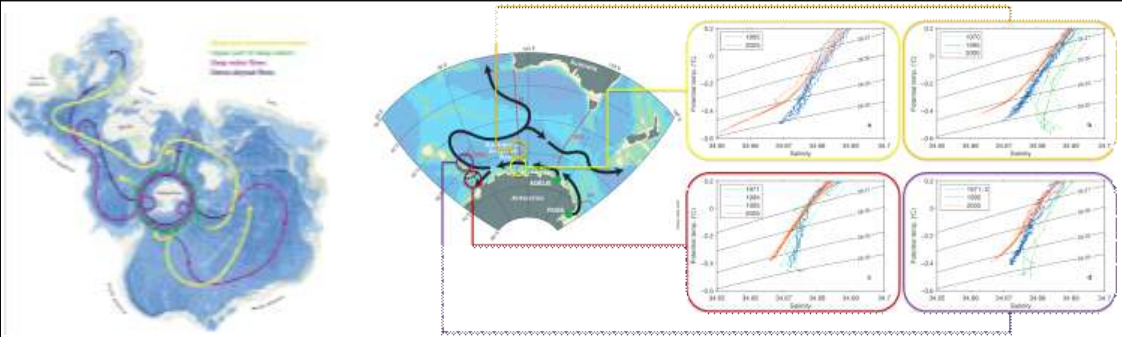
3.1 핵심개발내용

- 수중 음향 통신 기술을 활용한 준 실시간 수중계류시설을 구축하고 관측 자료 관리 자동화 시스템을 개발 구축하여 남·북극 해양 물리·생지화학 분야 핵심기후변수 감시 정보 생산
 - 수중계류시설 설치 예정 해역의 과거 관측자료(음속, 노이즈) 수집 및 추가 관측계획 수립
 - 수중통신 전문가 그룹과의 협력을 통해 기지국 기반 수중 통신망 체계 개발(기지국 운영 주파수 및 대역폭 설계)
 - 실시간 데이터 이상값 감지를 위한 품질 검증 알고리즘 개발, 결측값 복원 및 처리를 위한 시공간 보간 기법 및 머신러닝 기법 개발
- 다중 시계열 인공위성 자료와 인공지능 합성장 산출 기술을 활용한 준 실시간 원격탐사관측망을 구축하고 자료의 가공·품질관리·배포 자동화 시스템을 개발 구축하여 남·북극 해빙·해색 분야 핵심기후변수 감시 정보 생산
 - 원격탐사관측망 운영 예정 해역의 과거(기존) 현장 조사 자료, 위성영상-산출물 쌍 자료 수집 및 다중 위성 기반의 시공간 관측 공백 최소화 전략 수립
 - 추정 알고리즘의 기술 성능 개선 및 인공지능을 활용한 외부장(재분석/모델) 합성을 통한 핵심기후변수의 품질 고도화
 - 국내외 극지 원격 탐사 전문가 그룹과의 협력 체계 구축 (기술 개발 전략 및 관측 체계 수립)
 - 준 실시간 가공·품질관리·배포 체계의 자동화 및 인공위성 변경에도 지속 운영 가능한 유연한 시스템 구축과 자료 생산
- 측지 및 지구물리 관측 기술을 활용한 준 실시간 빙하 고정 관측 시설을 구축하고 빙상 질량 손실의 지속적인 모니터링을 위한 핵심기후변수 감시 정보 생산
 - 측지 기술(GNSS)을 활용한 빙하 거동 및 적설량 모니터링
 - 지구물리 관측 기술(위상 감응 레이더)을 활용한 빙봉 하부 용융량 모니터링
 - 자동 기상 관측 장치를 활용한 거점 핵심 기상 자료 획득
 - 다중 관측 자료를 활용한 빙상 질량 손실의 지속적인 모니터링

<표 III- 2> R&D 수행으로 예상되는 개선수준

핵심 항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'26년 수준	목표수준	
	~ '25	'26	'26~'30(종료년도)	'31~(종료이후)
남·북극 해양 물리·생지화학 분야 핵심 기후변수 감시 정보 생산	- 극지 과학기지 인근 해양환경·생태에 대한 한시적(여름철) 관측 수행 - 남·북극 중요 해역에서 선박을 활용한 해양환경 관측 - 남·북극 중요 해역에서 수중계류장치를 이용한 해양물리변수(수온, 염분, 해류)를 1~2년 자료 획득주기의 한시적 관측	- 남·북극 해양 물리·생지화학 분야 핵심기후변수 감시 정보 생산을 위한 수중계류시설 및 연안관측 시설 도입 및 구축 및 고도화 계획 수립 - 관측자료의 품질 관리·가공·배포를 위한 관측자료 관리 자동화 시스템 구축 계획 수립	- 준 실시간 수중계류 시설을 통해 해양물리·생지화학 분야 핵심기후변수의 안정적·연속적 확보. - 관측자료 관리 자동화 시스템을 통해 관측자료의 품질관리·가공·배포의 자동화 실현 - 핵심기후변수 관측자료를 활용한 기후모델 검증 및 평가 방안 마련	- 고도화된 준실시간 수중 및 연안 관측시설로부터 해양물리·생지화학 분야 핵심기후변수 감시 정보 안정적 생산 - 관측시설로부터 획득한 다년간 핵심기후변수 감시 정보를 활용 기후모델 검증·평가 및 예측 성능 향상
남·북극 위성 관측 기반 해빙·해색 감시 정보 생산	- 남·북극 일부 연구지역 해양환경에 대한 한시적 위성영상 수집과 지역 특수성 미반영된 일반화된 알고리즘 사용하여 변수 산출 및 비표준화된 데이터 제공 - 해외기관 산출 기후변수 자료(수~수십일지연)의 수동적 수집 및 처리와 사용자 중심의 수동적 품질 관리	- 남·북극 과학기지 주변 해역 다중 위성 관측 영상의 준실시간 (1일 이내) 수집 및 국제표준 기반 분류·전처리·저장 프레임워크 및 인프라 구축 - 관측 영상으로부터 핵심기후변수를 산출하는 알고리즘의 고도화 및 산출 자동화 체계 구축 계획 수립	- 준 실시간 다중 위성 관측망을 통해 핵심기후변수 산출을 위한 입력자료의 안정적·연속적 확보 - 고도화된 산출 알고리즘 적용으로 시공간 공백을 최소화하고 정확도 80% 이상인 핵심기후변수 자료의 생산·품질관리·배포 자동화 실현	- 글로벌 수준의 극지 핵심기후변수 산출 및 검증체계 운영 - 완전 자동화된 품질 관리·가공·배포 시스템 운영 - 국제 극지관측 네트워크와의 실시간 데이터 공유체계 구축 - 관측자료를 활용한 극지해역 해빙/해색 변화 메커니즘 규명 및 예측 성능 향상
남극 빙권 변동성 감시 정보 생산	장보고 과학기지 인근 일부 지역에서 측지 및 지구물리 모니터링을 통한 비정기적인 혹은 일시적인 빙상 질량 손실 관측	장보고 과학기지 인근 대표 거점에 장기 운영이 가능한 측지/지구물리 관측 시설 구축	주요 거점에서의 장기/정기적인 관측을 통하여 빙상 질량 손실 관측 자료의 대표성 확보	핵심 거점 현장의 빙상 손실 관측 자료를 이용한 미래 빙상 손실 예측

비전
성과



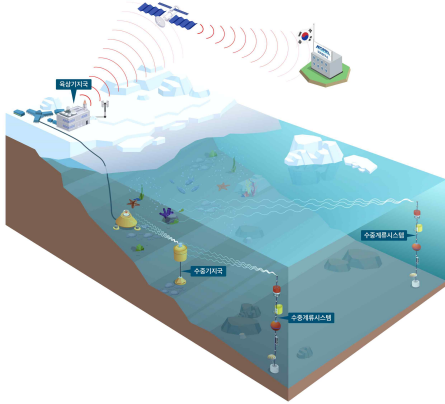
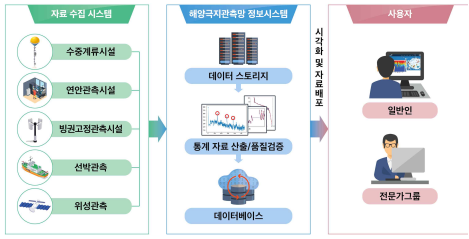
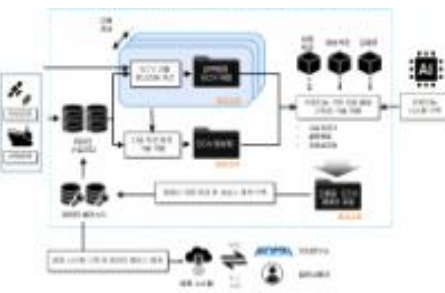
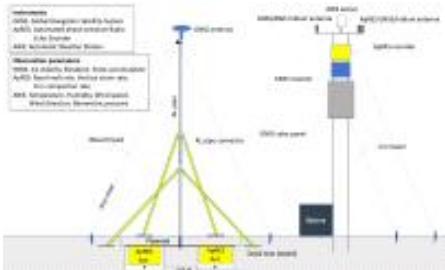
[설명] 전 지구 열 균형에 기여하는 해양대순환의 한 고리인 남극저층수는 최근 저염화되고 부피가 감소하여 해양대순환을 약화시키는 것으로 보고됨. 따라서 남극저층수 형성 해역인 남극장보고기지 인근해 수중계류시설을 구축함으로써 해양물리분야 핵심기후변수를 모니터링하여 남극저층수의 변동성을 감시함



[설명] 다중 위성 관측망 자료를 기반으로 현장 관측 자료를 이용한 검·보정, (인공지능)모델을 결합한 시공간 결측 보완을 통해 고도화된 핵심기후변수 자동 산출·배포 시스템을 구축 운영함

3.2 사업 주요내용

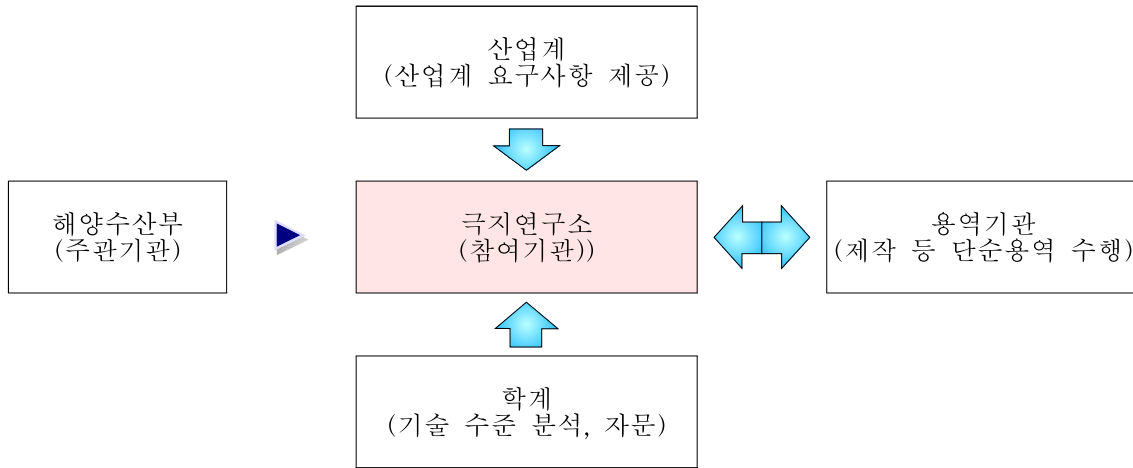
<표 III- 4> 내역사업 주요내용

내역사업	사업 설명 요약		개념도
1.수중음향통신을 활용한 관측망 고도화 기술 개발	사업 목적	기지국 기반 수중 통신망 개발	
	사업비	25억(국비 기준), 26년 10억	
	최종 성과물 및 활용성	결빙 해역에서 운영 가능한 준 실시간 해양환경 관측망 구축 및 운영 기술	
	2026년 개발 내용	극지 해역 과거 관측자료 조사 및 분석을 통한 수중 기지국 최적화를 위한 주파수 및 대역폭 설계	
2.관측자료 관리 자동화 시스템 개발 및 구축	사업 목적	관측자료의 품질관리·가공·배포를 자동적으로 수행할 관측자료 관리 자동화 시스템 기술 개발	
	사업비	11.7억(국비 기준), 26년 2.4억	
	최종 성과물 및 활용성	실시간 자료 품질 검증 알고리즘, 결측값 복원 및 처리 기법 개발.	
	2026년 개발 내용	관측자료 이상값 감지를 위한 품질 검증 알고리즘 개발	
3. 해빙·해색 위성 관측망 고도화 기술 개발	사업 목적	원격탐사 기반 해빙·해색 핵심기후변수의 품질 고도화 기술 개발 및 준실시간 품질관리·가공·배포 자동화 시스템 구축	
	사업비	29.95억(국비 기준), 26년 9.4억	
	최종 성과물 및 활용성	고도화된 해빙·해색 핵심기후변수 및 준실시간 데이터 수집, 처리 및 배포 자동화시스템	
	2026년 개발 내용	해빙·해색 핵심기후변수 고도화, 인공지능 플랫폼 및 파이프라인 구축, 품질관리·가공·배포 프레임워크 개발	
4.빙권 질량 손실 관측망 구축	사업목적	주요 빙하 거점 질량 손실 관측소 구축	
	사업비	7.65억(국비 기준), 26년 1.6억	
	최종 성과물 및 활용성	주요 빙하 거점의 빙하 이동 속도, 적설량 및 기상 변수, 빙붕 하부 용융량의 연속 관측 자료 확보, 빙상 동역학 모델과의 비교를 통한 미래 예측에 활용	
	2026년 개발 내용	다중 관측 장비(GNSS, ApRES, AWS)를 결합한 빙하 고정 관측 시설 설계 및 시험	

3.3 사업추진체계 및 방식

- 동 사업은 해양수산부 주관으로 극지연구소가 민간위탁기관으로 참여하여 수행

[그림Ⅲ-8] 사업 추진체계



- 사업추진전략

- **(극지 기후변화 감시 체계 구축에 역량 집중)** 해빙·빙권 기후변화 감시를 위해 남·북극 과학기지 기반 수중계류시설 5개, 연안관측시설 2개, 빙권고정관측시설, 위성관측시스템을 구축 및 운영하여 해양·빙권 분야 핵심기후변수의 안정적 관측에 역량 집중
- **(단계적 관측망 고도화)** 초기 관측망을 구축시 추후 수중음향통신 기술을 활용한 준 실시간 관측망으로의 고도화를 고려하여 관측망 설계
- **(산·학·연 협동)** 준 실시간 관측망 및 관측자료 자동화 시스템 구축을 위해 국내 대학 전문가(수중음향통신 분야) 및 관련업체(관측자료 품질관리 분야)와 협력을 통해 수행
- **(극지연구소 주요사업과의 협력)** 극지연구소 남·북극해 사업들과 연계하여 관측망 구축에 필요한 연구 해역 과거 관측자료로부터 기초 환경 분석 및 관측자료 통합·연계 분석을 통해 핵심기후변수의 시·공간 변동성 파악
- **(미래 기후 예측에 관측망 자료 활용 극대화)** 국내·외 기후모델 연구그룹과 공동연구를 통해 관측망으로부터 확보된 중·장기 핵심기후변수 관측자료로부터 기후모델 검증·평가 방안을 마련하고, 기후 예측 성능 향상에 기여

- 사업 수행 주체 및 역할

- 해양수산부(주관기관)은 예산 및 계획을 수립하고 위탁기관(극지연구소)과 계약을 체결함.
- 극지연구소(참여기관)은 사업계획 수립 및 사업비를 신청하고 사업을 수행후 사업 진행 완료 및 정산보고함.

