

북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 위한 기획연구

2025. 12.



극지연구소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술
개발 기획연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



2025. 12. 31.

연구책임자 : 진 경

참여연구원 : 김형준, 최선웅,
정지훈, 최영준, 김승희, 나형술,
박정원, 이주한, 김주홍, 서현교,
황유나, 박현이, 정보라

보고서 초록

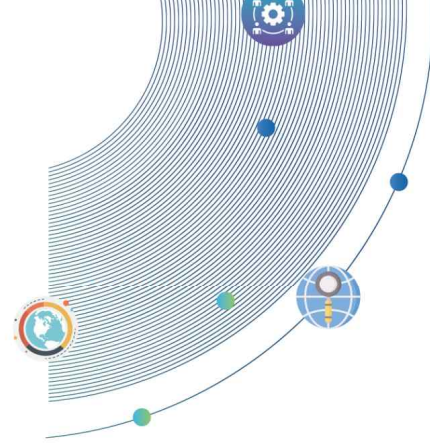
과제관리번호	PE25580	해당단계 연구기간	2025.06.01. ~2025.12.31.	단계 구분	(1단계)/(총1단계)		
연구사업명	중 사 업 명	정책·지원과제					
	세부사업명	정책·지원과제					
연구과제명	중 과 제 명						
	세부(단위)과제명	북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 기획연구					
연구책임자	진 경	해당단계 참여연구원수	총 : 14 명 내부 : 14 명 외부 : 0 명	해당단계 연구비	정부: 40,000 천원 기업: 천원 계: 40,000 천원		
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 정책협력부		참여기업명				
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :				
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :				
요약					보고서면수		
○ 북극해 해빙의 급격한 감소는 기후변화에 따른 구조적 변화의 한 축으로, 최근 IPCC 제6차 평가보고서와 다수 국제 연구에 따르면 빠르면 2027년부터 9월 북극해가 사실상 무빙해(Ice-Free) 상태로 진입할 수 있는 것으로 예측되고 있음. 이에 따라 기존 북동항로(NSR), 북서항로(NWP)를 넘어 북극횡단항로(TSR)의 상업적 활용 가능성도 제기되고 있으며, 전 지구적 기후위기 대응과 해상물류 전략 측면에서 북극항로에 대한 국가 차원의 과학 기반 대응체계 구축이 시급한 상황임 ○ 북극항로 운영을 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발은 극지환경 변화에 대응할 수 있는 정밀 관측체계와 고도화된 예측역량 확보를 핵심으로 함. 구체적으로는 쇄빙선 기반 해빙 실측, AI 기반 예측모델 설계, 근미래 항로 시나리오 생산까지를 통합한 종합 기술체계를 구축하고자 하며, 극지 운항 지원시스템을 포함하는 한국형 북극항로 운영모델을 개발하는 것을 목표로 설정함 ○ 본 과제는 북극항로 예측기술 선도국(미국, 러시아, 캐나다, EU 등)과의 기술격차를 단기간 내 해소하고, 북극 해빙 예측 및 항행 정보 분야에서의 공신력과 국제 협력 역량을 강화하는 데 중점을 둠 ○ 세부 추진 전략은 다음 세 가지 축을 중심으로 유기적 연계를 통해 수행됨: (1) 북극항로 관련 해빙 및 기후환경의 실측 기반 고도화: 위성·드론·쇄빙선 등 다양한 플랫폼을 활용한 관측 및 Polar Code 대응 환경정보 확보 (2) 해빙 및 항행 맞춤형 예측체계 개발: 다중위성자료 기반 해빙 분석 알고리즘과 AI 기반 예측모델 개발 (3) 근미래 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 산출: 수치모델과 AI 기반 예측결과를 통합해 실시간 의사결정에 활용 가능한 운항정보 체계 구축 ○ 본 과제는 「제5차 과학기술기본계획」의 ‘국가 과학영토 확대’ 전략, 「기후변화 대응 기술개발 기본계획」, 「해양수산기후변화대응 R&D 로드맵」, 「북극항로 구축 지원 특별법안」(25.03.31 발의) 등의 정책기조와 부합하며, 극지과학 기반의 해상 전략과 산업정책의 접점을 구축할 수 있는 전략적 신규사업으로서 추진이 요구됨							
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	북극항로, 해빙 예측, 실측 기반, 수치모델, 인공지능 예측모델, 항로 가용성 시나리오, Polar Code 대응 환경자료					
	영 어	Arctic Route, Sea Ice Prediction, Field Observation-Based, Numerical Model, AI-Based Forecasting Model, Route Availability Scenario, Polar Code-Compliant Environmental Data					



CONTENTS

기획연구 사업 체크리스트	1
요약문	1
제1장 사업개요	1
제1절 사업추진 배경 및 필요성	3
제2절 사업 추진 근거 및 경위	11
제3절 사업 기획 추진 체계	18
제2장 북극 항로 예측분야 대내외 환경분석	26
제1절 국외 정책동향	28
제2절 국내 정책동향	35
제4절 요약 및 시사점	40
제3장 기술수준 분석	42
제1절 극지연구 기술수준 분석	44
제2절 특허 기술추세 분석	50
제3절 논문 분석	58
제4절 결과 및 시사점	66
제4장 사업 기본 방향 및 전략	69
제1절 사업 추진방향	71
제2절 사업의 차별성	74
제3절 사업 비전 및 목표	77

북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 위한 기획연구



제5장 전략과제 및 핵심기술 도출 81

제1절 기술수요조사	83
제2절 전략과제 선정	84
제3절 총괄기술 로드맵	85
제4절 기대효과	102

제6장 전략과제별 세부 추진 계획 105

제1절 항로 실측	107
제2절 항로 예측	108
제3절 항로 적합성 평가	122

제7장 소요예산 128

제1절 전체사업 소요예산	130
---------------------	-----

제8장 타당성 분석 및 기대효과 133

제1절 정책적 타당성	135
제2절 경제적 타당성	145
제3절 기대효과	147

첨부 1. 참고문헌 166

기획연구 사업 체크리스트



항목	질 문	답	답변근거 및 자료
1	사업목적이 명확하며 추진근거가 있는가?	예	○ 「해양수산물과학기술육성법」 제8조, 「제2차 해양수산물과학기술육성 기본계획», 「제1차 극지활동 진흥 기본계획», 「제5차 과학기술기본계획」 등 주요 국가 계획에 기반함 ○ 북극항로 개척을 위한 과학기반 인프라 구축과 예측기술 확보는 국정과제(경제2-1-2)에 명시된 국가 전략이며, 실측 기반 데이터와 예측시스템 개발은 그 핵심 요소임
2	중앙정부가 해야 하는 일인가?	예	○ 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」(‘24.10.25 시행)에 따라, 해양수산부는 극지 환경 및 생태계에 관한 예측정보 생산 및 대국민 서비스 제공 의무가 있음 ○ 북극 해빙 예측 및 항로 운영정보는 전략적 해양영토 확보, 항행 안전 확보, 국제기구 대응 등 공공성이 높은 영역으로 중앙정부 주도의 R&D 추진이 필수 ○ 해당 기술은 12대 국가전략기술 중 ‘우주항공·해양 기술’ 및 ‘AI 활용 기술’로 지정되어 있음
3	재정지출이 효율적인가?	예	○ 북극항로는 향후 글로벌 공급망 변화, 에너지 수송, 기후위기 대응 등 다차원적 가치가 있는 전략항로로, 선제적 예측정보 확보는 저비용·고효율 투자가 가능함 ○ 실측 기반 예측체계 구축을 통해 국제표준(Polar Code) 대응자료 확보, 산업계(해운·물류) 활용 정보 생산, 해양사고 예방 등 다목적 활용 가능 ○ 민간이 감당하기 어려운 극지 연구 위험부담 및 인프라 한계를 보완하기 위해 공공 주도의 재정투입이 타당함
4	다른 사업과 중복 또는 유사하게 사업이 설계되지 않았는가?	예	○ (기존과제) 북극 해빙 감소에 따른 물리·기후 메커니즘 규명 및 빙권 변화 분석 중심 연구 ○ (신규과제) 실측 기반 관측자료 확보, AI 기반 고해상도 해빙 예측모델 개발, 항로별 시나리오 산출 등 운항 지원 목적의 예측정보 체계 개발로 명확히 구분됨 ○ 북극항로 운영모델 및 Polar Code 대응 환경자료 개발 등은 현행 사업과 차별화된 실효적 적용 중심의 신규 과제임

항목	질 문	답	답변근거 및 자료
5	사업의 타당성을 객관적으로 검증하는 절차를 거쳤는가?	예	○ 총 사업비 200억 원으로 예비타당성조사 대상은 아님 ○ ‘북극항로 운영을 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발’ 과제는 2025년 기획연구를 통해 도출되었으며, 과학기술기본계획 및 해양수산 기후정책에 부합하는 정책적 타당성과 사회적 필요성을 기반으로 연구기획위원회 및 다자 자문체계 검토를 거침
6	현재의 사업방식이 가장 효율적인가?	예	○ 북극 현장 탐사, 쇄빙선 기반 실측, AI 기반 예측기술 개발 등은 극지연구소가 보유한 극지 관측 인프라, 북극항로 연구경험, KoARC 중심 산·학·연 협력 네트워크를 활용할 때 수행 효율성이 극대화됨 ○ 부산 거점의 ‘북극항로연구센터’ 설립과 연계된 구조로 지역산업 및 해운물류계와의 연결성 확보가 용이함
7	현재 추진해야 할 시급성이 있는가?	예	○ 최근 IPCC 및 CMIP6 등 주요 예측모델 기반으로 2027~2030년 북극 무빙화 현실화 가능성이 제기되고 있으며, 북동항로(NSR) 조기 상용화에 대비한 실측기반 예측체계 구축이 시급함 ○ 북극항로 관련 예측정보는 기후변화 대응, 물류 전략, 국제협약 이행 등과 직접 연계되며, 러시아·중국 등은 자국 주도의 예측자료 생산체계 이미 확보 ○ Polar Code 이행, IMO 대응, 북극이사회(PAME) 자료 제출 등 국제적 책임 이행을 위한 선제 대응 필요
8	사업여건은 성숙되어 있는가?	예	○ 「해양수산기후변화대응 R&D 로드맵(’21)」, 「제5차 과학기술기본계획(’23~’27)」, 「제2차 해양수산과학기술육성 기본계획(’23~’27)」 등에서 극지예측 기술을 핵심 전략기술로 명시하고 있음 ○ 북극항로 진출을 위한 정책기반(북극항로 구축 지원 특별법 발의, 북극항로 TF 구성 등)이 조성되어 있으며, 민간 해운사(HD현대, 팬오션 등)의 시범운항 경험 축적, 위성자료 및 AI 인프라의 기술적 기반도 성숙된 상황
9	투입비용 대비 효과성은 높은가?	예	○ 북극항로 예측체계 미비 시, 해빙 돌발변화 및 기상악화로 인한 선박 좌초·항로폐쇄 등으로 대규모 경제·환경 피해 발생 가능 ○ 예측 정확도 향상을 통해 해운사 연료비 절감, 항로 차질 최소화, 항만 대기비용 감소 등 간접 편익이 큼 ○ Polar Code 대응자료, 항로 가용성 시나리오, 산업계 지원모델 등 다부처 활용성과로 고효율 기대

항목	질 문	답	답변근거 및 자료
10	재원조달계획이 구체적으로 마련되어 있는가?	예	○ 2026~2030년 총 200억 원 규모로 연도별 예산 편성 계획이 수립되어 있으며, '26년도 29.13억 원은 부처 지출한도 내 재원으로 편성 ○ 국가재정운용계획 반영은 미진하나, 해양수산부 자체 예산 범위 내 조달 가능
11	집행계획이 세부적으로 마련되어 있는가?	예	○ 2025년 기획연구를 통해 연차별 세부 실행계획 및 기술로드맵 수립 완료 ○ 해빙 관측·AI모델 개발·항로 시나리오 산출 등 단계별 세부 성과목표와 예산 내역 확보 ○ 경제성 분석과 환경 분석을 기초로 한 사전 타당성 검토 완료
12	집행가능성이 높은가?	예	○ 국정과제 경제2-1-2(북극항로 개척을 통한 신무역로 선점)와 연계된 핵심 이행사업으로 정책 연속성 확보 ○ 연도별 예산 계획과 정량 목표 기반 성과관리체계 도입으로 이월·불용 방지 체계 구축
13	민간투자사업 방식으로 추진하는 것이 적합한가?	아니오	○ 극지 해빙 실측, AI 기반 항로 예측, 국제협력 기반 대응자료 등은 공공성 및 과학기술 외교역량과 직결되는 영역으로 민간 추진 한계 ○ 쇄빙선 운영, 극지 기지 활용 등은 극지연구소 등 공공기관 인프라 활용이 핵심으로 민간 위탁이 비효율적
14	국고보조사업의 경우 부정수급 방지대책이 구체적으로 마련되어 있는가?	적용 불가	○ 본 사업은 국고보조사업이 아닌 정부출연금 기반 R&D 사업으로, 부정수급 방지 조항은 과기정통부 R&D 관리기준 및 해수부 사업지침에 따라 관리됨

[요약]

본 기획연구는 「북극항로 운영을 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발」 사업의 추진체계를 마련하고, 중장기 정책목표 달성을 위한 핵심 중점연구를 발굴하고자 수행되었다. 본 연구는 단기적으로는 안전한 북극항로 운영을 위한 과학정보 기반 마련, 중장기적으로는 극지기반 기후위기 대응역량과 산업적 활용 가능성을 동시에 강화하는 전략적 기반 구축을 목적으로 한다.

최근 북극 해빙은 2027-2035년 사이 여름철 무빙해(ice-free Arctic)가 출현할 가능성이 과학계 주요 전망으로 제기되고 있다. 이는 단순한 자연변화가 아닌 해산물류, 국제정치, 에너지 전략, 과학외교 등과 직결되는 구조적 변화로, 북극항로(특히 북동항로, TSR)의 개방 시기가 예정보다 앞당겨질 경우 대한민국을 포함한 비북극권 국가의 선제적 대응전략이 더욱 중요해지고 있다. 그러나 현재까지 북극항로 예측정보는 주로 선진국에 의해 독점적으로 생산되고 있으며, 우리나라는 현장 관측자료 부족, AI 기반 예측기술 미비, 국제표준 대응자료 부재 등으로 인해 주요 협의 테이블에서의 과학적 발언권이 제한되는 상황이다.

이러한 배경 하에 본 기획연구는 북극항로 운영에 필수적인 해빙 및 항행정보를 실측 기반으로 구축하고, 위성·드론·쇄빙선 기반 다중 관측자료를 활용한 AI 예측모델을 개발하며, 실시간 또는 계절 단위로 항로 가용성 시나리오를 생산할 수 있는 통합 기술체계를 제안하였다. 북극항로는 해빙 위험도와 기상변동성이 높아, 단순한 해빙 면적 정보만으로는 선박 운항 결정에 활용되기 어렵다. 이에 따라 본 연구는 해빙의 공간 분포, 두께, 이동성, 파편화, 해도와 수심도 등 운항 맞춤형 요소까지 고려한 고해상도 통합예측체계의 구축 필요성을 강조하였다.

기획연구는 정책 분석, 기술조사, 수요기관 인터뷰, 국내외 전문가 자문을 통해 과학기반 실효성을 갖춘 3대 중점과제를 도출하였다. 첫째, 쇄빙선, 자동관측장비, 위성자료, UAV 기반 북극 해역 실측체계를 정립하고 이를 통한 관측자료 100건 이상 확보. 둘째, 인공지능 기반 해빙 예측모델 및 항로 적합성 평가 알고리즘 개발로 기존 수치모델 기반의 한계를 보완. 셋째, 연도별·월별로 제공되는 항로 가용성 시나리오를 생산하여 실시간 의사결정 지원 플랫폼과 연계하는 통합예측시스템을 구현하는 것이다. 이 세 과제는 상호 독립적이면서도 연계적 수행을 통해 극지 운항정보의 정밀도와 실용성을 함께 확보할 수 있도록 설계되었다.

이를 뒷받침하기 위해 2025년 상반기에는 연구기획위원회와 과학분과별 자문위원회를 구성하여 총 20여 회의 전문가 미팅 및 워크숍을 운영하였다. ‘해빙 관측체계 구축’, ‘AI 기반 예측모델 개발’, ‘항로 시나리오 생산체계’ 등 각 분과별로 정책적 정합성, 경제성, 실현가능성, 선도국 대비 기술수준, 국제공동연구 추진 가능성 등을 평가 기준으로 활용하여 연구 우선순위를 도출하였다. 이 과정을 통해 가설 기반의 과학적 질문을 설정하고, 이를 해결하기 위한 구체적인 추진 로드맵을 작성하였으며, 정책 목표와 기술목표 간 정합성을 확보하였다.

국제협력 측면에서는 북극항로와 관련된 주요 국제 거버넌스와의 연계를 강화하였다. 북극이사회 산하 PAME 작업반의 Polar Code 대응자료 제출 요건을 고려하여 표준화된 환경정보 생산체계를 구축하고자 하였으며, IASC(국제북극과학위원회), MOSAiC 후속 국제협력 네트워크 등과의 연계도 논의되었다. 또한 북극항로 과학연구의 국내 구심점 역할을 수행할 ‘북극항로연구센터’를 부산에 신설하여 부울경 지역의 해양산업 및 학계와의 연결 기반을 마련하고, 산업 수요기반 실증 플랫폼 역할을 병행 추진할 수 있도록 하였다.

현재 북극항로 해빙예측과 관련한 국제적 기술격차는 관측기기, 모델 알고리즘, 자료동화, 시나리오 생산 체계 전반에서 큰 편차가 존재하며, 미국(NSIDC), 러시아(AARI), 중국(PRIC), EU(Copernicus), 노르웨이(MET Norway) 등은 자체 플랫폼을 통해 고해상도 예측자료를 생산·서비스하고 있다. 반면 우리나라는 관측장비 보유율과 해빙 시계열 자료가 제한적이며, 극지 특화 AI 기술도 초기 단계로 분류된다. 이에 따라 본 연구는 단기적으로 국제공동연구를 통한기술 습득과 선진기관 협력을 확대하고, 중장기적으로는 예측 기술의 독립성과 주도성을 확보하는 전략을 병행해야 함을 제시하였다.

결과적으로 본 기획연구는 북극항로 과학정보의 실용화, 산업화, 정책화를 포괄하는 통합 과제 구조를 마련하였으며, 총 6개년 간 정부출연금 414억 원 규모의 단계별 예산 계획과 성과지표를 구성하였다. 향후 본 과제가 실행되면 선박 맞춤형 항로정보 제공, 항만 입출항 최적화, 해양재난 위험도 예측, 기상·기후 데이터 기반 국제협상 대응력 강화 등 다양한 사회·경제적 파급효과가 기대된다. 또한 북극항로 과학기술 리더십 확보를 통해 대한민국이 북극 이사회 등 극지 외교 무대에서 실질적 영향력을 행사할 수 있는 기반을 제공할 것으로 전망된다.

[Summary]

This planning study was conducted to establish a strategic implementation framework for the “Development of Integrated Forecasting Technology Based on Field Observations for Arctic Route Operations” and to identify key research priorities aligned with long-term national policy goals. The project aims to establish a scientific foundation for the safe operation of the Arctic route in the short term, while enhancing national capabilities for climate crisis response and industrial utilization in the mid to long term.

Recently, scientific forecasts have indicated that an ice-free Arctic may occur during summer seasons between 2027 and 2035. This potential shift is not merely a natural phenomenon, but one that intersects directly with maritime logistics, geopolitics, energy strategies, and science diplomacy. Should the opening of Arctic shipping lanes—particularly the Northern Sea Route (NSR) and Transpolar Sea Route (TSR)—occur earlier than anticipated, proactive strategies by non-Arctic states such as the Republic of Korea will be critical. However, Arctic route forecast data are currently monopolized by advanced nations. South Korea lacks sufficient field observation data, advanced AI-based prediction models, and standardized data for international submission, limiting its voice in major scientific and policy forums.

In response to these challenges, the planning study proposes the development of an integrated forecasting system combining field-based sea ice and navigational information, multi-platform observation (satellites, UAVs, icebreakers), and AI-based predictive modeling capable of providing real-time and seasonal forecasts of route availability. Given the high variability and risk of Arctic sea ice and weather, mere surface area indicators are insufficient. Therefore, the proposed system includes high-resolution predictions that consider ice distribution, thickness, drift, fragmentation, nautical charts, and bathymetry to support tailored decision-making for Arctic navigation.

Through policy analysis, technological landscape reviews, stakeholder interviews, and expert consultation, the study identified three core research components: (1) Establishing a field observation system in the Arctic using icebreakers, autonomous platforms, and satellite/UAV data, with a goal of securing over 100 observation datasets; (2) Developing AI-based sea ice prediction models and navigability assessment algorithms to overcome

limitations of conventional numerical models; and (3) Generating monthly and yearly route availability scenarios integrated into a decision-support platform. These components are designed to be mutually reinforcing, enabling both precision and practicality in Arctic operational forecasting.

To ensure the feasibility and alignment of the project, a Planning Committee and subject-specific advisory panels were convened in the first half of 2025. Over 20 expert workshops and meetings were held across key subdomains such as observation infrastructure, predictive modeling, and scenario development. Research priorities were determined based on criteria including policy relevance, cost-effectiveness, technological feasibility, competitiveness with leading nations, and international collaboration potential. Hypothesis-driven scientific questions were formulated, and a project roadmap was established, aligning policy objectives with scientific deliverables.

In terms of international cooperation, the project seeks to strengthen ties with major Arctic governance bodies. It aims to develop standardized environmental datasets aligned with the Arctic Council's Protection of the Arctic Marine Environment (PAME) working group and to build linkages with the International Arctic Science Committee (IASC), post-MOSAiC initiatives, and other global Arctic science networks. Domestically, a new Arctic Route Research Center will be established in Busan to serve as a national hub, facilitating collaboration with the regional maritime industry and academia, and providing a testbed for applied scientific and operational solutions.

Globally, considerable technological gaps exist in Arctic route forecasting across observation platforms, model algorithms, data assimilation, and scenario generation. Countries such as the U.S. (NSIDC), Russia (AARI), China (PRIC), the EU (Copernicus), and Norway (MET Norway) have already developed and operate their own high-resolution forecasting systems. In contrast, South Korea's capacity in field instrumentation, long-term ice data series, and Arctic-tailored AI modeling remains in early development. Therefore, this study recommends a dual approach: accelerating short-term technology transfer and joint research with leading institutions, while pursuing medium- to long-term independence and leadership in prediction technologies.

Ultimately, this planning study has proposed a comprehensive R&D structure that encompasses the scientific, industrial, and policy dimensions of

Arctic route forecasting. A six-year roadmap totaling KRW 41.4 billion in public R&D investment has been structured with clear annual performance indicators. Once implemented, the project is expected to provide tailored navigation support to shipping companies, optimize port operations, enhance maritime disaster preparedness, and strengthen South Korea's strategic positioning in international climate negotiations. By securing leadership in Arctic forecasting technology, Korea will be well-positioned to exert practical influence in the Arctic Council and other global science-diplomatic platforms.



Korea Polar Research Institute

북극항로 운영 위한 실측
기반 통합 예측기술 개발
위한 기획연구

제1장 사업개요

제1절 사업추진 배경 및 필요성

제2절 사업추진 근거 및 경위

제3절 사업 기획 추진 체계

제1절 사업추진 배경 및 필요성

1. 연구개발의 경제·사회·기술적 필요성



배 경

- 북극은 전 지구 평균보다 약 3~4배 빠르게 온난화가 진행되고 있는 지역으로, 2020년대 들어 여름철 해빙 면적과 두께가 위성관측 이래 최저치를 기록하고 있으며, 이는 북극항로의 조기 개방 가능성을 현실화시키고 있음
- 북극 해빙의 감소 추세는 1979년 이후 위성 기반 관측 자료에서 꾸준히 확인되고 있으며, 특히 2027~2035년 사이 여름철 무빙해(Ice-free Arctic) 출현 가능성이 주요 기후모델에서 전망되고 있음
- 이러한 해빙 소실은 북극 생태계 변화뿐만 아니라 북극항로의 연중 가용성 확대, 글로벌 해상 물류 경로 재편, 에너지 수송 전략, 극지 외교 등 복합적인 국제정치·경제 구조 변화로 이어질 수 있음
- 북극 해빙 면적의 변화는 선박의 운항 가능성과 안전에 직접적인 영향을 미치며, 항로 가용성과 위험도 예측정보 확보는 북극항로 실질 활용을 위한 핵심 요건으로 부상하고 있음
- 해빙의 공간 분포, 두께, 이동성, 파편화 등은 선박의 쇄빙 능력, 연료 소모량, 운항 스케줄 등에 직결되며, 단순한 면적 정보만으로는 효과적인 항로 운용 판단이 불가능함
- 북극항로는 해빙 및 기상환경의 급격한 변동성과 극한성을 동반하는 특수 해역으로, 고해상도 예측자료 없이 항해할 경우 좌초, 침몰, 지연 등 사고 리스크가 높아짐
- 최근 미국(NSIDC), 러시아(AARI), 중국(PRIC), EU(Copernicus), 노르웨이(MET Norway) 등 북극 진출 주요국은 자국 중심의 예측자료 생산체계를 고도화하고 있으며, AI 기반 다중 예측모델과 수치모델을 융합해 예측정확도를 향상시키고 있음
- 이들 국가는 북극항로의 상업적 활용뿐 아니라, IMO(국제해사기구), 북극이사회(PAME) 등 국제기구 대응을 위한 Polar Code 관련 표준자료를 확보하고 국제적 과학외교 리더십을 강화하고 있음
- 반면 우리나라는 위성자료 외 실측 기반 자료 확보 역량이 미비하고, 해빙 예측과 관련한 AI 모델 개발 경험이 축적되지 않아, 항로 개방에 따른 실질적 운항 전략 수립이나 국제 표준 대응에 한계가 있는 실정임
- 북극항로는 단지 새로운 해상 물류로서의 의미를 넘어, 지정학적 경쟁 구도, 해양환경

경 규범 제정, 극지 자원 접근성 등과 연결되어 있으며, 과학기반 정보의 주도권은 곧 전략적 리더십으로 이어지고 있음

- 북극항로 이용과 관련된 실제 산업 수요는 꾸준히 증가하고 있으며, 민간 선사들은 해빙 예측정보, 항로별 위험도 평가, 계절별 가용성 시나리오 등에 대한 구체적 데이터 확보를 요구하고 있음
- 또한 부산항, 울산항 등 동남권 항만도시들은 북극 물류 허브로 성장할 가능성이 높아지고 있으며, 국가적 차원의 정보 인프라 구축 없이는 해당 기회를 실현하기 어려움
- ▣ 우리나라는 세계 최고 수준의 쇄빙 LNG선 건조기술을 보유하고 있음에도, 정작 극지 운항에 필요한 과학 기반 정보(예: 해빙 예측모델, 항로 위험 시나리오 등)는 해외에 의존하고 있어 전략적 불균형 상태임
- 이는 해운 안전 확보뿐 아니라 탄소 배출 저감, 물류 최적화, 해양 재난 대비 등 여러 국가적 정책과제의 시행에 걸림돌로 작용하고 있으며, 극복을 위해서는 정부 주도의 중장기 연구개발 사업이 필요함
- ▣ 따라서 북극항로 운영에 필요한 실측 기반 관측체계 구축과 AI 기반 예측시스템 개발, 고해상도 항로 가용성 시나리오 생산 등 통합적이고 체계적인 기술개발이 시급히 요구되고 있음
- 이를 통해 과학 기반 운항정보 제공, Polar Code 대응 자료 생산, 국제 공동연구 및 데이터 공유, 산업계 활용 기반 마련 등 다층적 효과를 기대할 수 있으며, 향후 북극항로 운영에 있어 실질적인 국제 리더십 확보가 가능할 것임

나

과학적 측면

- ▣ 북극은 지구 평균보다 약 3~4배 빠르게 온난화가 진행되고 있는 지역으로, 2020년대 들어 여름철 해빙 면적과 두께가 위성관측 이래 최저치를 기록하고 있으며, 이는 북극항로의 조기 개방 가능성을 현실화시키고 있음
- 북극 해빙의 감소 추세는 1979년 이후 위성 기반 관측 자료에서 꾸준히 확인되고 있으며, 특히 2027~2035년 사이 여름철 무빙해(Ice-free Arctic) 출현 가능성이 주요 기후모델에서 전망되고 있음
- 이러한 해빙 소실은 북극 생태계 변화뿐만 아니라 북극항로의 연중 가용성 확대, 글로벌 해상 물류 경로 재편, 에너지 수송 전략, 극지 외교 등 복합적인 국제정치·경제 구조 변화로 이어질 수 있음
- ▣ 북극 해역은 해양, 대기, 해빙 간 상호작용이 매우 복잡하게 얽혀 있으며, 해빙 예측

은 기존의 단일 수치모델만으로는 정확도 확보에 한계가 있음

- 실제 북극은 대서양화, 해빙 하부 융해, 해빙 파편화 등 고유한 해양-빙권-기후 메커니즘이 작동하고 있어 다중 자료 기반 복합 예측기술 필요
- 위성, 드론, 자동관측기, 쇄빙선 등을 연계한 고해상도 통합 관측체계 없이는 해빙 예측의 실효성을 확보하기 어려움

■ 해빙 변화는 북극 기후계뿐 아니라 중위도 이상기후 발생에도 연쇄적인 영향을 미치는 것으로 밝혀지고 있음

- 북극 해빙이 줄어들면 북극진동이 약화되고, 북반구 제트기류의 경로가 변동되어 한반도를 포함한 중위도 지역에 이상 고온, 폭설, 폭한이 반복될 수 있음
- 북극 해빙 예측은 기후모델 전지구 정확도 향상을 위한 핵심 입력자료로, 예측역량 향상은 국내 기후위기 대응에도 직접적으로 기여함

■ 북극 지역은 지구 평균보다 약 4배 빠르게 온난화가 진행되고 있으며, 그 결과 해빙 면적과 두께가 급격히 감소하고 있음. 1979년부터 2019년까지 북극 해빙 면적의 감소(9월에 약 40%, 3월에 약 10%), 북극 지역의 급격한 온난화와 해빙 감소

- (대기) 북극 온난화 증폭(Arctic Amplification)으로 알려진 전지구 온난화에 대비하여 북극지역에서 온난화가 강하게 나타나는 경향은 2021년까지 자료에서 지속적으로 관측. Berkeley Earth, HadCRUT5, NASA GISTEMP, ERA5의 전지구 표층온도 자료를 종합적으로 살펴본 최근 연구에서는 1979년부터 2021년까지의 북극 지역 (북위 66.5도 이북) 평균 온도의 상승 경향이 10년당 약 0.75°C로 나타나며, 전지구 평균 상승 경향인 10년당 0.19°C에 비하여 약 4배 정도의 상승 경향을 보이고 있음(Rantanen et al., 2022)
- (해양) 북극해 척치해는 1980년부터 2015년까지 수온이 60~80 m 깊이에서 10년에 약 0.5°C 상승하고, 염분은 같은 기간 동안 0.5psu 정도 감소하는 경향. 북극해에는 염분약층이 있어 해빙을 따뜻한 해수로부터 보호하지만, 최근 대서양에서 기원한 해수의 유입이 증가하면서 이 층이 약화되어 따뜻한 물이 표층으로 접근하게 되어 해빙 감소 야기 (Polyakov et al., 2017). 이 현상은 "대서양화"로 불리며, 북극의 대규모 기상 패턴인 북극 쌍극자 모드(Arctic Dipole)와 연관되어 북극해 내에서 대서양 해수의 영향력이 커지는 새로운 기후 상태 (Polyakov et al., 2023). 북극해 서부 해역, 즉 태평양 방향 북극해에서의 염분약층 변화를 조사한 연구에서, 2012년 이후 따뜻하고 염분이 높은 물이 표층에 가까워지는 현상이 관측되어 대서양의 영향력이 북극해 전역으로 확산되고 있음을 시사(Bertosio et al., 2022)
- (해빙) 북극에서는 2012년 9월 역대 최소 해빙면적(357만 km²)이 나타난 이후 2020년에 이에 근접(400만 km²)했으나 그 기록은 깨지지 않았고, 10년 이상 낮은 범위에서 경년변동이 지속되고 있어 1979~2023년 기간의 장기적 감소 경향은 1979~2018년에 비해 다소 약화. 그러나 연간 최소 면적이 나타나는 9월에 해빙이 없는(북극 전체에서 100만 km² 미만의 해빙면적) 북극해가 나타날 것이라는 전망은 그 시기가 앞당겨지고 있음 (Notz et al. 2020 등)

북극항로 확대를 지원하기 위해 추가적으로 필요한 과학적 자료 존재

○ (해빙 및 기후 데이터 고도화) 단기 및 장기 해빙 예측 정보* 및 기후 시나리오**에 따른 북극항로 변화 시뮬레이션 자료

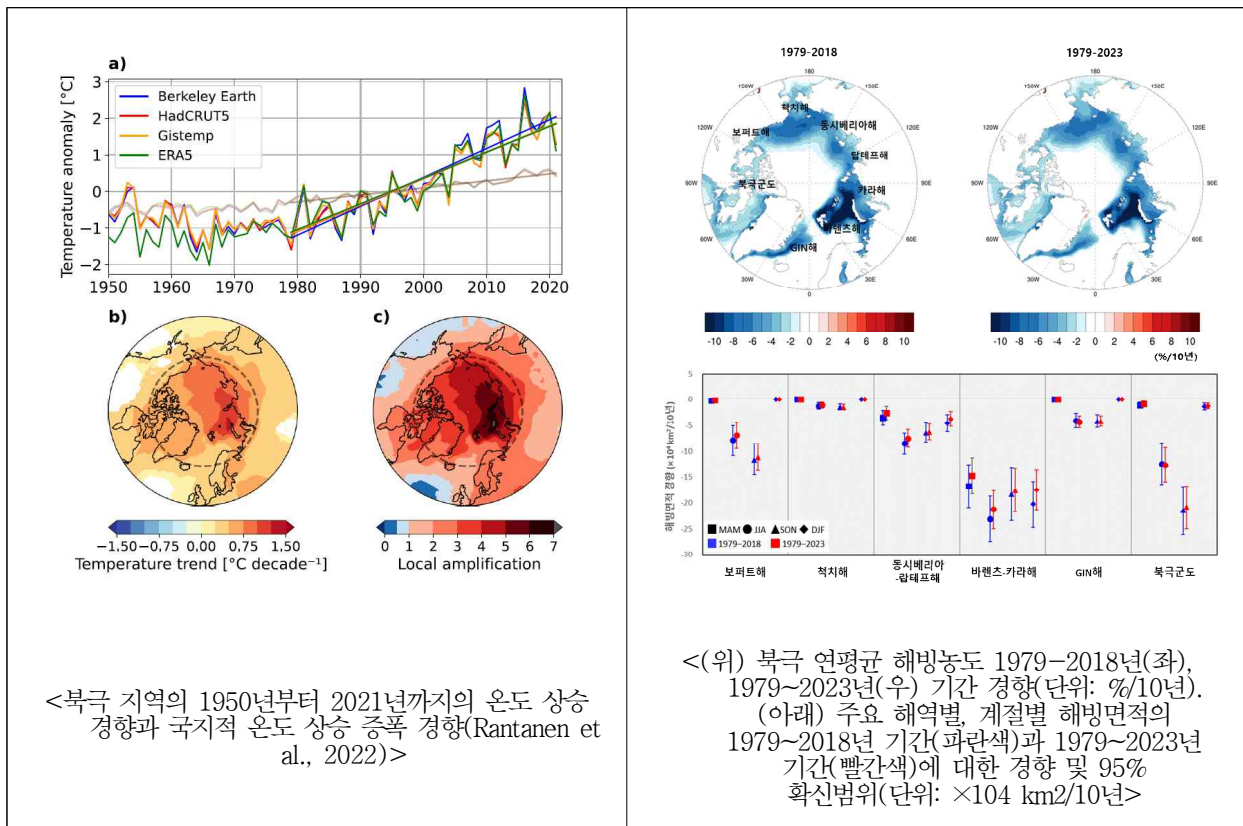
* 계절별, 연도별로 해빙의 두께, 범위, 이동 패턴을 고해상도로 예측하는 데이터

** IPCC 시나리오 기반으로 항로 접근 가능 기간 및 조건을 근미래('21~'40), 중간미래('41~'61), 먼 미래('71~'00)에 대하여 예측

- (항로운항 관련 기술 정보) 극지의 특성 기반 위성 통신 및 항법 시스템 적용 가능성*과 빙해 탐지 및 회피 기술** 필요

* 북극 지역은 GNSS 오차가 크고 통신 음영지대가 존재, 대체 항법/통신 체계 정보 필요

** 실시간 빙산 탐지 레이더, 드론·위성 기반 감시 시스템, AI 기반 항로 재계산 알고리즘 등

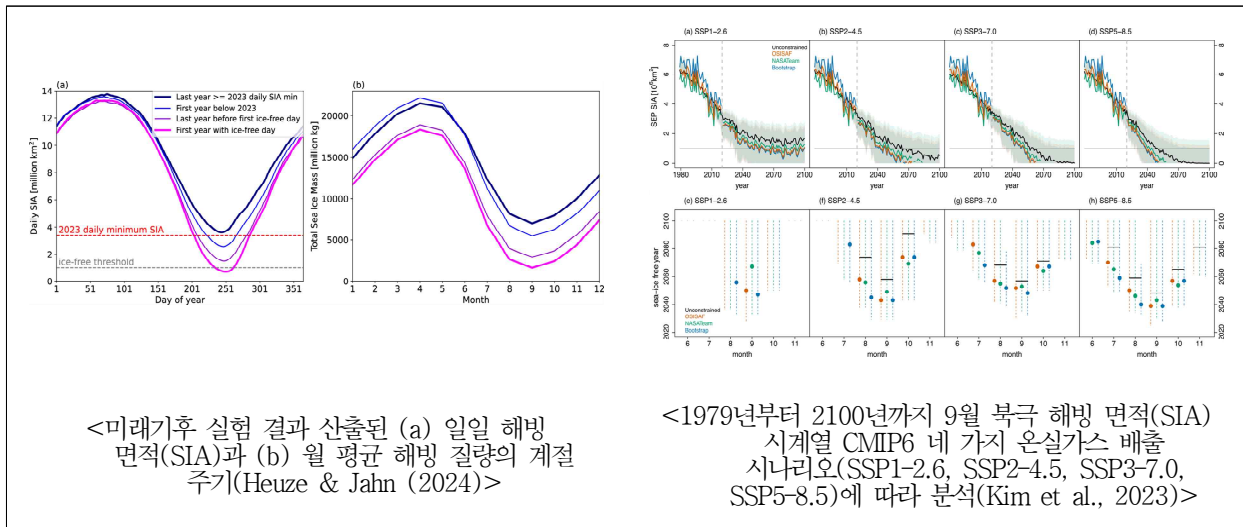


다

기술적 측면

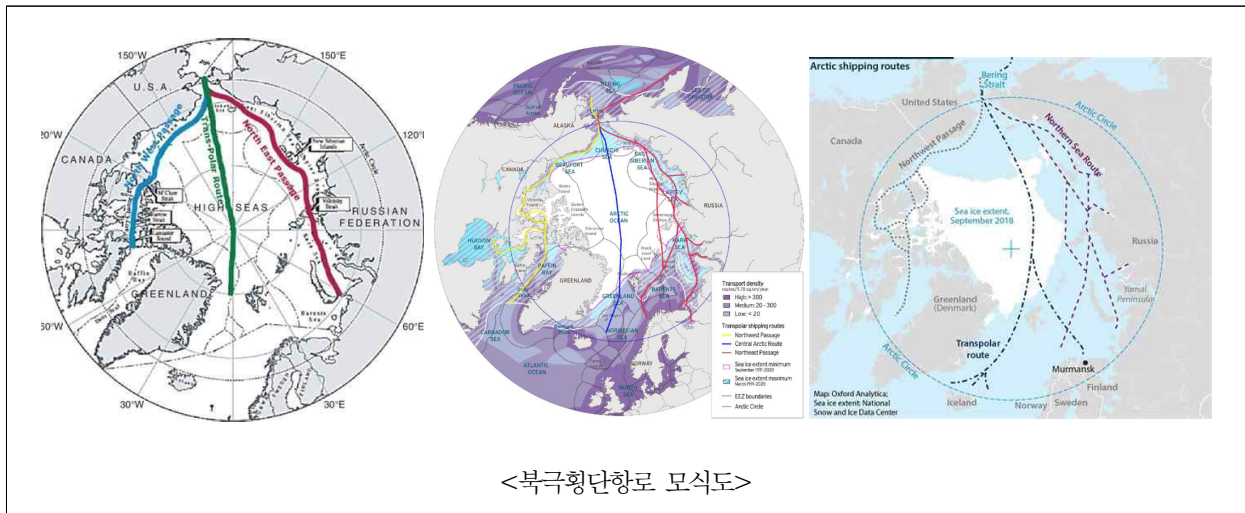
북극 해빙 융해가 예상보다 빠르게 가속화되어 여름철 북극 무빙해 발생이 2027~2030년부터 발생할 수 있는 상황*에서, 기존 북동항로 및 북서항로((이하 NWP: Northwest passage)뿐만 아니라 북극횡단항로까지 고려한 과학기반 제시 필요

* Heuze & Jahn (2024), Kim et al. (2023) 네이처커뮤니케이션즈紙 출간



❑ (북극횡단항로) 북극해 중앙을 통과하여 유럽과 아시아를 연결하는 항로로, 2030년경 쇄빙선이 동반된 항해가 가능해지고, 2040년경에는 일반 화물선도 여름철에 운항할 수 있을 것으로 예상

- (장점) ①국제 수역을 지나므로 통행료나 통관 절차 등의 제약이 적고 군사적·정치적 리스크 회피 가능, ②유럽-아시아 간 항로에서 기존 수에즈 운하 경로보다 약 30~50% 거리 단축으로 연료비 절감과 운항 시간 단축 가능
- (단점) ①해빙, 부빙, 날씨 변화 등으로 항해 안전성 부족, ②항만, 구조·구난 시스템 등 인프라 부족하여 상업적 운항에 제약, ③국제해사기구(IMO)의 북극항해 관련 환경 규제가 강화될 가능성, ④쇄빙선 동반, 보험료 상승 등 비용 상승요인 등
- 현재까지 TSR을 직접 이용한 사례는 없지만, NSR을 통한 시험 운항은 진행된 바 있음. 2018년 덴마크의 머스크(Maersk)사는 Venta Maersk라는 컨테이너선을 통해 NSR 시험 운항. 이 항해는 쇄빙선의 지원 없이 진행되었으며, 기후 변화로 인한 해빙 감소가 이러한 항해를 가능하게 하였음
- 중국은 “근북국국”을 자처하며 2020년 중국 쇄빙선이 TSR 최초 항해하는 등 북극 “빙상 실크로드” 구상을 통해 TSR 접근을 강화



▣ (북극 해빙정보 및 항빙서비스) 현재 실시간 자료제공을 하는 다양한 기관이 존재하며, 항로 특성 및 정확도에 따라 취사선택 가능

● 특히 북동항로 경우 대부분 러시아의 영해 또는 배타적 경제수역(EEZ)에 포함되어 있어, 러시아 정부 산하 기관들이 가장 세부적이고 실시간성 높은 자료를 제공 중

★ 예측 정확도 최고수준의 실시간 자료제공은 Copernicus Marine Service + MET Norway 조합이 최적, 북동항로 중심 운항은 AARI + Copernicus, 북서항로(NWP) 운항은 CIS 활용 필수

기관	정밀도	예측기능	지역특화	실시간제공	주사용자
Copernicus (EU)	매우 높음	TOPAZ4 기반 5~10일 예측	전 북극권	매우 우수	해운사, 과학자
MET Norway	매우 높음	1-4km 고해상도	바렌츠해, 스텔라르	우수	선박 운전자
AARI (러시아)	높음	NSR 전 구간 해빙 농도 지도, 월간 전망, 쇄빙선 경로 시뮬레이션	NSR	보통	러시아 선사
CIS (캐나다)	높음	10일 예보	북서항로	우수	캐나다항로 사용자
NSIDC (미국)	중간	3-7일 평균 해빙 농도 지도 및 계절예측 등 일부	전북극	과거자료 중심	연구자

라

경제·산업적 측면

▣ 북극항로는 기존 수에즈 운하 대비 약 30~50% 운항 거리 단축이 가능하며, 글로벌 해운 및 물류산업의 전략적 대체항로로 주목받고 있음

● 특히 LNG, 원자재 등 고부가가치 화물 수송에 유리하며, 부산·울산 등 동남권 항만을 북극 물류 중계 거점으로 육성할 수 있는 기회로 작용

● 북극항로 개방 시점 및 항로별 이용 가능성에 따라 해운사·물류기업의 전략 수립 시 예측정보의 정확도와 활용성은 직접적 경쟁력 요소로 작용

▣ 그러나 해빙 급변, 기상 불확실성, 국제 규제 강화 등으로 북극항로의 산업적 활용에

는 여전히 과학 기반 예측기술 확보가 선결조건

- 안전 운항 정보 제공을 통해 선박 지연, 사고, 연료 낭비 등을 방지하고, Polar Code 이행 및 블랙카본·방사소음 대응자료 제공을 통해 국제규범 선제 대응 가능
- 산업적 리스크 저감과 비용 절감을 동시에 실현할 수 있는 기술은 민간이 단독으로 개발·운영하기 어려워 국가 주도의 기반 연구개발이 필요

■ 북극항로 활성화는 선박 설계·조선·물류·항만 등 국내 해양산업 전반에 파급력을 미칠 수 있음

- 예측정보 기반 운항 최적화 기술은 선박 IT융합시스템, 디지털 해도, 기후 적응형 선체설계 등 연관 기술개발 수요를 촉진
- 예측정보 활용이 가능해질 경우, 한국형 극지 해운 솔루션 수출 가능성도 증대됨

■ 글로벌 탄소감축 의무 이행과 연계하여, 북극항로는 선박 연료소비 절감 및 온실가스 저감 효과 측면에서도 전략적 가치가 높음

- 기존 항로 대비 운항시간 단축으로 탄소 배출량을 최대 30%까지 감축할 수 있으며, IMO의 탄소 규제 강화에 대한 실질적 대응수단으로 작용
- 저탄소 해운 정책과 과학기반 예측기술이 결합되면, 국제 인증 기반 해운 솔루션으로도 활용 가능

■ 북극항로 확대가 경제적 효과로 연결되기 위해서는 다양한 이슈 해결 필요

■ (항만 및 인프라 정보) 실제 선박 운용에 중요한 러시아 북극 연안 항만의 수용 능력 및 개발 계획, 중간 기항지 또는 피난 항구 정보 등 필요

* 무르만스크, 사베타, 페베크 등의 항만 개발 현황, 연료 보급·정비·구난 시스템 유무, 응급 시 활용 가능한 기항지의 위치, 시설, 구조대 가용성 등

■ (정책·법규 및 보험 정보) 러시아의 항로 통제 정책*, 국제 법적 지위**, 극지 운항 관련 보험 요건*** 등

* NSR 통과 시 신고·승인 절차, 통행료, 조타사 동승 의무, 군사적 제한구역 정보 등

** UN 해양법상 NSR의 법적 해석과 국제사회-러시아 간 시각 차이 등

*** 북극해 운항시 적용되는 Hull & Machinery, P&I 보험 특별 조항, 고위험 지역 할증 등

■ (상업성·물류 전략 정보) 운임 경쟁력 및 경제성 분석 자료*, 수출입 물동량 변화 예측**, 연계 내륙 운송망 정보*** 등

* 수에즈 운하 대비 운항 거리, 시간, 연료비 비교 시뮬레이션

** 북극항로 이용에 따른 유럽-동북아 간 물동량 재편 가능성, 물류 흐름 변화 전망

*** 북극 연안 도달 후 철도·도로망을 통해 내륙으로 물자를 연결할 수 있는 경로 (예: 북극-유라시아 철도 연결 가능성)

마

사회·문화적 측면

- 북극항로 개방은 단순히 해상 물류 경로 확대를 넘어, 기후위기 대응, 지속가능한 극지활동, 국제 과학외교 등 사회 전반의 의제와 긴밀하게 연결됨
 - 북극은 기후 불균형과 생태계 교란이 가장 극단적으로 나타나는 지역으로, 이에 대한 예측과 대응 역량은 국민 안전 및 미래세대 보호와 직결됨
 - 북극항로 예측 기술은 단순한 기술 개발이 아니라, 극지재난 대응, 탄소중립형 해운정책, 과학외교 경쟁력 강화 등 종합적인 사회전략 인프라임
- 국내 해양과학 및 극지 연구의 대중적 인지도 제고, 청년 인재의 진출 기회 확대, 지역균형발전을 위한 거점 마련 등 긍정적 파급효과도 기대됨
 - 예측기술 고도화를 통해 부산을 중심으로 한 극지 연구와 산업 실증의 허브를 구축하고, 지역 기반 산·학·연 협력과 국제 공동연구를 통해 사회적 자산으로 기능 가능
 - 기후변화 및 극지환경 문제에 대한 국민 체감형 정보 제공과 대응력 제고를 통해 과학의 공공성과 국민적 신뢰도도 함께 향상될 수 있음
- 북극항로 관련 예측기술 확보는 국제사회에서의 한국 위상을 제고하고, 과학 기반 다자외교 역량 강화를 위한 전략 수단으로 작용
 - Polar Code, IMO, 북극이사회 등 국제기구의 과학정보 요구에 능동적으로 대응할 수 있으며, 데이터 기반 외교활동 가능
 - 기후 과학역량과 산업 기술역량을 융합한 북극항로 대응체계는 ‘과학 외교의 실효성’을 높이는 핵심 자산
- 북극항로 기술은 해운업뿐 아니라, 해양안전교육, 재난대응훈련, 공공데이터 서비스 등 다양한 공공서비스 영역에도 적용 가능
 - 예측자료를 활용한 시뮬레이션 기반 교육과 훈련 체계는 공공의 안전문화 확산에 기여
 - 민관 연계 협력을 통해 북극항로 정보 플랫폼이 과학기술의 사회 확산 모델로 기능 가능

제2절 사업추진 근거 및 경위

1. 국내

- ▣ 국내에서는 북극 해빙 예측을 위한 독자적 해빙모델 개발 및 개선 연구가 체계적으로 수행된 사례가 없으며, 일부 기관에서 외국 지구시스템모델을 기반으로 한 제한적 활용 수준에 머무르고 있음
 - 기상청은 영국기상청의 UKESM 기반 K-ACE 지구시스템모델을 개발하여 일부 국내 환경에 맞게 보정·개선하여 사용 중이며, 해당 모델 내 해빙모듈은 기본 포함됨
 - 한국해양과학기술원(KIOST)은 미국 GFDL의 CM 모델을 기반으로 KIOST-ESM을 구축하여 기후예측 연구에 활용하고 있으나, 해빙 예측을 위한 모듈 정교화는 미흡한 수준임
- ▣ 대학 및 연구기관 대부분은 미국과 유럽의 커뮤니티 지구시스템모델을 중심으로 간접적인 해빙 예측 연구를 수행 중
 - 대표적으로 NCAR의 CESM, NOAA-GFDL의 CM 시리즈, GEOMAR의 Kiel Climate Model 등이 활용되고 있으며, 자체 해빙모델을 개선하거나 운영하는 사례는 없음
 - 극지 관측 기반 자료 및 예측자료의 생산역량이 제한되어 있으며, 모델 성능 개선을 위한 검증자료(DB) 확보도 매우 미진한 상황임
- ▣ 종합적으로 판단할 때, 북극항로 운영을 위한 고해상도 해빙 예측 기술 확보를 위한 국내 기반은 매우 취약한 상태이며, 실측 기반 자료 축적과 해빙모델 독립 운영이 가능한 수준까지 기술역량을 끌어올릴 필요가 있음

2. 해외 연구개발 현황

- ▣ 북극 해빙 예측 분야에서는 선진국을 중심으로 다양한 통계모델, 수치모델, AI모델이 개발되고 있으며, 모델 간 상호 비교를 위한 국제 공동연구도 활발하게 수행되고 있음
 - SIPN (Sea Ice Prediction Network)는 북극 해빙 계절예측 정확도 향상을 위해 미국 ARCUS 주도로 운영되는 네트워크로, 각국의 수치예측기관과 학계가 참여하여 모델 비교 및 성능 향상 연구를 공동으로 수행 중
- ▣ 유럽에서는 Copernicus Climate Service를 통해 해빙·빙권 예측자료가 정기적으로 생산·배포되고 있으며, 이를 위해 MET Norway, AWI, ECMWF 등 다수 기관이 독