3.4 사업추진 로드맵

<표Ⅲ- 5> 사업추진 로드맵

분야	전체 (5개년)				
	2026년	2027년	2028년	2029년	2030년
남·북극 해양 물리·생지화학 분야 핵심 기후변수 감시 정보 생산	남극 세종·장보고기지 & 북극 다산과학기지 인근해 수중계류시설(해양물리) 구축 및 운영				
	관측망 설계 및 도입 관측자료 전 처리 방법 확립	관측망 구축 관측자료 전 처리 방법 확립	관측망 유지·보수 자료 처리 자동화 시스템 설계	준실시간 관측망 구축 및 관측자료 관리 자동화 시스템 구축	준실시간 관측망 유지·보수
	수중음향통신을 활용한 관측망 고도화 기술 개발 및 환경조사				
	남극 세종·장보고기지 연안관측시설(해양생지화학) 구축 및 운영				
	장보고·세종 연안관측시설 설계·장비도입 및 구축		연속·정기 관측		
	자료 관리 및 관측 장비 유지·보수				
	남극 세종·장보고기지 수중관측시설(해양생태) 구축 및 운영				
	장보고 생태계 수중관측시설 설계·도입	장보고 생태계 수중관측시설 구축	장보고 생태계 수중관측시설 유지·보수		
세종 생태계 수중관측시설 설계·도입		세종 생태계 수중관측시설 구축	세종 생태계 수중관측시설 유지·보수		
남·북극 위성 관측 기반 해빙·해색 감시 정보 생산	위성 기반 남극·세종·장보고기지 주변 해색 특성 산출				
	다중 해색 위성 산출물 알고리즘 고도화	다중해색 자료 합성 기술 개발	품질 검증, 산출물 표준화	준 실시간 자동처리 체계 구축	
	다중 해색 자료수신/처리 및 AI 시스템 구축	AI 기반 해색 자료 품질 고도화 기술 개발		재생산 영상 관리 및 배포 체계 구축	
	위성 기반 남극·세종·장보고기지 주변 해빙 특성 산출				
	해빙 이동 산출 고도화	해빙 유형 산출 고도화	해빙 두께 산출 고도화	품질 검증, 산출물 표준화	준 실시간 자동처리 체계 구축
	해빙 자료 수신/처리 및 AI 시스템 구축	AI 기반 해빙 자료 품질 고도화 기술 개발		재생산 자료 관리/서비스 구축	
남극 빙권 감시 정보 생산	빙권고정관측시설 구축 및 운영				
	빙하 질량 손실 관측소 설계 및 제작	관측소 설치(드라이갈스키 빙설) 및 추가 제작	관측소 설치(캠벨 빙하) 및 추가 제작	관측소 설치(난센 빙봉) 및 추가 제작	관측소 설치(데이비드 빙하) 및 추가 제작

○ 남·북극 해양 물리·생지화학 분야 핵심 기후변수 감시 정보 생산

- 남·북극 과학기지 기반 수중계류시설 5개, 연안관측시설 2개를 구축 운영함
- 수중계류시설은 수중 음향 통신 기술을 활용해 준 실시간 관측망으로 고도화 추진
- 관측자료 품질 관리·가공·배포를 자동적으로 수행할 관측자료 관리 자동화 시스템 기술개발

○ 남·북극 위성 관측 기반 해빙·해색 감시정보 생산

- 다중 위성 활용 알고리즘 개발 및 인공지능의 활용 기법 고도화 통해 해빙·해색 특성 산출 시스템 구축
- 인공위성 관측망에서 획득한 자료의 품질관리·가공·배포를 위한 준 실시간 자동화 시스템 기술 개발

○ 남극 빙권 감시 정보 생산

- 장보고기지 인근 주요 빙하 거점 (캠벨 빙하, 난센 빙봉, 드라이갈스키 빙설 등) 에 빙하 이동속도, 빙하두께, 환경 변화를 종합적으로 관측할 수 있는 빙하 질량 손실 관측소구축

3.5 소요예산

<표Ⅲ- 6> 세부 연구내용 미치 연구비 소요내역

(단위: 백만원)

세부과제	세부내용	'26	'27	'28	'29	'30	소 계	
극지·해양·환경·동시·한·망·및·기술·개발	남·북극·해양·물리·화학·지구·과학·핵심·기후·변수·생태·정보·생산·기술·개발	남극·세종·장보고 & 북극·다산·과학·기·지·인·근·해·수·중·계·류·시·설·(·해·양·물·리·)·구·축·및·운·영	988	365	205	205	205	5,838
			다산·장보고·세종 수중계류 시설 설계 및 도입	수중계류 시설 구축	관측망 유지·보수	준실시간 관측망 구축	준실시간 관측망 유지·보수	
			1,000	1,000	500			
			수중음향통신을 활용한 관측망 고도화 기술 개발 및 환경조사					
			240	230	200	700		
			관측자료 전처리 방법 확립		관측자료 관리 자동화 시스템 설계	관측자료 관리 자동화 시스템 구축		
	남·북극·해양·물리·화학·지구·과학·핵심·기후·변수·생태·정보·생산·기술·개발	남극·세종·장보고·연안·관측·시설·(·해·양·생·지·화·학·)·구·축·및·운·영	850	1,015	150	180	180	3,255
			장보고·세종 연안관측시설 설계·장비도입 및 구축		연속/정기관측			
			174	179	179	179	169	
			자료 관리 및 관측장비 유지·보수					
	남·북극·해양·물리·화학·지구·과학·핵심·기후·변수·생태·정보·생산·기술·개발	남극·세종·장보고·인·근·해·수·중·계·류·시·설·(·해·양·생·태·)·구·축·및·운·영	360	200	120	180	210	2,082
			장보고 생태계 수중관측시설 설계·도입	장보고 생태계 수중관측시설 구축	장보고 생태계 수중관측시설 유지·보수			
			42	220	300	240	210	
			세종 생태계 수중관측시설 설계·도입	세종 생태계 수중관측시설 구축	세종 생태계 수중관측시설 유지·보수			
	남·북극·해양·물리·화학·지구·과학·핵심·기후·변수·생태·정보·생산·기술·개발	남극·세종·장보고·인·근·해·현·장·조·사	446	446	536	506	416	2,350
			남극과학기지 인근해역 핵심기후변수(표층/수심별, 수온, 염분, 용존산소 등) 관측					
남·북극·위성·관측·기·반·해·빙··해·색·감·시·정·보·생·산	남·북극·위성·관측·기·반·해·빙··해·색·감·시·정·보·생·산	100	75	105	105	105	2,995	
		다중 해상 위성 산출물 알고리즘 고도화	다중해색 자료 합성기술 개발	품질 검증, 산출물 표준화	준실시간 자동처리 체계 구축			
		140	75	100	130	130		
		해빙 이동 산출 알고리즘 고도화	해빙 유형 산출 알고리즘 고도화	해빙 두께 산출 알고리즘 고도화	품질 검증, 산출물 표준화			
		700	560	250	220	200		
		해색·해빙 자료 수신/처리 및 AI 시스템 구축	AI 기반 해색·해빙 자료 품질 고도화 기술 개발	재생산 영상 관리 및 서비스 체계 구축				
남·북극·빙·권·감·시·정·보·생·산	남·북극·빙·권·감·시·정·보·생·산	160	135	150	150	170	765	
		빙하 질량 손실 관측소 설치 및 제작	관측소 (드라이 갈스키) 및 설치 추가 제작	관측소 설치 (캠벨빙하) 및 추가 제작	관측소 설치 (난센 빙봉) 및 추가 제작	관측소 설치 (테이비드 빙하) 및 노후 장비 교체		

3.6 성과목표 및 지표

<표Ⅲ- 7> 성과목표 및 지표

성과목표	성과지표	목표치					목표치 산출근거	평가기준 (측정산식 또는 측정방법)	자료수집 방법 (또는 자료출처)
		2026	2027	2028	2029	2030			
남·북극 해양지화학 핵심기후변수 정보	다산·장보고·세종수중계류시설	-	4	1	-	-	- 남·북극 해양물리 핵심기후변수(수온, 염분, 해류) 감시를 위해 과학지지에 각 1개의 해양물리 수중계류시설 3개 구축 - 해양생물 핵심기후변수 서식지 감시를 위해 남극 세종·장보고 과학지지에 해양생태 수중계류시설 2개 구축	수중계류시설 구축 건수	현장 조사 보고서 및 채빙선 운항보고서
	장보고·세종 연안관측시설	-	2	-	-	-	- 해양생지화학 핵심기후변수(영양염, 무기탄소, 부유생물, 용존산소)감시를 위해 남극 세종·장보고 과학지지에 연안관측시설 2개 구축	연안관측시설 구축 건수	현장 조사 보고서
	수중계류시설 고도화	-	-	-	1	-	- 자료 획득 주기의 개선과 시설 유지보수를 위해 음향통신 기술을 이용한 준 실시간 수중계류시설로 고도화 필요	기존 1~2년의 자료 획득 주기를 1개월 미만으로 개선	위성통신으로부터 준 실시간 관측자료 획득
	관측자료관리 자동화 시스템	-	-	-	-	1	- 수중계류시설과 연안관측시설에서 관측한 자료 품질관리·가공·배포를 위해 통합 자동화 시스템 구축 필요	자료관리 시스템 구축 건수	자동화 시스템 웹 링크
남·북극 위성관측 해빙·해색 정보	해빙·해색 인공위성 산출 시스템 구축	-	2	-	-	-	- 남·북극 위성기반 해빙·해색 감시 정보 생산을 위해 준실시간 인공위성 산출 시스템을 해빙, 해색 각 1개씩 구축	해빙·해색 인공위성 산출 시스템 구축 건수	위성 통신을부터 관측자료 획득
	해빙·해색 인공위성 산출 시스템 고도화	1	2	1	1	-	- 위성 산출 자료의 품질 개선을 위해 다중 해색 위성 산출물, 해빙 이동·유형·두께 산출 알고리즘, AI 기반 자료 품질 고도화 필요	해빙·해색 인공위성 산출 자료 품질 개선 건수	
	준실시간 자동처리 체계 구축	-	-	-	-	2	- 해색·해빙 인공위성 자료 품질 관리·가공·배포를 위해 자동화 시스템 구축 필요	준실시간 해빙·해색 자료 자동 시스템 처리 구축 건수	자동화 시스템 웹 링크
남극 빙권 감시 생산	빙권 고정 관측시설	-	2	2	2	2	- 빙권분야 핵심기후변수(빙하, 빙상, 적설량) 감시를 위해 남극장보고과학지지에 인근 빙하에 8개 관측소 구축	남극 빙권 관측소 구축 건수	현장조사 보고서
기타	논문(게재)	-	6	10	10	12	5억당 1건	SCIE급	논문 링크
	홍보	5	4	3	4	3	10억당 1건	신문, 방송	홍보물 링크

3.7 기대효과 및 활용 방안

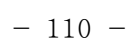
3.7.1 성과 활용 방안

- (기후모델 성능 평가 및 검증) 수중계류시설로부터 관측된 수온·염분 및 해류자료와 빙권 고정관측시설에 관측되는 빙권 변동성 자료는 단·장기 기후 예측을 위해 결합모델을 수행하는 기후모델의 초기자료 및 검증·평가 자료로 활용
- (남·북극해 어족관리) 수중계류시설 및 연안관측시설로부터 관측된 부유생물, 영양염 및 생태자료는 상업적으로 활용되는 남극해 어족자원을 추정하고 이를 관리하기 위한 국가협의체에 근거자료로 활용
- (남극해 운항 선박) 인공위성 및 선박으로부터 관측되어 준 실시간으로 제공되는 해빙의 시·공간분포는 남극해 연구 및 어업활동을 위해 선박 운영시 필수적인 실시간 해빙 정보를 제공

3.7.2 파급(기대)효과

- (영향력 확대) 기후변화 진단·감시 핵심지역에서 핵심기후변수의 장기 관측으로 국제사회 영향력 유지 및 확대
 - 남극장보고과학기지 인근해는 지구 열 균형 조절에 중요한 전 세계 해양순환의 한 고리인 남극저층수가 형성되는 해역으로 기후변화 진단·감시에 최적지
- (정책적 효과) 「기후·기후변화 감시 및 예측 기본계획」의 원활한 수행 및 목표 달성에 기여
 - 극지 관측망 구축·운영 통해 환경 및 생태계에 대한 감시정보를 생산 제공함으로써 「기후·기후변화 감시 및 예측」 관계부처의 5개년 기본계획 목표 달성에 기여
 - 기후변화에 따른 극지(해양 및 빙권) 환경 변화가 전 지구 기후시스템에 미치는 영향을 분석하여 기후변화 대응 정책 기준 마련에 기초 및 근거자료 제공
- (사회·과학적 효과) 해양·극지 기후 예측을 위한 기후 모델의 초기치 및 검증·평가 자료로 활용
 - 기후 모델의 예측 정확도 향상을 위해 필요한 해양 초기화 개선에 실 관측자료를 제공하고, 고품질 핵심기후변수 장기 시계열 자료를 제공하여 기후 모델 검증·평가에 활용
- (기술적 효과) 극지 해역 준 실시간 중·장기 관측 기술 확보 및 다양화를 통해 산·학·연 협력 기반 실용 기술 개발 활성화에 기여

그림 19 [그림Ⅲ-19] 사업개념도



IV. 사업 타당성 분석

1. 정책적 타당성

1.1 상위계획과의 부합성

- ‘제5차 국가 과학기술 기본계획(2023~2027)’은 과학기술을 활용한 국가적 현안 해결과 미래 대응을 강조하며, 특히 우주·해양·극지 개척을 통한 과학영토 확대를 주요 전략으로 제시
 - 본 연구개발사업은 극지 해양 및 빙권 감시 기술 개발을 통해 국가의 연구 역량을 확대하는 데 기여하며, 지속가능한 극지 연구 인프라 구축을 통해 기후변화 대응 지원
- ‘제5차 해양환경 종합계획(2021~2030)’은 기후친화적 해양환경 관리 강화와 해양환경정책 인프라 강화를 핵심 목표로 설정
 - 본 연구개발사업은 극지 해양 및 빙권 감시를 통해 해양 기후변화 영향을 분석하고, 수집된 감시 데이터를 정책 수립 및 해양 환경 보호에 활용할 수 있도록 한다. 이를 통해 해양환경 변화에 대한 과학적 대응체계를 구축하는 데 기여
- ‘제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)’은 감시·예측 및 평가 강화를 중점적으로 추진
 - 본 연구개발사업은 극지 기후변화 감시를 위한 수중계류시설 및 연안관측시설 구축을 통해 준 실시간 감시 체계를 운영하고, 국가 차원의 기후변화 적응 및 대응 전략을 강화하는 데 중요한 역할 수행 가능
- ‘기후·기후변화 감시 및 예측 기본계획’은 기후변화 관측망 구축 및 운영, 기후변화 감시 및 예측 정보 생산과 공동 활용을 주요 목표로 설정
 - 본 연구개발사업은 극지 환경에서 준 실시간 감시 및 데이터를 수집·분석하여 국제 공동 연구를 활성화하고, 데이터 표준화를 통해 연구 성과 극대화 기여
- ‘UN 지속가능발전목표(SDGs)’ 중 기후변화 대응(SDG 13), 해양 보호(SDG 14), 국제 협력 강화(SDG 17)와 본 연구개발사업의 방향성 일치
 - 극지 감시 데이터를 공유하여 글로벌 기후 연구 협력에 기여하며, 이를 통해 기후변화 대응과 지속 가능한 해양생태계 보호에 이바지

<표 IV- 1> 상위 계획과의 부합성

상위계획	주요 전략	본 사업과의 부합성
제5차 국가 과학기술 기본계획 (2023~2027)	전략 3 과학기술 기반 국가적 현안 해결 및 미래 대응 우주·해양·극지 개척을 통한 과학영토 확대	- 지속가능한 극지 연구 인프라 구축 및 기후변화 대응 역량 강화 - 극지 해양 및 빙권 감시 기술 개발을 통해 국가 연구 역량 확대
제5차 해양환경 종합계획 (2021~2030)	4. 기후친화적 해양환경 관리 강화	극지 해양 및 빙권 감시를 통한 해양 기후변화 영향 분석 기여
	5. 해양환경정책 인프라 강화	극지 해양 감시 데이터를 정책 수립 및 해양 환경 보호에 활용
제3차 국가 기후변화 적응대책 ('21~'25)	2. 감시·예측 및 평가 강화	국가 차원의 기후변화 적응 및 대응 전략 지원
기후·기후변화 감시 및 예측 기본계획	기후변화 관측망의 구축과 운영	수중계류시설 및 연안관측시설을 통한 극지 기후변화 준 실시간 감시 체계 구축
	기후변화 감시 및 예측 정보의 생산과 공동 활용	데이터 표준화를 통한 국제 공동 연구 기여
UN 지속가능발전목표 (SDGs)	기후변화 대응(SDG 13), 해양 보호(SDG 14), 국제 협력 강화(SDG 17)	극지 감시 데이터 공유를 통한 글로벌 기후 연구 협력 기여

출처 : 각 계획(2025. 1. 23. 검색)에 기반하여 작성

1.2 국내 법·제도와의 부합성

- 「본 사업은 국내 법률(『기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률』, 『극지활동진흥법』 등)과 국제 협약(남극조약, IPCC 권고사항 등)에 기반하여 추진되며, 『해양환경보존 및 활용에 관한 법률』과 『해양환경보존 및 활용에 관한 법률 시행령』에서 명시한 기후변화 대응과 해양조사의 중요성과 직접적으로 부합

<표 IV- 2> 국내 관련 법률과의 부합성

법률명	조항	주요내용	본 사업과의 부합성
「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」	제5조제3항	극지 환경 및 생태계 감시를 위한 관측망 구축·운영 필요	- 남·북극 환경 및 핵심기후변수를 장기적으로 감시·예측하는 준 실시간 관측망 구축은 해당 법률에서 규정한 목표와 명확하게 일치 - 인공지능과 자동화 기술을 통한 관측 데이터 품질관리 및 분석은 법률의 요구 충족
	제7조제2항	기후변화 관측 정보 생산 및 제공 의무	본 사업의 기후변화 감시 및 예측 활동과 일치하며, 수집된 데이터를 정책 및 연구에 활용 가능
	제8조제4항	기후변화 적응 및 대응을 위한 과학적 정보 제공	기후변화 대응을 위한 과학적 데이터 수집과 분석을 통해 법률의 취지 반영
「해양환경보존 및 활용에 관한 법률」	제17조 제1항	기후변화에 대응하기 위하여 해양에 대한 조사, 영향 예측, 적응 등 필요한 시책 마련	기후변화가 해양환경에 미치는 영향을 분석하고 장기적인 대응 전략을 수립하는 데 기여
「해양환경보존 및 활용에 관한 법률 시행령」	제7조제1항	1. 기후변화가 해양에 미치는 영향에 대한 조사 및 그 영향 예측에 관한 사항	해양환경 변화의 과학적 모니터링을 통해 정책적 대응 마련
「해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률」	제3조	3. 기후변화에의 적응·대응 및 해양 재해의 예방	해양 재해 예방 및 기후변화 적응을 위한 연구와 정책적 활용 가능
「극지활동 진흥법」	제12조	극지 활동을 위한 국제 협력 및 정보 교환, 공동 연구 촉진	- 관측망 구축과 데이터 공유는 국제협력 촉진 및 극지 환경 연구 활성화와 직접 연결 - 국제 기후모델 연구 및 공동 관측 데이터 활용은 국제적 협력의 범위 확대 가능
	제15조	극지 연구의 지속적 지원을 위한 국가적 의무 명시	극지 연구 및 환경 보호 활동의 지속적 지원을 위한 법적 기반 제공

출처 : 각 법률(2025. 1. 25. 검색)에 기반하여 작성

1.3 국제 관련 기준 및 지침과의 부합성

- 본 연구개발사업은 IPCC, WMO, SCAR, UNFCCC, IMO 등 주요 국제기구 및 협약에서 제시하는 극지 환경 연구 및 감시의 필요성과 강하게 부합
- 특히, 기후변화 감시, 극지 환경 변화 예측, 데이터 표준화 및 국제협력 측면에서 국제적 요구사항을 충족하며, 장기적인 연구 기반 제공 가능
- IMO 및 WMO의 요구사항과 연계하여 극지 항로 안전성 평가 및 해양환경 보호 정책 수립에 기여 가능하며, 이는 글로벌 해양 정책 및 기후변화 대응 전략과도 밀접한 연관성이 있어 정책적 타당성 확보
- 또한, SCAR 및 남극해 관측 시스템(SOOS, Southern Ocean Observing System) 등의 국제 연구 네트워크와 협력하여 극지 환경 감시의 데이터 품질을 향상시키고, 데이터 공유 활성화