립 해빙모델 및 AI 기반 보조모델을 활용하고 있음

- ▣ 특히 AI·통계기반 예측 기술에 있어 기계학습(ML) 및 앙상블 평균 기법을 적용한 경험적 모델이 전통적인 역학모델(GCM 기반)보다 북극 해빙 예측 성능이 우수하다는 연구 결과가 증가하고 있음
 - Massonnet et al. (2023)에서는 SIPN 관련 북극 예측모델 간 성능 비교 연구를 통해, 통계·기계 학습 기반 다중모델 앙상블이 단일 역학모델보다 예측 성능이 우수함을 실증
 - AI 기반 예측모델은 초기 조건 민감도에 강하고, 실측자료 축적과 함께 학습 정확도가 상승하여, 극지처럼 관측정보가 제한된 지역에서 오히려 유리한 성능을 보이는 것으로 분석됨
- ▣ 전반적으로 북극 해빙 예측기술은 다중모델 기반 예측 시스템, 기계학습 기반 통계예측 기법, 위성+현장 융합자료의 활용, 실시간 성능 검증 체계 등이 융합된 고도화 방향으로 발전하고 있으며, 이 분야에서의 기술격차 해소를 위해 국제공동연구 및 핵심 기술 이전 전략이 병행되어야 함

3. 국내외 주요 동향

- ▣ 북극 해빙의 급격한 감소와 무빙해 출현 가능성에 따라, 국내외에서 북극 해빙 관측 및 예측 연구가 더욱 활발하게 진행될 것으로 전망됨
 - IPCC, IASC, Arctic Council(PAME) 등 주요 국제 협력체에서도 북극 해빙 예측과 해상항로 안전 문제는 핵심 의제로 부상 중이며, 기후·해운·외교를 아우르는 전략과제로 다루어질 것으로 보임
 - 미국, EU, 러시아 등은 자국 중심의 예측 체계 확립을 넘어, 국제표준화된 환경정보 공유체계 구축을 병행하며 북극항로 주도권 확보에 주력
- ▣ 미국(NSIDC, NOAA), 유럽(Copernicus, ECMWF), 노르웨이(MET Norway), 러시아(AARI), 중국(PRIC) 등은 고해상도 예측자료를 정기적으로 생산하고 서비스하고 있으며, 해빙 예측기술을 전략 기술로 집중 육성 중임
 - 특히 AI 기반 해빙 예측, 다중모델 앙상블 기법, 실시간 데이터 동화 기술 등이 집중 연구되고 있으며, 각국은 자국의 기후위기 대응 및 해운안전 강화를 위해 예측자료 주도권을 확대하고 있음
- ▣ 국제 공동연구는 SIPN(Sea Ice Prediction Network), YOPP(Year of Polar Prediction), MOSAiC(독일 주도 북극빙권 관측프로젝트) 등을 중심으로 활발히 전개되고 있음

- SIPN은 북극 해빙 계절예측 성능 향상을 위한 대표적 네트워크로, 다국적 예측모델 성능 비교와 공통 평가지표 확립을 통해 예측 기술 향상에 기여하고 있음
- 우리나라는 현재까지 이러한 국제 예측모델 비교 실험에 정식 참여하거나 독립 모델을 제출한 사례가 드물며, 향후 주도적 참여 전략이 요구됨
- 북극항로 운영과 관련된 정보서비스 제공체계가 각국에서 고도화되고 있으며, 과학-산업-정책 연계형 플랫폼 중심으로 기술개발이 이루어지고 있음
- 예를 들어 EU는 Copernicus Marine Service를 통해 항로 접근성, 해빙 예측, 항만 정보 등 융합형 자료를 공개하고 있고, 러시아는 NSR 전 구간을 커버하는 해빙지도와 쇄빙선 실시간 위치정보를 자체 시스템에서 제공 중임
- 이러한 체계는 과학기반 정보의 실용화 수준을 보여주는 사례로, 우리나라도 예측정보의 생산뿐 아니라 ‘활용 가능한 형태’의 가공 및 서비스 기술 확보가 중요
- 북극 해빙 예측 기술은 최근 군사·안보 분야까지 확대되고 있으며, 북극 항로 및 기지 운영 정보를 기반으로 한 국가 간 갈등 및 전략 정보 확보 경쟁도 가시화되고 있음
- 미국, 러시아, 중국은 북극 해역을 국가 안보 전략 지대로 간주하고 있으며, 해빙 정보와 항로 변화 정보를 국가 기밀 수준으로 취급하는 경향이 강화되고 있음
- 이는 단순 과학기술 확보를 넘어, 전략적 외교역량 및 국제 발언권 확보를 위한 기반 기술로서 북극 해빙 예측기술의 위상이 높아지고 있음을 시사함

4. 동향 기반 도출된 시사점

- 북극 해빙 관측 및 예측 관련 국내 전문인력은 매우 부족한 실정으로, 자립형 전문인력 육성이 시급
- 위성 기반 해빙 분석 기술에 의존하는 현재 시스템으로는 고정밀 해빙 예측체계 구축에 한계가 있으며, 현장 중심 관측과 융합형 인재 확보가 필요
- 북극 해빙 예측기술 고도화에 필요한 복합전공형 인력 확보 및 기술 개발전략 수립이 필요
- AI 기반 예측모델, 수치모델, 위성자료 해석, 해양·기후 통합 해석 등 다학제 기반 기술 역량 확보 필요
- 급변하는 국제 예측기술 개발 동향을 분석하여, 우리나라에 적합한 북극항로 예측기

술 개발 방향과 추진 로드맵을 사전에 설정할 필요

- 특히 관측정보의 확보 수준, 기계학습 기반 예측 정확도, 실시간성 등 기술지표에 기반한 전략 수립 요구됨
- ▣ 주요국에서 개발되어 널리 활용 중인 해빙 관측 장비는 국내 자체 개발보다는 국제 협력을 통해 기술도입 및 교육, 현장 노하우 전수 방식이 경제적인 수 있음
- 자율부이, 해빙 레이다, 드론 탑재형 관측장비 등은 선진 기관과의 MOU 및 공동운영 형태로 초기 확보 후 점진적 내재화 추진 가능
- ▣ 국내 개발과 국외 기술 도입 간 비용·성능 비교를 기획단계에서 면밀히 분석하고, 연구수행 단계에서 이를 기반으로 혼합적 전략을 적용할 필요 있음
- ▣ 극지환경에 특화된 장비 개발, 관측플랫폼 설계 및 운용 관련 산업 역량 강화를 위해 극지공학·기계·소재 관련 민간기업과의 공동연구가 필요
- 북극 쇄빙선, 항로 관측 드론, 극지형 자동기상장비 등 분야에서 민·관 협업을 통한 기술 실증 및 사업화 전략 모색
- ▣ 특히 관측장비 개발은 사업 초기 단계부터 산업계가 기술개발 파트너로 참여해야 하며, 실제 북극 현장 탐사에 투입해 운영 안정성과 실효성을 입증해야 할 것

5. 기획과제 지원근거 및 추진경위



관계법령

- ▣ 「해양수산과학기술육성법」 제8조
 - 해양수산부장관은 해양수산과학기술 연구개발 과제를 선정하고, 해양수산과학기술 연구개발사업 및 전문인력 양성사업을 추진할 수 있음
- ▣ 「해양수산발전기본법」 제17조 및 제20조
 - 정부는 해양과학조사계획을 수립하고, 해양에 대한 과학조사 및 관측을 실시해야 하며
 - 북극을 포함한 해양과학기지 설치 및 관련 조사·연구 활성화를 위한 지원계획을 수립해야 함
- ▣ 「극지활동진흥법」 제8조 및 제12조
 - 국가는 극지(북극 포함) 관련 연구개발을 촉진하고 이를 활성화하기 위한 연구개발사업을 지원해야 하며

- 극지활동을 위한 국제협력 촉진을 위해 정보교환, 기술협력, 공동조사·연구 등의 활동을 추진하거나 지원할 수 있음

▣ 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」 제8조 ('24.10.25 시행 예정)

- 해양수산부장관은 해양 및 극지의 환경·생태계에 대한 기후예측정보를 생산하고 이를 국민에게 제공할 책무가 있음

▣ 북극항로 구축 지원 특별법(안)」 ('25.3 발의)

- 북극항로의 구축 및 운영에 필요한 기술 개발, 기반 인프라 조성, 연구개발 투자 확대 등의 국가 역할이 명시됨

[북극항로 구축 지원 특별법(안)] ('25.03.31)

가. 이 법은 북극항로 구축에 필요한 사항을 규정함으로써 국가경제의 발전과 국제경쟁력 강화를 도모하고, 나아가 국민 경제의 발전에 이바지함을 목적으로 함(안 제1조).

나. 해양수산부장관은 북극항로의 구축을 지원하기 위하여 북극항로 구축 기본계획을 5년마다 수립·시행하여야 함(안 제5조).

다. 해양수산부장관으로 하여금 기본계획을 효율적으로 수립·시행하기 위하여 북극항로 등에 대한 실태조사를 실시할 수 있도록 함(안 제6조).

라. 북극항로 구축·운영 등에 관한 사항을 협의·조정하기 위하여 대통령 소속으로 북극항로위원회를 두도록 함(안 제7조).

마. 국가로 하여금 북극항로 구축에 관한 전문인력 양성을 위하여 전문인력 양성체제 구축 및 현장 전문인력 재교육 등의 시책을 수립·추진할 수 있도록 함(안 제10조).

바. 정부로 하여금 북극항로 구축 지원 및 경쟁력 강화에 필요한 연구·개발 사업을 실시할 수 있도록 함(안 제11조).

사. 해양수산부장관으로 하여금 북극항로에 필요한 해외동향 및 관련 데이터의 구축·제공, 해빙 현황 및 항로 안전 정보 제공 등을 위하여 북극해운정보센터를 설치·운영할 수 있도록 함(안 제12조).

아. 정부로 하여금 북극항로의 구축 및 지속적인 확대와 관련 국가 간의 협력 강화를 위하여 관련 기술 및 전문인력의 국제교류 등에 필요한 국제협력사업을 추진할 수 있도록 함(안 제13조).

자. 기획재정부장관으로 하여금 북극항로 구축과 관련한 사업 중 미래 경쟁력 확보 등을 위하여 특히 신속하게 추진될 필요성이 있다고 인정된 사업에 대하여는 「국가재정법」 제38조제1항에도 불구하고 예비타당성조사를 면제할 수 있도록 함(안 제14조).

차. 국가 및 지방자치단체로 하여금 기본계획에 따른 사업을 원활하게 시행할 수 있도록 관련 사업자 등에게 재정과 금융지원 등 필요한 시책을 시행할 수 있도록 함(안 제15조).

카. 이 법에 따른 해양수산부장관의 권한은 대통령령으로 정하는 바에 따라 그 일부를 소속기관의 장, 해양관련 전문기관이나 단체에 위탁할 수 있도록 함(안 제16조).



정부정책

▣ 해양수산기후변화대응 R&D 강화 로드맵」 ('21~)

- 기후변화 진단·예측을 통해 국민 체감형 정보 제공 및 해양재난 리스크 예방, 북극항로 대응을 위한 기후방어시스템 마련을 목표로 설정됨

▣ 체1차 극지활동 진흥 기본계획」(’23~’27)

- 남·북극 미지영역 탐사 확대 및 국제공동연구 기반 구축을 통해 기후문제 해결을 선도하고, 북극 항로·해양에 대한 국가 주도적 연구 기반 조성을 강조

▣ 체5차 과학기술기본계획」(’23~’27)

- 전략3: 과학기술 기반 국가현안 해결 및 미래 대응
- 추진과제 3-7: 우주·해양·극지 개척을 통한 과학영토 확대
- 12대 국가전략기술 중 ⑥우주항공·해양 기술 및 ⑨AI 활용 기술에 해당

▣ 체2차 해양수산과학기술육성 기본계획」(’23~’27)

- 10대 해양수산 전략기술 중 ⑨극지연구 거점 확보에 필수적인 ‘예측기술’로 북극항로 예측기술 개발 필요성을 명시

▣ 새 정부 국정과제」(’22.7)

- 과제 41. 해양영토 수호 및 지속가능한 해양관리 : 북극항로 개척 및 과학 기반 확보를 통해 해양영토의 전략적 확장 추진
- 과제 99. 국격에 걸맞은 글로벌 중추국가 역할 강화 : 기후변화 및 탄소중립 외교 역량 강화, 북극에서의 과학적 기여와 외교적 위상 동시 확보

▣ 대한민국 진짜성장을 위한 전략(국정기획위원회)」(’25.6)

- 북극항로 최적화 연구, 물류운송로 확보, 북극항로 비즈니스 모델 개발 등 포함
- 북극 진출 거점 육성을 위한 연구개발 및 정책적 기반 확립 명시



다 기획 경과

- ▣ 북극항로 운영을 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발」 과제는 북극 해빙 급감 및 북극항로의 실질적 상업화 가능성 증대에 따라,
- 해운·기후·외교 등 다부처적 관점에서 과학 기반 대응체계 구축 필요성이 대두되면서 기획 추진 됨

- 2025년 상반기, 해양수산부 주관으로 과제기획을 위한 연구기획위원회가 구성되었으며, 산·학·연 전문가 20여 명이 참여하여 3개 분과 중심의 과학적·정책적 타당성 분석 수행

- 연구기획위원회는 총 5회의 전체 회의와 10차례 이상의 분과별 전문가 자문회의를 통해
 - 정책 연계성, 기술 수준, 국제협력 가능성, 경제성 등을 종합 검토하고 중점 추진과제(3대 축) 도출
 - AI 기반 고해상도 해빙 예측기술의 실현 가능성과 국제 표준 대응자료 확보 필요성 강조
 - 해운사, 항만공사 등 수요기관 인터뷰를 통해 민간 활용 수요 분석 병행

- 기획 과정에서는 국내외 해빙 예측 기술 수준 비교, 선진국 사례 조사, 예측자료 활용 수요 분석, 정책 이슈 도출 등이 병행 수행되었으며
 - 기후·외교·산업 등 분야별 중장기 파급효과 분석과 계량적 경제성 검토도 포함됨
 - 또한 북극이사회(PAME), IASC, SIPN 등 국제협력체와의 연계를 고려하여 국제공동연구 추진 가능성 및 파트너 기관 식별, LOI 확보도 진행
 - 그 결과, 총 6개년 정부출연금 414억 원 규모의 신규 중점 R&D 과제로 사업화가 제안되었으며,
 - 북극항로 과학 기반 운영체계 구축, 예측정보 활용 고도화, 국제표준 대응자료 생산 등을 목표로 하는 통합기술개발 체계가 정립됨

-

제3절 사업 기획 추진 체계

1. 연구기획위원회 구성



구성 배경

- ▣ (기후변화 파급력) 급격한 북극 해빙 면적 축소는 기후변화의 가장 대표적이며 최신 영향으로, 이에 대한 과학 기반의 선제적 대응계획 수립이 필요

 - 북극은 전 지구 평균보다 약 34배 빠르게 온난화가 진행되고 있으며, 특히 여름철 북극 무빙해 (Ice-free Arctic) 출현 가능성이 2027~2035년 사이로 전망됨
 - 북극 해빙의 지속적 감소는 해양 생태계, 기후 시스템, 국제 물류와 에너지 루트에 직결되는 구조적 변화로, 기후변화 감시 및 대응체계 고도화가 시급
- ▣ (북극항로 과학 기반 운영 지원) 무빙해 출현 가능성에 따라 북극항로의 조기 개방이 가시화되고 있으며, 이를 안전하고 지속가능하게 운영하기 위한 실시간·계절 단위 예측시스템 구축이 시급

 - 북극항로는 해빙 분포, 두께, 이동속도, 파편화 등 복합적 요소에 따라 선박 운항 가능 여부가 결정되며, 해빙 예측정보는 항로 선택, 항만 접근성, 사고 예방 등에 직접 활용됨
 - 해운사, 항만공사, 해양수산부 등 정책 수요기관들은 연도별·월별·항로별 맞춤형 가용성 시나리오 확보를 요구하고 있으며, 고해상도 AI 기반 예측체계 구축 필요성이 대두됨
- ▣ (국제협력 네트워크 구축·선도) 북극 해빙 예측기술의 발전은 국제공동연구 및 표준화된 자료 공유를 통해 촉진되고 있으며, 선도국들과의 협력체계 구축 및 참여를 통해 기술격차 해소 필요

 - 북극이사회(PAME), IASC, SIPN, EU Copernicus 등 국제 협력체는 북극 해빙 예측자료의 비교 및 공동 생산을 중심으로 기술과 정보를 공유하고 있으며,
 - 우리나라도 예측기술 확보와 함께 과학 기반 외교역량 확보를 위해 국제적 협력 체계의 공식적 참여와 역할 확대 필요
 - 2025년 상반기 국내 개최된 ‘북극항로 예측모델 국제 워크숍’을 통해 미국, 노르웨이, 독일, 중국, 일본 등 8개국 이상 10여 개 기관 전문가들과 AI 기반 예측기술 및 모델 검증 체계를 논의하고, 결과를 국제 학술지(예: Nature Climate Change)에 투고함으로써 협력 기반을 공고히 함
- ▣ (기술 및 인력 인프라 확충 필요) 국내는 북극 해빙 예측기술 개발 및 운용 경험이

부족하며, AI 기반 예측모델, 수치모델, 관측 자료 융합 등 전반적 기술 기반이 취약

- 북극 해역 실측 자료 확보를 위한 쇄빙선 기반 관측체계, 드론/UAV, 자동부이 시스템 등의 기술도입 및 내재화 전략이 필요
- 북극항로 예측 및 운용 기술은 융합형 고급 인재를 요구하나, 국내 관련 전공 인력 수급과 전문인력 양성체계가 부족하여 중장기적 인프라 구축 필요
- 영국(MET Norway), 독일(AWI), 프랑스(Mercator Ocean), 미국(NOAA), 러시아(AARI), 중국(PRIC) 등과의 국제협력을 통해 관측·예측 기술 전수와 인력교류를 병행 추진할 필요



국제협력 경과 및 향후 계획: 해빙 예측모델 국제협력 참여

□ (국제 세션 참여 및 교류 확대)

- 최근 북극 해빙 예측 기술의 중요성이 국제적으로 급부상함에 따라, 우리나라는 국제 북극과학위원회(IASC), SIPN(Sea Ice Prediction Network), IARPC(미국 북극연구정책위원회) 등이 주관하는 온라인 및 다자간 세션에 참여하여 기술 공유와 협력 기반을 점진적으로 확대하고 있음
- 예: 2025년 6월 17일 IARPC가 주관한 Sea Ice Community Meeting에서는 GEOS-S2S 예측시스템, 북극 해빙 계절예측 정확도, 머신러닝 기반 시도 사례 등이 논의됨
- 우리나라는 극지연구소 중심으로 SIPN 관련 자료 분석 및 IASC 산하 워킹그룹 간접 교류를 수행하고 있으며, 향후 해빙 예측모델 검증 프로젝트 참여를 준비 중임

□ (국제공동연구 기반 확보 노력)

- 현재까지 북극 해빙 예측과 관련된 국제 연구는 다중모델 앙상블(MME), 머신러닝 기반 예측모델, 위성자료 동화기술 등을 중심으로 진행되고 있으며,
- 유럽(Copernicus), 미국(NOAA), 노르웨이(MET Norway), 중국(PRIC) 등은 각국 중심의 예측시스템을 고도화 중임
- 향후 SIPN의 Sea Ice Outlook 제출국 진입 및 공동 예측실험(Pilot project) 참여를 통해 국제 네트워크에 실질적 기여 방안을 마련할 계획임

□ (향후 계획)

- SIPN, IASC, MOSAiC 후속 네트워크 등의 정기 회의와 기술워크숍에 정식 참여 및 공동 발표 확대
- 2026년을 목표로 극지연구소 주관 북극 해빙 예측기술 국제 워크숍 국내 개최 추진
- 국제 협력기관(노르웨이 MET, 독일 AWI, 미국 NOAA 등)과의 공동 예측자료 생산 및 알고리즘

비교 프로젝트 기획

- 자국 자료 기반 예측자료 공유체계(예: Copernicus Marine, NSIDC 표준형식) 구축 및 업로드 체계 내재화



최근 국내외 북극항로 이용 사례

국내 사례

- 현대글로벌비스 ('20년, 민간 상업운항 실증)
 - 현대글로벌비스는 2020년 러시아의 원자력 쇄빙선 50 Years of Victory의 지원을 받아 자동차 운반선(PCTC)을 북동항로(NSR)를 통해 운항함
 - 빙해 항해 전문가(Ice Navigator)를 승선시켜 운항 리스크를 줄였으며, 북극항로 이용 시 수에즈 운하 대비 약 10일 이상 운항기간 단축 효과를 실증함
 - 이는 국내 민간기업이 북극항로를 통한 정식 상업 운항에 성공한 대표 사례로 평가됨
- 팬오션 ('13년, 벌크선 NSR 첫 시범운항)
 - 팬오션은 2013년 쇄빙 능력이 없는 75,000 DWT급 벌크선을 이용하여 러시아 무르만스크에서 동북아시아까지 북극항로 시범 운항을 진행함
 - 러시아 정부로부터 NSR 항로 정식 운항허가를 받은 첫 번째 국내 선사로, 기존 수에즈 운하 경로 대비 약 8,000km의 거리 및 10일의 운항 시간 절감을 달성함
- 정책적 기반 강화 ('25년, 법·제도 정비 착수)
 - 2025년 2월 부산시는 북극항로 개척 TF」를 구성하고, 지역 차원의 물류 전략 수립을 본격화함.
 - 이어 3월에는 대한민국 국회에서 북극항로 구축 지원 특별법안」이 발의되어, 북극항로 실태조사, 기술개발, 인프라 조성, 민간 진출 활성화 등을 포괄하는 법적 기반 마련이 진행 중임

국외 사례

- 덴마크 머스크 - Venta Maersk ('18년, 첫 컨테이너선 NSR 운항)
 - 덴마크 해운사 머스크(Maersk)는 2018년 자사 소속의 컨테이너선 Venta Maersk를 북동항로(NSR)를 통해 유럽과 아시아를 연결하는 항로에 투입함
 - 쇄빙선의 동반 없이 항해에 성공하였으며, 북극항로의 상업적 활용 가능성을 실질적으로 입증한 세계 최초의 컨테이너선 운항 사례로 기록됨
- 중국-러시아 협력 확대 ('24~'25년, 공동 운항체계 구축)

- 최근 러시아와 중국은 북극항로를 전략 물류축으로 공동 활용하기 위한 협력을 심화하고 있음.
 - 2025년까지 **중·러 합작회사(NewNew Shipping Line)**를 통해 Arc7급 쇄빙 컨테이너선 5척 공동 건조 및 연중 NSR 운항 체계 구축을 발표하였으며,
 - NSR 인프라 공동개발 및 쇄빙선 배치 협조 등을 위한 북극항로 협의체를 구성하고 첫 실무회의를 진행함
- 러시아 Rosatom - NSR 상업화 전략 ('22~), 국영 차원의 연중운항 추진)
- 러시아는 자국 영해를 지나는 NSR을 연중 운항 가능한 상업항로로 전환하기 위한 전략을 수립하고,
 - 쇄빙선 운용 확대, 디지털 해빙지도 서비스, 항만개발 등 종합적인 국책사업을 추진 중임.
 - 2025년부터는 NSR을 경유한 연간 물동량 5천만 톤 이상 운송을 목표로 함



신규사업 기획 방향

- ▣ 북극 해빙 특성과 북극항로 운항 조건에 최적화된 관측기술 확보 및 관측역량 개발 방향을 설정하고, AI 기반 예측모델을 포함한 북극 해빙 예측기술을 개발함으로써 국내 독자적 북극항로 예측체계 구축 및 운영역량 확보
- ▣ 쇄빙선, 위성, 드론, 자동부이 등 복합 플랫폼 기반 해빙 탐사기술을 개발하여 해빙 분포·두께·이동성 등의 변동 특성에 대한 과학적 이해를 제고, 예측모델 성능 향상 및 북극 기후-빙권-해양 간 연계 메커니즘 이해를 통해 극지과학 발전에 기여
- ▣ 예측 결과를 기반으로 산출된 항로 가용성 전망자료는 해빙 환경 변화에 따른 생태계 영향, 해양환경 모니터링, 탄소배출 영향 평가 등 관련 융합연구의 기반자료로 활용되어 다양한 고수준의 연구성과 창출 가능
- ▣ 국내외 해운사, 항만공사, 정책기관 등에 정밀도 높은 북극항로 예측정보를 제공함으로써 연구소의 기술파급력과 정책기여도를 제고하고, 극지정보 생산 및 예측 선도국으로서의 위상 강화
- ▣ 북극항로 이용 시 쇄빙선·화물선의 최적 항로 계획 수립, 극한기후 조건 대응, Polar Code 규제 대응 등에 활용되어 운항 지연, 사고, 연료 낭비 등의 경제적 손실을 저감하고, 북극항로 관련 산업의 성장과 해양물류 혁신에 실질적으로 기여
- ▣ 사업 종료시점에서 달성 목표 및 성과물