축진 가능

<표 IV- 3> 국제 관련 기준 및 지침과의 부합성

구분	관련 기준 및 지침	본 사업과의 부합성
기후변화에 관한 정부 간 협의체 (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change,)	- 극지 기후변화 감시 및 예측을 위한 신뢰성 높은 관측 데이터를 지속적으로 제공할 것 권장 - 기후변화의 장기적 분석을 위해 고해상도 데이터의 확보 필요성 강조	극지 해양 및 빙권 환경의 변동성을 실시간으로 감시할 수 있는 관측망을 구축하여 IPCC 보고서 작성 및 기후변화 예측 모델 고도화에 기여 가능
세계기상기구 (WMO, World Meteorological Organization)	- 글로벌 기후 감시 네트워크(GCOS) 및 해양 관측 시스템(GOOS) 등을 통해 극지 해양 및 빙권 환경 감시를 강화할 것 요구 - 극지 데이터의 표준화 및 국제 데이터 공유 활성화 권장	- 본 사업에서 개발될 관측망 및 운영기술은 WMO의 극지 감시 네트워크와 연계 가능 - 실시간 관측 데이터의 품질 및 표준화된 데이터 형식을 제공하여 국제적 데이터 공유 체계를 구축하는 데 기여
국제남극연구과학위원회 (SCAR, Scientific Committee on Antarctic Research)	- 남극 및 극지 연구를 위한 국제 협력을 강조하며, 기후변화 관련 연구를 위한 데이터 수집 및 공유 권장 - 극지 환경 변동성 감시를 위한 종합적인 관측 시스템 필요성을 지속적으로 제기	- 본 연구개발사업은 SCAR의 극지 관측 네트워크(예: SOOS, Southern Ocean Observing System)와 연계하여 국제적 협력 연구 강화 - 빙권 및 해양 환경의 실시간 변화 데이터를 수집하여 SCAR의 과학 연구 기반 보강
기후변화에 관한 유엔기본협약 (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)	- 파리협정(Paris Agreement)은 극지 및 해양 생태계 변화가 전 지구적 기후변화에 미치는 영향을 지속적으로 감시할 것 강조 - 극지 해양 및 빙권 변화를 포함한 장기적 온실가스 감축 목표 수립에 필요한 과학적 데이터 제공 필요	- 본 연구개발사업에서 생산될 극지 환경 감시 데이터는 UNFCCC 보고서 및 정책 수립을 위한 근거 자료로 활용 가능 - 기후변화 대응 및 적응 전략을 위한 기초 데이터를 제공하여 글로벌 기후정책 수립에 기여
국제해사기구 (IMO, International Maritime Organization)	극지 항로 및 해양환경 보호를 위한 Polar Code (극지해역운항 선박 안전기준)를 운영하며, 극지 환경 감시 및 해빙 변동 예측 중요성 강조	본 사업은 극지 해양 및 빙권 환경의 실시간 변동성을 감시함으로써 IMO의 극지 항로 안전성 평가 및 해양 환경 보호 정책 수립에 기여 가능

출처 : 각 기관 홈페이지(2025. 1. 25. 검색)에 기반하여 작성

1.4 법·제도 상 위험요인 및 대응방안

- 본 사업은 관측망 설치와 데이터 관리에서 법·제도적 충돌 가능성이 있으나, 이를 완화하기 위한 선제적 조치로 해양수산부, 극지연구소, 관련 전문가의 협력 거버넌스를 구축하여 대응

<표 IV- 4> 법·제도 상 위험요인 및 대응방안

구분	위험요인	본 사업의 대응방안
극지 관련 국제협약 준수 문제	- 국제적으로 북극 및 남극의 환경 보호를 위한 협약(예: 남극조약, 런던협약, OSPAR 협약 등)이 존재하며, 본 사업이 이러한 국제 규범 준수 필요 - 국제 협약에 따른 극지 연구 활동의 제한 가능성	국제 해양 및 극지 환경 보호 협약의 세부 조항을 분석하여 연구개발사업이 협약을 위반하지 않도록 사전 검토
극지 연구 활동의 법적 제한	- 국내 ‘극지활동 진흥법’ 및 ‘해양환경관리법’ 등 규정 준수 필요 - 연구 수행을 위한 극지 관측장비 설치 및 데이터 수집이 법적 규제로 인해 지연 가능성	- 법률 조항을 면밀히 검토하여 극지 연구 활동이 원활하게 진행될 수 있도록 사전 인허가 절차 철저히 준비. - 극지 연구활동 관련 법 개정 및 정책적 지원 확대를 정부 부처와 협력하여 추진
데이터 공유 및 보안 규제	- 극지 해양·빙권 데이터는 국가 안보 및 기후변화 대응 전략과 관련된 중요 정보로 간주될 가능성 높음 - 국가 간 데이터 공유가 국제정세에 따라 제한될 가능성 발생	- 연구개발사업의 데이터 활용 범위를 명확히 설정하고, 연구목적 데이터 공유에 대한 국제 협력 프로토콜 수립. - 국가 연구기관(예: 극지연구소, 해양수산부)과 협력하여 데이터 활용 가이드라인 마련
해양환경 보호 관련 법적 규제 강화	‘해양환경보전법’, ‘환경영향평가법’ 등 국내 법률에 따라 연구개발사업 수행 시 환경영향평가 실시 필요 - 연구개발사업이 해양생태계 및 환경에 미치는 영향을 고려하여 별도의 규제가 적용될 가능성 발생	연구 수행 전, 사전 환경영향평가(EIA) 및 사전 검토서를 작성하여 환경규제 준수 여부 확인
연구개발사업의 예산 및 지원 체계 변화	국가 연구개발 예산 변동에 따라 연구개발사업이 지속적으로 추진되기 어려울 가능성 발생	정부 정책과 연계하여 연구개발사업의 필요성을 지속적으로 제기하고, 추가 연구비 확보를 위한 협력체계 구축

출처 : 연구진 작성

1.5 사업비 투자에 따른 경제적 파급효과

- 사업비 투자에 따른 경제적 파급효과 분석은 국산 외생화 산업연관분석을 기본으로 하며, 기초자료는 한국은행에서 발행한 「2020년 산업연관표 기본부문」를 활용하여 분석
 - 2020년 산업연관표가 가장 최신 자료이며, 산업연관표 기본부문이 산업을 세세분류한 분류표
- 국산 외생화 산업연관분석은 내생화된 중간투입계수 행렬에서 해당 산업 부문(k)을 국산 투입을 제외시키는 기법으로 해당 산업 부문 투자를 통한 최종 수요의 증가가 국민 경제에 미치는 순수한 경제적 효과를 파악하기 위한 정밀한 분석법
- 세부사업별로 정의된 관련 산업을 분석틀(국산 외생화 산업연관표)에 적합하게 재조정 한 후 분석모형(생산유발, 부가가치유발, 취업유발)을 적용하여 각 유발계수 도출
- 본 연구개발사업의 경제적 파급효과는 산업연관표 기본부문의 「7001 연구개발(국공립)」의 생산/부가가치/취업(고용) 유발효과 산출

【경제적 파급효과 분석모형】

분석 모형		정의
생산 유발효과	$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1} A_k^e$ A^e : 해당 산업 부문(k)의 열과 행을 제외한 국산투입계수 행렬 $(I - A^e)^{-1}$: 해당 산업 부문(k)의 열과 행을 제외한 레온티에프 역행렬 A_k^e : 재분류한 해당 산업 부문(k)의 투입계수 열벡터	⇒ 해당 산업의 최종수요가 1단위 발생할 때 직·간접적으로 전 산업의 생산에 미치는 영향을 나타내는 효과
부가가치 유발효과	$\Delta V^e = \hat{A}^{v^e} (I - A^e)^{-1} A_k^e$ $\hat{A}^{v^e}$: 해당 산업 부문(k)의 열과 행을 제외한 부가가치계수 대각행렬 $(I - A^e)^{-1} A_k^e$: 해당 산업 부문(k)의 생산유발계수 열벡터	⇒ 해당 산업의 최종수요가 1단위 발생할 때 직·간접적으로 전 산업의 부가가치에 미치는 영향을 나타내는 효과
취업 유발효과	$\Delta W^e = \hat{A}^{l^e} (I - A^e)^{-1} A_k^e$ $\hat{A}^{l^e}$: 해당 산업 부문(k)의 열과 행을 제외한 취업(고용)계수 대각행렬	⇒ 해당 산업의 생산이 10억 원 발생할 때 직·간접적으로 전 산업의 취업(고용)에 미치는 영향을 나타내는 효과

출처 : 연구진 작성

- 본 연구개발사업의 사업비 19,000백만 원 투입에 따라 34,675백만 원의 생산이 유발되고, 이
중 부가가치는 16,441백만원 유발, 취업 및 고용은 210.2명이 유발되어 경제 활성화에 기여
- (생산유발) 직접 19,000백만 원, 간접 15,675백만 원
- (부가가치유발) 직접 10,242백만 원, 간접 6,199백만 원
- (취업 및 고용 유발) 직접 128.4명, 간접 81.8명

<표 IV-6> 연도별 사업비 투자에 따른 경제적 파급효과(단위 : 백만 원, 명)

구분	사업비	생산 유발		부가가치 유발		취업(고용) 유발	
		직접	간접	직접	간접	직접	간접
2026	5,400	5,400	4,455	2,911	1,762	36.5	23.3
2027	4,700	4,700	3,877	2,534	1,533	31.8	20.2
2028	3,000	3,000	2,475	1,617	979	20.3	12.9
2029	3,000	3,000	2,475	1,617	979	20.3	12.9
2030	2,900	2,900	2,392	1,563	946	19.6	12.5
합계	19,000	19,000	15,675	10,242	6,199	128.4	81.8

출처 : 연구진 작성

2. 과학·기술적 타당성

2.1 최신 극지 해양·빙권 감시 기술 동향

- 최근 실시간 데이터 수집이 가능한 센서 기반 수중계류시설 기술이 급속히 발전하고 있음
 - 본 연구개발사업도 이러한 최신의 수중음향통신기술을 적용한 준 실시간 극지 관측 체계를 구축
- 기후변화 예측의 정확도를 높이기 위해 머신러닝 및 AI 알고리즘 및 빅데이터 분석 활용 추세
 - 본 연구개발사업도 이를 활용하여 실시간 데이터 분석 시스템 구축

2.2 국내 극지 연구 및 기술 현황

- 극지연구소(KOPRI)를 중심으로 해양 및 빙권 환경 연구가 진행되고 있으며, 장보고 기지 및 세종 과학기지에서 실시간 감시 및 데이터 분석 진행
- 한국은 아리랑 위성을 이용한 극지 감시를 수행하고 있으며, 차세대 극지 감시 위성 및 자동화 센서를 활용한 데이터 수집 역량을 지속적으로 확대
- 국내 조선 및 해양공학 기술의 발전을 바탕으로 극지 환경에서도 운용이 가능한 내빙선 및 무인 관측 시스템이 개발되고 있으며, 본 사업에서 이를 적극 활용 가능

2.3 과학·기술적 기여

- 본 사업을 통해 실시간 극지 환경 감시 체계를 구축하여 국제 공동 연구에 기여할 수 있으며, 극지 환경 변화 데이터를 국제 데이터베이스에 제공하여 기후변화 연구를 선도할 수 있음
- 극지 환경 감시를 위한 AI 기반 예측 모델 및 자동화 시스템을 개발하여 관측 기술의 효율성을 높이고 연구 데이터의 신뢰도 확보에 기여
- 최신 극지 감시 기술을 적용함으로써 한국의 극지 연구 역량을 국제 수준으로 향상시키고, 국제 협력 연구 활성화에 기여

3. 경제적 타당성

3.1 분석 방법

- 본 사업의 경제적 타당성 분석은 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2024)」에 기반하여 분석하였으며, 분석체계는 ① 전제조건 설정, ② 비용 추정, ③ 편익 추정, ④ 분석지표, ⑤ 종합평가 순으로 분석
 - (전제조건 설정) 경제적 타당성을 평가하기 위해 연구개발사업의 경제적 편익이 발생하는 기간, 기술 수명, 사업화 성공률, 사업 기여율, 할인율 등의 전제조건 설정
 - (비용 추정) 연구개발사업 수행을 위해 소요되는 총 사업비를 연도별로 추정하고, 사회적 할인율(4.5%)을 적용하여 현재가치(Present Value) 기준으로 환산
 - (편익 추정) 연구개발사업이 창출할 경제적 편익을 분류하고 이를 정량적으로 분석
 - (분석지표) 비용-편익 분석(BCA, Benefit-Cost Analysis)을 적용하였으며, 주요 경제적 타당성 분석지표로 비용편익비(BCR), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR)을 산출
 - (종합평가) 민감도 분석(비관적 시나리오, 긍정적 시나리오)을 통해 본 사업의 경제적 타당성을 종합적으로 평가



3.2 분석 전제조건 설정

가. 편익 회임기간

- 편익회임기간은 편익이 발생하기 시작하는 시점으로 이 기간에는 편익이 발생하지 않는 것으로 가정
- 본 사업은 기존 연구가 존재하는 개발·응용연구에 해당하므로 한국과학기술기획평가원(2020)에서 제시하는 3년 적용

나. 편익 기간(기술수명기간)

- 편익 기간은 해당 기술개발사업을 통해 개발될 기술의 수명기간으로 환경분야 평균 기술수명기간인 10년 적용(한국과학기술기획평가원, 2011)

다. R&D 사업화성공률

- 기후변화 관련 연구개발사업의 R&D 사업화성공률에 대한 공식적인 자료는 없는 상태이나, 환경부(2010)가 차세대 핵심 환경기술개발사업 성과분석 및 효과성을 평가한 보고서(한국과학기술기획평가원, 2011)의 31.3%를 적용하여 분석

라. 사업기여율

- 사업기여율은 본 연구개발사업이 국가연구개발사업 유사과제 중에서 어느 정도 기여할 것인지에 대한 기여율이며 예비타당성조사 표준지침에 따라 아래 계산식을 이용하여 산출

$$\text{사업기여율} = \frac{\text{해당사업투입비}}{(\text{유사과제 정부연구비} + \text{민간투입비} + \text{해당사업 투입비})}$$

- 최근 5년간 국가 전체의 유사 R&D과제(극지해양환경, 해저조사)연구비가 얼마인지와 본 연구과제가 차지하고 있는 연구비가 얼마인지를 조사하였으며, 그 결과 9개 유사과제의 정부연구비는 총 14,978,350천 원으로 조사

<표 IV-7> 유사 과제 연구비(키워드 : 극지해양환경, 해저조사)(단위 : 천 원)

구분	유사과제	과제기간	정부연구비	민간연구비	총연구비
1	북극해 온난화-해양 생태계 변화 감시 및 미래전망 연구	2021~2024	10,800,000	-	10,800,000
2	북극해 해저지질 조사 및 해저환경 변화 연구	2020~2023	1,491,350	-	1,491,350
3	북극해 해저 영구동토층모니터링을위한고해상도심화자료처리개발및기후환경변화연구	2023~2024	410,000	-	410,000
4	북극해 퇴적물내 수은 거동 파악 및 기후변화 영향 예측	2022~2023	364,600	-	364,600
5	극지방 기후변화물질 거동추적을 위한 해양마이크로바이옴 연구	2022. 2024	56,400	-	56,400
6	북극해수은유입원추적및미래기후변화로인한 수은유입원변동예측	2021~2022	200,000	-	200,000
7	북극해퇴적물내수은거동파악및기후변화영향 예측	2021~2023	270,000	-	270,000
8	해빙급감에따른적지해해양환경변화장기모니터링시스템시범구축	2021~2023	914,000	-	914,000
9	북극해수은의대기-해양교환, 퇴적층메틸화및생태계유입경로추적연구	2021~2023	472,000	-	472,000
합계			14,978,350	-	14,978,350

출처 : NTIS(2025. 01. 31. 검색)에 기반하여 연구진 작성

- 민간 투입비를 추정하기 위해 「2014년도 연구개발활동조사」(한국과학기술기획평가원)에서 제시한 수산분야의 주체별 투자비율인 정부와 민간(7 : 3) 비율을 적용하였으며, 이 경우 민간투자 추정금액은 6,419,293천 원으로 산출
- 본 사업과 유사한 정부과제는 연구과제(15,000 백만 원), 유사과제(541 백만 원), 민간 투자(232 백만 원)이며, 총 15,773 백만 원이 투입된 것으로 분석되었으며, 본 사업의 사업기여율을 47.03%로 적용

<표 IV-8> 사업기여율

구 분	연구비(천 원)	사업기여율
본 과제	19,000,000	47.03%
유사과제 정부연구비	14,978,350	
민간투입비	6,419,293	
합 계	40,397,643	

출처 : 연구진 작성

마. R&D 기여율

- 기후변화 관련 연구개발사업의 R&D 기여율도 공식적인 자료는 없으나, 기후변화대응 환경 기술개발사업의 예비타당성조사 보고서(한국과학기술기획평가원, 2011)의 **28.1%**를 적용하여 분석

바. 할인율

- 할인율은 미래 현금 흐름(비용 및 편익)을 현재 가치로 환산할 때 적용하는 이자율을 의미하며, 사회적 할인율(Social Discount Rate, SDR), 금융 할인율(Financial Discount Rate, FDR) 등 적용
- 본 사업은 예비타당성조사 등 공공 투자사업에 적용되는 사회적 할인율인 **4.5%** 적용

사. 경제적 타당성 분석 지표

- 분석 지표는 비용-편익 분석(Benefit-Cost Analysis, BCA)을 기반으로 하며, 세부적인 지표는 편익-비용비(Benefit-Cost Ratio, BCR), 순현재가치(Net Present Value, NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR) 도출

<표 IV-9> 경제적 타당성 분석 지표

분석 모형		평가 기준
비용편익비 (BCR)	$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$ B_t: t 시점의 편익, C_t: t 시점의 비용, r: 할인율, n: 분석기간	⇒ • BCR>1 경제성 있음 • BCR=1 - • BCR<1 경제성 없음
순현재가치 (NPV)	$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$	⇒ • NPV>0 경제성 있음 • NPV=0 - • NPV<0 경제성 없음
내부수익률 (IRR)	$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t}$	⇒ • IRR>4.5% 경제성 있음 • IRR=4.5% - • IRR<4.5% 경제성 없음

출처 : 연구진 작성

3.3 비용 추정

- 본 연구개발사업의 총 비용은 2026~2030년 19,000백만 원이며, 이를 현재가치로 환산한 금액은 16,985백만 원으로 산출(사회적 할인율 4.5% 적용)
- (연도별 사업비) 2026년 5,400백만 원(현재가치 5,172백만 원), 2027년 4,700백만 원(4,312백만 원), 2028년 3,000백만 원(2,636백만 원), 2029년 3,000백만 원(2,525백만 원), 2030년 2,900백만 원(2,338백만 원)