- (목적) 북극항로 개발 및 운영의 상업적 활용 기반 확보를 위해, 극지과학 연구를 통한 우리나라 고유의 과학정보와 예측기술을 독자적으로 구축하여, 북극항로 운항의 위험요소를 사전 식별·대응할 수 있는 국가 주도형 체계를 수립함
- (목표) 북극항로 운영을 위한 실측 기반 해빙 및 항행 맞춤형 정보 예측 기술을 개발하고, 북극해 환경 및 항로 적합성 평가체계를 구축함으로써, 안전하고 지속가능한 극지 운항 여건 조성에 기여
- (성과물) 극지 운항 지원시스템을 포함하는 한국형 북극항로 운영모델 개발
 - (내용) ①실측 기반 북극항로 과학정보 100건 이상 확보, ②선도국 수준의 극지 해양·기후 관측체계 구축 및 운영, ③이를 바탕으로 AI 기반 고해상도 항로 예측·평가 모델 개발, ④항로 및 항만 정보를 시각적으로 통합 제공하는 인터랙티브 플랫폼 구축하여 실시간 운항 의사결정 지원 기능 강화
 - (국정과제 기여) 실질적 북극항로 운영 역량 확보를 통해 「경제2-1-2: 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점」에 직접 기여
 - (활용) 극지 운항 전략 수립, 정부 정책 결정 지원, 민간 선사 항로 설계·운항계획 수립 등에 활용되어, 과학적 근거에 기반한 항행 리스크 대응역량을 실질적으로 제고
- 북극이사회 워킹그룹 제출 위한 Polar Code 대응 환경자료
 - (내용) 국제해사기구(IMO) Polar Code 이행 지원을 위한 선박 방사소음, 블랙카본, 해양오염물질 관련 실측 환경자료 수집·정제하고, 북극이사회 PAME* 작업그룹에 제출 가능한 수준의 국제표준형 자료 구축
 - * PAME(Protection of the Arctic Marine Environment)은 북극 해양환경의 지속가능한 이용을 위해 설립된 북극이사회 산하 작업그룹으로, 선박 활동 분석, 환경규제 가이드라인 마련, Polar Code 이행 현황 평가 등 국제 정책 논의를 주도
 - (국정과제 기여) 북극 항로 이용국으로서의 국제적 책임과 데이터 기여 역할 이행으로 규범 기반의 지속가능한 북극항로 개척 리더십 확보에 기여
 - (활용) 북극 관련 국제표준 수립 논의 및 협의체 참여, 국제기구에서의 환경규제 대응자료 및 협상 근거 자료로 활용
- 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오
 - (내용) AI 기술 및 수치모델을 활용하여 근미래 항로 이용 가능성을 연도별·월별 단위로 예측하고, 운항허가 조건, 쇄빙지원 계획, 항로위험 분석 등을 종합한 정밀 운영 시나리오 생산
 - (국정과제 기여) 불확실성이 높은 북극환경에서 시기별·정책별 지정학적 리스크에 능동적으로 대응하고, 안정적 대체 물류 루트 확보를 통해 국제 무역 경쟁력 제고 및 공급망 안정성 강화에 기여
 - (활용) 해운사 및 물류업계 북극항로 진입 시점 전략 수립, 정부 간 협상 및 정책결정 시 항로개방 타이밍 예측 등에 실질적 활용 가능



기획연구단 역할 및 구성

- ▣ 다양한 산·학·연 기관의 연구수요 및 현장 의견을 수렴하고, 항로 운영, 예측 기술, 정책 활용 등 실질적 분과 검토를 통해 타당성과 활용체계를 정교화함으로써 연구기획의 논리적 기반을 강화함
- (구성) 기획연구단은 자문기구로서 국내·국제 자문위원회, 분야별 기획과 전략 도출을 담당하는 연구기획위원회로 구성되며, 정책, 기술, 산업, 협력, 홍보 등 각 기능을 통합적으로 검토할 수 있는 체계를 유지함
- (자문위원회) 국내외 해양·극지·기후 전문가 및 수요기관 실무자를 포함하여, 각 분과의 연구 방향과 주요 요청사항에 대한 검토 및 자문을 수행하며 국제협력 네트워크와 연계하여 예측 기술의 국제 정합성 및 협력 실행 전략을 검토함
- (연구기획위원회) 북극항로 과학기반 운영을 위한 ① 북극 해빙 관측체계 구축(관측), ② 북극항로 예측모델 개발(예측), ③ AI 기반 항로 가용성 시나리오 생산기술 개발(기술), ④ **정책·국제협력 및 활용방안 마련(정책)**의 4개 분과로 구성, 각 분과별 수요 기반 과제기획 및 방법론을 구체화하고 자문위원회와의 연계를 통해 과제기획의 정합성을 확보함



추진 경과

- ▣ (공약명) “북극항로 진출 거점을 육성하겠습니다.”(성장기반구축16)
 - “북극항로를 선도하는 육해공 트라이포트로 부산을 육성하겠습니다.”
- ▣ 「북극항로 구축 지원 특별법」 제11조 (‘25.03.31 국회발의)
 - 정부는 북극항로 구축 관련 기술을 효율적으로 개발·육성하기 위하여 연구개발에 관한 투자를

확대해야 함

▣ 『대한민국 진짜성장을 위한 전략(국정기획위원회)』 ('25.6)

- 4. 지역성장과 국토공간 혁신 - 항로 최적화 연구와 물류 운송로 확보, 북극항로 비즈니스 모델 개발

▣ 『북극과제』(작성중) ('25.7, 작성중)

- 경제2-1: 북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설
- 경제2-1-2: 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점

▣ 『(환경변화) 온난화 가속화로 인해 북극 해빙이 빠르게 감소하면서 2027~2030년경 계절적으로 북극해에 항로가 열리는 ‘무빙해(無氷海; Ice free Arctic)’ 시대가 도래할 것으로 전망됨

- 북극항로, 특히 북극횡단항로(TSR)의 실질적 활용 가능성이 대두되고 있으며, 이는 기존 북동항로(NSR) 및 북서항로(NWP)를 넘어 제3의 전략항로로 주목받는 상황임
- 북극 해역의 항로 예측 정확도 향상, 실시간 정보 제공, 국제 규범 대응 등을 위한 과학기반 확보가 시급한 시점임

▣ 『(기획경과) 북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 기획연구』 완료('25.12)

- 세분화된 체계로 구성하여 각계 다양한 전문가 의견수렴
 - * 연구기획위원회(북극 항로 실측/항로 예측/항로 적합성 평가 3개 분과로 구성)에 20여 명 산·학·연 전문가 참여, 국제·국내 자문위원회 운영, 전문가 설문 및 경제성 평가 수행



Korea Polar Research Institute

북극항로 운영 위한 실측
기반 통합 예측기술 개발
위한 기획연구

제2장 북극항로 예측분야 대내외 환경분석

제1절 국외 주요 동향

제2절 국내 주요 동향

제3절 요약 및 시사점

제1절 국외 주요 동향

1. 북극항로 관측 및 예측 관련 연구 동향

- 북극 해빙은 전 지구 기후 변화의 가장 민감한 선행지표 중 하나로, 최근 여름철 해빙의 면적과 두께가 위성관측 이래 최저 수준으로 기록되면서 북극항로 개방 가능성이 높아지고 있으며, 이에 대한 과학적 대응 및 운항정보 확보를 위한 관측·예측 기술 개발이 국제적으로 가속화되고 있음



국제기구

■ IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체)

- 2021년 출간된 「제6차 평가보고서(AR6)」에서는 현재의 대부분 지구시스템모델(GCM)이 여름철 북극 해빙 면적 감소는 비교적 잘 재현하고 있으나,
- 일부 모델은 최근의 빠른 해빙 감소 속도를 과소모의하거나 미래 온난화를 과대모의하는 경향이 있으며,
- 이로 인해 해빙 예측 결과의 불확실성 정량화 및 예측 신뢰도 향상 필요성이 강조됨

■ IASC(국제 북극과학위원회) 및 SIPN(Sea Ice Prediction Network)

- 북극 해빙 예측의 계절 정확도 향상을 위해 SIPN은 북극 해빙 예측모델 비교(SIO: Sea Ice Outlook) 프로젝트를 매년 주관하고 있으며, 수십 개 연구기관이 참여해 수치모델, 통계모델, AI 기반 경험모델을 제출하고 비교 분석
- 최근 연구(Massonnet et al., 2023)는 단일 역학모델보다 다중모델 앙상블 평균이 더 높은 예측 성능을 보이며, 기계학습 기반 통계모델이 전통 수치모델보다 여름철 예측에 우수한 성과를 보인다고 보고

■ MOSAiC 및 YOPP 등 국제 공동캠페인 연계

- 독일 AWI가 주도한 북극 해빙 드리프트 탐사 프로젝트 MOSAiC(2019~2020) 이후, 북극 대기·해양·해빙 상호작용 자료의 축적이 예측 기술 고도화에 핵심 자료로 활용되고 있음
- 세계기상기구(WMO) 산하 Year of Polar Prediction (YOPP) 프로그램은 북극 해빙 계절예측 정확도 향상을 위한 국제 비교 실험과 예보 검증을 주기적으로 수행 중

■ Copernicus Climate Service(EU), NSIDC(미국), MET Norway 등

- 유럽, 미국, 노르웨이 등은 자국 예측모델 기반으로 북극 해빙 예측자료를 정기적으로 공개하고 있으며, 예측성과 향상을 위한 AI 보조 알고리즘, 다중 위성자료 활용, 해빙 이동경로 시뮬레이션 등 고도화 기술을 지속 개발 중
- ▣ 이처럼 북극 해빙 예측은 AI·통계모델과 전통 GCM 간 성능 비교와 상보적 활용을 중심으로 ‘다국간 모델링 협력체계(SIPN)’와 ‘예측 정확도 개선 네트워크(IASC 등)’를 통해 공동으로 발전하고 있으며, 향후 우리나라도 본격적인 참여와 독립모델 제출을 통해 기술 기여도를 확대할 필요가 있음



국가별 동향

▣ 국가별 정책동향

- (미국) 북극 연구를 통한 항행 안전성 생태계 보호 기후예측능력 고도화에 중점을 두고 있으며, 국제 북극과학위원회 등 북극과학협력의 국제 파트너십 중시
 - * NASA, NOAA, NSF가 주도하는 위성 기반 관측, 모델링, 빙권-기후 연계연구 지원
- (러시아) 북동항로(NSR, Northern Sea Route)의 주요 관리국으로 상업적 개방을 과학적으로 뒷받침하기 위해 기후 변화, 빙해 분석, 항로 안전성 등에 대한 국가 차원의 연구 강화
 - * 북극남극연구소(AARI, Arctic and Antarctic Research Institute) 주도로 북극빙권 예측, 항로 탐색 기술 고도화
- (중국) “빙상 실크로드” 구상하에 북극항로를 제3의 무역 루트로 활용하하 위해 위성자료 활용 AI 기반 예측모델 개발 등 과학기술 정책 확대
- (캐나다) 북극지역의 원주민 전승 지식과 과학 연구의 통합 정량화를 추구하며, 캐나다 고위도 연구소(Canadian High Arctic Research Station)를 중심으로 기후자료, 행동 생태자료 확보 및 분석을 위한 플랫폼 구축
- (노르웨이) 북극항로의 상업적 기회보다는 환경적·과학적 규제 관리에 관심을 두고 있으며, 자국 선사의 항로 진입·해양·환경 관련 준수의무 규칙 화문화
- (네덜란드) 북극연구를 신정부 기획과제로 반영하고 있으며 북극 관련 법·제도 정비를 추진 중임
 - * 네덜란드 외무부는 북극과학, 북극 거버넌스, 북극 외교정책 관련 전문가로 구성된 “북극 자문그룹”을 발족하였으며, 북극권 기후연구, 남극 기지 운영 노하우 공유, 북극 관측협력(3년 간 북극항공 관측 참여 포함) 등을 체계화하고 있음
- (프랑스) 극지전략(’22.11 발표)을 통해 북극권 외교·과학의 전략적 기능을 강조하며 지구환경 안정성과 상호 연계된 북극 생태보존 및 과학역량 확대 방향을 제시함
- (덴마크) 자국령인 그린란드 및 덴마크령 섬 등을 전진기지 삼아 극지 거점화를 도모하고 있으며, 북극 이사회 등 다자외교 채널을 활용해 북극 대응전략 다각화

- (이탈리아) 북극과 남극 모두 유엔해양법협약(UNCLOS)을 통한 다자 협력을 강조하고, 북극 지역의 지속가능한 개발을 위한 통합형 연구 수행 중임
- (호주) 남극전담기관(AAD)을 중심으로 남극 전반의 정책을 주도해 북극 협력·공조를 병행 중이며, 기후·해양·지질자원 배경 분석 기반의 과학·환경 거버넌스를 구축하고자 함 (북극 연구는 미미)

▣ 국가별 산업동향

- (미국) 전략적 안보와 에너지 중심으로 알래스카 해역 개발에 집중하고 있으며, 북극항로는 제2 고속해상수송로의 측면에서 국방·안보 전략에 크게 기여
 - ★ NASA, NOAA, NSF가 주도하는 위성 기반 관측 모델링 빙권-기후 연계연구 지원
- (러시아) 북극항로를 자국 내 주요 수출 루트로 적극 개발하기 위해 국영기업 주도 인프라 투자를 진행 중이며, 서방국 제재 이후 중국과의 협력 심화 및 중국 기업 참여 확대 강화 추세
- (중국) 2018년 북극정책 백서에서 “빙상 실크로드(Ice Silk Road)” 명시하면서 북극항로를 제3의 글로벌 해상물류루트로 설정하고 인프라 및 선박 투자
- (캐나다) 북극항로 활용 요소로 인해 캐나다 북부 해역(북서항로)의 상업화 환경 가능성을 주목하고 있으며, 철도 기반의 내륙 연결성 확보와 항만 접근성 제고 방향 검토
- (노르웨이) 독립 해빙 예측모델과 기업의 친환경 설비 운영 역량에 외화하여 자국 북극 해운 루트를 기반으로 북극 물류 및 에너지 자립 모델화 추진
- (덴마크) 그린란드를 전진기지로 활용하고 있으며, 북극항로 인프라로 그린란드 동·서 연계항로 개발 가능성을 검토
- (프랑스) 북극해 군사작전 역량을 확보하고 있으며, 정책기조는 산업외교채널을 활용한 극지정보 생산과 기후변화 대응을 동시에 고려한 접근 있음

▣ 국가별 기술동향

- (미국) 위성 기반 극지 기상·해양 관측과 AI통합 분석체계 개발을 통한 북극 감시 및 기후 예측 선진화 집중
- (러시아) 세계 최대 쇄빙선 운항체계로 NSR 전용 운송 시스템운용을 중심으로 북극항로 디지털화 추진 중
- (중국) 해빙분포, 위험 분석, AI 기반 항로 예측 기술을 개발하며 빙상 실크로드 전략에 맞춘 자국 기술자립 강화
- (노르웨이) 고해상도 위성 기반 해빙 실측 현대화, 기상·해빙 예보, SAR 시스템 분석기법 등을 통해 정밀항해기술 강화
- (핀란드) 항로 안전성 확보를 위한 조타, 빙해 감지 기술을 바탕으로 극지 디지털 내비게이션 솔루션 개발 선도

- (캐나다) 고관측분해능 기반의 LNG선 전용 항로 지도제작 기술 및 극지 해운데이터 기반 디지털 운항 플랫폼 기술 개발을 통해 선도적 역할 추진



다 시사점

- ▣ 북극 해빙 예측 분야에서 선도국들은 해빙 관측기기 개발 및 현장적용, 해빙 예측모델의 개발·검증·개선 등에 지속적인 투자와 노력을 기울이며 해빙 프로세스에 대한 과학적 이해 증진과 예측 정확도 향상을 동시에 추구하고 있
- ▣ SIPN, IASC, MOSAiC 등 국제협력 네트워크를 통해 예측모델 성능 개선, 알고리즘 공동 개발, AI 기반 기술 전수가 가능한 파트너십 환경이 조성되고 있으며, 우리나라도 기술 격차 해소를 위해 이러한 우호적 협력체계에 전략적 참여가 필요함
- ▣ 북극 해역의 현장관측자료 공유·교환, 공동 탐사기획, 연구인력 상호 파견 및 교육훈련 등 상호 보완적 관계 기반의 협력 추진이 이상적이며, 이는 예측자료의 신뢰도 확보와 국제기여도 제고로 연결될 수 있음

2. 북극 항로 관련 정책 동향 요약



가 정책 동향 요약

- ▣ 기후변화 대응과 전략적 활용 가속화
 - 북극의 급격한 온난화에 따라 항로 개방 시점이 앞당겨질 가능성이 커지면서, 북극항로는 기후위기 대응뿐 아니라 새로운 글로벌 물류루트로서 전략적 가치가 부각됨
 - 각국은 기후모델 예측 기반의 해빙 변화 분석, 저탄소 해상운송 구축, 생태계 보호와 개발의 균형을 중심으로 정책적 방향을 설정 중임
- ▣ 국가별 경쟁 심화와 중장기 전략 필요성 확대
 - 한국, 중국, 일본, 러시아 등 아시아 주요국을 포함해 다수 국가가 북극항로 선점 및 항만·쇄빙선 인프라 확보를 위한 전략적 경쟁에 돌입함
 - 이에 따라 해운, 외교, 과학기술, 자원, 안보를 연계한 국가 차원의 중장기 북극전략 수립 필요성이 강조됨
- ▣ 민관 협력 및 거버넌스 체계 강화

- KMI ‘2030 북극항로 신전략’ 등에서는 정부-산업계-학계-지자체가 참여하는 민관 거버넌스 체계(예: K-Arctic Bridge) 구축을 제안함
- 정책 수립뿐만 아니라 현장 운용, 안전관리, 정보공유, 기술개발까지 연결되는 포괄적 협력체계 구축이 핵심

▣ 국제협력 확대 및 규범 정립 병행

- 북극이사회 기능 저하와 러시아의 고립 등으로 기존 협력 구조가 흔들리는 가운데, IMO Polar Code 등 새로운 안전·환경 기준 정립과 규범 중심 국제협력의 복원이 주요 과제로 부상
- 북극항로를 둘러싼 ‘지정학적 리스크(통제권, 제재, 에너지 안보 등)’에 대응하기 위해, 다자간 외교와 국제 공조의 복원 및 재정비가 필요하다는 공감대 형성.

▣ 지역사회와 지속가능성 강조

- 원주민 사회의 참여, 생태계 보호, 지역경제 균형발전 등 지속가능한 북극 개발의 원칙이 강화되고 있으며,
- 북극항로의 개발 역시 경제성뿐 아니라 사회적 포용성과 환경 보호를 전제로 추진되어야 한다는 흐름이 확대됨.



시사점

▣ 기후변화에 따른 북극항로 개방 가속화에 선제적으로 대응하기 위한 과학 기반 전략이 시급

- 북극 해빙 감소 속도가 빨라짐에 따라 북극항로의 실질적 활용 가능성이 급증하고 있으며, 이는 단순 해상운송을 넘어 기후정책, 외교, 자원전략 등 국가정책 전반에 영향을 미치므로,
- 정밀 예측체계 확보와 기후적응형 항로 운영 기술 개발이 핵심 국가역량으로 부상함.

▣ 국제 질서 변화 속에서 독립적 관측·예측 역량 확보가 전략적 자산으로 부각

- 북극이사회 기능 저하, 러시아 중심 NSR 통제 강화, 중국의 빙상 실크로드 추진 등 불확실성이 고조되는 가운데,
- 외부 의존도를 줄이고 예측정보 주도권을 확보할 수 있는 실측 기반 기술개발과 독자 예측모델 운용 역량이 절실함.

▣ 범부처·민관·지자체 연계형 협력 생태계 구축이 필수

- 해운, 조선, 항만, 과학기술, 외교, 환경 등 다양한 주체가 참여하는 통합형 민관 거버넌스(예:

K-Arctic Bridge) 구축이 필요하며,

- 기술개발-인프라 구축-운용-정책적 활용까지 아우르는 전주기형 협력체계 설계가 요구됨.

▣ 국제 공동연구 및 데이터 공유 체계를 통한 전략적 외교·기술 협력 병행 필요

- SIPN, IASC, IMO, Copernicus 등 다자 협력 채널 참여 확대를 통해,
- 우리 예측자료의 국제 비교·활용, AI모델 공동 개발, Polar Code 대응자료 생산 등에서 실질적 기여 가능성 확보가 중요함.

▣ 지속가능성, 생태계 보호, 지역사회 연계 등 사회적 가치 통합적 고려 필요

- 북극항로 개발은 환경과 원주민, 국제규범 등을 고려한 포용적이고 지속가능한 과학기반 접근이 요구되며,
- 단기 경제성뿐만 아니라 국가 이미지, 외교적 신뢰도, 기술외교력 향상 등 장기적 효과를 포함한 전략 설계가 필요함.

3. 북극 항로 현황



동향 요약

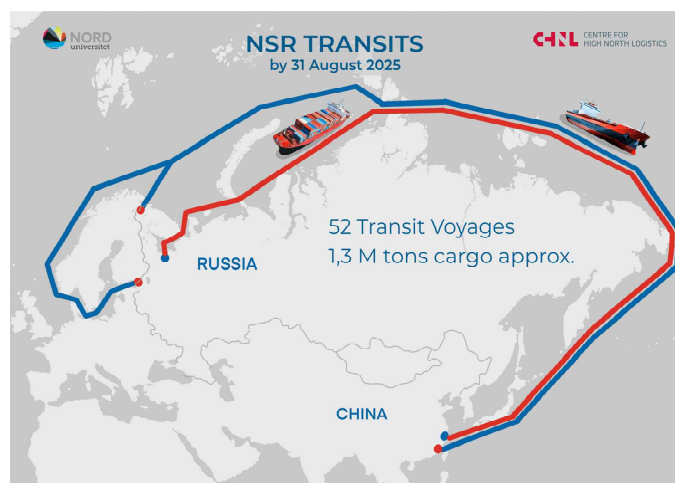
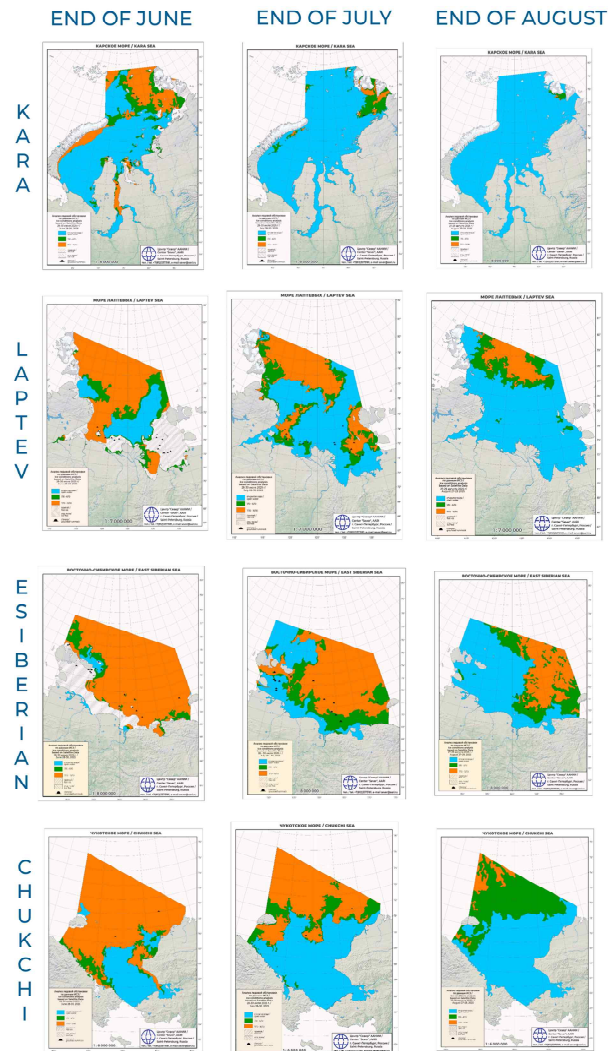
▣ (해빙현황) 북극해 얼음면적은 “겨울(3월) 최대, 여름(9월) 최소”라는 주기로 매년 반복되며, 기후변화로 인해 계속 감소 추세

- 여름철 북극 최소 해빙면적: '79년 700만km² → '24년 438만km²(37% 감소)

▣ (현재운항 사례) 러시아 연안*은 얼음면적이 최소인 9월을 중심으로 상선운항이 가능한 기간('25년 3~4개월, 7~10월 사이**)이 확대 中

- 바렌츠해(북유럽) - 카라해 - 라브테프해 - 동시베리아해 - 척치해(아시아) 포함
- ①기온상승, ②북대서양난류, ③육지유입 감소 등 영향으로 북극해 얼음이 북유럽→동북아시아, 연안→북극중앙해로 후퇴하며 여름철 상선 운항가능한 개방해역(7~10월, Open Water) 발생
- 러시아 연안 월별 해빙변화패턴 : ①(1~3월) 결빙지배, 항로불가 → ②(4~5월) 연안부터 해빙 후퇴시작 → ③(6~8월) 바렌츠해→동시베리아해 순으로 항로 개방 확대 → ④(9월) 최대 개방기 (Open Water 항로 완성) → ⑤(10월) 빠른 재결빙 시작, 항로 축소 → ⑥(11~12월) 전역 결빙, 항로 종료
- 최근 여름철 일반선박이 북극항로를 운항하는 사례*도 발생: ①중국 Newnew Star 컨테이너선 (Tianjin→St. Petersburg, '25.07.25~), ②러시아 Hon Fa벌크선(UST-Luga→Huanghua, '25.07.07~) 등 다수 선박 운항 중

- 여름철(7~10월) 개방해역 발생시 “극지선박인증서(IMO)” 보유 일반선박에 한해 제한적 허용



<2025년 북동항로 해빙 현황(상) 및 통과운항 통계(하) (출처: 노르웨이 노드대학 고북물류센터 (CHNL, Center for High North Logistics) 북동항로 물류보고서)>

제2절 국내 주요 동향

1. 연구 동향



해빙 관측 및 예측모델 개발 현황

- 국내에서는 북극 해빙 예측을 위한 독자적인 해빙모델 개발 및 개선 연구가 체계적으로 수행되고 있지 않으며, 기상청 및 해양과학기술원(KIOST)에서 각각 해외 선진국 지구시스템모델(GCM)을 기반으로 한 일부 수정형 모델을 활용하고 있음
- 기상청은 영국기상청의 UKESM 모델을 기반으로 국내 환경에 맞춰 개발한 K-ACE 지구시스템모델을 보유하고 있으며, KIOST는 미국 GFDL의 CM 시리즈 모델을 기반으로 KIOST-ESM을 구축하여 해양기후 연구에 적용 중

 - 다만, 두 기관 모두 해빙 예측을 위한 전용모델 또는 고해상도 지역모델 개발은 미진하며,
 - 지자체·공공기관의 운항정보 수요에 대응한 응용형 디바이스·예측서비스 개발은 아직 초기 단계
- 극지연구소는 **쇄빙연구선(아라온호)**를 활용한 북극 해역의 여름철 정기 항차 기반 해빙 관측 활동을 수행하고 있으며, 해빙 분포, 두께, 온도, 염분, 해수면 높이 등의 물리자료를 수집하여 극지 해양환경 데이터 구축에 기여하고 있음

 - 특히 UAV(드론) 기반의 영상촬영, RADAR 장비 탑재형 관측, 자율계측장비 투하 등 기술을 시범 적용 중이나, 해빙 예측을 위한 지속적 시계열 자료 확보 및 동계관측 체계는 아직 미흡한 상황임
 - 관측자료는 주로 내부 분석 또는 국제 공동 DB(SOOS 등)로 제한적 공유 중이며, 예측모델과의 연계는 구조적으로 부족
- 대부분의 국내 대학 및 연구기관에서는 NCAR CESM, NOAA GFDL CM, GEOMAR Kiel Climate Model 등 미국 및 유럽의 커뮤니티 지구시스템모델을 활용하여 간접적인 해빙 예측 분석 또는 후처리 중심의 연구를 수행하고 있음
- 일부 기관에서는 COAWST, ROMS-WRF 접합모형 등 지역 기후·해양 접합모델을 활용한 극지환경 재현 실험도 진행되고 있으나, 실측 기반 검증자료 부족과 고해상도 예측을 위한 동적 자료동화 기술 등 핵심역량은 취약한 실정임

나

시사점

- ▣ 국내 북극 해빙 예측 기술은 관측부터 예측까지 전 주기적 역량이 매우 제한적이며, 특히 실측 기반 장기자료 부족과 독자적 예측모델 부재로 인해 정밀한 해빙 예측체계 구축에 한계가 있음
- ▣ 극지연구소를 중심으로 쇄빙연구선을 활용한 해빙 관측이 수행되고 있으나, 이는 여름철 항차 기반 단기 관측에 집중되어 있으며, 동계 관측망 구축, 고해상도 장기 시계열 자료 확보는 미진함
- ▣ 현장 기반의 실측자료가 부족함에 따라, 해빙 예측모델의 성능 검증 및 학습자료 구축에 어려움이 존재하며, AI·통계 기반 예측기술의 실효성을 확보하기 위해서는 지속가능한 관측인프라와 자료공유 체계 구축이 선결과제
- ▣ 관측기술, 수치모델, AI 알고리즘 등 예측기술의 글로벌 개발 속도가 빠르게 진화하고 있어 국내 기술력의 기초 수준 탈피를 위한 국제기술 협력, 인력양성, 전략적 기술도입-국산화 병행이 필요
- ▣ 향후 북극항로 활용이 본격화될 경우, 쇄빙선, 화물선 운항 등 실수요 기반의 항로예측 수요가 급증할 것으로 예상되므로 단기 기술도입에 그치지 않고, 장기적 기술자립을 위한 체계적 투자와 북극 해빙 예측전문 인력 양성전략 수립이 시급

2. 해빙 관측 및 예측모델 개발 관련 정책 동향



정부 국정과제 연계

관련 공약	번호	공약명		
	성장-4-3	북극항로 진출 거점 집중 육성		
국정 과제	연번	국정과제명	주관부처	협조부처
	경제2-1	북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설	해수부	-
실천 과제	연번	실천과제명	주관부처	협조부처
	경제2-1-2	북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점	해수부	-
사업 내용	사업목표	북극항로 개발 및 운영의 상업적 활용을 위해, 우리나라 고유의 과학정보와 지식을 독자적으로 확보하고 이를 기반으로 리스크를 사전에 식별하고 대응하는 체계를 구축		
	사업기간	'26~'30		
	도출성과	① '28년까지 한국형 북극항로 운영모델 시험버전 개발 및 북극이사회 워킹그룹 Polar Code 대응 환경자료 제출 ② '30년까지 항로·항구정보 포함하는 한국형 북극항로 운영모델 시각화 플랫폼 구축 및 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 산출		
	기대효과	운영모델, 환경자료 및 시나리오 개발을 통한 과학적·지정학적 북극항로 운영 리스크 저감으로 지속가능한 항로 운영 지원		

- (경제2-1) 북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설 : (경제2-1-2) 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점

- 본 사업은 한국형 북극항로 운영모델을 개발하여, 국정과제가 지향하는 북극항로 개척의 과학기반 인프라 확립에 기여. 특히 극한 해역에서의 운항 안전성 향상위한 핵심 기술요소와 정보를 제공하여, 실효적인 북극항로 운용 체계를 뒷받침함
- 최종 산출물로 제공될 Polar Code 대응 환경자료* 및 연도별·월별 북극항로 가용성 예측 시나리오**는 북극항로 운영의 불확실성과 지정학적 리스크에 대한 실질적 대응 수단이 될 수 있음. 이는 국제적 규제 강화에 선제적으로 대응하고, 우리 선박의 안정적 운항 여건을 확보하는데 중요한 역할을 수행함

* 극지방 국제항해 안전 및 환경 보호를 위한 국제규범에 대응, 선박 방사소음, 블랙카본 및 오염물질 모니터링 및 북극이사회 작업그룹(PAME)에 보고

** 실질적 항로 운영정보(운항허가·쇄빙지원계획·항로안전정보) 확보까지 포함하는 종합 시나리오 산출

- 「해양수산과학기술육성법」 제8조
 - 해양수산부장관은 해양수산과학기술 연구개발 과제를 선정하고, 해양수산과학기술 연구개발사업 및 전문인력 양성사업 추진
- 「해양수산발전기본법」 제17조 및 제20조
 - 정부는 해양과학조사계획을 수립하고 해양에 대한 과학조사 및 관측 실시
 - 남북극 해양과학기지 설치 및 해양 조사·연구 활성화에 필요한 지원계획 수립
- 「극지활동진흥법」 제8조 및 제12조
 - 국가는 극지 관련 연구개발 촉진 및 활성화를 위해 연구개발사업 지원
 - 극지활동을 위한 국제협력 촉진 지원
- 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」 제8조('24.10.25 시행)
 - 해양수산부장관은 해양·극지의 환경 및 생태계에 관한 기후예측 정보를 생산하고, 정보통신망에 게재하는 등 국민에게 알릴 의무

정부정책

- 「제1차 극지활동 진흥 기본계획」('23~'27)
 - 남·북극 미지영역 탐사 확대 및 국제공동연구 기반 기후문제 해결 주도
- 「제5차 과학기술기본계획」('23~'27)
 - 전략3 과학기술 기반 국가적 현안해결 및 미래대응 - 추진과제 3-7 우주·해양·극지 개척을 통한 과학영토 확대
 - 12대 국가전략기술 - ⑥우주항공·해양 기술, ⑨인공지능(AI) 활용 기술
- 「제2차 해양수산과학기술육성 기본계획」('23~'27)
 - 10대 해양수산 전략기술인 ⑨극지연구거점 확보에 필수적인 예측기술
- 「해양수산기후변화대응R&D 강화 로드맵」('21~)
 - 기후변화 진단·예측으로 국민 체감도 높은 정보 생산·제공 및 기후변화 적응·리스크 예방 위해 재해 해양수산 기후변화 K-방어시스템 구축
- 「제3차 국가 기후변화 적응대책」('21~'25)
 - (정책②)극지 감시정보 생산 및 확대로 기후변화 감시역량 강화
- 「제3차 국가 기후변화 적응 강화대책」('23~'25)
 - (정책①)과학적 기후 감시·예측 및 적응기반 고도화 - 고해상도 기후변화 예측자료 생산 및 종합적 기후리스크 적응정보 제공

- 「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획」(’23~’32)
 - 과학기술 혁신을 통한 기후위기 대응과 新시장 선점을 위한 3대 전략 - 전략2. 기후변화 적응을 위한 기후변화 감시·예측 기술 개발



시사점

- ▣ 정부 국정과제와 완전하게 연계되는 전략적 중점과제
 - 본 과제는 이재명 정부(가정) 국정과제 「형제2-1 북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설」 및 실천과제 「형제2-1-2 북극항로 개척을 통한 신무역로 선점」과 직접 연계됨.
 - 특히 과학정보 기반의 한국형 북극항로 운영모델 구축, 예측 시나리오 생산, 국제표준 대응자료 (Polar Code) 제출 등은 국정과제 실현을 위한 핵심 실행 수단임.
- ▣ 정책·제도 기반이 명확하고 다중 부처 전략과제와 연계성 확보
 - 「제5차 과학기술기본계획」, 「제1차 극지활동 진흥 기본계획」, 「해양수산기후변화 대응 R&D 로드맵」 등 다수의 정부 계획에서
 - 극지 연구, 기후 예측, AI 기반 기술개발이 국가전략기술 및 중점 투자 분야로 명시되어 있음.
 - 관련 법령(해양수산과학기술육성법, 극지활동진흥법, 기후변화 감시·예측법 등)도 과제 추진의 법적 정당성을 강화함.
- ▣ 예측기술을 통한 정책적 효과와 파급력 확보 가능
 - 북극항로 운영의 가장 큰 리스크인 기상·해빙 예측 불확실성에 대응함으로써, 국가 차원의 해양 물류 전략 및 외교·안보 전략 수립에 실질적 기여 가능
 - 예측자료는 Polar Code 이행, 북극이사회(PAME) 보고, 해운사 운항계획 수립, 항만대응 등 다양한 정책 영역에서 활용 가능
- ▣ 과학기반 외교 및 국제규범 대응 수단으로 기능
 - 우리나라가 직접 생산한 정량적 예측자료와 운항 시나리오는 국제사회에서의 정책 발언권 및 협상력 강화에 기여
 - 이는 향후 북극에서의 과학기반 외교 및 국제규범 제정 참여(IMO, Arctic Council 등)에서 공신력 있는 데이터 제공국으로서의 위상 확보로 연결됨
- ▣ 정부 정책과 완전히 연동된 중장기 투자 기반 확보 필요
 - 본 과제는 정부의 중장기 극지전략, 기후위기 대응, AI 기술 육성 정책들과 정합성이 높으며,
 - 2026~2030년 단계별 실행계획을 바탕으로 한 지속적이고 안정적인 국가투자 기반 마련이 필요

제3절 요약 및 시사점

- ▣ 북극 해빙 유실에 따른 기후·해양계 파급 영향
- ▣ 북극 해빙 면적과 두께의 급격한 감소는 알베도 효과(반사율) 저하를 통해 지구 온난화를 가속화시키며, 북극 지역 기압계·제트기류의 불안정을 유발하여 북반구 중위도 지역 이상기후 빈도 증가에 영향을 미친다는 연구 다수
 - 북극 해빙 감소와 한도 겨울철 한파 발생의 연계성을 밝힌 관측·모델 기반 분석 연구가 지속 발표되고 있음
 - 해빙은 바다 위에 떠 있으므로 녹아도 해수면 상승에 직접 영향은 없지만, 해빙이 줄면 그 뒤의 육상 빙상(빙하, 빙봉) 유출이 가속화되어 장기적 해수면 상승을 유발할 수 있음
- ▣ 해빙 유실이 초래하는 항로 리스크 증가
- ▣ 해빙 감소는 북극항로의 가시적 개방을 촉진하지만, 예측되지 않은 급격한 기상변화·결빙에 의한 선박 좌초, 연료 낭비, 안전사고 등 운항 리스크를 동반
- ▣ 국내·외 사례

국내외	사례내용
▪ 국외	▪ 주요 북극권 국가들은 항로 개방에 대비해 자국 중심의 북극항로 정보 및 인프라를 선점 - 러시아는 NSR(Northern Sea Route) 전 구간에 대해 쇄빙 서비스, 운항 허가제, 실시간 해빙 정보 등을 국가 독점 체계로 운영 - 중국은 TSR(Transpolar Sea Route) 최초 시험항해(2020) 등을 통해 북극 항로 진출을 확대하며 “빙상 실크로드” 전략을 추진 중 ▪ 북극항로 예측과 관측정보 제공 분야에서 국제 기술 주도권 경쟁이 심화 - EU(Copernicus), 노르웨이(MET Norway), 미국(NSIDC), 캐나다(CIS) 등은 자국 중심 위성 기반 해빙예측 정보를 선박 및 기업에 제공 중 - 각국은 Polar Code 대응, 해양 오염 모니터링, 북극 생태계 정보 확보 등을 위한 과학 기반 항행 지원체계를 강화
▪ 국내	▪ 민간기업은 북극항로 시범운항 및 기술개발을 추진 중이나, 과학 기반 항로 운영체계는 미흡 - 팬오션, 현대글로벌비스 등은 쇄빙선 지원 및 Ice Navigator 동승을 통해 NSR 시범 운항에 참여했으나, 기상·해빙 예측 등 자국 기술 의존도 높음 - HD현대는 AI 기반 항로 최적화 솔루션 ‘오션와이즈(OceanWise)’를 자체 개발 중 ▪ 정부는 북극항로 개척을 국가전략으로 설정하고 정책적 기반을 구축 중 - 해양수산부는 북극항로 전담 TF 및 부산항만공사 내 전담 부서를 신설(’25), 한국선급(KR)도 ‘북극항로 지원단’ 구성 - 「북극항로 구축 지원 특별법안」(’25.03.31 발의)과 「제5차 과학기술기본계획」을 통해 과학영토 확대 및 기후대응 R&D의 정책 정합성 확보



Korea Polar Research Institute

남극해 급격한 온난화 대응
남극 해빙 예측기술 개발
위한 기획연구

제3장 기술수준 분석

제1절 극지연구 기술수준 분석

제2절 특허 기술추세 분석

제3절 논문 분석

제4절 결론 및 시사점

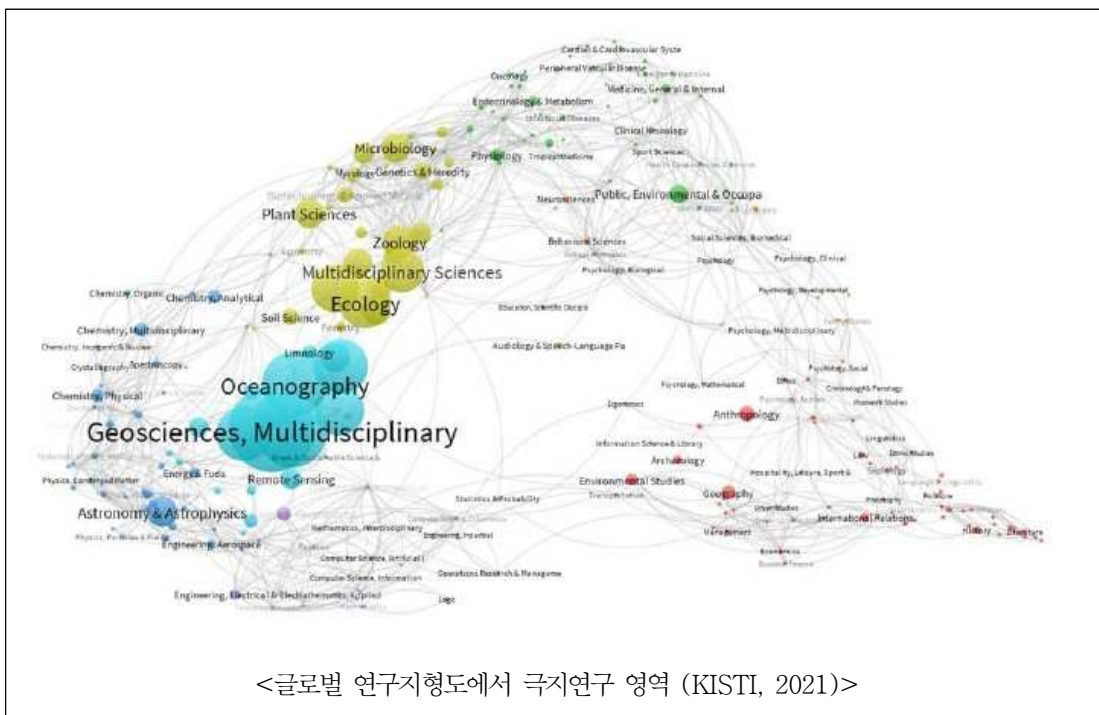
제1절 극지연구 기술수준 분석

1. 극지연구 글로벌 수준 분석



기후변화 연구의 최적지이자 자원경쟁의 각축장으로서 극지

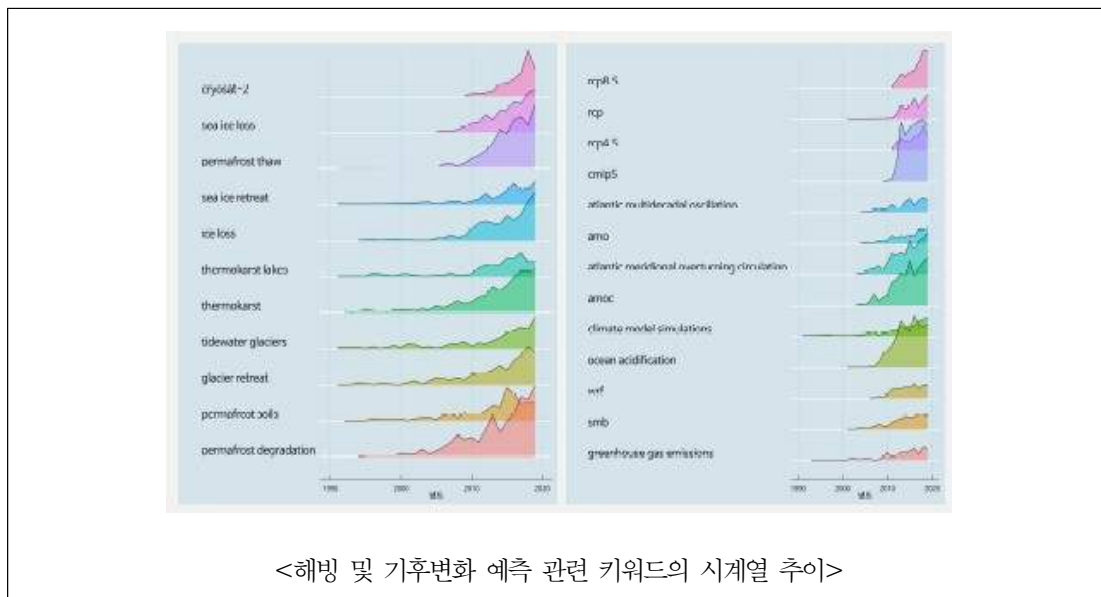
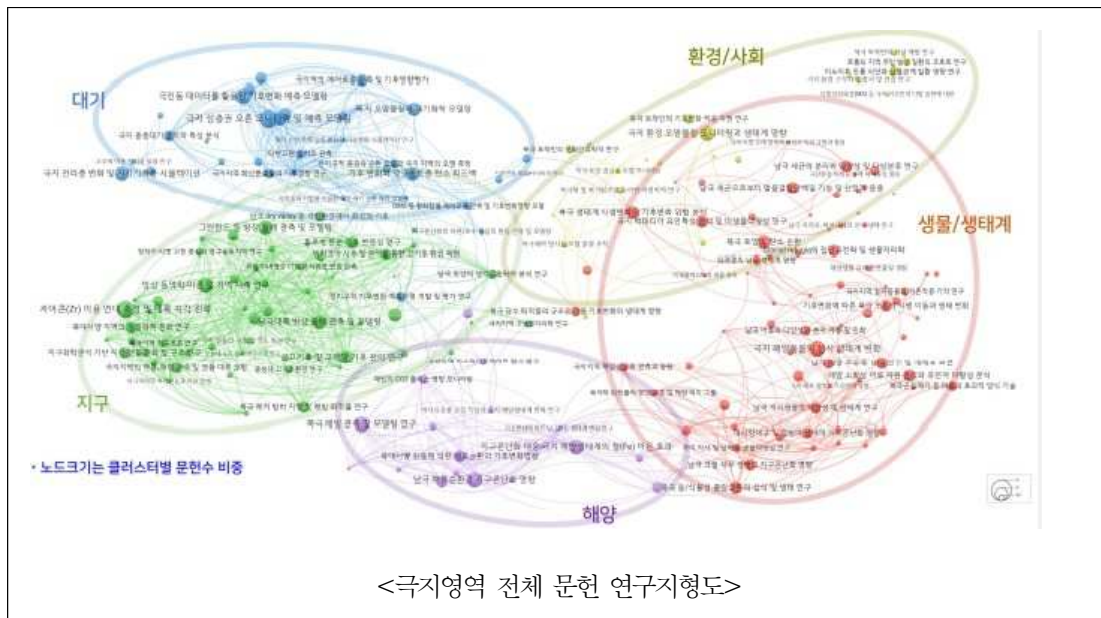
- 기후변화 연구의 최적지이자 글로벌 자원경쟁 심화로 인해 극지 연구에 대한 관심이 꾸준히 증가하고 있으며, 극지연구의 중요성이 더욱 커지면서 남극과 북극에 대한 영향력 확대를 위한 국가 간 경쟁이 치열
- 그러나 남극을 제외한 북극연구 프로젝트는 건수와 펀딩규모에 있어서 글로벌 전체 펀딩의 1% 수준인 것으로 나타났으나 우리나라 극지연구 투자는 남극과 북극을 포함하여 2020년 0.48%에 불과
- 극지분야 204개 클러스터(세부 연구주제 혹은 연구영역) 연구지형도는 아래와 같으며, 노드크기는 클러스터별 문헌 수 비중에 비례하여 표현함. 204개 클러스터는 크게 대기, 환경·사회, 생물생태계, 해양, 지구 5개 거시영역으로 구분하여 분석

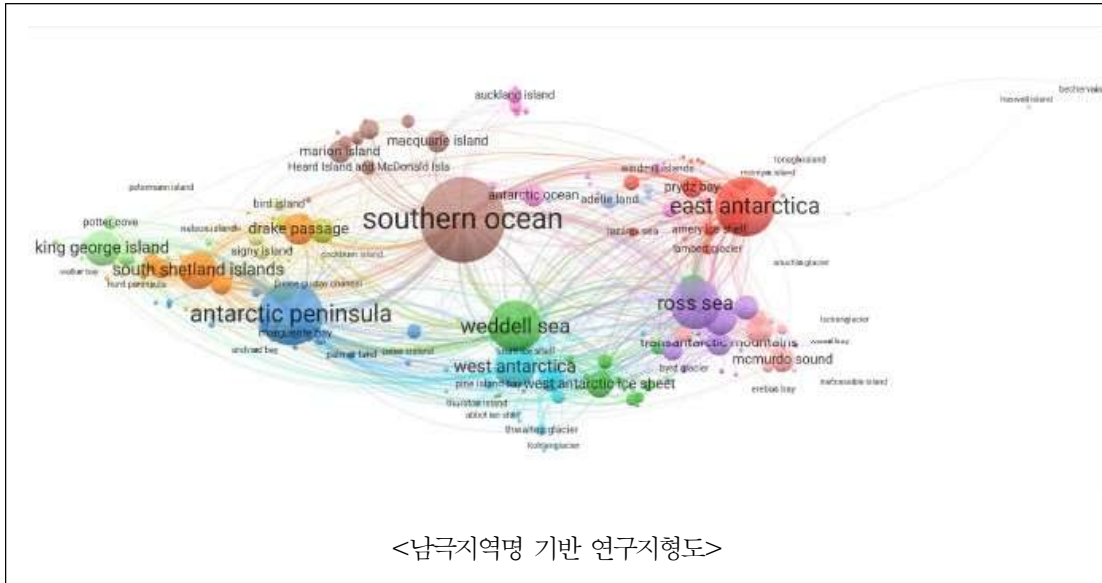


- 그 결과 극지분야연구 키워드에 대해 전체 출현빈도에서 최근 5년(2015~2019)의 빈도가 50%를 상회하는 키워드 중에서 급상승 키워드 분석 결과 지구온난화에 따른 해빙, 극지 미생물 유전체 분석, 기후변화 예측 3개 그룹이 두드러짐

▣ 전체 키워드 기반 극지분야 글로벌 연구지형도

- 남극 지역은 남극반도와 동남극대륙, 웨들해와 로스해에서 많은 연구가 수행
- 덴마크 노르웨이 캐나다 핀란드 러시아는 북극 연구 비중이 높으며, 뉴질랜드, 호주, 이탈리아, 스페인은 남극 비중이 높게 나타남. 한국은 남극과 북극의 연구비중이 비슷한 것으로 나타남. 극지연구 선도기관 중 호주 AAD와 영국 BAS는 남극 지역연구 비중이 높으며, 노르웨이 NPI, 러시아 AARI, 미국 NOAA는 북극 지역연구 비중이 높게 나타남.





■ 극지연구소 연구 성과 특성 분석 (Clarivate professional Service, 2024)

- 지구과학 분야의 논문이 농업, 환경 및 생태와 함께 큰 비중을 차지하고 있음.
- 지구과학 분야는 2013년부터 고인용 논문의 증가와 함께 분야별 영향력 지수가 상승 중. 최근 10년간 고인용 논문 생산성은 줄어 들고 있는 경향.
- 해양학, 기상학 및 대기과학은 논문 수 뿐만 아니라 고인용 논문 비율 및 분야별 영향력 지수 등에서 전반적으로 우수한 성과를 보임. 꾸준한 연구 성과와 함께 높은 국제 공저율을 보이며 상위 저널 투고율이 높음.
- 연구활동이 활발하며 영향력이 높은 주제는 해양학, 기상학, 대기과학으로 국제 공저 비율이 국내 공저 비율의 두 배를 넘으며 국제 협력을 통한 연구가 활발함. 국제 협력에 의해 배출되는 논문들이 대체로 높은 영향력을 보임.
- 기후 변화 주제는 국제 공저율이 100%로 국제적인 연구 협력이 활발히 진행되고 있으며 분야별 영향력 지수와 상위 10% 논문 비율이 높음. 연구 확대와 협력 강화를 통해 추가적인 영향력 향상이 가능할 것으로 전망.