<표 IV-10> 연도별 비용 흐름

구분	금액(백만 원)	현재가치(백만 원)
2025	-	-
2026	5,400	5,172
2027	4,700	4,312
2028	3,000	2,636
2029	3,000	2,525
2030	2,900	2,338
합계	19,000	16,985

출처 : 연구진 작성

3.4 편익 추정

- 본 연구개발사업은 극지 환경을 실시간으로 감시하고, 이를 통해 재난 예방, 해양환경 보호, 물류비 절감, 디지털 경제 발전 등 다양한 경제적 효과를 창출할 수 있는 가능성 평가
- 해당 연구의 경제적 타당성을 분석하기 위해 다양한 편익을 설정하였으며, 각 편익은 구체적인 산출식을 기반으로 정량적으로 평가

- 공신력 있는 연구자료 및 기관 데이터를 활용하여 경제적 근거 확보
- 본 연구개발사업을 통해 창출될 것으로 예상되는 편익은 ① 재난재해 경제적 피해비용 절감 편익, ② 해양환경 관리비용 절감 편익, ③ 북극항로 활용 해운물류비용 절감 편익, ④ 데이터 활용을 통한 AI 및 디지털 경제 발전 기여 편익, ⑤ 극지 연구 및 국제협력을 통한 경제적 가치 창출 편익으로 구분
- (재난재해 경제적 피해비용 절감) 기후변화 감시 및 예측 기술이 발전하면, 극단적 기후 현상(태풍, 홍수, 해수면 상승 등)에 대한 조기 대응이 가능해져 재난 피해 비용 절감에 기여
- (해양환경 관리비용 절감) 해양오염, 생태계 변화, 해수면 상승 등의 문제를 조기에 감지하고 대응함으로써 관리 비용 절감에 기여
- (북극항로 활용 해운 물류비용 절감) 북극항로를 이용할 경우 기존 수에즈 운하를 경유하는 항로보다 운항 거리 및 시간이 단축되므로 연료비 및 운항비 등 해운 물류비용 절감에 기여
- (데이터 활용을 통한 AI 및 디지털 경제 발전 기여) 극지 해양·빙권 데이터를 활용하여 AI 기반 기후 예측, 해양 기상 분석, 선박 최적 항로 추천 등 디지털 경제 발전에 기여
- (극지 연구 및 국제협력을 통한 경제적 가치 창출) 연구개발사업을 통해 국제 극지 연구 네트워크와 협력을 강화하여 연구비 유치, 국제 협력 프로젝트 참여 기회 증가 등의 효과가 발생(정량화가 어려운 편익으로 사회·문화적 타당성 반영)

<표 IV- 11> 편익 추정

편익	산출식	근거
재난재해 경제적 피해비용 절감	(연간 재해 피해 비용 ×감축 가능 비율) ×R&D사업화성공률 ×사업기여율×R&D 기여율	• 국내 연평균 기후변화 재난재해 피해 비용 약 1.45조 원(모경중, 2024) • 본 연구개발을 통해 최소 1.0% 감축 가능(시나리오 분석)
해양환경 관리비용 절감	(연간 해양·환경 관리 부문 예산 ×감축 가능 비율) ×R&D사업화성공률 ×사업기여율×R&D 기여율	• 국내 해양·환경 관리 부문 예산 연평균 1조 2,905억 원(해양수산부 자료) • 극지 환경 감시로 최소 1.0% 개선 가능(시나리오 분석)
북극항로 활용 해운물류비용 절감	(해운물류비용 ×감축 가능 비율) ×R&D사업화성공률 ×사업기여율×R&D 기여율	• 북극항로 이용 시 기존 항로 대비 연간 물류 비용 10~20% 절감 가능(북방경제협력위원회, 2012) • 연간 해운 물류 비용 중 0.01% 절감 예상(시나리오 분석)
데이터 활용을 통한 AI 및 디지털 경제 발전 기여	(국내 데이터 시장 규모 ×기술개발 기여율) ×R&D사업화성공률 ×사업기여율×R&D 기여율	• 국내 데이터 시장 규모 2023년 기준 27조 1,513억 원 추정(한국데이터산업진흥원, 2024) • 기술개발 기여율 0.01% 예상(시나리오 분석)
극지 연구 및 국제협력을 통한 경제적 가치 창출	연구 성과를 통한 국제 공동 프로젝트 유치 효과	• 해당 편익은 정량화가 어려운 편익이므로 사회·문화적 타당성에 반영

출처 : 연구진 작성

가. 재난재해 경제적 피해비용 절감 편익

- 극지 환경 변화가 전 지구적 기후변화에 미치는 영향을 조기에 감지함으로써 기후변화로 인한 자연재해 피해를 예방할 수 있는 비용 절감 편익 발생
- IPCC(2007)는 미래 기후변화로 인한 영향을 ① 온난화 및 동절기 단축, 무더위 및 열대야, ② 폭염 증가, ③ 폭우 증가, ④ 가뭄 피해, ⑤ 열대성 사이클론 증가, ⑥ 해수면 상승으로 분류

<표 IV- 12> 기후변화로 인한 재난재해 및 부문별 주요 영향

추세의 방향 및 현상	부문별 주요 영향			
	농/임업 및 생태계	수자원	보건	산업, 주거 및 사회
온난화 및 동절기 단축, 무더위 및 열대야	저온지역에서 수확량 증가, 고온지역에서 수확량 감소, 병충해 피해 증가	해설에 의존하는 수자원 영향	추위 감소로 인한 사망률 감소	난방용 에너지 수요 감소, 냉방용 에너지 수요 증가, 도시지역 대기오염 악화
폭염 증가	더운 지역일수록 수확량 감소, 산불위험 증가	물수요 증가, 수질문제, 조화현상	폭염과 관련된 사망 증가, 사회적 고립	냉방시설 없는 거주자들의 삶의 질 악화, 노년층 및 영아, 빈곤층의 건강 문제
폭우 증가	농작물 피해, 토양침식, 토지경작 불가능	홍수 및 지하수의 수질악화, 물 부족현상 경감 가능	사망, 상해, 전염성 질환, 피부질환의 위험 증가	홍수로 인한 거주지 파괴, 상업 및 수송·운송 차질 발생 및 사회 불안정, 도시 및 농어촌 기반시설 피해, 재산 손실
가뭄 피해	토지손실, 수확량 감소, 작물피해 및 수확 포기, 가축폐사, 산불위험 증가	물 부족으로 인한 피해	식량 및 물 부족, 영양실조 위험 증가, 수인성 질환 위험 증가	주거지, 산업 및 사회 전반의 물 부족 사태, 인구이동 가능성
열대성 사이클론 증가	농작물 피해, 조목손실, 산호초 피해	정전 발생으로 용수 공급 불가	사망, 상해 및 수인성 질환 증가, 질환 후 스트레스성 장애	홍수 및 강풍으로 인한 손상, 인구이동 및 재산 손실
해수면 상승	관개용수 및 우물의 염화	해수 유입으로 인한 담수 감소	홍수 발생 시 익사 및 상해 사고 증가, 이주와 관련된 보건 문제	인구 및 기반시설의 이동, 열대 사이클론 영향

출처 : IPCC(2007), 국립방재연구원(2010) 인용

- 국회 행정안전위원회 모경중 의원실과 사단법인 기후솔루션(2024)은 행정안전부로부터 기후 위기로 인한 피해 금액과 피해 복구 금액 자료를 받아 기후재난으로 인한 경제피해액¹⁾ 분석

1) 기후재난으로 인한 경제피해액은 피해액과 복구 금액을 합산한 금액이며, 피해 발생지 관할

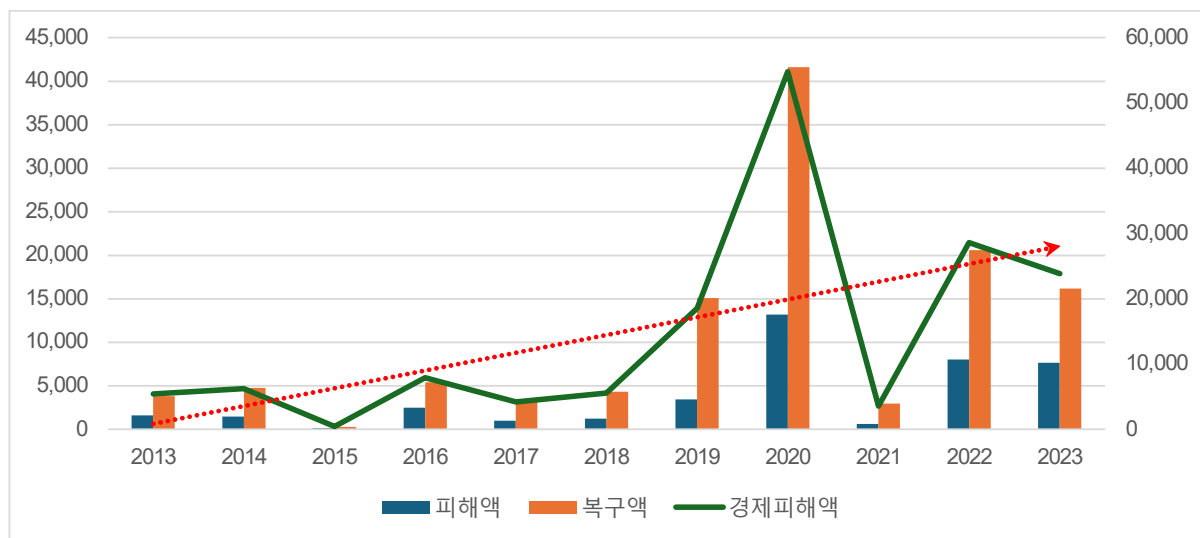
- 2013~2023년 총 경제피해액은 약 15.9조 원(피해액 4.1조원, 복구액 11.8조 원)으로 매년 평균 약 **1.45조 원**의 피해가 발생하는 것으로 조사
- 정량화가 가능한 직접적인 피해액에 한정하여 분석하였으며, 국가와 지역을 넘어 파급될 수 있는 간접적인 피해비용은 포함하지 못하여 실제 피해액은 더 클 것으로 예상

<표 IV- 13> 기후위기로 인한 경제 피해비용(단위 : 천 원)

구분	피해비용	복구비용	경제적 피해비용
기후재난	4,089,382,615	11,828,403,609	15,917,786,224

출처 : 모경중(2024)

- 연도별 경제적 피해비용은 2013년 5,417억원에서 2023년 2조 3,841억원으로 340% 증가하였으며, 연평균 16.0%씩 증가



<그림 IV-1> 기후위기로 인한 연도별 경제 피해비용(단위: 천 원)

기초지방자치단체가 재난 피해를 조사하여 주소지 국가재난관리정보시스템(NDMS)에 입력한 금액

<표 IV- 14> 연도별 기후위기로 인한 경제적 피해비용(단위 : 천 원)

구분	산업화 대비 평균 온도 상승	피해비용	복구비용	경제적 피해비용
2013	+0.68도	159,818,586	381,970,166	541,788,752
2014	+0.74도	147,502,749	475,890,581	623,393,330
2015	+9.0도	14,616,801	30,033,249	44,650,050
2016	+1.1도	250,851,736	541,715,700	792,567,436
2017	+0.92도	101,591,677	318,852,069	420,443,746
2018	+0.96도	124,422,940	433,964,063	558,387,003
2019	+0.98도	343,545,034	1,510,997,043	1,854,542,077
2020	+1.01도	1,317,857,921	4,161,440,805	5,479,298,726
2021	+0.97도	62,012,752	295,692,683	357,705,435
2022	+0.99도	802,676,432	2,058,175,541	2,860,851,973
2023	+1.17도	764,485,987	1,619,671,709	2,384,157,696
합계	-	4,089,382,615	11,828,403,609	15,917,786,224

출처 : 모경중(2024)

- 기후위기로 인한 재난재해는 빠르게 증가하고 있으나, 향후 재난재해 발생에 관한 정확한 추정이 불가능하므로 11년(2013~2023년) 평균 경제적 피해비용 1.45조원에 2015~2024년 평균 소비자물가상승률 2.0%를 적용하여 2034~2043년기후위기로 인한 재난재해 경제적 피해비용을 아래 표와 같이 추정

<표 IV- 15> 2034~2043년 기후위기로 인한 경제적 피해비용 추정(단위 : 백만 원)

2034	2035	2036	2037	2038
1,799,251	1,835,237	1,871,941	1,909,380	1,947,568
2034	2035	2036	2037	2038
1,986,519	2,026,249	2,066,774	2,108,110	2,150,272

출처 : 연구진 작성

- 본 연구개발사업을 통해 절감될 것으로 예상되는 재해 피해 비용 감축 가능 비율에 대한 공식적인 출처는 없으나, 소방방재청(2008)의 보고서는 방재를 통해 침수 피해 경감, 풍속 감소 피해 경감 등의 피해 비용 감축 효과가 발생한다고 규정
- 그러나 예상 재해 피해 비용 감축 가능 비율에 대한 근거가 부재하므로 시나리오 접근법을 통해 경제성을 분석하였으며, 감축 가능 비율은 **1.0%**로 설정
 - 감축 가능 비율은 0.05%, 0.15%로 조정한 민감도 분석 실시
- 재난 재해 경제적 피해 비용 절감 편익은 연도별 기후 위기로 인한 재난 재해 경제적 피해 비용에 절감 가능 비율, R&D 사업화성공률, 사업기여율, R&D 기여율을 적용하여 744~889 백만 원/년으로 산출

<표 IV- 16> 재난재해 경제적 피해비용 절감 편익(단위 : 백만 원, %)

구분	경제적 피해비용 추정액	절감 가능 비율	R&D 사업화성공률	사업 기여율	R&D 기여율	재난재해 경제적 피해비용 절감 편익
2034	1,799,251	1.0	31.3	47.03	28.1	744
2035	1,835,237	1.0	31.3	47.03	28.1	759
2036	1,871,941	1.0	31.3	47.03	28.1	774
2037	1,909,380	1.0	31.3	47.03	28.1	790
2038	1,947,568	1.0	31.3	47.03	28.1	806
2039	1,986,519	1.0	31.3	47.03	28.1	822
2040	2,026,249	1.0	31.3	47.03	28.1	838
2041	2,066,774	1.0	31.3	47.03	28.1	855
2042	2,108,110	1.0	31.3	47.03	28.1	872
2043	2,150,272	1.0	31.3	47.03	28.1	889
합계	19,701,302	-	-	-	-	8,150

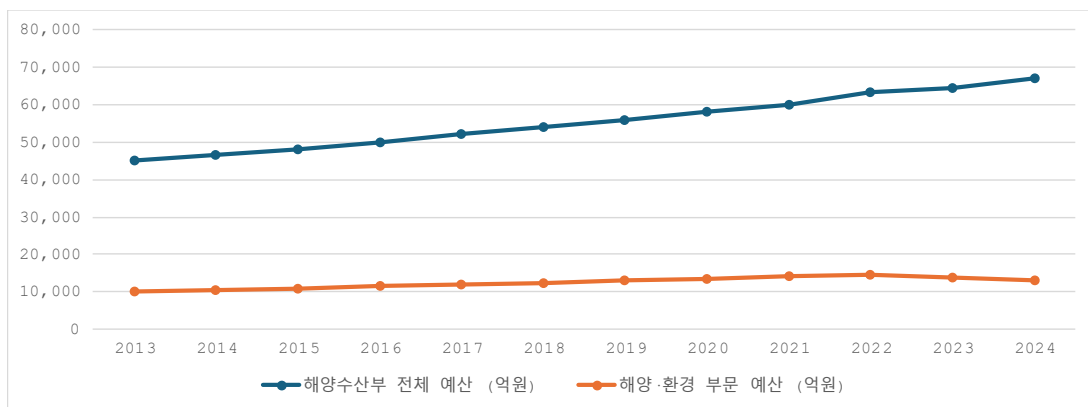
출처 : 연구진 작성

나. 해양환경 관리 비용 절감 편익

- 본 사업은 극지 해양 및 빙권 환경을 실시간으로 감시하는 관측망을 구축하는 것이 핵심 목표이며, 이를 통해 해양오염 사고(예: 유류 유출, 미세플라스틱 확산, 오염 물질 유입)의 조기 감지가 가능하여 신속한 대응 지원 가능
 - 극지 해양 오염은 단순히 극지 생태계에 국한된 문제가 아니라, 전 지구적 기후 및 해양 순환 시스템과 연계되어 국내 환경에도 직접적이고 간접적인 영향 발생
 - 극지에서 발생한 해양오염이 해류를 따라 국내로 이동, 대기순환을 통한 오염 확산, 어업자원 감소 및 식량안보 위협, 어업자원 감소 및 식량안보 위협 등 악영향
- 특히, 극지 미세플라스틱 오염 문제와도 밀접한 관련이 있으며, 세계자연기금(WWF, 2021)은 2019년에 생산된 플라스틱의 사회적 비용이 약 3조 7,000억 달러에 달한다고 추정
 - 이는 플라스틱 폐기물 관리, 해양오염 대응, 생태계 복원 등에 소요되는 경제적 손실을 포함한 것으로, 해양 환경 보호의 필요성을 시사하는 중요한 지표
 - 극지 해양 환경은 지구 기후 및 해양순환 시스템과 연결되어 있어, 미세플라스틱 오염이 극지방에서 더욱 심화되면 해양생태계 전반에 영향
- 세계자연기금(WWF, 2022)은 2022년 전 세계적으로 미세플라스틱이 1세제곱미터당 1.21×10^5 개 이상 존재하며, 이는 생태적 위험 한계를 초과한 상태로 보고
 - 특히, 북극 해빙 지역과 같은 특정 ‘핫스팟’에서는 미세플라스틱 농도가 급격히 증가하고 있으며, 일부 지역에서는 생태계 회복이 어려운 임계치를 넘어선 것으로 분석
 - 극지에서 축적된 미세플라스틱은 해양 순환과 해류를 따라 중위도 및 저위도 국가로 확산