극지분야 유망연구영역 도출 결과

- 극지연구 유망연구영역 도출을 위한 선별 기준에 따라 유망성 탐지 지표를 종합하여 33개의 유망 연구영역을 도출한 결과, 극지지역 온난화 장기 기후변화 예측 및 모델링이 두 번째 유망한 주제로 도출

연번	cluster_id	클러스터명	논문 수	유망성 종합값
1	1183	원격영상 데이터를 활용한 극지지역 매핑	123	0.685
2	1033	극지지역 온난화 장기 기후변화 예측 및 모델링	2,179	0.679
3	1026	기후 변화와 영구동토층 탄소 피드백	2,260	0.575
4	1072	그린란드 등 빙상 융해 관측 및 모델링	2,401	0.570
5	1085	남극대륙 빙상 융해 관측 및 모델링	2,388	0.530
6	1182	환경 DNA와 메타바코딩 기반 극지생태계 모니터링	113	0.510
7	1009	북극 생태계 식생변화의 기후변화 위험 분석	1,882	0.504
8	1011	극지 박테리아 유전특성 분석 및 미생물다양성 연구	1,689	0.487
9	1052	기후변화로 인한 극지지역 용존유기물 변동 측정	1,068	0.475
10	1084	지구온난화에 따른 베링해의 해양생태계 변화	1,245	0.475
11	1241	기후변화에 따른 남극반도 생태계 변화 연구	195	0.463
12	1063	극지지역 가스하이드레이트 탐사 연구	817	0.456
13	1059	남극진동과 남반구 기후변화 시뮬레이션	1,767	0.454
14	1034	해수면 변동 예측 연구	1,549	0.450
15	1013	극지지역의 에어로졸 관측 및 기후영향평가	1,539	0.441

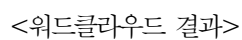
<극지연구 유망연구영역>



극지지역 온난화 장기 기후변화 예측 및 모델링

- ▣ 극지는 기후변화에 따른 반응이 매우 빠르고 민감하게 나타나는 지역으로 지구의 기후 변화를 감지하고 예측하기 위한 최적지임 지구 온난화에 대한 장기적인 예측 및 모델링으로 기후변화가 지구환경에 미치는 영향을 연구
- 극지지역 온난화 장기 기후변화 예측 및 모델링 클러스터의 유망성 탐지 지표 산출 결과, 신규성이 204개 클러스터 중에 가장 높고, 성장성, 응집성도 높은 수준임. 딥러닝 모형에서 성장가능성이 높은 것으로 예측됨. 또한, KOPRI의 영향력은 높은 편임.
- 극지지역 온난화 장기 기후변화 예측 및 모델링 클러스터를 구성하는 논문 수는 2,179편임. 2005년 이후 연평균증가율 33.1%로 논문 수가 점차 증가하고 있음.
- 유엔기후변화협약에 의한 교토의정서 발효(2005년)나 파리협약(2015년) 등 지구온난화에 대응한 기후변화의 감시·예측 활동이 강화된 결과가 반영된 것으로 보임.
- 해당 클러스터에서 분류가 수록된 논문은 2,101건이며, Meteorology & Atmospheric Sciences(64.16%), Geosciences, Multidisciplinary(25.18%), Environmental Sciences(9.90%), Oceanography(5.85%)등의 분야가 해당 클러스터에 분포함
- 기후변화의 예측과 모델링을 위한 기상학과 대기과학, 지질 및 환경과학 기반 및 응용기술이 요구됨.

- NOAA(9.04%), AWI(5.74%), NIPR(1.56%), KOPRI(1.38%) 순으로 해당 클러스터의 연구를 수행하는 것으로 나타남.
- 미국 NOAA는 우주기상 예측 및 예보 프로그램 등 다양한기후변화 프로젝트에 막대한 예산을 투입하여 관련 연구를 수행하고 있으며, 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC) 등 국제기구와의 협력활동도 활발한 편임. 장기 기후변화 예측 및 모델링 연구분야에서 KOPRI의 활동은 저조한 것으로 나타남.
- 주요 벤치마킹 기관 중에 AWI, BAS, NOAA, NIIPR, NPI 등이 우수모형을 보임.
- PRIC을 제외한 벤치마킹 기관 모두 Top10% 구간에 분포하고 있어 극지지역 온난화 장기 기후 변화 예측 및 모델링 연구에서 벤치마킹 기관들의 영향력이 큰 것으로 보임.
- KOPRI는 전 구간에 걸쳐 분포하고 있으며, Top10% 구간의 비율이 가장 높은 우수모형을 보임.
- 해당 클러스터에서 논문 수 기반의 활동도 지수는 NIPR, NOAA, AARI, PRIC, KOPRI가 전체 평균(0.5) 이상이며, 매력도 지수는 NIPR, NOAA, KOPRI가 전체평균(0.5)을 상회함. KOPRI는 해당 영역에서 활동이 활발하고 영향력 측면에서도 높은 수준을 보임.
- 해당 클러스터 내의 분석대상 키워드는 개이며 8,410 , 이 가운데 키워드 매핑에 사용한 키워드는 11회 이상 출현한 1,503개임. VOSviewer 해상력 1.0, 최소 클러스터 구성키워드 50개인 경우, 극지지역 온난화 장기 기후변화 예측 및 모델링 클러스터는 4개의 영역으로 나뉨.
- 극지지역 온난화 장기 기후변화 예측 및 모델링 클러스터의 키워드를 워드클라우드로 보인 결과, reanalysis, cmip5, ensemble, intercomparison, sea ice loss, earth system models 등이 주요 키워드로 나타남.
- 기후변화 장기 예측에 소요되는 해빙 감소(sea ice loss) 등의 재분석자료(reanalysis)의 수집/분석과 CMIP5 기후모델, 지구시스템모델, 앙상블 모델 등 다양한 모델링 기법이 요구되는 연구 분야임.



제2절 특허 기술수준 분석

1. 해빙 관련 특허 기술수준 분석



해빙과 남북극 해빙 키워드로 국내외 특허 분석 결과

□ 해빙(sea ice) 관련 특허

국내	↓	해외특허	↓	science ON ?	바로가기	IP-NAVI	바로가기
▶ 특허실용:	15,193	▶ 미국:	14,662	▶ 논문:	945,157	▶ 판례:	-
▶ 디자인:	324	▶ 유럽:	595	▶ 저널:	948	▶ 분쟁:	-
▶ 상표:	-	▶ 일본:	1,265	▶ 전체:	946,105	▶ 전체:	-
≡ 전체검색 결과: 978,144							

□ 북극 해빙(arctic sea ice) 관련 특허

국내	↓	해외특허	+	science ON ?	바로가기	IP-NAVI	바로가기
▶ 특허실용:	40	▶ 미국:	32	▶ 논문:	1,044,680	▶ 판례:	-
▶ 디자인:	1	▶ 유럽:	19	▶ 저널:	1,290	▶ 분쟁:	-
▶ 상표:	-	▶ 일본:	9	▶ 전체:	1,045,970	▶ 전체:	-
≡ 전체검색 결과: 1,046,071							

○ 국내 특허

출원번호	발명의명칭	발명의명칭(영문)	출원일자
1020140193446	북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법	SYSTEM AND METHOD FOR PREDICTING ARCTIC SEA ICE CONCENTRATION	2014.12.30
1020150016834	통계적 확률 예측 기반의 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법	SYSTEM AND METHOD FOR PREDICTING ARCTIC SEA ICE CONCENTRATION BASED ON STOCHASTIC PREDICTION	2015.02.03
1020170074871	북극항로의 중기 기상정보 실시간 예측방법	Real-Time Mid-Term Prediction Method Of Sea-Ice Information In Arctic Sea Route	2017.06.14
1020220022328	인공지능 기반의 북극 해빙 예측 방법 및 장치	METHOD AND APPARATUS FOR PREDICTING SEA ICE OF ARCTIC BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE	2022.02.21
2020100010668	빙해선박의 얼음부착 방지장치	Apparatus for prohibiting ice sticking at arctic sea vessel	2010.10.18
1020190052838	실 극지해역에서의 빙저항 계측 시스템	SYSTEM FOR MEASURING ICE RESISTANCE IN REAL SEA OF ARCTIC REGION	2019.05.07
1020150061293	북극해빙농도 통계예측 방법 및 시스템	ARTIC SEA ICE STATISTICAL PREDICTION METHOD AND SYSTEM	2015.04.30
1020190030912	극지운항선박의 빙저항 감소를 위한 온수분사장치	APPARATUS OF INJECTING HEATED WATER FOR REDUCING ICE RESISTANCE IN ARCTIC VESSEL	2019.03.19

1020200125380	극지운항선박의 씨체스트 파이프 막힘방지 장치 및 이를 구비한 선박	ANTI-BLOCKING APPARATUS FOR SEA CHEST PIPE OF ARCTIC VESSEL AND VESSEL INCLUDING THE SAME	2020.09.28
1020140192038	극지용 선박의 냉각수 제어시스템	COOLING WATER CONTROL SYSTEM OF ARCTIC VESSEL	2014.12.29
1020120094749	태양 광 발전을 이용한 빙해 선박	ARCTIC SEA VESSEL USING SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION	2012.08.29
1020090076387	배의 물속 및 물위 몸체를 연결하기 위한 북극의 무거운-톤수의 운반체 및 얼음-내성의 파일론	ARCTIC HEAVY-TONNAGE CARRIER AND ICE-RESISTANT PYLON FOR CONNECTING THE SHIP UNDERWATER AND ABOVE-WATER BODIES	2009.08.18
1020117028499	부유 빙해 선박용 계류 시스템	MOORING SYSTEM FOR FLOATING ARCTIC VESSEL	2010.02.02
1020190011006	냉각수 제어 시스템을 갖는 극지용 선박 및 상기 극지용 선박에서의 냉각수 제어 방법	ARCTIC VESSEL HAVING COOLING WATER CONTROL SYSTEM AND METHOD FOR CONTROLLING COOLING WATER IN THE ARCTIC VESSEL	2019.01.29
1020220145975	극지 운항 선박의 통합 상태 모니터링 시스템 및 방법	INTEGRATED CONDITION MONITORING SYSTEM AND METHOD FOR ICE-GOING VESSELS	2022.11.04
1020157032064	극지의 신축형 이동식 해양 시추 유닛	ARCTIC TELESCOPING MOBILE OFFSHORE DRILLING UNIT	2014.03.18
1020100109292	북극 해양에서 분리한 지질 고생산 미세조류 클라미도모나스 세포주 및 이의 용도	Microalgae Chlamydomonas strain high-producing lipid isolated from arctic ocean and uses thereof	2010.11.04
1020130156567	선박 폐열을 이용한 빙해 방한 시스템을 구비한 선박	Winterization for ice classes vessel using waste heat of vessel system	2013.12.16
1020130002313	북극 해양에서 분리한 전분 및 지질 고생산 미세조류 클로렐라 세포주 및 이의 용도	Microalgae Chlorella strain high-producing starch and lipid isolated from arctic ocean and uses thereof	2013.01.09
1020130158636	선박 폐열을 이용한 간접 열교환 장치를 통한 빙해 방한용 유기 랭킨 사이클 시스템을 구비한 선박	A vessel equipping Organic rankine cycle system for ice classes winterization via indirect heat transfer of waste heat in a ship	2013.12.18
1020080114430	박리성 도료를 이용한 내빙도료 도장 방법	PAINTING METHOD OF ICE RESISTANT PAINT USING PEELABLE COATING	2008.11.18
1020190111905	쇄빙선	ICE BREAKER	2019.09.10
1020137022610	극지 생산 타워를 갖는 해저 생산 시스템	SUBSEA PRODUCTION SYSTEM HAVING ARCTIC PRODUCTION TOWER	2011.12.20
1020167004510	연안 및 북극해 연안 영역에서의 파이프라인 매설	PIPELINE BURIAL IN OFFSHORE AND ARCTIC OFFSHORE REGIONS	2014.07.01
1020190179408	극지환경용 동적위치유지 모형시험 시스템	Dynamic positioning model test system for polar environments	2019.12.31
1020160115889	플라보박테리움(Flavobacterium) ASB3-3 균주, 이를 통한 엑소폴리사카라이드(Exopolysaccharide, EPS) 및 이의 생산방법 및 이를 포함하는 항동결용 조성물	Flavobacterium sp. ASB3-3, EPS produced from the ASB3-3, and method for production of the EPS and composition of cryoprotectant	2016.09.08
1020247005477	로봇식 요리용キッチン에서의 음식 준비를 위한 방법 및 시스템	METHODS AND SYSTEMS FOR FOOD PREPARATION IN A ROBOTIC COOKING KITCHEN	2015.02.20
1020157026331	아연-유도 균열에 저항성인 강판 및 이의 제조 방법	Steel plate resistant to zinc-induced crack and manufacturing method therefor	2014.03.05
1020180093631	지표면 알베도를 사용하지 않는 지표면 흡수 단파복사 산출 방법 및 장치	Method and Apparatus for Absorbed Shortwave Radiation Calculation Without Using Surface Albedo	2018.08.10
1020167022615	로봇식 요리용キッチン에서의 음식 준비를 위한 방법 및 시스템	METHODS AND SYSTEMS FOR FOOD PREPARATION IN A ROBOTIC COOKING KITCHEN	2015.02.20
2020140000101	구명보트 진수장치	LAUNCHING DEVICE OF LIFEBOAT	2014.01.06

1020197001 708	베리 및 과일 재료를 생활성 분획으로 전환시키는 열수 공정	HYDROTHERMAL PROCESS FOR CONVERTING BERRY AND FRUIT MATERIALS TO BIOACTIVE FRACTIONS	2017.06.15
1020197021 520	식물 재료를 항균 활성을 보유하는 식물 추출물로 전환시키는 방법	PROCESS FOR CONVERTING PLANT MATERIALS TO PLANT EXTRACTS HAVING ANTIMICROBIAL ACTIVITY	2017.12.20
1020167030 216	재구성된 식물 물질 및 이의 패키징, 래핑 및 식품 용구용 용도	RECONSTITUTED PLANT MATERIAL AND ITS USE FOR PACKAGING, WRAPPING AND FOOD APPLIANCES	2015.03.27
1020017005 561	해양 케이슨 구조물	Offshore Caisson	1999.09.30
1020227007 320	2차 대사산물의 생산을 위한 마리노모나스 EF1 및 로도코커스 EF1	MARINOMONAS EF1 AND RHODOCOCOCCUS EF1 FOR THE PRODUCTION OF SECONDARY METABOLITES	2020.07.28
1020130031 889	변이서열을 포함하는 결빙방지 단백질 및 그 용도	Antifreeze protein with mutation and its use	2013.03.26
1020090045 921	밸러스트 탱크 히팅 장치 및 방법	BALLAST TANK HEATING APPARATUS AND SAME METHOD	2009.05.26
1020027012 682	신규 화장품, 퍼스널 케어, 클리닝제, 및 생체활성 유리틀포함하는 영양 보충 조성물 및 이의 제조방법과 용법	NEW COSMETIC, PERSONAL CARE, CLEANING AGENT, AND NUTRITIONAL SUPPLEMENT COMPOSITIONS COMPRISING BIOACTIVE GLASS AND METHODS OF MAKING AND USING THE SAME	2001.03.27
1020080084 628	구명보트 장치	Lifesaving Boat Apparatus	2008.08.28

● 국외 특허

출원번호	발명의명칭	출원번호	출원일자
02921444	Processes for removing salts and other soluble substances from sea water (바닷물로 부터의 염과 다른 녹는 물질을 제거하기 위한 과정)	02921444	1956.10.12
03431735	POWERPLANTS AND WATER SUPPLY SYSTEM THEREFOR WITHIN THE ETERNAL ICE (영원한 얼음 안에 있는 추진기관과 그 급수 시스템)	03431735	1964.10.05
03139054	Method and apparatus for de-icing submerging snorkels (submerging 잠수용 플라스틱 관을 디아이스하기 위한 방법과 장치)	03139054	1960.10.19
03267416	Ice profiling sonar system (얼음 프로파일링 수중 음파 탐지 시스템)	03267416	1964.02.25
03572273	APPARATUS FOR BREAKING A LAYER OF ICE ON A BODY OF WATER BY REPETITIVE COMBUSTIVE EXPLOSIONS (반복적 연소 폭발로 수역 위의 얼음의 층을 깨기 위한 장치)	03572273	1969.08.06
03370432	Ice protective sleeve for pilings (쌓기를 위한 Ice 보호 슬리브)	03370432	1965.08.03
RE028332	No english title	RE028332	1973.10.25
03563041	OFF-SHORE SHIP MOORING INSTALLATION (역외 선박 계선소 설치)	03563041	1969.03.14
03520358	SUBSEA PRODUCTION SYSTEM (해저 생산 시스템)	03520358	1967.06.29
01541820	Machine for working uppers over lasts (lasts 위의 작동하는 상부를 위한 기계)	01541820	1920.06.24
03391734	Subsea production satellite (해저의 생산 위성)	03391734	1966.01.19
03401746	Subsea production satellite system (해저의 생산 위성 시스템)	03401746	1965.12.10
03122720	Target range and material analyzer system (목표 범위와 재료 분석기 시스템)	03122720	1961.06.02
RE027745	No english title	RE027745	1971.04.09
03552903	SUBSEA PRODUCTION SATELLITE (해저의 생산 위성)	03552903	1968.06.28

03502046	METHOD OF TRANSPORTING AND STORING LARGE QUANTITIES OF WATER (많은 양의 물을 운반하고 저장하는 방법)	03502046	1968.05.06
03469627	SUBSEA PRODUCTION SYSTEM (해저 생산 시스템)	03469627	1967.06.29
03454083	FAIL-SAFE SUBSEA FLUID TRANSPORTATION SYSTEM (이중 안전장치 해저의 유체 운송 시스템)	03454083	1967.06.29
01903074	Meter (계량기)	01903074	1929.04.06
02738655	No english title	02738655	
03217791	Means for maintaining perma-frost foundations (영구 동토층 파운데이션을 유지하기 위한 수단)	03217791	1964.07.30
02859457	Life rafts (구명 뗏목)	02859457	1955.07.05
03262364	Periscope (잠망경)	03262364	1961.05.04
03444570	WET-DRY SURVIVAL SUIT (습건 생존 슈트)	03444570	1966.04.18
02866881	Temperature controlled electrically heated window and window wiper system (온도 전기적으로 가열된 윈도우 제어되고 윈도우 와이퍼 시스템)	02866881	1955.12.19
01369260	Manufacture of bellows-tongue overshoes (bellows-tongue 오버슈즈의 제조)	01369260	1919.04.14
01501053	Machine for shaping uppers over lasts (lasts 위의 셰이핑 상부를 위한 기계)	01501053	1919.06.13
02447373	Oil burner system comprising a vaporizing block (vaporizing 블록을 포함하는 오일 버너 시스템)	02447373	1944.05.27
02852593	Electrolytic battery assembly (전해질 배터리 어셈블리)	02852593	1955.05.13
02662043	Thermally insulated building structures, including panels (패널을 포함하는 열적으로 절연된 건물 구조)	02662043	1951.05.08
02630300	ICE WORTHY JACK-UP DRILLING UNIT WITH GAS AGITATED ICE PREVENTION (가스 여기된 얼음방지를 가진 ICE 훌륭한 잭업 천공 유닛)	11775899.5	02630300
03036380	PIPELINE BURIAL IN OFFSHORE AND ARCTIC OFFSHORE REGIONS (국외의 및 북극 국외의 영역에 있는 파이프 라인 매립식)	14742117.6	03036380
02192260	RISER DISCONNECT AND SUPPORT MECHANISM (라이저 미접속과 지지 메카니즘)	09177235.0	02192260
02527880	Declination Compensation for Seismic Surveys (지진 조사를 위한 편각 보정)	12168832.9	02527880
02517570	Methods and feed compositions for masking of fish semiochemicals (피쉬 신호 물질의 마스킹을 위한 방법과 사료 조성물)	12172547.7	02517570
04276070	METHOD OF PRODUCING A SOLID METAL CARBONATE HYDRATE (고체 금속 카보네이트 수화물을 생산하는 방법)	23170489.1	04276070
03645380	CONTINUOUS VERTICAL TUBULAR HANDLING AND HOISTING BUOYANT STRUCTURE (연속적인 수직의 관형 핸들링과 권상 부양성 구조)	18824157.4	03645380
02947970	METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING ELECTRICAL POWER USAGE BASED ON EXACT SUN ELEVATION ANGLE AND MEASURED GEOGRAPHICAL LOCATION (정확한 태양 고도각과 측정된 지리적인 위치를 근거로 한 전원 사용을 방제하기 위한 방법과 장치)	15168312.5	02947970
03415710	SHOCK WAVE GENERATOR USING AN EXPLOSIVE PELLET (폭발 펠릿을 이용하는 쇼크파 제너레이터)	18180064.0	03415710
02984280	APPARATUSES AND METHODS FOR GENERATING SHOCK WAVES FOR USE IN THE ENERGY INDUSTRY (에너지 공업에 사용되는 쇼크파를 생성하기 위한 장치와 방법)	14782283.7	02984280



02404930	Glucanases, nucleic acids encoding them and methods for making and using them (글루카나제, 그들을 만들고 이용하기 위한 그들과 방법을 암호화하는 핵산)	11176109.4	02404930
03153580	ALDOLASES, NUCLEIC ACIDS ENCODING THEM AND METHODS FOR MAKING AND USING THEM (알도라아제, 그들을 만들고 이용하기 위한 그들과 방법을 암호화하는 핵산)	16199751.5	03153580
02865750	Transferases and oxidoreductases, nucleic acids encoding them and methods for making and using them (트랜스페라제와 산화 환원 효소, 그들을 만들고 이용하기 위한 그들과 방법을 암호화하는 핵산)	14194469.4	02865750
02412020	SLIP CHIP DEVICE AND METHODS (슬립 칩 장치와 방법)	10756714.1	02412020
01641910	GLUCANASES, NUCLEIC ACIDS ENCODING THEM AND METHODS FOR MAKING AND USING THEM (글루카나제, 그들을 만들고 이용하기 위한 그들과 방법을 암호화하는 핵산)	04777548.1	01641910
02305820	Xylanases, nucleic acids encoding them and methods for making and using them (자이라네이즈, 그들을 만들고 이용하기 위한 그들과 방법을 암호화하는 핵산)	10179307.3	02305820
03036160	METHODS FOR RECOVERING WASTE ENERGY FROM BLEED AIR DUCTS (블리드 에어 덕트로부터 폐 에너지를 복구하기 위한 방법)	14741452.8	03036160
02444490	Cellulolytic enzymes, nucleic acids encoding them and methods for making and using them (섬유소 분해의 효소, 그들을 만들고 이용하기 위한 그들과 방법을 암호화하는 핵산)	11007478.8	02444490
02420570	Arabinofuranosidase enzymes, nucleic acids encoding them and methods for making and using them (아라비노푸라노시테이즈 효소, 그들을 만들고 이용하기 위한 그들과 방법을 암호화하는 핵산)	11007477.0	02420570
22112686 2010112686	빙도제조 장치ICE ISLAND MANUFACTURING EQUIPMENT	20307959 2008307959	22112686 2010112686
17282361 2005282361	동력 산출 장치POWER PRODUCING DEVICE	14383071 2002383071	17282361 2005282361
17291782 2005291782	SAR에 의한 빙후추정 방법ICE THICKNESS ESTIMATION METHOD BY SAR	16103987 2004103987	17291782 2005291782
17265733 2005265733	SAR에 의한 빙후추정 방법ICE THICKNESS ESTIMATION METHOD BY SAR	16081712 2004081712	17265733 2005265733
06504432 1994504432	원격빙후추정 방법(measuring method), 원격얼음 강도 측정 방법, 원격 측정(remote sounding) 방법, 원격빙후추정 장치, 원격얼음 강도 측정 장치 및 원격 측정(remote sounding)체REMOTE ICE THICKNESS MEASURING METHOD, REMOTE ICE HARDNESS MEASURING METHOD, REMOTE MEASURING METHOD, REMOTE ICE THICKNESS MEASURING DEVICE, REMOTE ICE HARDNESS MEASURING DEVICE, AND REMOTE MEASURING BODY	26254285 2014254285	28114516 2016114516
16348265 2004348265	METHOD, PROGRAM AND APPARATUS FOR PERFORMING SIMULATION OF VARIATION IN OIL	15142392 2003142392	16348265 2004348265
16500404 2004500404	생물 활성 유리를 포함한 신규 화장품, 보디 케어, 세제 및 영양보충 조성물 및 제조 방법 및 그 사용null	13570224 2001570224	16500404 2004500404
21543534 2009543534	대기 전기 에너지(electric energy)를 추출하기 위한 전력 변환(power conversion)기null	21518422 2009518422	21543534 2009543534
07308480 1995308480	연소 기관이 실시간 성능 예측 방법 및 실시간 성능 예측 프로그램ACTUAL TIME PERFORMANCE PREDICT METHOD AND ACTUAL TIME PERFORMANCE PREDICT PROGRAM OF COMBUSTION ENGINE	31064402 2019064402	32165341 2020165341

■ 남극(Antarctic sea ice) 해빙 관련 특허

국내	↓	해외특허	↓	science ON	바로가기	IP-NAVI	바로가기
▶ 특허실용:	14	▶ 미국:	5	▶ 논문:	985,864	▶ 판례:	-
▶ 디자인:	0	▶ 유럽:	10	▶ 저널:	1,041	▶ 분쟁:	-
▶ 상표:	-	▶ 일본:	9	▶ 전체:	986,905	▶ 전체:	-
≡ 전체검색 결과: 986,943							

● 국내 특허

출원번호	발명의명칭	발명의명칭(영문)	출원일자
1020080060392	키토세로스 네오그래실 유래 얼음-결합 단백질 유전자, 그 유전자를 포함하는 재조합 벡터 및 그 유전자로 암호화된 단백질	Ice-binding protein gene derived from <i>Chaetoceros neogracile</i> , recombinant vector comprising the gene, and protein encoded by the gene	2008.06.25
1020070111279	결빙방지물질을 생산하는 피라미모나스 속 극지 미세조류	Antarctic microalgae <i>Pyramimonas</i> genus producing antifreezing molecules	2007.11.02
1020060001585	결빙방지용 포로사이라 속 극지 미세조류	Antarctic microalgae <i>Porosira</i> genus for anti-freezing	2006.01.06
1020040066587	결빙방지용 프라질라리옵시스 속 극지 미세조류	Antarctic microalgae <i>Fragilariopsis</i> genus for antifreezing	2004.08.24
1020160115889	플라보박테리움(<i>Flavobacterium</i>) ASB3-3 균주, 이를 통한 엑소폴리사카라이드(Exopolysaccharide, EPS) 및 이의 생산방법 및 이를 포함하는 항동결용 조성물	<i>Flavobacterium</i> sp. ASB3-3, EPS produced from the ASB3-3, and method for production of the EPS and composition of cryoprotectant	2016.09.08
1020090005600	슈도모나스 플루오르센스 BM07 균주로부터 획득한 중금속 흡착용 조성물	Composition of Heavy-Metal Adsorbing Exobiopolymer from <i>Pseudomonas fluorescens</i> BM07	2009.01.22
1020180000845	락토바실러스 살리바리우스 DJ-sa-01 균주 및 이를 포함하는 면역 증강용 조성물	<i>Lactobacillus salivarius</i> DJ-sa-01 strain and composition for immune enhancement comprising the same	2018.01.03
1020200090444	크로세이박터 이틀란티쿠스 유래 지질분해효소	Lipase from <i>Croceibacter atlanticus</i>	2020.07.21
1020180119954	크로세이박터 이틀란티쿠스 유래 지질분해효소	Lipase from <i>Croceibacter atlanticus</i>	2018.10.08
1020100066823	규조류 특이적인 프라이머, 이를 포함하는 규조류 검출용 PCR 증폭 키트 및 이를 이용한 규조류 검출 방법	Diatom specific primers, PCR amplification kit for detecting the diatom comprising the same and method for detecting the diatom using the same	2010.07.12
1020227007320	2차 대사산물의 생산을 위한 마리노모나스 EF1 및 로도코커스 EF1	MARINOMONAS EF1 AND RHODOCOCOCCUS EF1 FOR THE PRODUCTION OF SECONDARY METABOLITES	2020.07.28
1020130031889	변이서열을 포함하는 결빙방지 단백질 및 그 용도	Antifreeze protein with mutation and its use	2013.03.26
1020007012954	트리테르펜 조성물	Triterpene compositions	1999.05.19
1020037006732	트리테르펜 조성물에 의한 NF-κB의	Inhibition of NF-κB by triterpene compositions	2001.11.19