될 가능성이 높으며, 이는 한반도 주변 해양 환경에도 부정적인 영향을 미칠 수 있음

- 플라스틱 오염이 해양 전체로 확산될 경우, 산호초, 맹그로브 등 생산성이 높은 해양 생태계 뿐만 아니라, 극지 해양 생태계의 핵심종인 크릴, 플랑크톤 등의 생물종도 미세플라스틱에 노출되고 있으며, 이는 해양 먹이사슬을 통해 한반도 근해의 어업 자원에도 영향
- 따라서, 본 연구개발사업을 통해 해양 환경 감시체계를 구축하면, 기후변화 및 해양오염을 사전적 예방과 장기적인 환경 복구 비용이 절감될 것이며, 이를 통해 정부 예산 중 해양환경 복구 및 관리 예산의 효율성 제고와 예산 절감 효과 유발 가능
- 2013~2024년 해양수산부 전체 예산 중 해양·환경 부문의 예산은 10,000억 원에서 13,247억 원으로 증가하였으며, 연평균 2.59%씩 증가



<그림 IV-2> 해양수산부 전체 및 해양·환경 부문 예산

<표 IV- 17> 해양수산부 전체 및 해양·환경 부문 예산(단위 : 억 원)

연도	해양수산부 전체 예산	해양·환경 부문 예산
2013	45,000	10,000
2014	46,500	10,500
2015	48,000	11,000
2016	50,000	11,500
2017	52,000	12,000
2018	54,000	12,500
2019	56,000	13,000
2020	58,000	13,500
2021	60,000	14,000
2022	63,365	14,500
2023	64,333	13,800
2024	66,879	13,247

출처 : 해양수산부(2025. 2. 2. 검색)

- 해양수산부의 해양·환경 부문 예산은 증가하고 있으나, 보수적인 분석을 위해 2024년 해양·환경 부문 예산 13,247억 원에 2015~2024년 평균 소비자물가상승률 2.0%를 적용하여 2034~2043년 해양·환경 부문 예산을 아래 표와 같이 추정

<표 IV- 18> 2034~2043년 해양·환경 부문 예산 추정액(단위 : 백만 원)

2034	2035	2036	2037	2038
1,573,076	1,604,537	1,636,628	1,669,361	1,702,748
2034	2035	2036	2037	2038
1,736,803	1,771,539	1,806,970	1,843,109	1,879,971

출처 : 연구진 작성

- 본 연구개발사업을 통해 절감될 것으로 예상되는 해양환경 기술개발 기여 가능 비율에 대한 공식적인 출처는 없으나, 권영주 외(2014)은 R&D 사업을 통해 해양쓰레기로 인한 피해비용을 약 20% 절감한다고 분석
- 그러나 보수적인 경제적 타당성 분석을 위해 해양수산부 해양·환경 부문 R&D 예산을 기준으로 기여 가능 비율을 보수적으로 **1.0%**로 설정하고 시나리오 분석 실시
 - 감축 가능 비율은 0.5%, 1.5%로 조정한 민감도 분석 실시
- 해양환경 관리비용 절감 편익은 연도별 해양·환경 부문 예산에 절감 가능 비율, R&D 사업 화성공률, 사업기여율, R&D 기여율을 적용하여 651~778백만 원/년으로 산출

<표 IV- 19> 해운 물류비용 절감 편익(단위 : 백만 원, %)

구분	해운 물류비용 추정액	절감 가능 비율	R&D 사업화성공률	사업 기여율	R&D 기여율	해운 물류비용 절감 편익
2034	1,573,076	0.01	31.3	47.03	28.1	651
2035	1,604,537	0.01	31.3	47.03	28.1	664
2036	1,636,628	0.01	31.3	47.03	28.1	677
2037	1,669,361	0.01	31.3	47.03	28.1	691
2038	1,702,748	0.01	31.3	47.03	28.1	704
2039	1,736,803	0.01	31.3	47.03	28.1	718
2040	1,771,539	0.01	31.3	47.03	28.1	733
2041	1,806,970	0.01	31.3	47.03	28.1	747
2042	1,843,109	0.01	31.3	47.03	28.1	762
2043	1,879,971	0.01	31.3	47.03	28.1	778
합계	17,224,740	-	-	-	-	7,125

출처 : 연구진 작성

다. 북극항로 활용 물류비용 절감 편익

- 북유럽 주요국과 이외 해운분야에서 접목이 가능한 상황인식, 원격제어, 자율운항, 사전유지보수 예측기술, 운항조정기술 등 최적항로 개발 시 해상물류비 10~20% 절감, 해양인적사고 30% 감축, 화물처리속도 33% 향상 등의 상호 효과 창출 가능하다고 발표(북방경제협력위원회, , 2012)

- 국가물류비에서 해운 부문 물류비를 직접적으로 명시하는 데이터가 부족하기 때문에 국가물류비 및 해운 부문의 수송 분담률을 활용하여 간접적으로 추정하는 방법 필요
 - 한국교통연구원(KOTI), 한국해양수산개발원(KMI) 등 연구기관에서는 해운 물류비를 직접 측정하는 데이터가 부족할 경우, 국가물류비를 기반으로 수송 분담률을 적용하여 해운 물류비를 추정
 - 해운 물류비는 기업별 계약 조건, 국제유가 변동, 선박 운항 비용 등 다양한 요소에 따라 달라지기 때문에, 개별적으로 정확한 비용을 산출하기 어려움
- 국가물류비 및 수송 분담률을 활용하면 해운 부문 물류비를 간접적으로 추정할 수 있으며, 본 연구개발사업을 통해 창출될 것으로 예상되는 해운 물류비 절감 편익 산출 가능
 - 국제해사기구(IMO) 및 OECD 등의 해운산업 통계에서 화물운송량을 평가할 때 "톤-킬로미터(Ton-Km)"를 기본 지표로 사용(톤 기준으로만 보면 해운업 비중이 축소될 가능성이 높음)
 - 해운업의 탄소 배출량도 톤-킬로미터 기준으로 평가되므로, 환경적 측면에서도 정확한 분석이 가능



<표 IV- 20> 국가물류비 중 해운 부문 물류비 추정(단위 : 십억 원, %)

구분	국가물류비	해운 부문 수송 분담률		해운 부문 물류비 추정	
		톤 기준	톤-킬로미터 기준	톤 기준	톤-킬로미터 기준
2013	152,037	6.43	19.09	9,776	29,024
2014	162,832	5.79	18.20	9,428	29,635

출처 : 한국교통연구원(2015. 2016)을 참고하여 연구진 작성

- 국가물류비는 2012년~2021년 149조 5,640억 원~28조 3,930억 원이 발생하며, 2013~2014년 평균 해운 부문 수송 분담률 18.65%를 적용한 해운 부문 물류비 추정액은 27조 8,860억 원~51조 6,520억 원이 발생하는 것으로 추정

<표 IV- 21> 연도별 해운 부문 물류비 추정액(단위 : 십억 원, %)

구분	국가물류비	해운 부문 수송 분담률 (톤-킬로미터 기준)	해운 부문 물류비 추정액
2012	149,564	18.65	27,886
2013	152,037	18.65	28,347
2014	162,832	18.65	30,360
2015	168,033	18.65	31,330
2016	160,794	18.65	29,980
2017	164,613	18.65	30,692
2018	177,720	18.65	33,136
2019	186,569	18.65	34,786
2020	235,488	18.65	43,907
2021	282,393	18.65	52,652

출처 : 한국교통연구원(2015, 2016, 2021)을 참고하여 연구진 작성

- 해운 부문 물류비는 해마다 증가하고 있는 것으로 예상되나, 해운물류비에 대한 정확한 통계가 제공되지 않으므로 2021년 해운 부문 물류비 추정액에 2015~2024년 평균 소비자물가상승률 2.0%를 적용하여 2034~2043년 해운물류비를 아래 표와 같이 추정

<표 IV- 22> 2034~2043년 해운물류비 추정액(단위 : 백만 원)

2034	2035	2036	2037	2038
365,305,457	372,611,566	380,063,798	387,665,074	395,418,375
2034	2035	2036	2037	2038
403,326,743	411,393,277	419,621,143	428,013,566	436,573,837

출처 : 연구진 작성

- 본 사업을 통해 해운 물류비용을 절감하는 효과를 창출할 것으로 예상되나, 공식적인 출처는 없으므로 절감 가능 비율을 0.01%로 설정하고 시나리오 분석 실시
 - 감축 가능 비율은 0.005%, 0.015%로 조정한 민감도 분석 실시
- 해운 물류비용 절감 편익은 연도별 해운 물류비용에 절감 가능 비율, R&D 사업화성공률, 사업기여율, R&D 기여율을 적용하여 1,511~1,806백만 원/년으로 산출

<표 IV- 23> 해운 물류비용 절감 편익(단위 : 백만 원, %)

구분	해운 물류비용 추정액	절감 가능 비율	R&D 사업화성공률	사업 기여율	R&D 기여율	해운 물류비용 절감 편익
2034	365,305,457	0.01	31.3	47.03	28.1	1,511
2035	372,611,566	0.01	31.3	47.03	28.1	1,541
2036	380,063,798	0.01	31.3	47.03	28.1	1,572
2037	387,665,074	0.01	31.3	47.03	28.1	1,604
2038	395,418,375	0.01	31.3	47.03	28.1	1,636
2039	403,326,743	0.01	31.3	47.03	28.1	1,668
2040	411,393,277	0.01	31.3	47.03	28.1	1,702
2041	419,621,143	0.01	31.3	47.03	28.1	1,736
2042	428,013,566	0.01	31.3	47.03	28.1	1,771
2043	436,573,837	0.01	31.3	47.03	28.1	1,806
합계	3,999,992,836	-	-	-	-	16,547

출처 : 연구진 작성

라. 데이터 활용을 통한 AI 및 디지털 경제 발전 기여 편익

- 본 연구개발사업은 극지 환경변화 데이터를 수집·분석하고, 이를 활용하여 AI 기반 기후 예측, 해양 기상 분석, 자율운항 선박 최적화, 데이터 산업 활성화 등 다양한 디지털 경제 부문에 기여
- 데이터는 현대 디지털 경제에서 핵심 자원이며, 극지 환경 감시를 통해 수집된 데이터는 해양·기후 데이터 산업, AI 기반 예측 모델, 기후 리스크 관리, 물류 최적화 등 다양한 분야에서 활용 가능
 - 기후 데이터의 축적 및 분석을 통해 AI 모델이 더욱 정교해질 수 있으며, 태풍, 한파, 홍수 등 기후 관련 재난을 보다 정확하게 예측 가능
 - 극지 환경 감시 데이터를 AI에 적용하여 해운업계에서 북극항로 최적화를 위한 AI 솔루션 개발 가능
 - 극지 해양·빙권 관측 데이터를 기후 데이터 산업, 해양 AI 산업, 기후 리스크 관리 서비스 등 다양한 데이터 산업에 활용 가능
- 2010~2023년 국내 데이터 시장 규모는 9조 5,115억 원에서 27조 1,513억 원으로 성장하였으며, 연평균 성장률 9.2%로 빠르게 성장



<그림 IV-3> 국내 데이터 시장 규모(단위 : 억 원)

<표 IV- 24> 2010~2023년 국내 데이터 시장 규모(단위 : 억 원)

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
86,374	95,115	105,519	113,032	124,687	133,555	136,832
2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
137,547	143,530	168,693	192,736	200,024	250,527	271,513

출처 : 정보통신기획평가원(2011~2023)

- 국내 데이터 시장은 빠르게 성장하고 있으나, 향후 국내 데이터 시장 규모를 정확하게 예측하기 어려우므로 2023년 국내 데이터 시장 규모 27조 1,513억 원에 2015~2024년 평균 소비자물가상승률 2.0%를 적용하여 2034~2043년 국내 데이터 시장 규모를 아래 표와 같이 추정

<표 IV- 25> 2034~2043년 국내 데이터 시장 규모 추정액(단위 : 백만 원)

2034	2035	2036	2037	2038
33,759,229	34,434,413	35,123,102	35,825,564	36,542,075
2034	2035	2036	2037	2038
37,272,917	38,018,375	38,778,742	39,554,317	40,345,404

출처 : 연구진 작성

- 본 사업을 통해 해운 물류비용을 절감하는 효과를 창출할 것으로 예상되나, 이에 대한 공식적인 출처가 없으므로 절감 가능 비율을 **0.01%**로 설정하고 시나리오 분석 실시
 - 감축 가능 비율은 0.005%, 0.015%로 조정한 민감도 분석 실시
- 데이터 활용을 통한 AI 및 디지털 경제 발전 기여 편익은 2034~2043년 국내 데이터 시장

규모 추정액에 기술개발 기여율, R&D 사업화성공률, 사업기여율, R&D 기여율을 적용하여 140~167백만 원/년으로 산출

<표 IV- 26> 해운 물류비용 절감 편익(단위 : 백만 원, %)

구분	국내 데이터 시장 규모 추정액	기술개발 기여율	R&D 사업화성공률	사업 기여율	R&D 기여율	AI 및 디지털 경제 발전 기여 편익
2034	33,759,229	0.01	31.3	47.03	28.1	140
2035	34,434,413	0.01	31.3	47.03	28.1	142
2036	35,123,102	0.01	31.3	47.03	28.1	145
2037	35,825,564	0.01	31.3	47.03	28.1	148
2038	36,542,075	0.01	31.3	47.03	28.1	151
2039	37,272,917	0.01	31.3	47.03	28.1	154
2040	38,018,375	0.01	31.3	47.03	28.1	157
2041	38,778,742	0.01	31.3	47.03	28.1	160
2042	39,554,317	0.01	31.3	47.03	28.1	164
2043	40,345,404	0.01	31.3	47.03	28.1	167
합계	369,654,137	-	-	-	-	1,529

출처 : 연구진 작성



3.5 분석지표

가. 연도별 비용 및 편익 흐름

- 본 연구개발사업의 비용은 2026~2030년 총 19,000백만 원(현재가치 16,985백만 원)이며, 편익은 2034~2043년 총 33,351백만 원(현재가치 18,660백만 원)으로 산출

<표 IV- 27> 연도별 비용 및 편익 흐름

구분	비용		편익									
	금액	현재가치	재난재해 피해비용 절감	현재 가치	해양오염 복구비용 절감	현재 가치	해운 물류비용 절감	현재 가치	AI 및 디지털 경제 발전 기여	현재 가치	총계	현재 가치
2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2026	5,400	5,172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2027	4,700	4,312	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2028	3,000	2,636	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2029	3,000	2,525	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2030	2,900	2,338	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2034	-	-	744	505	651	442	1,511	1,026	140	95	3,046	2,067
2035	-	-	759	494	664	432	1,541	1,002	142	93	3,107	2,020
2036	-	-	774	482	677	422	1,572	979	145	90	3,169	1,973
2037	-	-	790	471	691	412	1,604	957	148	88	3,232	1,928
2038	-	-	806	460	704	402	1,636	935	151	86	3,297	1,884
2039	-	-	822	450	718	393	1,668	913	154	84	3,363	1,840
2040	-	-	838	439	733	384	1,702	892	157	82	3,430	1,798
2041	-	-	855	429	747	375	1,736	872	160	81	3,499	1,757
2042	-	-	872	419	762	367	1,771	852	164	79	3,569	1,716
2043	-	-	889	410	778	358	1,806	832	167	77	3,640	1,677
합계	19,000	16,985	8,150	4,560	7,125	3,987	16,547	9,258	1,529	856	33,351	18,660

출처 : 연구진 작성

나. 분석결과

- 본 연구개발사업은 비용편익비 1.10, 순현재가치 1,675백만 원, 내부수익률 5.32%로 산출되었으며, 모든 분석지표가 평가기준을 만족하여 본 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 분석

<표 IV- 28> 경제적 타당성 분석 결과

구분	비용편익비 (BCR)	순현재가치 (NPV)	내부수익률 (IRR)
분석지표	1.10	1,675백만 원	5.32%
평가기준	BCR > 1.0	NPV>0	IRR>4.5%

출처 : 연구진 작성

3.6 종합평가

- 비관적·긍정적 시나리오를 적용한 민감도 분석 결과, 비관적 시나리오는 비용편익비 0.55, 순현재가치 -7,655백만 원, 내부수익률 -1.17%, 긍정적 시나리오는 비용편익비 1.65, 순현재가치 11,006백만 원, 내부수익률 9.44%로 분석
- 비관적 시나리오는 분석지표가 평가기준을 모두 만족하지 못하여 경제적 타당성이 없는 것으로 분석되었으나, 본 연구개발을 통해 개발된 기술의 정책적 타당성과 기술적 타당성, 사회·문화적 타당성을 고려하여 충분히 타당성이 있는 것으로 예상
- 긍정적 시나리오는 모든 평가지표가 타당성이 충분한 것으로 나타나 본 기술이 개발될 시 국내외 파급효과가 클 것으로 예상
- 본 연구개발사업의 경제적 타당성 분석 결과, BCR 1.10, NPV 1,675억 원, IRR 5.32%로 경제적 타당성이 충분한 사업으로 평가되었으며, 민감도 분석 결과에서도 연구개발 성과 확산 및 정책적 지원이 이루어진다면 경제적 효과가 더욱 증가할 가능성이 큼

<표 IV- 29> 민감도 분석 결과

구분	비용편익비 (BCR)	순현재가치 (NPV)	내부수익률 (IRR)
비관적 시나리오	0.55	-7,655백만 원	-1.17%
기준	1.10	1,675백만 원	5.32%
긍정적 시나리오	1.65	11,006백만 원	9.44%

출처 : 연구진 작성

4. 사회 · 문화적 타당성

4.1 기후변화 대응 역량 강화

- 본 사업은 남·북극 해양과 빙권의 기후변수(수온, 염분, 해류, 영양염, 무기탄소 등)를 실시간 감시하고, 이를 통해 기후변화의 조기 감지 및 예측 정확도 향상에 기여
- 해빙·해색 인공위성 감시 시스템과 빙권 변동 감시는 해수면 상승과 기후변화의 장기적 영향을 분석하는 데 필수적이며, 재난 예방 및 국가 정책 수립의 기반 구축에 기여

4.2 해양 및 극지 생태계 보호

- 연안관측시설 및 수중계류시설을 활용한 생지화학 변수 감시는 극지 생태계의 변화를 추적하여 해양 생태계 보전 정책을 수립하는 데 기여
- 이를 통해 국제 해양보호구역 관리 및 UN 지속가능발전목표(SDGs) 14번(해양 생태계 보호) 달성에 기여

4.3 산업 및 기술 혁신 촉진

- 본 사업에서 개발된 자동화된 해양 및 빙권 감시 시스템은 해양·기상·인공지능(AI) 융합 기술 개발을 촉진하며, 이는 국내 해양 관측 산업의 성장 기반 구축
- 데이터 분석 자동화 및 위성 감시 기술의 발전은 첨단 IT 및 센서 산업의 성장을 견인하며, 국가 연구개발(R&D) 경쟁력 제고

4.4 국제 협력 및 글로벌 리더십 강화

- 극지 연구는 다국적 협력이 필수적인 분야로, 본 사업의 성공은 국제 공동 연구 및 외교적 협력 증진에 기여
- 한국이 극지 연구 및 감시 분야에서 선도적인 역할을 수행할 경우, 국제적 영향력이 확대되고 글로벌 환경 정책 논의에서 주도적인 입지 확보 가능

4.5 미래 세대를 위한 교육 및 연구 기회 확대

- 본 사업을 통해 축적된 데이터와 연구 결과는 국내 대학 및 연구소에서 극지 연구 활성화를 촉진하며, 청소년 및 대학생 대상 연구·교육 프로그램 운영 가능

기획연구 제안요구서(RFP)

사업명	극지 해양환경 변동성 감시를 위한 관측망 구축 및 운영 기술개발 기획연구
목적	○ 극지 해양환경 관측망 구축 및 운영을 위한 R&D 사업 기획 - R&D 사업 발굴을 위한 환경 분석 및 연구개발 타당성 분석 - R&D 사업의 산·학·연 연계를 포함한 추진체계 및 로드맵 수립
연구내용 및 범위	○ 환경 분석 - 정책동향 및 법·제도 분석 · 관련분야 국내외 정책동향 및 법·제도 분석 - 시장 동향 및 전망 분석 · 관련분야 국내외 산업 및 시장 동향 분석, 전망 - 기술(R&D) 동향 및 전망 분석 · 연구개발 동향(논문, 연구과제 등) 및 전망 · 부처 내외 수행된 연구개발사업과 중복성 검토 실시 - 국내수요자(민·관·산·학계 등 포함)의 기술수요조사 및 분석 · 수요자 설문조사를 통해 연구개발 필요성 및 방향 도출 · 기술개발자(관련개발기업, 학계, 연구계 등) 자문 통해 기술개발 내용 도출 - 환경분석에 대한 종합 시사점 도출 · 환경분석 결과를 기반으로 연구목표 추진 계획 수립에 근간이 되는 시사점 도출 ○ 연구목표 및 내용 - 연구개발 최종목표 및 최종성과물 제시 · 사업기간 내 달성 가능한 사업의 정량적·정성적 목표 제시 - 연구개발 목표 달성을 위한 연구내용 및 연구범위 설정 · 기술개발 전략수립, 중점기술 분야별 추진 로드맵 수립 등 <주요 내용> ○ 기후변화감시예측법의 일환으로 해양·극지분야 관측망 구축·운영 · 해양환경(물리·생지화학·생태) 핵심기후변수* 14개(표층/수심별 수온·염분 및 수심별 해류, 용존산소, 영양염, 무기탄소, 용존 아산화질소, 용존 메탄, 서식지, 부유생물, 해색, 해빙) 외 일차생산력에 대한 관측 수행 * 기후변화 감시를 위한 국제 과학협력 프로그램인 전 지구 기후 관측체계(GCOS)에서 선정 · 빙권 핵심기후변수* 3개(빙하, 빙상, 적설량)에 대한 관측 수행 ○ 극지 과학기지 거점으로 수중계류시설, 연안관측시설, 빙권 고정관측시설 구축

- 세종·장보고과학기지 인근 해상 각 두 지점과 다산과학기지 인근 해상 한 지점에 5개의 수중계류시설 구축 및 운영
- 세종·장보고과학기지 연안 각 1개 지점에 2개의 연안관측시설 구축 및 운영
- 다산·세종·장보고과학기지 인근 해역 20개 정점에 대한 선박 관측 실시
- 장보고과학기지 주변 빙하두께 등의 관측을 위한 고정관측시설 2개소 운영 및 위성 활용 준 실시간 해빙 유동 관측체계 마련

○ 관측망 유지·보수 및 관리 방안 수립

- 수중계류시설 유지·보수를 위해 쇄빙연구선(장보고기지) 또는 소형연구선(세종기지) 및 타국연구선(다산기지)을 활용해 매년 여름철 장비 회수 및 점검 후 재 계류
- 연안관측시설은 여름철에 방문하여 유지·보수를 실시하며, 기지 월동연구대원으로 하여금 연중 점검
- 장비 고장 및 정기 검·교정을 위해 여분의 장비를 추가로 확보하며, 특히, 수중계류시설은 동산보험에 가입하여 장비 망실 및 훼손에 대비
- 현장에서 수집된 관측 자료는 이상치 제거, 결측치 복원 등 품질처리·가공을 거쳐 한국극지자료센터(KPDC) 등을 통해 정보 제공

○ 연구개발 추진 체계 및 추진전략 수립

- 사업수행주체 : 국가, 지자체, 공공기관 민간 등 주요역할 제시
- 사업진행절차 및 일정(사업추진 흐름도 제시)
 - 사업목표 달성을 위한 효과적인 사업 구성 및 운영체계, 추진주체 간의 역할분담 및 연계방안 등을 기술
- 추진전략, 추진체계 제시
 - 발굴된 사업과제에 대한 단계별 추진전략 및 세부과제별 추진체계 제시
 - 단계별, 세부과제별, 기술별 개발로드맵 및 확보방안 제시
- 소요예산, 연구기간, 소요인력 제시
 - 과제별 연구기간 제시
 - 세부과제별, 기술별 소요예산 제시
 - 세부과제별, 기술별 연차별, 직급별 소요인력 제시
- 재원 조달 방식
 - 지원형태, 재원부담, 국고지원 비율, 시설운영비 충당방식 등
- 연구개발 성과평가를 위한 정량·정성적 성과지표 및 평가방안 제시
 - 사업 성과지표로서 성과분야와 성과지표에 대한 기준설정
 - 기술별 성과지표로서 과제별 성과지표 설정
 - 성과분야별, 기술별(과제별), 단계별 성과지표에 따른 목표치 설정

○ 연구개발 타당성분석(정책, 경제, 기술적 타당성)

- 정책적 타당성 분석 : 정부 상위계획과 부합성, 정부지원의 필요성 및 시급성, 관련 기관의 참여 및 사업추진 의지, 유사사례에 대한 국내외 정부지원 사례 등
- 기술적 타당성 분석 : 기존 연구사업과의 중복 및 연계성, 기술개발의 성공가능성, 기술개발의 파급효과, 기술개발 위협요인 검토 등
- 경제적 타당성 분석 : 편익/비용 비율(B/C ratio), 순현재가치(NPV), 내부수

	익율(IRR) 등의 기법을 활용한 경제성 분석, 사회·경제적 파급효과 등 ○ 연구개발 결과의 기대효과 ○ 사업추진상의 위험요인과 대응방안
추진방법	○ 연구진 구성시 관련 산·학·연 전문가 포함 · 자문위원회 구성시 역할 및 소요내역 명시 ○ 설문조사 및 자문 등을 통해 관련분야 전문가 및 수요자의 의견을 폭넓게 수렴(필요시)
연구비/기간	40백만원 / 과제 선정일로부터 4개월



2024년도 정책·지원과제 계획서

세부사업 구분		정책·지원과제(지정과제)			
과 제 명(국문)		극지 해양환경 변동성 감시를 위한 관측망 구축 및 운영 기술개발 기획연구			
과 제 명(영문)		A planning study to develop a technology of observation network for monitoring ocean environmental variability in Arctic and Antarctic coastal areas			
주 관 연 구 기 관		극지연구소		과 제 성 격	
공동 연구 기관				기초(☒), 응용(), 개발()	
연 구 책 임 자	소속 및 부서명	해양대기연구본부		직 위	책임연구원
	성 명 (한문)	김태완(金泰完)		전 공	해양학
연 구 개 발 비	총 연 구 비		당해연도 연구비		
	정부출연금	40,000 천원		정부출연금	40,000 천원
	정부이외출연금	천원		정부이외출연금	천원
	기업체부담금	천원		기업체부담금	천원
	상대국부담금	천원		상대국부담금	천원
	계	40,000 천원		계	40,000 천원
총 연 구 기 간		2024.10.01.~2025.01.31.(4개월)		당해연도참여	명
당해연도 연구기간		2024.10.01.~2025.01.31.(4개월)		연 구 원 수	내부: 명, 외부: 명
참여 (또는 신청) 기업	기 업 체 명	(기업유형:)			
	주 소	(전화번호 :)			
	실 무 연 락 책 임 자	소속: 직위:		성 명 : 전화번호 :	
국제 공동 연구	상 대 국 연구기관명		상 대 국 연 구 개 발비	신청액: 천원	
				확정액: 천원	
	상 대 국 연구책임자		상 대 국 연구개발기간	신청 . . - . (년 월)	
				확정 . . - . (년 월)	
관계규정과 제반지시사항을 준수하면서 본 연구사업을 성실히 수행하고자 별첨 과 같이 제출합니다. 2024년 9월 10일 연구책임자 : 김태완 극지연구소장 귀하					

1. 연구개발의 필요성

가. 연구개발의 경제·사회·기술적 필요성

- IPCC 6차 보고에 따르면, 산업화 이후 누적 탄소 배출량은 약 2160~2640Gt이며, 2023년에 이미 산업화 이전 대비 전 지구 표면 온도가 약 1.1℃ 상승하였으며, 2022년 SCAR 보고서 (Antarctic Climate Change and the Environment)에 의하면, 산업화 이후 인간 활동으로 배출된 잉여 열의 90%를 해양이 흡수하며, 특히 남극해가 이 열의 3분의 2를 흡수함.
- 남극 빙상 질량 손실은 전 지구 해수면 상승 및 해양·대기 순환 변화로 이어져 우리나라 연안 해수면과 기후 변화에 영향을 미칠 수 있으며, IPCC 제6차 보고서에 따르면 남극의 빙하 용해 시 우리나라는 해수면 상승이 비교적 높게 발생하는 지역 중 하나로 전망됨.
- 따라서, 기후변화가 야기하는 극지해 장기 변동성을 파악하기 위해 북극 다산과학기지과 남극 세종·장보고과학기지 인근에 고해상도의 해양 관측망 시스템을 개발·구축함으로써 해수 물리적(수온, 염분, 해류), 생지화학적 특성(해색, 영양염, 부유생물) 등 핵심기후변수데이터를 체계적으로 수집·관리할 필요하다. 이를 통해 기후변화 대응에 필요한 감시·예측 정보를 지속적으로 생산하고 이는 대한민국 극지 기후 분야 국제입지 강화에 기여함.

□ 기술적 측면

- 기후변화에 따른 극지 연안 환경변화를 감시·진단하기 위해 전 지구 해양순환의 한 고리를 담당하는 북대서양심층수와 남극저층수의 장기 변동성, 전 지구에서 가장 급격한 온난화를 겪고 있는 남극반도에서 해양환경 변동성을 장기 관측할 필요가 있음.
- 온난화에 의한 해양환경변화는 해양 생지화학 기후 변수의 변화를 초래하며, 생태계 및 탄소 흡수력에 미치는 영향이 크므로 해양 생지화학 기후변수의 장기 관측이 필요함.
- 해빙과 유빙이 존재하는 극지해에서 해수의 물리적(수온·염분, 해류), 생지화학적 특성(해색, 영양염, 부유생)을 안정적으로 장기 관측하기 위한 해양 관측망 시스템의 개발이 필요함.
- 또한, 제한된 접근성과 극한 환경으로 인한 해색 및 해빙 현장 관측 자료는 부족하며, 이는 극지 환경 재현모델 성능 저하로 이어짐. 따라서 해색 및 해빙 인공위성 관측 자료의 자동처리 시스템 개발 및 구축을 통해 체계적인 자료 생산 및 축적이 요구됨.
- 기후변화에 의해 가속화되고 있는 빙상 손실을 관측하기 위해 장보고과학기지 인근 주요 빙하 거점에 관측망을 구축하고 빙하 이동속도, 두께변화, 적설량 등의 지속적 모니터링이 필요함.

□ 경제 · 산업적 측면

- IPCC 6차 보고에 따르면, 지구온난화의 주범인 탄소의 산업화 이후 누적 배출량이 약 2160~2640Gt이다. 남극해의 일부해역에서는 이 배출된 탄소의 약 20~30%가량이 남극저층수 형성과정에서 흡수되며, 이는 전 지구 해수순환의 한 고리로 이 해류가 해저로 침강하기 전 마지막으로 대기와 탄소를 교환하여 수세기 동안 탄소를 효율적으로 격리함.
- 남극 해역의 플랑크톤은 연간 약 1억 톤의 주요 탄소 흡수자로서 기후변화에 따라 크게 영향을 받을 것으로 예상되어 기후변화 대응 생태계 감시 등에 활용가치가 매우 크다. 따라서 남극연안지역에 해양생물 관측망을 구축하여 해양생태계 및 환경에 대한 체계적인 데이터 생산이 요구됨.
- 극지연안에서의 핵심기후변수의 장기모니터링 결과는 기후변화 예측을 위한 CMIP(결합모형 상호비교 프로젝트) 기후모델의 검증·평가 자료로 활용되어, IPCC 시나리오별 미래 기후변화 예측 성능 개선에 기여할 수 있음.

□ 과학적 측면

- 장보고과학기지 인근(동쪽으로 약 80km 지점)에서 고염대륙붕수 특성 및 부피 변동성을 연속적으로 모니터링 함으로써 전 지구 해양순환의 한 고리를 담당하는 남극저층수의 장기 장기변동성을 파악함. 또한, 확보한 자료는 기후예측모델의 초기자료 및 평가·검증자료로 활용하여 미래 기후변동성 예측 성능 향상에 기여함.
- 영양염(질소, 인, 탄소 등)은 해양 기초대사를 유지하는 식물플랑크톤 성장에 필수적으로 해양생태계 건강 상태를 가늠하는 지시자 역할을 함으로 영양염 농도로 해양의 탄소흡수율 추정 가능함. 따라서, 극지 해역 생태계 및 탄소흡수력에 미치는 영향이 큰 영양염 등 해양 생지화학 기후변수의 준 실시간 모니터링이 필요함.
- 로스해 주변 빙상의 질량 손실은 남극 저층수 생성 및 순환에 큰 영향을 미친다. 따라서, 기후변화에 의해 가속화하고 있는 빙상 손실(이동속도 및 두께변화)의 지속적 모니터링을 위해 장보고기지 인근 주요 빙하 거점에 관측망 구축이 필요함.

□ 사회 · 문화적 측면

- 극지 온난화는 전 지구 평균보다 2배 이상 빠르게 진행 중이다. 특히, 북극해는 4배 이상 빠른 온난화로 인해 해빙 면적이 빠르게 감소하고 있어 온실가스 감축이 이루어지지 않는다면 2030년 9월 북극 해빙이 소멸할 수도 있으며, 이는 우리나라 겨울철 한파 증가 및 여름철 폭염 발생을 촉발할 수 있음.
- 온난화에 따른 남극빙상 질량 손실은 전 지구 해수면 상승 및 해양·대기 순환 변화로 이어

저 우리나라 연안 해수면과 기후변화에 영향을 미칠 수 있음. SSP5-8.5 고탄소 배출 시나리오에 따른 남극 빙하 용해로 2100년 인천 해수면이 1.13m 상승할 것으로 전망됨.

나. 연구개발하려는 기술(또는 연구개발내용)의 세계적 수준이 다음의 기술발전주기(technology life cycle) 중 현재 어느 단계에 해당되는가?

☒ 개념정립단계

☐ 기업화 단계

☐ 기술의 안정화 단계

다. 지금까지의 연구개발 실적

☐ 아문젠해 해양변동성 연구

- 남극 아문젠해에서 쇄빙연구선 아라온을 이용하여 2010년부터 2020년까지 총 6번의 종합적인 해양조사가 이루어졌으며, 이로부터 아문젠해(Amundsen Sea)에서 환남극심층수(circumpolar deep water) 분포의 경년 변동성을 파악함.
- 닷슨빙봉 전면 해수 수괴 및 해류의 변동성 관측을 위해 다수의 계류 장비를 운영하였으며, 이로부터 획득한 수온·염분, 해류의 연속자료로부터 빙봉과 해양의 열 교환 및 용빙수 배출량의 계절적 변동성을 확인하고 그 원인을 규명함.
- 아문젠해의 화학적 특성을 이해하기 위해 여러 생지화학적 변수들을 관측·분석하고 인공지능 기법을 활용해 아문젠 폴리나 순 군집 생산의 시공간적인 변동을 파악하였으며, 산소동위원소 비율($\delta^{18}O$) 관측을 통해 빙봉 용빙수 시공간적 변동성을 확인함.
- 아문젠해 장기간의 현장관측자료 분석을 통해 식물플랑크톤 생물량과 군집 구조의 시공간 변동성을 확인하고 그 원인을 규명하였으며, 이를 토대로 아문젠해 생지화학적 순환의 기본 구조를 확인함.

☐ 로스해 및 장보고과학기지 인근 연안 현장관측 현황

- 동 로스해 리틀아메리카 분지의 북쪽 대륙사면에서 대륙붕으로 전달되는 열량 산출 및 변동성에 경사 전선 및 해류가 미치는 영향을 이해하고자 4기의 고해상도 해양계류장치로 구성된 관측망을 구축하여 2020년 12월부터 현재까지 운영 중임.
- 장보고과학기지와 캠벨빙하 사이 소만에서 연 1-2회 수온, 염분, 엽록소, 용존무기탄소, 총알카리도, 영양염, 식물플랑크톤 현장조사를 실시하고 기지 앞바다 표층수의 pCO_2 , pH, 용존산소, 수온, 염분, 엽록소농도를 1-2주 간격으로 연속 관측을 수행함.
- 로스해 해양보호구역 서식 펭귄과 먹이원인 크릴, 어류 연구를 위해 기지인근 연안에서 수온, 염분, 엽록소-a(식물플랑크톤) 관측을 수행함.