● 국외 특허

출원번호	발명의명칭	출원번호	출원일자
02921444	Processes for removing salts and other soluble substances from sea water (바닷물로 부터의 염과 다른 녹는 물질을 제거하기 위한 과정)	02921444	1956.10.12
03122720	Target range and material analyzer system (목표 범위와 재료 분석기 시스템)	03122720	1961.06.02
03502046	METHOD OF TRANSPORTING AND STORING LARGE QUANTITIES OF WATER (많은 양의 물을 운반하고 저장하는 방법)	03502046	1968.05.06
03444570	WET-DRY SURVIVAL SUIT (습건 생존 슈트)	03444570	1966.04.18
02866881	Temperature controlled electrically heated window and window wiper system (온도 전기적으로 가열된 윈도우 제어되고 윈도우 와이퍼 시스템)	02866881	1955.12.19
04276070	METHOD OF PRODUCING A SOLID METAL CARBONATE HYDRATE (고체 금속 카보네이트 수화물을 생산하는 방법)	23170489.1	04276070
02947970	METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING ELECTRICAL POWER USAGE BASED ON EXACT SUN ELEVATION ANGLE AND MEASURED GEOGRAPHICAL LOCATION (정확한 태양 고도각과 측정된 지리적인 위치를 근거로 한 전원 사용을 방제하기 위한 방법과 장치)	15168312.5	02947970
02684960	Expression vector for a secretion and detection system (분비와 검출계를 위한 발현 벡터)	12005108.1	02684960
02194140	Process for the production of fine chemicals (정밀 화학 물질의 생산을 위한 과정)	09156777.6	02194140
02756090	PRODUCTION OF ODD CHAIN FATTY ACID DERIVATIVES IN RECOMBINANT MICROBIAL CELLS (재조합형 미생물 균체에 있는 홀수의 사슬 지방산 유도체의 생산)	12709480.3	02756090
03119800	GLYCOPEPTIDE DERIVATIVES FOR THE PRESERVATION AND PROTECTION OF BIOLOGICAL MATERIALS AND MICROORGANISMS (생물학적인 소재와 마이크로 오거나즘의 보호와 보호를 위한 글리코펩티드 유도체)	15711716.9	03119800
02141240	Plants that can tolerate herbicides by bypassing the metabolic route (신진 대사 경로를 바이패스시킴으로써 제초제를 수인할 수 있는 플랜트)	09167432.5	02141240
02179660	Process for the heterotrophic production of microbial products with high concentrations of omega-3 highly unsaturated fatty acids (omega-3의 고농도를 가진 미생물 생성물의 헤테로트로픽 생산을 위한 과정은 고도로 지방산을 비포화 상태가 된다)	09177335.8	02179660
02160460	HYDROCARBON-PRODUCING GENES AND METHODS OF THEIR USE (탄화수소 제조 유전자와 그들 사용의 방법)	08769538.3	02160460
01330530	Process to provide HPPD inhibitor herbicide tolerant plants through bypassing HPPD metabolic pathway. (HPPD 대사 경로를 바이패스시키는 것을 통하여 HPPD 억제제 제초제 내성 식물을 제공하기 위한 과정.)	01983651.9	01330530
17291782 2005291782	SAR에 의한 빙후추정 방법ICE THICKNESS ESTIMATION METHOD BY SAR	16103987 2004103987	17291782 2005291782
17265733 2005265733	SAR에 의한 빙후추정 방법ICE THICKNESS ESTIMATION METHOD BY SAR	16081712 2004081712	17265733 2005265733
06504432 1994504432	원격빙후추정 방법(measuring method), 원격얼음 강도 측정 방법, 원격 측정(remote sounding) 방법, 원격빙후추정 장치, 원격얼음 강도 측정 장치 및 원격 측정(remote sounding) 체REMOTE ICE THICKNESS MEASURING METHOD, REMOTE ICE HARDNESS MEASURING METHOD, REMOTE MEASURING METHOD, REMOTE ICE THICKNESS MEASURING DEVICE, REMOTE ICE HARDNESS MEASURING DEVICE, AND REMOTE MEASURING BODY	26254285 2014254285	28114516 2016114516
16517131 2004517131	트리테르펜(triterpene) 조성물에 의한 NF-κB의 억제null	14555753 2002555753	16517131 2004517131
21541761 2009541761	고분해능(high resolution) NMR 분광법에 따르는 초저자장에서 등 핵성 J-커플링(distributor shaft coupling)의 측정null	21517062 2009517062	21541761 2009541761

14516679 2002516679	유리하게 조절된 특정 성분의 제시량을 포함한 카탈로그(catalogue)화 핵산 라이브러리의 구축 및 사용null	12552062 2000552062	14516679 2002516679
35542492 2023542492	면역원성 조성물 및 그 사용null	35514721 2023514721	35542492 2023542492
35526423 2023526423	면역원성 조성물 및 그 사용null	34570514 2022570514	35526423 2023526423
24531211 2012531211	계통 발생 분석을 위한 방법 및 시스템null	24517804 2012517804	24531211 2012531211

남극 해빙 관련 특허

- 해외 검색엔진에서는 “sea ice” 키워드로 10만 건 이상의 특허가 검색되며, “Arctic sea ice”는 15,644건, “Arctic sea ice”는 6,271건 검색됨
- 2000년대 이후 급격한 증가 추세를 보임

제3절 논문 분석

1. 북극 해빙 및 항로 관련 논문 분석

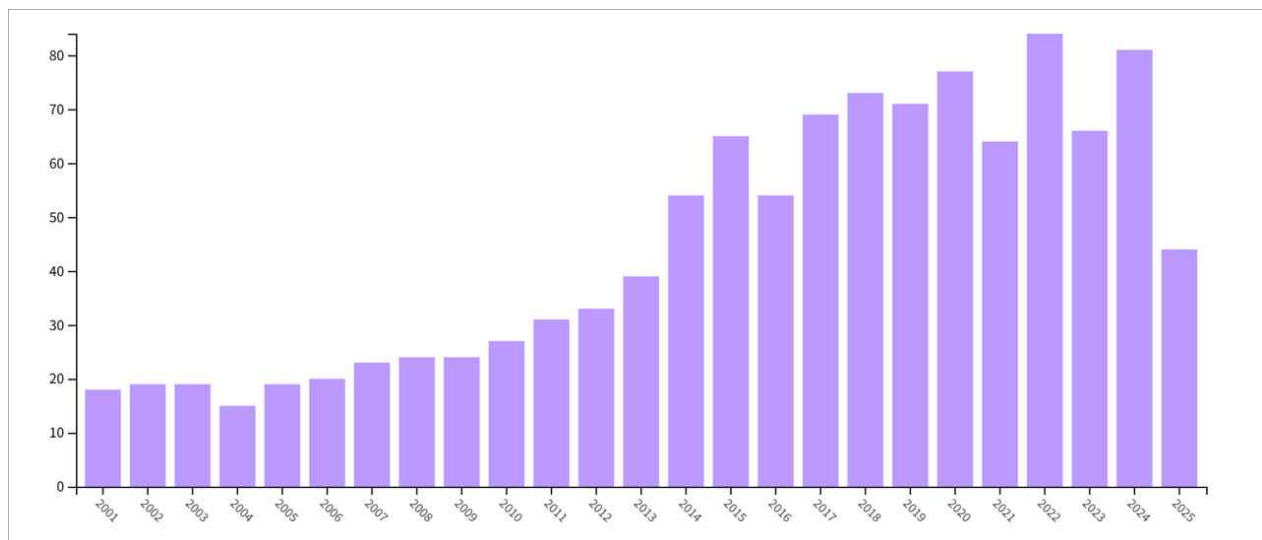


북극 해빙 키워드로 국내외 논문 분석 결과

■ Web of Science 상에서 “sea ice” 키워드 분석 실시

● 연구 논문 수 현황

- “north ice” 관련 연구는 기후변화와 북극 해빙 감소가 국제 이슈로 부상한 2000년대 이후 급속히 증가
- IPCC AR5(2013), AR6(2021), MOSAiC 탐사(2019~2020), 북극항로 상업화 논의, AI 기반 예측기술 발전 등 주요 사건들이 연구 증가와 맞물림
- 최근 다소 감소한 수치는 일시적 현상일 수 있으며, 해빙 예측, 극지 안전, 항로 개발 등 실용 연구의 비중이 계속 확대될 것으로 전망



● 연구 분야별 논문 분포 현황

- 환경 및 생태 분야의 절대적 우세
 - Environmental Sciences(184편), Ecology(92편), Biodiversity Conservation(34편) 등의 분야에서 전체의 절반 이상이 집중됨
 - 이는 북극 해빙이 기후 변화의 선행 지표이자 생태계 변화의 핵심 요인으로 간주되고 있음을 반영함
 - 해빙 면적 감소, 반사도(Albedo) 변화, 생물 종의 서식지 이동 및 생존 전략 등과 관련된

연구가 주를 이룸

- 공학 분야의 실용 연구 확대

- Engineering Environmental, Engineering Ocean, Engineering Marine, Engineering Civil 등 다양한 공학 분야에서 총 97편의 논문이 확인됨.
- 이는 북극항로 개방, 극지 인프라 설계, 해빙 예측 시스템, 선박 구조 대응 기술 등의 기술개발 수요가 증가하고 있음을 보여줌.

- 학제 간 융합 연구 증가

- Acoustics, Electrical Engineering, Audiology/Speech 분야는 전통적으로 북극과 직접 관련이 적지만, 센서기술, 음향탐지, 데이터 통신, AI기반 관측기술 등 신기술의 융합적 적용 가능성을 시사함.



● 연구 국가

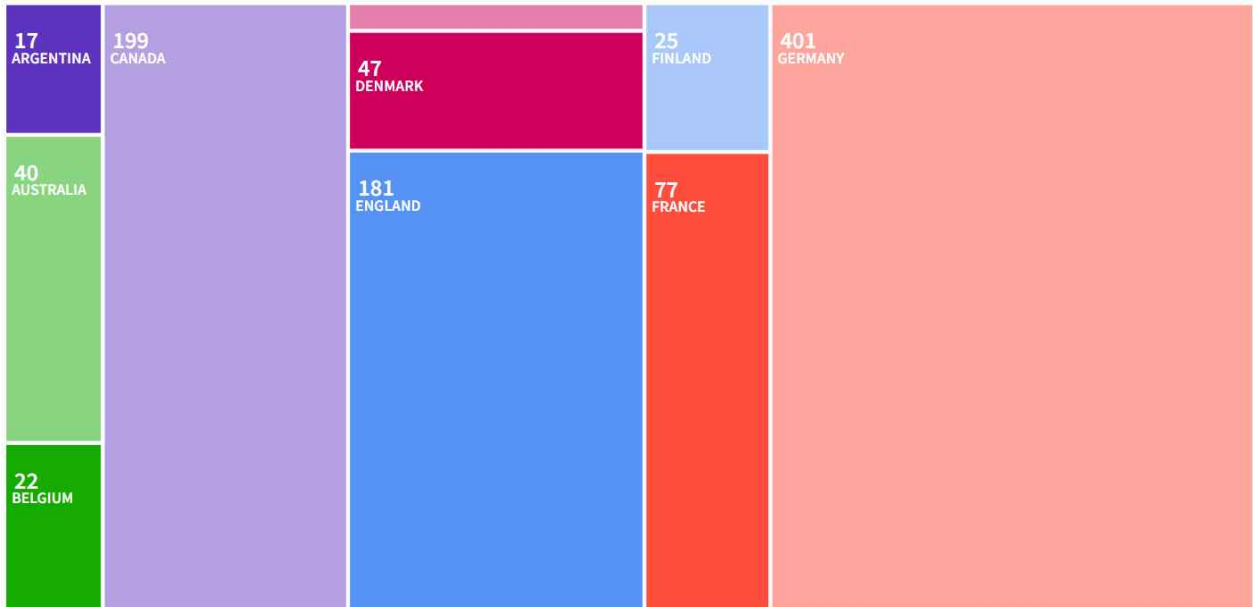
- 유럽 선진국 중심의 연구 강세

- 독일·영국·프랑스 등 유럽 국가들이 극지 해빙 예측, 관측모델, 기후-생태 연계 등에서 다수의 선도적 논문 발표
- 특히 독일은 대형 프로젝트(MOSAic), 모델링(AWI), 해빙 예측 기술 등에서 국제적 위상 확보

- 북극 국경국가들의 실증 중심 연구 역량

- 캐나다, 덴마크, 핀란드 등 북극권 접경국가는 자국 영토를 통한 장기 관측망 및 정책 기반 연구 강화

- 쇄빙선 기술, 자동관측 플랫폼, 결빙항로 시뮬레이션 등 실용적 연구 중심
- 극지 생태계·환경 보호와 연계된 연구 확대
- 호주, 벨기에 등 비북극 국가들도 해빙 변화와 해양생물, 생태계 연계 연구 등 기후변화 대응 프레임에서 적극 참여



● 연구 기관

- 독일 과학기관의 압도적 기여도
 - Helmholtz Association 및 AWI가 각각 260건, 230건으로 1·2위를 차지
 - : MOSAiC 탐사, 위성-지상 결합 관측, GCM 연계 해빙 모델 개발 등에서 세계 최고 수준의 연구성과 도출
- 미국·영국의 이중축 체계
 - 미국(NASA, NOAA)과 영국(NERC, BAS)은 위성기반 감시 + 현장관측 + 생태영향 분석을 연계한 구조로 논문 기여
 - : SIPN, YOPP 등 북극 국제연구 프로그램의 핵심 파트너 역할
- 캐나다 기관의 생태 및 정책 연계 연구 중심
 - Fisheries and Oceans Canada, ECCO는 현장 기반의 생태-기후 연계 관측 및 자료 제공 중심 역할 수행
- 아시아 기관은 비교적 참여 제한적
 - 중국과학원(CAS) 등 소수 기관만 확인되며, 기술 수입보다는 자체 개발 역량 강화 단계로

평가됨



북극 항로 키워드로 국내외 논문 분석 결과

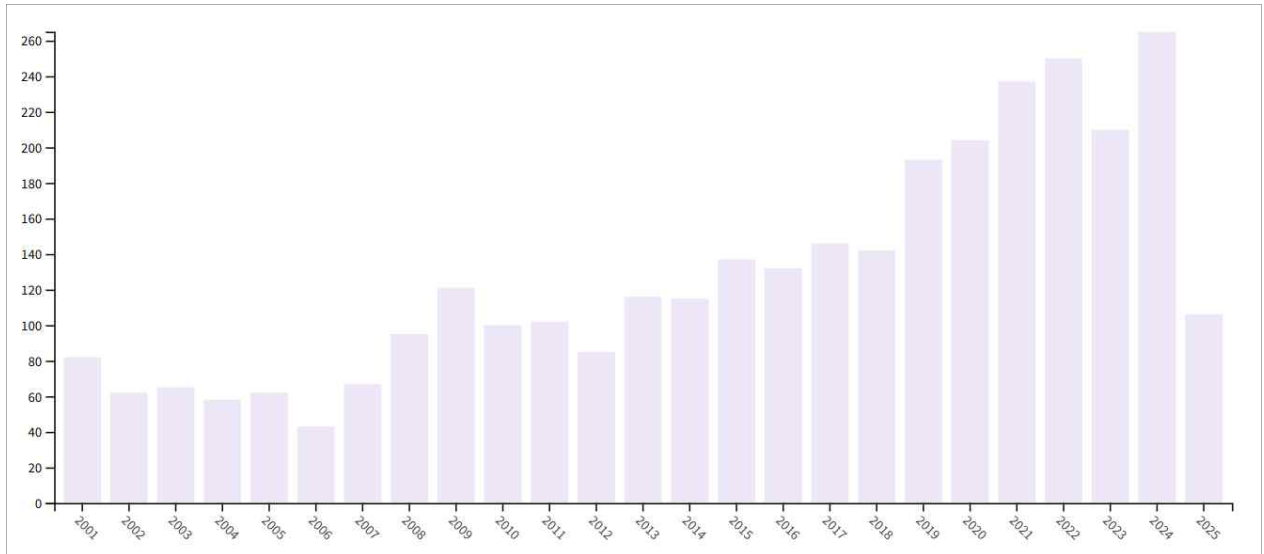
▣ Web of Science 상에서 북극 항로("Arctic Sea Route" OR "Northern Sea Route" OR "NSR" OR "Arctic shipping" OR "Arctic maritime transportation" OR "Trans-Arctic shipping" OR "Polar shipping" OR "Arctic navigation") 키워드 분석 실시

● 연구 논문 수 현황

- 북극항로 관련 연구는 2000년대 후반부터 산업화, 정책화, 기후변화 대응 전략의 한 축으로 인식되며 꾸준히 성장
- 기후·해양·공학·정책 분야의 융합형 연구로 확장 중이며, 국제규범(Polar Code), 예측기술(AI, 위성), 물류 전략 등 다양한 이슈가 결합됨
- 북극항로 연구는 이제 단일 과학 이슈가 아니라 국가 전략 및 외교 안보와 결합된 융합형 주제임
 - 관련 기술(R&D), 제도(PME/IMO), 협력(극지외교) 등 연계 기획 필요
- 논문 증가세는 산업적 활용성과 정책적 대응 수요가 반영된 결과
 - 정부 R&D에서는 “실측 기반 예측시스템”, “국제협력 자료공유”, “항로 운영 시나리오 생산”과 같은 실효성 있는 산출물이 요구됨
- 향후 연구는 단순 예측을 넘어, 해운·안전·경제·생태계를 통합 고려하는 시스템 연구로 진화할

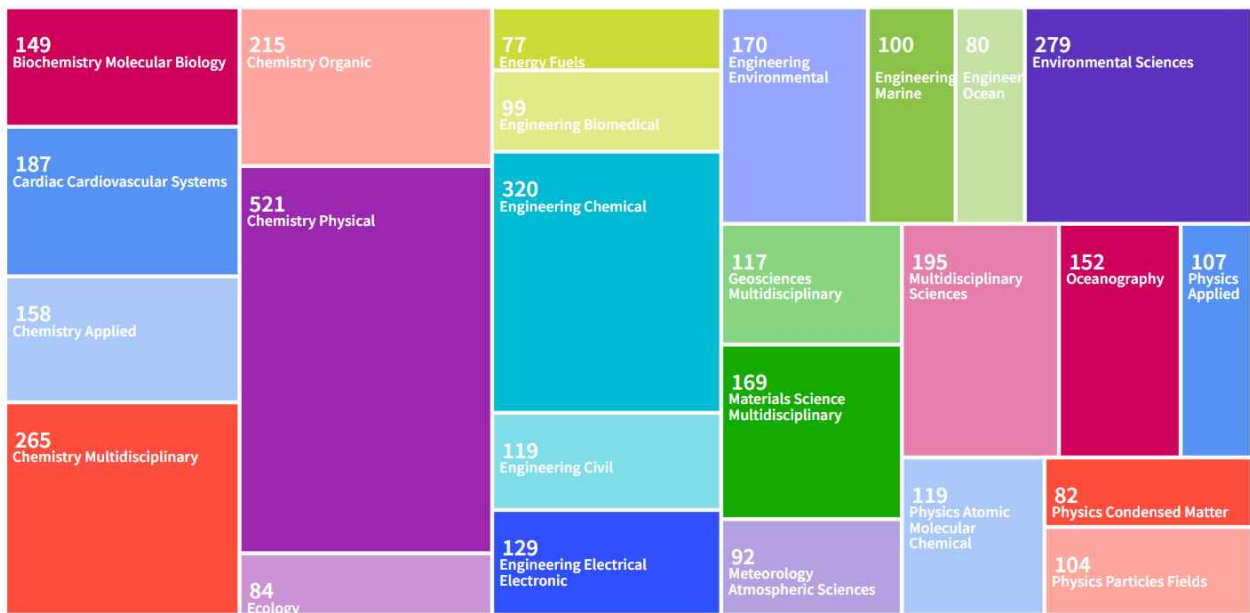
것

- 다부처·다학제 연계가 가능한 융합 기획 필요



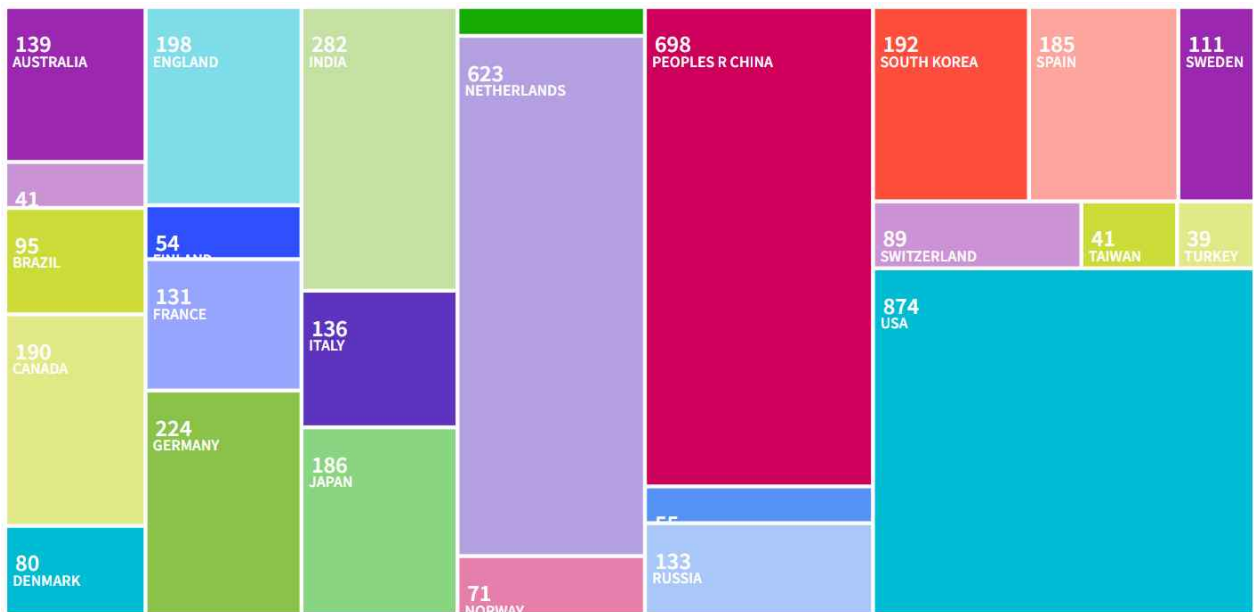
● 연구 분야별 논문 분포 현황

- 북극항로 관련 연구는 단순히 해운·항로 문제가 아닌, 환경, 기후, 해양, 화학, 재료, 공학을 아우르는 융합적·다학제적 문제임
- 물리화학, 해양공학, 환경공학뿐 아니라 극한환경 센서 기술, 신소재, 에너지·연료 시스템, 위성 기반 예측기술 등 다양한 첨단기술 분야로 확장 중
- 융합형 R&D 전략 수립이 필요하며, 과학기반-정책기반-공학기반 연구의 균형이 중요
- (정책적 측면) 북극항로는 단일 교통문제가 아닌, 기후·환경·기술 통합 대응 플랫폼으로 인식되어야 함
- (기술개발 측면) 극지 인프라 및 운항을 위한 소재/연료/센서/시뮬레이션/데이터 융합 기술 개발이 핵심. 해양물리, 대기화학, 위성기반 예측기술 등의 연계 필요
- (R&D 기획 측면) 단일부처 사업이 아닌, 해수부-과기부-환경부-산업부 등 범부처 연계 융합형 기획 과제가 필요함



● 연구 국가

- 북극항로 관련 논문은 미국, 중국, 유럽 일부 선진국에 집중, 특히 미국과 중국은 연구량뿐 아니라 국제 데이터 기반 공동사업의 주도권을 확보하고 있음
- 한국은 중위권에서 상위권 진입 직전 수준으로, 향후 정책-기술-R&D 투자를 통한 독자예측모델 확보, 국제공동연구 참여 강화가 핵심 과제
- (국제 협력 타깃 설정) 미국, 중국, 네덜란드, 독일 등과의 공동연구 참여 또는 자료공유 협약 체결 필요. → 캐나다, 프랑스, 일본 등과는 기술 및 응용 분야 협력 적합
- (정책지원 연계 R&D 확대) 양적 논문 수를 국제협력, 기후외교, 해운전략 등 실질적 영향력으로 전환할 수 있는 응용형 데이터 기반 사업화 전략 필요
- (한국형 북극항로 예측시스템 개발 기반 조성 필요) 극지 기지, 위성자료, 선박 운항기록 등 국내 보유 인프라를 통합 활용한 자체 항로 가용성 시나리오 생산체계 구축이 시급



● 연구 기관

- Radboud University(네덜란드)가 압도적 1위를 차지한 것은 의외지만, 이는 환경·건강 융합 분야 또는 학제 간 네트워크의 거점 기관 역할을 수행 중일 가능성이 큼
- 중국과 미국은 여전히 위성·모델·기후·향로 운영 데이터 분석 등 과학기반 예측 분야에서 강세.
- 프랑스, 스위스, 독일 등은 기후예측모델·생태·해양환경 모니터링 중심으로 공공연구기관이 균형 잡힌 기여.
- 보건·병원 시스템의 이름이 포함된 연구기관은 다소 이례적이나, 작업자 건강·환경 적응 등 신흥 융합 주제와 연결됨.
- (R&D 파트너 다변화 필요) 기술기관(AWI, NASA, CAS)뿐 아니라 **융합형 연구 수행기관(예: Radboud, UC system, DOE)**과의 연계 검토 필요
- (극지연구 내 건강·노동환경 등 융합주제 주목) 북극항로가 실질적으로 해상 노동, 저온 인프라, 생존성 확보 기술 등과 연계되므로 다분야 기관과의 협력도 유효
- (기존 과학 중심에서 인문·정책·보건 중심까지 협력범위 확장 필요) University of London, Copenhagen 등은 극지 정책·규범·사회경제 분석에 강점을 보일 가능성 높음

제3장 기술수준 분석



제4절 결론 및 시사점

연구 규모와 추이 측면

- 북극 해빙과 북극항로에 관한 연구는 2000년대 이후 기후변화, 해운산업, 국제정책 이슈와 결합되며 급속히 성장하였음.
- 특히 2020년 전후를 기점으로 정점에 도달했으며, 최근 다소 감소세는 있으나 이는 연도별 데이터 편차 또는 연구 중장기 전환기적 현상으로 보임.