□ 남극반도 및 세종과학기지 인근 연안 현장관측 현황

- 마리안 소만과 맥스웰 베이의 해수교환 특징과 장기변동성 관측을 위해 2018년부터 3년 이상 수직유속 및 해저 수온, 염분의 변동성을 관측하였으며, 이로부터 해수교환 메커니즘을 규명함.
- 격년 주기로 세종기지 마리안 소만 집중 조사(12-1월)를 실시하여 수온, 염분, 엽록소, 용존 무기탄소, 총알카리도, 영양염, 유기탄소, 유기질소, 식물플랑크톤 관측하며, 기지 앞바다 표층수의 pCO₂, pH, 무기탄소, 탄소안정동위원소, 수온, 염분 등을 하계기간에 연속 관측함.
- 남극세종과학기지 앞 고정정점에서 2000년 이후 수온, 염분 및 식물플랑크톤에 대한 1-2주 간격의 정기적 관측이 수행되고 있음.

라. 외국의 사례

□ ITGC (International Thwaites Glacier Collaboration)

- 미국과 영국을 중심으로 5개국 이상이 참여하는 서남극 아문젠해 쓰웨이트 빙하 변동성 파악을 위해 다학제적인 8개의 프로젝트를 2018년 동시 시작하여 2024년 겨울 모든 현장조사를 종료할 예정임.
- ITGC는 2018년부터, 그리고 향후 5년 동안 해양 퇴적물, 빙붕하부 및 인접해역 해수유동, 빙하의 stretching, bending, grinding을 측정하기 위해 60명 이상의 과학자와 학생들이 참여할 예정임.
- 구체적인 관측을 위해 총 8개의 모듈(GHOST, TIME, MELT, TARSAN, PROPHET, DOMINOS, THOR, GHC)로 구분된다(그림 2-2). PROPHET (Processes, drivers, Prediction: modeling the History and Evolution of Thwaites)와 DOMINOS (Disintegration of Marine Ice-sheets Using Novel Optimised Simulations)은 모델링 그룹으로 각각 빙붕붕괴 및 후퇴과정과 해양과 빙붕 사이의 열/물질 교환과정을 수치모델을 통해 규명할 계획임.
- TIME (Thwaites Interdisciplinary Margin Evolution - The Role of Shear Margin Dynamics in the Future Evolution of Thwaites Drainage Basin)은 빙하경계면의 성장과 움직임을 관측하며, GHOST (Geophysical Habitat of Subglacial Thwaites)는 빙하의 중심에서 지진 및 레이더 데이터 자료를 획득 빙하와 암반의 특성 관측함.
- GHC (Geological History Constraints on the Magnitude of Grounding-Line Retreat in the Thwaites Glacier System)는 Thwaites Glacier의 양쪽에서 암석 샘플을 수집하여 THOR (Thwaites Offshore Research) 프로젝트와 마찬가지로 해양 퇴적물시료를 채취하여 고기후 변동성을 연구함.
- 마지막으로, MELT (Melting at Thwaites grounding zone and its control on sea level)와

TARSAN (Thwaites-Amundsen Regional Survey and Network Integrating Atmosphere-Ice-Ocean Processes)은 육상, 빙봉, 해양의 접합면에서 각각의 상호작용을 관측 규명하여 해양순환과 빙빙 용해 연관성 연구를 수행함.

□ SOCCOM (Southern Ocean Carbon and Climate Observations and Modeling)

- 미국 Princeton 대학이 주도하는 SOCCOM 프로그램은 미국 과학재단 남극연구 프로그램이 2014-2018간 지원하고 UW, MBARI, Scripps 등이 컨소시엄으로 참여하는 남빙양 탄소순환과 기후모델링 연구프로그램임.
- 각종 생지화학 센서를 장착한 자동해양관측 부이를 국내외 협력연구기관 선박에서 남빙양 해역에 투하하고 (2016. 5월 현재 50개 운영 중: 총 200개 목표), 실시간 위성 전송된 자동 관측 자료는 연구진에 의하여 후처리되는 동시에 전 세계 연구진에 공개되는 자료개방형 프로그램임.
- 각지의 관측부이에서 위성 전송된 자료를 활용하여 탄소/온실기체 등 물질들의 생지화학 순환 구조를 모델링함으로써, 지구기후변화에 미치는 남빙양의 역할을 추정해 보고자하는 연구이며, 남빙양 탄소생지화학순환 관측과 모델링 연구의 진행 간에 중간 결과를 아래와 같이 웹사이트에 공개함.

□ PAL - LTER (Palmer Station Antarctica Long Term Ecological Research)

- US Antarctic LTER 프로그램 (<https://www.lternet.edu/sites/pal>)은 1990부터 현재까지 계속 남극반도-벨링스하우젠 해역의 남극해 생태계의 주요 구성 종과 생리활동, 1차생산과 유기물 침강 등 탄소의 생지화학순환을 장기 모니터링해오고 있음.
- 본 프로그램은 현재 미국 Columbia LDEO Lamont-Doherty Earth Observatory에서 주도하고 있으며, 쇄빙연구선 Gould와 Palmer를 이용한 해양생태계, 퇴적물 트랩을 이용한 해양 유기물침강, 남극기지 Palmer station을 근거지로 연안생태계, 위성 원격관측, 무인자동관측용 Glider 등 다양한 연구기법과 관측기술을 활용, 남극 생태계 연구를 30년 가까이 수행함.
- 그동안 진행된 (그리고 현재도 진행되고 있는) 남극해 온난화의 생태계 영향이 고스란히 중장기 모니터링 데이터에 축적되고 있는, 생태계 장기모니터링 연구의 세계적 표준이 된 사례임.

□ RaTS (Rothera Time Series)

- RaTS는 영국 남극 조사국(British Antarctic Survey)에 의해 운영 중인 영국 최대 규모의 남극 시설인 로테라 연구소(Rothera Research Station)에서 남극 대륙의 중요한 지구 시스템 지표에 초점을 맞춘 지속 관측 프로그램임.

- 이 프로그램은 남극 반도의 급속한 기후 온난화와 높은 경년 변동성의 핵심 지역에서 수집된 해양학 및 생화학 데이터 (예: 온도, 염분, 다량 영양소, 엽록소)의 통합 데이터 세트로 구성됨.
- 기후 변동 모드(엘니뇨/남방진동 현상 포함)에 의한 강제력에 대한 서남극 반도 해양의 민감도에 대한 연구뿐 아니라 철과 같은 미량 영양소에 의한 플랑크톤 번식의 수정에 대한 의미와 함께 남극 대륙에서 추가로 녹은 빙하를 재분배하는 해양 역학연구를 수행함.

□ ACEAS (Australian Centre for Excellence in Antarctic Science)

- 동남극과 남극해에서 해양, 대기, 빙권, 생태계에 대한 포괄적이며, 통합적인 연구를 통해 남극해에서 발생하는 기후 위험이 호주 지역사회에 미치는 영향 대해 이해하고자함.
- 특히 일부 연구파트에서는 남극해의 변화가 해수면과 탄소순환에 미치는 영향에 대해 주목하고 있으며, 이를 규명하기 위해 계류장을 활용한 해수의 물리적 특성(수온·염분) 및 해류에 대한 연속관측에 집중하고 있음.

□ OBPG (Ocean Biology Processing Group)

- 대표적인 해색 자료 제공 플랫폼인 Ocean Color Web을 운영. 해색 센서와 현장 관측으로부터 얻은 다양한 자료를 극지에 국한되지 않고 전 지구적으로 제공함.
- 북극 연안 해양 환경을 중심으로 다양한 해양 관측 요소(해양 생지화학 중심)를 대상으로 미국 NASA의 Arctic-COLORS가 운영 예정임.

□ OCTAC (Ocean Colour Thematic Assembly Centre) & SITAC (Sea Ice TAC)

- 유럽연합의 지구관측프로그램인 Copernicus에서 운용 중인 프로그램으로, 해색/해빙 자료 수집-생성-저장-품질 관리-시스템 모니터링의 체계를 구축 중. 다만 해색의 경우, 남극은 관심 지역에서 제외됨.

□ OSI SAF (Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility)

- 유럽기상위성기구 EUMETSAT 산하의 해양/해빙 위성 산출물 개발 및 서비스 체계로, 2002년부터 전지구 자료를 수십 km급 저해상도로 제공 중.

마. 현 기술상태의 취약성

□ 기후변화가 초래하는 남극 환경변화를 이해하기 위해서는 사계절 다학제적 연구 필요

- 지구 온난화에 따른 남극 환경변화를 종합적으로 이해하기 위해서는 남극 빙권 변동성 뿐 아니라 남극해 물리·생지화학·생태 환경 변화에 대해 사계절 연구가 필요하지만, 지금까지의 남극해 연구는 하계에 한정되어 수행되었기에 기후변화가 초래하는 남극해 기후변수들의 변동성을 파악하는데 한계가 있었음.

□ 핵심기후변수의 준 실시간 사계절 관측을 위한 기술개발 및 관측망 체계 개발·구축 필요

- 극지해 현장관측은 해빙 및 유빙에 의해 사계절 관측이 매우 제한적임. 특히, 해양 생지화학적 현장관측은 접근이 가능한 여름철로 제한되어있으며, 해양물리 관측 또한, 현장 방문 후 계류시스템을 회수해야만 자료획득이 가능해 실시간 관측자료 확보가 불가능 하다
- 따라서, 고정형 생지화학적 아르고, 글라이더, 계류용 프로파일러, 수중통신을 활용한 실시간 자료 전송 등 다양한 첨단 해양관측기술에 대한 면밀한 조사가 필요하며, 이를 활용한 실시간 사계절 해양 관측 자료 확보를 위한 해양 관측망 체계 개발이 필요함.
- 위성 관측의 경우 기존에 해외기관의 관측망에서 저해상도의 전 지구 자료를 일부 배포하고 있으나, 관측망 구축 초기의 하드웨어적 한계로 인한 저해상도 체계를 자료 연속성 유지를 위해 현재도 동일하게 운영하고 있어 현세대 위성군의 최대 성능을 활용하지 못하는 한계가 있으므로, 관심 지역에 대한 자체적 고정밀/고해상도 관측망 체계 개발이 필요함.

□ 극지해양 환경변화 감시를 위해서는 중요 지점에서 중·장기 안정적 연속 관측이 필요함

- 급격한 기후변화가 초래하는 극지해 환경변화를 이해하고 기후모델 검증·평가 및 미래 예측 성능개선을 위해서는 극지해 중요지점에서 중·장기 안정적 연속 관측을 통한 핵심기후변수의 장기변동성을 파악이 필요하다. 그러나, 기존의 연구들은 한정된 과제 수행기간으로 인해 해양환경의 단기적 변동성 관측만을 목표로 설정함.

바. 앞으로의 전망

□ 중·장기 고해상도 관측자료 획득으로 지구 온난화에 따른 미래 극지 환경변동성 파악

- 본 과제를 통해 극지 연안에 수중계류시설(다산, 세종, 장보고과학기지 인근해상), 연안관측 시설(세종, 장보고과학기지), 정선관측자료(다산, 세종, 장보고과학기지 인근해역), 빙권 고정 관측시설(‘25년 2개소로 시작 해마다 2개소씩 신설) 등 다양한 형태의 관측망을 장기간 운영 함으로써 해양환경 및 빙권 분야 17개 이상의 핵심기후변수(수온, 염분, 해류, 영양염, 해빙 등)의 변동성을 감시할 예정으로, 이는 지구온난화에 따른 극지 연안의 환경변화를 파악하고

미래 전망을 가능 하게함.

☐ 기존 극지 관측망과 연계하고, 과거 연속 관측 자료와 통합 연계 분석

- 공동 활용이 가능한 기 확보된 유헴장비를 적극 활용함으로써 핵심기후변수의 관측 범위를 넓히고, 과거 극지과학기지 인근에서 관측된 핵심기후변수 연속자료 및 인공위성 자료와 연계분석을 통해 핵심기후변화수의 주요 시공간적 패턴을 추출하고 재합성함으로써 과거 및 현재 변동성을 재현함.

☐ CMIP 기후모델 검증·평가 연구에 장기 관측 자료 활용 및 제공

- 세계기후프로그램에서는 결합모델 실무그룹을 통해 CMIP(결합모형 상호비교 프로젝트)를 진행시켜왔으며, CMIP6을 기반으로 2021년 8월 IPCC 6차 보고서가 승인되었음. 극지해 중요 지점에서의 장기 관측 자료는 CMIP 기후모델의 검증·평가를 위한 자료로서 가치가 높으며 이를 활용해 IPCC 시나리오별 미래 기후변화 예측 성능 개선을 기대할 수 있음.

사. 국내에서 연구개발하는 대신 기술도입을 한다면 가능한가? 가능하다면 기술료 (Royalty) 수준은 어느 정도이며, 경제성에 비추어 높은지, 낮은지?

☐ 장기간 운영을 목적으로 하는 관측망 구축을 위한 비용 절감을 위해 독자적 체계 개발

- 관측망 구축에 필요한 장비들의 대부분은 해외에서 개발된 센서들을 사용할 예정이지만 이들을 활용한 관측망은 일회성이 아닌 장기간 모니터링을 목적으로 하기 때문에 독자적인 국내 기술로 구축 및 운영하는 것이 경제성이 높다.

아. 산업체 참여시기 및 방법

☐ 수중 원격통신기술을 활용한 준 실시간 관측자료 획득

- 현재 대부분의 계류관측은 계류시스템을 회수해야만 자료획득이 가능해 실시간 관측자료 확보가 불가능하다. 본 과제에서는 준 실시간 관측자료 획득을 위해 수중 통신기술을 활용할 계획으로 이를 위해 관련된 업체가 관측망 기술개발 고도화를 위해 참여할 예정임.

2. 연구개발목표 및 내용

가. 연구개발의 최종목표

- 극지연안 해양환경 변동성 감시를 위한 관측 연구의 최신 국제동향과 현황을 파악하고 이를 바탕으로 “극지연안 해양환경 관측망 구축 및 운영 기술개발”을 위한 R&D 사업 기획

나. 연차별 연구개발목표 및 내용

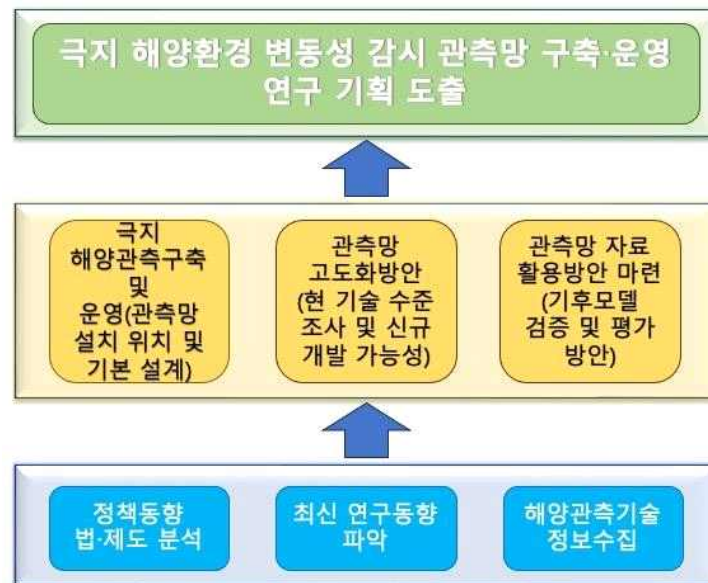
구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위	추정연구비 (단위: 천원)
1차년도 (2024)	○ 극지연안 해양환경 변동성 감시 관측망 구축·운영을 목적으로 하는 신규 사업 발굴을 위한 환경·타당성 분석과 추진체계 및 전략 수립	- 기후 감시를 위한 극지 관측망 구축·운영에 대한 정책동향 및 법·제도 분석 - 기후변화가 야기하는 극지 해양환경변화에 대한 최신 연구 현황을 파악 - 극지연안 해양환경변동성 관측망 구축·운영을 위한 현 기술 수준 분석 및 신규 기술 정보수집 - 극지 관측망 구축·운영을 위한 필요 예산, 인력, 인프라 및 연구 기간 조사 - 관측망 기반 자료를 활용한 기후모델 검증·평가 방법 도출을 위한 최신 연구 및 기술 정보수집	40,000

3. 추진전략 및 방법

- 연구소 주도적 관측망 구축·운영 및 자료관리를 위한 관련 정책동향 및 법·제도 분석
 - 2023년 10월에 제정되고 2024년 10월 시행될 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」, 「해양환경 보전 및 활용에 관한 법률」, 「해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률」, 「해양과학조사법」, 「극지활동진흥법」 등 관련한 법·제도 분석
 - 현재 시행중인 관련된 정책(제1차 극지활동 진흥 기본계획, 제 5차 과학기술기본계획, 제2차 해양수산과학기술 육성 기본계획, 제4차 기후변화대응 해양수산부분 종합계획) 검토
- 극지 해양환경변화에 대한 최근 연구 현황을 파악
 - 지구온난화에 따른 남극 북극의 해양 물리적 및 생지화학학적 환경변화에 대한 최근 연구결과 파악함
 - 극지해 환경변화의 경향 및 원인 규명을 위한 해외 연구프로그램 동향 분석 및 전망
- 관측망 구축·운영을 위한 현 기술 수준 분석 및 신규 기술 정보수집
 - 해양관측기술 분야 산·학·연 전문가 그룹과 연계하여 현 해양환경 관측망 기술 수준을 진단
 - 준 실시간 극지연안 관측망 구축을 위해 필수적인 수중 음향통신분야 신기술에 대한 정보수집 및 관측망 적용가능성에 파악
- 극지 관측망 구축·운영을 위한 필요 예산, 인력, 인프라 및 연구 기간 조사
 - 최신 연구결과 분석으로부터 극지연안 해양환경 감시를 위한 남·북극과학기지(다산, 세종, 장보고과학기지) 인근에 관측망(수중계류시설, 연안관측시설, 위성관측 및 빙권고정 관측시설)의 운영 장소를 선정함.
 - 해양환경(물리·생지화학·생태) 및 빙권 분야 핵심기후변수인 수온, 해류, 영양염, 해빙 등 주요항목 관측을 위한 다양한 종류의 관측망을 디자인하며, 필요 예산, 인프라, 인력과 관측망 유지 기간을 파악
- 관측망 획득자료의 연구 및 정책분야 수요조사 및 분석
 - 관측망을 통해 확보된 극지연안 해양환경의 장기변동성 자료로부터 기후모델의 검증·평가 방안과 기준을 마련을 위한 기후모델 특성을 분석하고 기후모델 검증을 위한 관측장소, 기간, 관측항목에 대한 정보를 관측망 초기 설계에 반영
 - 산·학·연의 연구개발 이해관계자 개인/기관을 대상으로 기술수요 조사를 실시하고 관계부처 요구사항을 분석함으로써 획득자료 활용성 증진 방안을 관측망 설계에 반영

구분	2024/10	2024/11	2024/12	2025/01
정책동향 및 법·제도 분석				
최근 연구 현황을 파악				
해양관측 현·신기술 정보수집				
필요 예산, 인력, 인프라 및 연구 기간 조사				
기후모델에 대한 기술 정보수집				

4. 연구개발 추진체계



5. 기대성과

가. 기술적 측면

- ☐ 해양환경 및 빙권 분야 17개 이상의 핵심기후변수(수온, 염분, 해류, 영양염, 해빙 등)의 변동성 감시를 목적으로 하는 관측망 구축·운영 방법에 대한 기초정보 제공
- ☐ 기후모델 검증·평가 연구에 장기 관측 자료 활용 방안을 조사하고 IPCC 시나리오별 미래 기후변화 예측 성능 개선 가능성 파악

나. 경제 산업적 측면

- ☐ 수집된 해양환경 관측기술정보를 바탕으로 현 기술 수준을 평가하고 극지연안 해양환경 연속관측을 위한 신기술개발 방향성 제시

6. 활용방안

- ☐ 극지연안 해양환경 변동성 감시를 목적으로 하는 관측망 구축 및 운영을 위한 R&D 사업 발굴에 활용
- ☐ 극지해 장기 연속관측을 위한 플랫폼 구축을 위한 기초 자료로 활용
- ☐ 극지(해양 및 빙권)환경변화와 전 지구 기후시스템과의 관계를 파악하고 기후변화 대응정책 기준 마련에 기초 및 근거자료 활용



7. 연구원 편성

가. 참여연구원 구성

성명	직위(급)	소속	학위	연구수행분야	구분
김태완	책임연구원	해양대기연구본부	박사	연구 기획 총괄 및 관측망 설계	내부
조경호	책임연구원	해양대기연구본부	박사	해양물리분야 최근 연구동향 파악	내부
박태욱	책임연구원	해양대기연구본부	박사	기후모델에 대한 기술정보 수집	내부
박기홍	책임연구원	해양대기연구본부	박사	해양화학분야 최근 연구동향 파악	내부
하선용	책임연구원	해양대기연구본부	박사	해양화학분야 최근 연구동향 파악	내부
정진영	책임연구원	해양대기연구본부	박사	해양화학분야 최근 연구동향 파악	내부
양은진	책임연구원	해양대기연구본부	박사	연안관측시설 설계	내부
김상희	책임연구원	생명과학연구본부	박사	연안관측시설 설계	내부
박지수	책임연구원	해양대기연구본부	박사	해양생물분야 최근 연구동향 파악	내부
나형술	책임연구원	해양대기연구본부	박사	해양관측 현·신기술 정보수집	내부
박정원	선임연구원	원격탐사빙권정보센터	박사	해빙 원격탐사 최근 연구동향 파악	내부
박진구	선임연구원	원격탐사빙권정보센터	박사	해색 원격탐사 최근 연구동향 파악	내부
이춘기	책임연구원	빙하지권연구본부	박사	빙하 최근 연구동향 파악	내부
이영주	책임연구원	해양대기연구본부	박사	해양생물분야 최근 연구동향 파악	내부
김지훈	선임연구원	해양대기연구본부	박사	해양생물분야 최근 연구동향 파악	내부
유재일	기술원	해양대기연구본부	석사	수중계류시설 설계	내부

나. 연구책임자

1) 인적사항

성명	국문	김태완 (한문) 金泰完	직위(급)	책임연구원
	영문	Kim, Tae-Wan		
주소	주택	인천시 연수구 아트센터대로168번길 101 A동 730호 (우)22006		
	직장	인천시 연수구 송도미래로 26 한국해양과학기술원 부설 극지연구소		

2) 학력

연도		학력		학위 ^{주)}
부터	까지	대학교	전공명	
1996.03	2003.02	전남대학교	해양환경	학사
2003.03	2005.02	전남대학교	물리해양학	석사
2005.03	2009.02	전남대학교	물리해양학	박사
최종학위논문제목		A study on the heat flux and the effect of tidal flat on the sea water temperature in Baeksu tidal flat, southwestern coast of Korea		

주) 학위(택1) : 학사, 석사과정, 석사, 박사과정, 박사, 박사후 연수(Post Doc), 기타

8. 연구비 소요명세서

가. 연구비 총괄표

(단위 : 천원)

비목	세목		2024년	
			연구비	비중
내부인건비		미지급	0	
직접비	외부인건비	미지급	0	
		지급	0	
	학생인건비1)	미지급	0	
		지급	0	
	연구시설·장비비(기타)2)		0	
	연구활동비		38,800	97
	연구재료비		0	
	연구수당3)		0	
	회의비4)		1,200	3
	지적재산권처리비5)			
	위탁연구비			
	국제공동연구개발비6)			
	직접비소계		40,000	100

나. 비목별 연구비 소요명세

(1) 인건비	천 원
---------	-----

(가) 내부인건비

성명	소 속	직 급	과학기술 등록번호	월급여 (원)	참여기 간 (개월)	인건비 계상률 (%)	인건비 배분액 (원)	비고
김태완	해양대기연구본부	책임연구원	10274908	101,849,048	4	30	미지급	책임
조경호	해양대기연구본부	책임연구원	11220328	101,705,240	4	5	미지급	일반
박태욱	해양대기연구본부	책임연구원	10644250	91,570,280	4	20	미지급	핵심
박기홍	해양대기연구본부	책임연구원	11139790	99,033,956	4	20	미지급	핵심
하선용	해양대기연구본부	책임연구원	11152156	99,033,956	4	5	미지급	일반
정진영	해양대기연구본부	책임연구원	11115604	105,710,912	4	5	미지급	일반
양은진	해양대기연구본부	책임연구원	11568083	121,743,644	4	20	미지급	핵심
김상희	생명과학연구본부	책임연구원	10160998	112,780,064	4	5	미지급	일반
박지수	해양대기연구본부	책임연구원	10925099	108,194,756	4	5	미지급	일반
나형술	해양대기연구본부	책임연구원	10182467	105,710,912	4	20	미지급	핵심
박정원	원격탐사방권정보센터	선임연구원	10172907	91,369,244	4	20	미지급	핵심
박진구	원격탐사방권정보센터	선임연구원	10908168	82,514,912	4	20	미지급	핵심
이춘기	빙하지권연구본부	책임연구원	10123460	108,385,484	4	20	미지급	핵심
이영주	해양대기연구본부	책임연구원	10138450	97,088,960	4	5	미지급	일반
김지훈	해양대기연구본부	선임연구원	11170614	80,457,028	4	5	미지급	일반
유재일	해양대기연구본부	기술원	10921940	66,485,552	4	20	미지급	핵심
소 계								

(2) 직접경비	40,000	천 원
----------	--------	-----

(가) 외부인건비

- 해당사항 없음

(나) 학생인건비

- 해당사항 없음

(다) 연구시설·장비비(기타)

- 해당사항 없음

(라) 연구활동비

구 분		산 정 내 역	금액(원)	비 고
여 비	국 내	◦ 국내 출장여비 - 책임급 : 2인×5회×300,000원 = 3,000,000원	3,000,000	
		◦ 시내교통비 - 20,000원 * 3인 * 5회 =300,000원	300,000	
		소계	3,300,000	
보고서 발간비		◦ 보고서 발간비 500,000원 ◦ 리플릿 제작비 1,000,000원	1,500,000	
전문가 활용비	국내	◦ 자문료 : 400,000원/회×1회×5인 =2,000,000	2,000,000	
세미나개최비 (회의장 사용료, 개최비)		◦ 1회×2,000,000 (장소대여, 다과 및 식비)	2,000,000	
특허정보조사비		◦ 환경조사 및 타당성 분석	30,000,000	
합 계			38,800,000	

◎ 전문가 활용의 필요성 ※ 전문가 활용 건당 별도 작성

활용 필요성 및 사유	◦ “기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률”과 관련해 법률 제정에 관여한 전문가 자문을 통한 정책 동향 파악 ◦ “기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률”과 관련해 유관기관의 담당자 자문을 통한 각 기관의 대응 파악
당해 연구개발사업에 관련내용	◦ 법률 제정 관여 전문가 자문결과를 활용해 정책동향 및 법·제도 분석에 활용 ◦ 유관기관 담당자 자문결과를 활용해 관련분야 국내외 연구개발 동향파악
활용 시기, 방법 등	◦ 2024년 11-12월 중 관련 전문가를 5인을 초빙하여 세미나를 개최하고 이후 방문 및 원격으로 추가 자문을 받음

(마) 연구재료비

- 해당사항 없음

(바) 연구수당

- 해당사항 없음



(사) 회의비

구 분	산 정 기 준	금액(원)	비 고
회의비	◦ 내부인건비를 제외한 직접비의 3% 이내	1,200,000	
합계		1,200,000	

(아) 지적재산권 처리비

- 해당사항 없음

(자) 위탁연구비

- 해당사항 없음

첨부2. 참고문헌

- Nguyen, A. T., et al. (2019). "Development Framework for a Sustained Arctic Observing System." *Frontiers in Marine Science*, 6(451). DOI: [10.3389/fmars.2019.00451].
- Fraser, A., et al. (2024). "Enhancing Satellite-Based Monitoring in Polar Regions." *Frontiers in Remote Sensing*, 4(952091). DOI: [10.3389/frsen.2024.952091].
- 극지연구소. (2010). "극지 대기 및 기후변화 연구(COMPAC)." 최종보고서.
- 극지연구소, 한국해양과학기술원. (2018). "북극-동아시아-서태평양 기후변화 국제감시망 및 예측시스템 구축을 위한 기획 연구." 최종보고서.
- Huang, W., et al. (2024). "Sea Ice Extraction via Remote Sensing Imagery: Algorithms, Datasets, Applications and Challenges." *Remote Sensing*, 16(842). DOI: [10.3390/rs16050842].
- Tedeco, M., et al. (2024). "Advancements in Arctic Sea Ice Remote Sensing Using AI and Deep Learning." *Remote Sensing*, 16(3764). DOI: [10.3390/rs16203764].
- Ryu, J. H. (2020). "International Trends in Multi-Platform Based Wide-Area Monitoring of National Marine Territories." 해양위성센터 보고서.
- 한국법제연구원. (2024). "기후변화의 감시 및 예측에 관한 법제 연구."
- 극지연구소. (2024). "극지 해양환경 변동성 감시를 위한 관측망 구축 및 운영 기술개발 기획 연구 보고서 초안."
- Joo, H. M., et al. (2017). "Development of Web Based GIS for Polar Ocean Research." *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 20(1), 15-25. DOI: [10.11108/kagis.2017.20.1.015].
- Lee, J. H. (2016). "International Trends in Large-Scale Ocean Observation Programs Related to Climate Change." 해양순환·기후연구센터 보고서.
- 극지해양환경 소식지. (2024). "해양기후변화와 대응 기술 특집."
- 유주형. (2020). "국가 해양영토 광역감시망 국제동향." 해양위성센터 보고서.
- 최경식. (2023). "극지공학 연구의 발전과정과 국내외 현황." 학회 미래기술연구소 보고서, 2023-003호..
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). (2019). "Towards Improved Sea Ice Initialization and Prediction Using IFS." ECMWF Technical Memorandum, 844..
- Praveen Rao Teleti, Alvarinho J. Luis. (2013). "Evolution of Remote Sensing Technologies for Polar Sea Ice Observation." *International Journal of Geosciences*, 4(1031 - 1050). DOI: [10.4236/ijg.2013.47097].
- Netherlands Polar Programme (NWO). (2024). "Polar Projects Funded by NWO and EC:

Overview 2021 - 2025." National Polar Data Center (NPDC)..

- Decremmer, A., et al. (2018). "Future Evolution of SEAS5 and Long-Range Forecasting Systems." ECMWF Technical Memorandum, 835..
- 김현철 외. (2018). "극지 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발." 한국원격탐사학회지, 34(6-2), 1283-1298. DOI: [10.7780/kjrs.2018.34.6.2.12].
- 김현철, 이성재. (2018). "극지 해양환경 관측 및 고위도 검보정을 위한 초분광." 한국원격탐사학회지, 34(6-2), 1203-1213. DOI: [10.7780/kjrs.2018.34.6.2.5].
- 지준화 외. (2017). "극지 해양환경 연구를 위한 웹GIS 구축." 한국지리정보학회지, 20(1), 15-25. DOI: [10.11108/kagis.2017.20.1.015].
- Ayers, B., & Richter, K. (2016). "Powering the Blue Economy: Exploring Opportunities for Marine Renewable Energy in Maritime Markets." Maritime Technology News.Cheng, X., Fan, S., Zheng, L., & Zhou, J. (2022). "핵심 기술 개발 및 극지 환경 탐지 기술." Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 37(7). DOI: [10.16418/j.issn.1000-3045.20220626001].
- Cox, C. J., & Lee, C. M. (2022). "북극 관측 신기술과 현장 자율 접근법." Oceanography, 35(3 - 4), 210 - 230.
- Ahn, J., & Lee, S. (2015). "전지구 해양·해빙예측시스템 북극 영역 해빙초기조건 특성 분석." Journal of Korean Earth Science Society, 36(1), 82-89. DOI: [10.5467/JKESS.2015.36.1.82].
- 극지연구소. (2021). "북극남극 다수국가 정책동향." *극지해소식 100호(특별호)*.
- Kim, K. H., et al. (2023). "북극해 부표 관측망 설계." Cold Regions Science and Technology, 104087. DOI: [10.1016/j.coldregions.2023.104087].
- NOAA. (2022). "Arctic Research Program Strategy: 2022 - 2026." NOAA Global Ocean Monitoring and Observing.
- Kim, D. (2024). "웨이브 글라이더(wave glider) 소개 및 활용." Meteorological Technology & Policy, 17(1), 36-50.
- Guijie, S., et al. (2021). "극지 해양공학장비 적용현황 및 핵심기술 분석." Journal of Polar Offshore Engineering, 3(144), 421-430. DOI: [10.15302/J-SSCAE-2021.03.021].
- Rabe, B., Shupe, M. D., & Sokolov, V. (2024). "MOSAIc에서 사용되는 자율 부표 시스템 유형." Elementa Science, 12(1). DOI: [10.1525/elementa.2023.00103].
- Gaffey, C., et al. (2024). "극지방의 기후변화 영향을 평가하기 위한 국제 협력 강화." PLOS Climate. DOI: [10.1371/journal.pclm.0000495].
- 관계부처 합동. (2017). "제3차 남극연구활동진흥 기본계획." 대한민국 정부.
- 유희동, 안중배, 김백조, 조형준, 이철규. (2024). "해양기후변화 대응과 해양 감시·관측 기술." 기상기술정책, 17(1), 38-66.

- 국립방재연구원. (2010). 기후변화대응 재해위험경감을 활용한 녹색성장 촉진방안 연구.
- 한국과학기술기획평가원. (2011). 기후변화대응 환경기술개발사업.
- IPCC, Climate change 2007: mitigation of climate change : contribution of Working Group III to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007
- WWF. (2021년 9월 7일 보도자료). WWF “2019년 생산된 플라스틱의 사회적 비용, 3조 7000억 달러 달해”
- WWF. (2022년 1월 9일 보도자료). WWF, “2050년까지 해양 플라스틱 오염 4배 증가”...생태적 위험 ‘한계치’ 초과지역 늘어날 것.
- 한국은행. (2025. 2. 2. 검색). <https://spot.wooribank.com/pot/Dream?withyou=FXXRT0011>
- 한국은행. (2021). 2019년 산업연관료(연장표).
- 권영주·박세현·유승훈. (2014). 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 타당성 분석. 한국해양환경·에너지학회, 17(4), pp.274-282.
- 해양수산부. (2025. 2. 2. 검색). <https://www.mof.go.kr/index.do>
- 한국교통연구원. (2015). 2013 국가물류비 조사 및 산정.
- 한국교통연구원. (2016). 2014 국가물류비 조사 및 산정.
- 한국교통연구원. (2021). 2023 국가 교통정책 평가지표 조사사업, 제4권 국가물류비.
- 정보통신기획평가원. (2011~2023). 데이터산업 현황조사.
- 과학기술정보통신부. (2022). 제5차 과학기술기본계획 2023~2027.
- 해양수산부. (2021). 제5차 해양환경 종합계획(2021~2030).
- 관계부처합동. (2020). 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025).
- 탄소중립녹색성장위원회. (2024년 7월 1일 보도자료). 기후변화 감시·예측을 위해 관계부처 힘 모은다!.
- 서울정책센터.(2025. 1. 25. 검색).
<https://www.undp.org/ko/policy-centre/seoul/sustainable-development-goals>
- 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률. (2024). 법률 제19757호(2023. 10. 24., 제정).
- 해양환경 보전 및 활용에 관한 법률. (2017). 법률 제19910호(2024. 1. 2., 타법개정).
- 해양환경 보전 및 활용에 관한 법률 시행령. (2023). 대통령령 제33225호(2023. 1. 10., 타법개정).
- 해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률. (2021). 법률 제19225(2023. 2. 14., 타법개정).
- 극지활동진흥법. (2021). 법률 제18055호(2021. 4. 13., 제정).

- IPCC. (2025. 1. 25. 검색). <https://www.ipcc.ch/>
- World Meteorological Organization. (2025. 1. 25. 검색). <https://wmo.int/>
- International Science Council. (2025. 1. 25. 검색).
<https://ko.council.science/member/scientific-committee-on-antarctic-research-scar/>
- United Nations Climate Change. (2025. 1. 25. 검색). <https://unfccc.int/>
- IMO. (2025. 1. 25. 검색). <https://www.imo.org/>
- 한국과학기술기획평가원. (2016) 2014년도 연구개발활동조사.
- 한국과학기술기획평가원. (2020). 국가연구개발사업의 경제적 효과 추정방법론.
- 한국과학기술기획평가원 (2024). 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침.
- 모경중. (2024). 기후의 역습 11년간 연도·지역별 기후재난 피해 양상 분석.
- NTIS. (2025. 1. 31. 검색). <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>
- 북방경제협력위원회. (2012). 신북방경제협력 추진전략 및 기본 계획 수립.
- 한국개발연구원. (2020). 국가연구개발사업의