연구 주제 및 분야별 동향

- 해빙 관련 연구는 Environmental Sciences, Ecology, Oceanography 등 환경·생태 분야에 서 압도적인 비중을 보이며,
- 북극항로 연구는 공학, 재료, 화학, 기후물리, 데이터 예측기술 등으로 확장된 다학제 융합형 R&D 성격을 띠.
- 최근에는 위성·AI 기반 예측, 선박항로 안전 시뮬레이션, 극지 인프라 설계, 노동·건강 등 사회기 술 접목 연구도 증가 추세.

국가별 경쟁 구도

- 미국, 중국, 네덜란드, 독일이 양적·질적 모두에서 선도국으로 부상.
- 특히 미국·중국은 위성·모델·자료인프라 기반의 실질적 주도권을 확보하고 있으며,
- 네덜란드와 독일은 유럽연합 내 극지 R&D 플랫폼 및 융합연구 거점 국가로 성장 중.
- 한국은 중상위권 진입 직전 단계로 평가되며, 기술력 확대와 국제협력 연계전략 강화가 시급한 상황임.

연구기관 네트워크 분석

- 독일 AWI, 미국 NASA/NOAA, 중국 CAS는 과학기반 예측 및 관측 기술 선도 기관으로서,
- 공공데이터 기여와 국제프로그램 주도 역량을 갖춤.
- Radboud(네덜란드), UC System(미국), DOE(미국)는 융합형 극지 연구 수행기관으로 주목되 며,
- 건강, 생리적 적응, 해상근로, 사회환경 등과 관련된 신흥 융합주제 기반 협력 파트너로 적합함.

정책 및 전략적 시사점

- 기술·정책 융합형 전략 전환 필요
 - 북극 연구는 더 이상 단일 기술 또는 과학 주제가 아닌, 국가 안보, 자원외교, 기후거버넌스,

국제규범 대응이 결합된 복합 의제로 대응해야 함.

● 한국형 예측체계 및 정보자립 기반 조성 시급

- 위성자료, 극지 기지, 선박 운항이력 등 국내 보유 인프라를 통합하여 자체 해빙 예측모델 및 항로 가용성 시나리오 생산체계 구축이 필요.

● 협력 대상 다변화 및 전략적 연계 강화

- 전통적 기술국(AWI, NASA, CAS)에 더해, Radboud, DOE, UC, UWA 등 융합형 기관과의 국제 공동과제 기획 필요 : 기술 + 건강 + 정책 + 산업까지 포함하는 다층 협력 전략 마련 요구

● 범부처 연계형 융합 R&D 체계 기획 필요

- 북극항로 관련 기술은 해수부뿐 아니라 과기정통부(위성/AI), 산업부(선박·인프라), 환경부(기후·예측), 복지부(건강영향) 등

● 다부처 연계형 중장기 전략과제로 구조화 필요





Korea Polar Research Institute

북극항로 운영 위한 실측
기반 통합 예측기술 개발
위한 기획연구

제4장 사업개요

제1절 사업 추진방향

제2절 사업의 차별성

제3절 사업 비전 및 목표

제1절 사업 추진방향

1. 사업 추진 방향 설정



사업의 목적

- ▣ 북극항로 관련 산·학·연 컨소시엄을 구성하여, 해운사·물류기업 등을 대상으로 실측 기반의 예측정보와 운항 지원 시스템을 제공함으로써 안전하고 경제적인 북극항로 이용을 지원



사업의 시급성

- ▣ 급속한 북극 해빙 감소와 예측 불확실성 심화
 - 최근 북극 해빙은 2020년대를 기점으로 역대 최저 수준으로 수축하고 있으며, 여름철에는 '무빙 해(ice-free Arctic)' 도달 가능성이 가시화됨.
 - 그러나 현재의 예측모델은 북극 해빙의 공간적 이동성, 두께 변화, 계절별 가용성을 정밀하게 반영하지 못하고 있어, 운항 및 기후예측을 위한 신뢰도 높은 예측시스템 개발이 시급함.
- ▣ 북극항로 조기 상업화 현실화와 대응 격차 확대
 - 중국, 러시아, 유럽 등은 북극항로 운항 실증 및 인프라 선점 경쟁을 본격화하고 있음.
 - 한국은 여전히 기초 관측자료 부족, 자체 예측모델 미보유, 국제자료 제출 체계 부재 등으로 인해 정책적·외교적 발언권 확보에 구조적 한계가 존재함.
 - 한국형 항로 예측모델 개발과 국제 표준 대응자료 확보는 곧 전략적 대응의 기초 자산임.
- ▣ 기후위기 가속화 속 선제적 리스크 대응 필요
 - 북극항로는 기후위기 속에서 열리는 신해양 루트이자 동시에 지정학·환경·재난 리스크가 중첩된 고위험 지역임.
 - 해빙 예측 실패는 선박 좌초, 물류 지연, 경제적 손실, 외교 마찰 등으로 직결될 수 있으며, 정확한 계절별·항로별 가용성 시나리오 확보는 선제적 리스크 대응의 핵심 조건임.
- ▣ 국내 보유 인프라와 인력 활용의 골든타임
 - 우리나라는 쇄빙연구선, 극지기지, 위성기반 자료분석 역량 등 세계적 수준의 개별 인프라를 보유하고 있으나, 이를 연계한 통합 예측체계는 부재함.

- 현재 국내외 전문가 및 기관 간 공동연구 의향이 다수 확보된 상태로, 국제협력 기반 기술 확보와 데이터 공유 주도권 확보의 적기에 해당됨.
- 2026년 이후 Polar Code 관련 국제 기준 강화, 북극항로 운영 고도화 등에 선제 대응하지 못할 경우, 협력자에서 수용자로 전락할 위험 존재

다

정부 지원 필요성

□ (정책부합성)

- 제5차 과학기술기본계획('23~'27)」에서 명시한 “국가 과학영토 확대를 위한 극지 등 미개척 영역의 탐사기술 개발과 접근성 증대” 목표에 부합함
- 북극항로 운영 예측기술은 12대 국가전략기술 중 우주항공·해양 기술 영역에 해당하며, 첨단 센서·AI·데이터 기반 기술로의 확장이 가능한 핵심 R&D 분야임

□ (공약 및 법·제도 기반 확보)

- 공약명: 북극항로 진출 거점을 육성하겠습니다」(성장기반구축 16) 및 “북극항로를 선도하는 육해공 트라이포트로 부산을 육성”하겠다는 정책 메시지와 일치
- 북극항로 구축 지원 특별법」 제11조 ('25.03.31 국회발의)에는 정부의 북극항로 관련 기술개발 및 연구개발 투자 확대 의무가 명문화되어 있음
- 대한민국 진짜성장을 위한 전략」(국정기획위원회, '25.6)에서도 “항로 최적화 연구와 물류 운송로 확보, 북극항로 비즈니스 모델 개발”이 지역성장과 국토전략의 핵심으로 언급됨
- 국정과제」(작성중, '25.7)에 포함된 경제2-1: 북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설, 경제2-1-2: 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점과 직접적으로 연계됨

□ (극지연구 거점 확보 및 전략적 활용)

- 본 과제는 쇄빙선 항로 및 북극 운항 가용성 예측, 결빙 해역 대응 기술 확보 등 극지 진입성과 탐사 안전성 제고를 위한 기반 기술 확보와 직결됨
- 이는 제2차 해양수산과학기술육성 기본계획('23~'27)」에서 제시한 10대 해양수산 전략기술 중 '극지연구거점 확보를 위한 예측기술' 육성 방향에 부합함

□ (R&D 투자 적절성 및 시급성)

- 해양수산부는 해양수산기후변화 대응 R&D 강화 로드맵('21~)」을 통해 극지 기반 기후변화 감시·예측 기술개발을 중점 투자대상으로 설정하고 있음
- 본 과제는 제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획('23~'32)」의 3대 전략 중 하나인

- “기후변화 적응을 위한 감시·예측 기술 개발” 항목에 해당하며, 극지 R&D의 미래 성장성과 전략적 가치가 동시에 높은 분야임

▣ (국제 공조 및 외교 연계 가능성)

- 북극항로의 안정적 활용 및 과학정보 제공 체계는 Polar Code 등 국제규범 대응, 북극이사회 (PAME 등) 자료 제출, 기후외교 지렛대 확보 등에도 기여
- 따라서 본 과제는 과학기술 기반의 국제정치적 대응 수단으로도 국가 지원의 전략적 당위성이 충분함

▣ 북극 해빙 예측과 항로 전망의 과학적 불확실성 해소를 위해 예측 정밀도 향상 연구가 시급하며, 비(非)북극권 국가로서 경제적 기회와 환경·안전 리스크*의 균형을 고려한 지속가능한 발전과 외교적 신뢰자산 확보가 필요

* 생태계 교란, 오염, 기름유출, 해빙 붕괴

- 선진국(미국·노르웨이·러시아 등)은 AI와 위성 기반 융합모델링을 통해 운항-예측-외교가 연계된 통합 프레임워크를 구축한 반면, 국내는 극지과학 중심의 단편적 기술 축적 단계로 항로 운영, 예측, 환경규제 대응 간 연계성 미흡
- 북극항로라는 복합적 연구·기술·외교 과제를 효율적으로 추진하기 위해 산·학·연이 연합하는 기관전략개발단 형태의 통합 투자 체계 구축이 요구
- 극지과학과 AI·데이터·정책 분야, 수요자가 연계된 융합형 협력체계를 구축하여 북극항로 운영의 과학기반을 강화하고 국가 차원의 운영역량을 제고

제2절 사업의 차별성

1. 기존 사업과의 차별성



극지 해양환경 및 해저조사 연구사업

▣ (사업기간 및 예산) '21년~'26년/301억원

▣ (연구목표) 북극해 공해상 비규제 어업방지 협정(CAOFA) 발효('21.6)에 따라 국제적 과학연구 의무 이행을 위해 국제 공동 과학프로그램 참여, 해양 과학조사(해양 환경, 생태계, 수산자원) 등 수행

▣ (연구내용) 북극해 공해상 결빙해역에서 해양-해빙 탐사를 통해 북극해 해양환경·생태계 반응 진단과 온난화 감시체계 구축 및 북극해 미래전망 시나리오를 생산하고, 북극해 미답해역의 해저지질정보 선점 및 해저환경 변동 연구

구분	북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 (해수부)	극지 해양환경 및 해저조사 연구사업 (해수부)	
		북극해 온난화-해양생태계 변화 감시 및 미래전망 연구 사업	북극 해저지질 조사 및 해저환경 변화 연구
근거법령	북극항로 구축 지원 특별법」	「해양수산물발전기본법」 제17조 및 제20조	「해양수산물발전기본법」 제17조 및 제20조
기술개발단계	개발연구	응용연구	응용연구
기술분야 (세부기술분야)	해양	해양	해양/자원
투자방향 관련분야	국가전략기술	글로벌 R&D	글로벌 R&D
사업목적	북극항로 개발 및 운영 위해 우리나라 고유의 과학정보와 지식을 확보하고 이를 기반으로 리스크를 사전에 식별하고 대응하는 체계를 구축	북극해 온난화(해빙 감소, 수온 상승, 담수유입 증가 등)에 따른 해양 생태계 변화 감시 및 해빙-해양 현장관측을 통한 미래 전망 연구	북극해 해저 지질 조사를 통해 빙하, 기후, 해저지질 간 상호작용에 대한 이해 증진 및 해저 지질환경의 변화 예측과 대응 전략 수립
사업 주요내용	○총사업비 : 200억원 ○사업기간 : '26 ~ '30 ○사업내용 : 해빙 및 항행 예측 기술 개발, 북극 Polar Code 대응 및 항로 적합성 평가체계 구축	○총사업비 : 175억원 ○사업기간 : '21 ~ '26 ○사업내용 : 북극해 온난화-해양생태계 변화 감시 및 미래전망 연구	○총사업비 : 126억원 ○사업기간 : '21 ~ '26 ○사업내용 : 북극 보퍼트해 해저지질 및 환경변화 조사 연구
지원대상	출연기관, 대학, 국공립연구소, 기업	출연기관, 대학, 국공립연구소, 기업	출연기관, 대학, 국공립연구소, 기업
과제 선정방식	지정 공모	지정 공모	지정 공모

수행주체	대학(15%), 출연연(83%), 중소기업(2%)	대학(15%), 출연연(85%)	대학(10%), 출연연(83%), 중소기업(20%), 중견기업(10%)
사업 추진체계	해양수산과학기술진흥원에서 지원	해양수산과학기술진흥원에서 지원	해양수산과학기술진흥원에서 지원
유사·중복 키워드5)	북극, 해빙, 시나리오, 해저지질, 환경변화	북극, 해빙, 시나리오, 온난화 대응	북극, 해저지질, 환경변화
내·외부 지적사항	-	-	
검토결과	○ (참사요소) 기존 사업은 온난화에 중요하게 반응하는 해빙-생태계-지질 데이터 획득 기반 환경변화 모니터링에 초점, 항로 운영에 직접 기여하지 않는 해빙특성(유형, 강도, 이동) 및 Polar Code 대응 관측은 수행되고 있지 않음 ○ (개발내용) 본 사업은 해빙 및 항행 맞춤형 정보 예측 기술을 시각화 플랫폼과 함께 개발하고, 북극해 환경 및 항로 적합성 평가체계를 구축하여 북극항로 개발 및 운영의 상업적 활용 및 운영 리스크 저감에 직접적으로 이바지 ○ (상호보완적 협력 계획) 각각 항로 운영, 기후·생태 변화, 지질 환경에 중점을 두고 있으나, 관측자료 및 분석결과의 상호 공유를 통해 예측 정확도 향상, 환경 리스크 평가 정밀화, 정책 대응력 강화 측면에서 상호보완적 효과를 극대화할 수 있음.		

■ 본 사업은 기존의 해빙-생태-지질 중심 환경 모니터링과 달리, 항로 운영에 직접 활용 가능한 해빙 특성(유형·강도·이동) 및 Polar Code 대응 정보를 통합한 예측기술과 시각화 플랫폼을 개발함으로써, 북극항로의 상업적 활용과 리스크 저감에 실질적으로 기여하는 차별화된 전략과제임

- 특히 고해상도 해빙 위성자료 검증·보정 그리고 플라코드 대응에 초점을 맞추어 타과제와는 다른 관측지점에서 차별성을 확보하고 실측 수행 예정임



북극항로 시대를 대비한 국적선박의 상황 및 재난관리 의사결정 지원 기술 개발

▣ (연구목표) 개별 선박 및 재난상황 대응을 위한 의사결정 지원 기술 개발

▣ (사업목적) 북극항로 시대 대비 전 세계 국적선박의 사고 전 이상탐지 및 상황예측, 사고 발생 시 재난관리 의사결정을 지원하는 AI 기반 기술 개발

구분	①북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 (해수부)	②북극항로 시대를 대비한 국적선박의 상황 및 재난관리 의사결정 지원 기술 개발 (해수부)
근거법령	「북극항로 구축 지원 특별법」	「북극항로 구축 지원 특별법」
기술개발단계	개발연구	개발연구
기술분야 (세부기술분야)	해양	해양
투자방향 관련분야	국가전략기술	국가전략기술
사업목적	북극항로의 상업적 활용과 안전한 운영을 위해 북극해 실측 데이터를 바탕으로 예측기술을 개발하고, 운항지원 및 항로 시나리오 체계를 구축	북극항로 시대 대비 전 세계 국적선박의 사고 전 이상탐지 및 상황예측, 사고 발생 시 재난관리 의사결정을 지원하는 AI 기반 기술 개발
사업 주요내용	○총사업비 : 200억원 ○사업기간 : '26 ~ '30 ○사업내용 : 해빙 및 항행 예측 기술 개발, 북극 Polar Code 대응 및 항로 적합성 평가체계 구축	○총사업비 : 250억원 ○사업기간 : '27 ~ '31 ○사업내용 : AI기반 선박사고 전 이상탐지·상황예측 기술개발 및 선박사고 발생시 재난관리 의사결정 지원 기술개발
지원대상	출연기관, 대학, 국공립연구소, 기업	출연기관, 대학, 국공립연구소, 기업
과제 선정방식	지정 공모	-
수행주체	대학(15%), 출연연(83%), 중소기업(2%)	-
사업 추진체계	해양수산과학기술진흥원에서 지원	-
유사·중복 키워드	북극항로, 해빙, AI기반 예측, 시나리오, 운항지원, Polar Code	북극항로, 해빙, AI기반 예측, 시나리오, 운항지원, Polar Code
내외부 지적사항	-	

목표초점	국가 차원의 북극항로 운영 모델 및 예측시스템 구축	개별 선박 및 재난상황 대응을 위한 의사결정 지원 기술 개발
연구범위	북극항로 거시적 운영 체계 (항로 전체 예측, 시나리오, 정책 기반)	선박 단위의 미시적 사고 대응 (위험 감지, 대응 시나리오, 경보 시스템)
성과물	○AI 기반 북극 해빙 예측 ○한국형 북극항로 모델 ○국제 표준 환경자료 제출 ○북극항로연구센터 설치	○선박 위험 인지 및 이상 탐지 AI 모델 ○재난관리단계 자동 판정 시스템 ○지침 기반 RAG형 AI 대응 어시스턴트
주요특성	국가 주도의 북극항로 전체 운영 전략 구축과 과학적 인프라 확보를 위한 거시적 R&D 사업	선박별 안전 대응 시스템 구축에 초점, 위험 인자-판단-경보 발령까지 전 과정을 AI 기반으로 자동화하려는 노력이 중심
검토결과	○ (상호보완적 협력) ① 국가-산업-기술 각 층위에서 북극항로 안전성과 효율성 강화를 위한 통합 전략-운영모델 구축과 ② 현장형 AI 안전 대응기술 개발로, 두 사업의 병행 추진 시 국가 정책(북극 진출)과 해사 안전 실무 모두를 충족시킬 수 있는 통합적 해양 대응 체계로 발전 가능성	

■ ① 과제는 북극항로 전체 운영을 위한 국가 전략·예측시스템 구축에 중점을 둔 거시적 기술개발인 반면, ② 과제는 개별 선박의 위험 탐지 및 재난 대응을 위한 AI 기반 의사결정 지원 기술 개발에 초점을 둔 미시적 안전기술 과제로 차별화

제3절 사업 비전 및 목표

1. 비전

- ▣ (국내) 북극 해빙 및 항로 예측에 필요한 실측 기반 관측기술 확보와 자체 예측자료 생산을 통해 국가의 기후위기 대응 기술역량을 제고하고, 북극항로 운영의 안정성 및 효율성 확보, 나아가 해양재난 예측 정확도 향상 및 극지 물류안보 기반 강화에 기여
- ▣ (국외) 한국이 주도하는 북극 해빙 및 항로 예측 국제협력연구 수행을 통해 예측 자료를 다자간 거버넌스(IMO, Arctic Council 등)에 제공하고, 데이터 기반 극지외교 및 기술 영향력 확보
- ▣ (산업적 기여) 북극항로 이용 선박의 최적 운항 시점 및 항로 계획 수립, 해상사고 리스크 및 탄소배출 저감, 운항 중단에 따른 경제적 손실 예방, 관련 산업(해운, 조선, 정보 기술)의 글로벌 경쟁력 강화에 기여

2. 목표

- ▣ 북극항로의 상업적 활용과 안전한 운영을 위해, 위성·선박·드론·쇄빙선 등 다중 실측 기반 데이터를 활용한 해빙 및 항행 예측기술 개발과 실시간 시나리오 기반 운항 지원체계 구축
- ▣ (양적 성과) ① 북극 해역 실측자료 100건 이상 확보 및 예측모델 개선 적용, ② 계절 단위 북극 해빙 및 항로 가용성 예측정보 정기 산출 (3개월 단위, 연 4회 이상), ③ TSR, NSR 등 전략항로에 대한 시나리오별 가용성 지도 및 인터랙티브 시각화 플랫폼 구축, ④ 국제협력 연구 1건 이상 주도 및 10건 이상 참여 (SIPN, IASC 등 연계)
- ▣ (질적 성과) ① AI 기반 해빙 예측모델 고도화 (기술수준 TRL 3→5 향상), ② 항로 예측 정확도 향상 (예측 오차율 30% 이상 감소), ③ 북극 해빙 예측 국제협력 플랫폼 (SIPN-Arctic 등)에 공식 참여 및 데이터 제출 기관으로 등재

3. 사업의 범위

- ▣ (북극 해빙 관측체계 구축) 위성, UAV, 쇄빙선, 자동부이 등 실측 관측 플랫폼을 활용한 다중 해빙 정보 획득체계 정립

- 북극항로 운항에 필수적인 두께·이동·분포 데이터 확보 및 예측모델 학습자료로 활용
- ▣ (북극 해빙 및 항로 예측시스템 개발) 지구시스템모델과 AI 기반 예측 알고리즘을 접목한 북극 해빙 및 항로 통합 예측시스템 개발, 글로벌 표준에 부합하는 항로 가용성 예측 및 위험도 지도화 체계 구축
- Polar Code 대응자료 및 국제 제출자료 생성 가능
- ▣ (AI 기반 북극항로 시나리오 생산 및 운영지원 체계 구축) 최신 AI·기계학습 기술을 활용한 운항 시나리오별 해빙 변화 예측 및 경로 추천 알고리즘 개발, 인터랙티브 가시화 플랫폼을 통한 운항 의사결정 지원체계 구현
- 해운사, 항만공사, 정책기관 등 실수요자 대상 서비스 연계 가능



4. 현재 기술수준 및 향후모습

□ 기존·신규과제 기술 개선수준 및 향후모습 비교

핵심 항목 (내용)	현재 수준(모습) ~'25	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습) '32~(종료이후)
		'26년 수준	목표수준 '30(종료년도)	
실측기반 항로 관련 해빙 및 물리-해양· 기후환경 데이터 고도화	<Level 1> ■ 항로 관련 제한적 관 측 데이터 보유 ■ Polar Code 대응을 위 한 정식 실측정보 체 계 미비	<Level 1→2> ■ 기본 관측체계 구축 및 관측 착수 - 수심도 및 해저지형도 실측 - 관측장비 복합운용 및 고해 상도 해빙 실측 ■ Polar Code 대응 초기 데이터 확보 시작 - 선박 방사소음 측정 - 블랙카본 및 해양오염물질 측정	<Level 2→4> ■ 해빙·기후·해저지형 등 다차원 고해상도 실측 정보 100건 이상 확보 - 차세대 쇄빙선(30~) 기반 중앙북극해까지 확장 관측 ■ 국제 표준 대응 자료 제출	<Level 5> ■ 중앙북극해까지 북극 항로 실측정보 독자적 확보 ■ 글로벌 극지 환경 평 가 주도
해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	<Level 1> ■ AI 기반 동적 예측·경 로 예측 미비	<Level 1→2> ■ AI 기반 예측 모델 설 계 및 개발 착수 ■ 한국형 북극항로 운영 모델 설계 및 개발 착 수	<Level 2→4> ■ 초고해상도 예측 모델 완성 ■ 항로·항구 예보 통합 시각화 플랫폼 운영	<Level 5> ■ 민간 해운사·물류사에 서비스형 API 제공 ■ 자율운항 대응 및 극 지 디지털 트윈 활용 까지 확장 가능
항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	<Level 0> ■ 연도별 항로 이용 가 용성 시나리오 및 운 영정보 통합 부재 ■ 리스크 예측 기능 전무	<Level 1→2> ■ 수치모델 및 시모델 기반 시나리오 생산 ■ 운항정보 수집 체계 구축	<Level 2→4> ■ 연도별·월별 항로 가 용성 시나리오 고도화 완료 ■ 북극항로연구센터 기 반 실시간 통합 분석 및 예측 운영	<Level 5> ■ 지속가능성·경제성·환 경영향 등 다중 요소 기반의 정책 의사결정 지원 체계 구축 ■ 국제 협력 허브 기능 수행으로 확대

상세 내역	과거 연구성과 ⇨	현재 수준 ⇨	향후 모습
기술 수준	위성 단일자료 기반 정성 분석 및 Polar Code 대응자료 부재	다중위성 기반 관측체계 구축, AI 기반 예측모델 설계, 수치·AI 모델 병행 적용	AI 기반 고해상도 예측·시나리오 시스템 완성, Polar Code 대응자료 국제 제출 가능
운용 방식	해운사 자체적 정보 의존	관측·예측 연계 시범 통합 구축 시작	항로 적합성 평가와 정책 대응 기능 포함한 실시간 위험 알람 및 항로 추천 자동 제공
그림			
적용 대상	극지연구소	극지연구소, 해수부, 국내 해운사	국내외 해운사, 보험사, 물류기업, 항만당국, 국제기구
파급 효과	기초자료 확보(정책 및 산업적 활용도 낮음)	정책 기획 자료로 활용 시작	경제적 효율성 + 환경안전성 + 정책 기반 강화



Korea Polar Research Institute

북극항로 운영 위한 실측
기반 통합 예측기술 개발
위한 기획연구

제5장 전략과제 및 핵심기술 도출

제1절 기술수요조사

제2절 전략과제 선정

제3절 총괄기술 로드맵

제4절 국제협력 필요성 및 프로젝트 추진체계

제5절 기대효과

제1절 기술수요조사

1. 수요조사



▣ (추진방향) 3개 분과별 주요 추진 방향에 따른 수요조사 실시

▣ (기술수요조사) 기술수요조사 사전검토 우선순위 검토

▣ 북극항로 확대 대응 위해 필요한 정보 리스트

필요 정보	세부 내용	활용 분야	보유 현황
해빙 정보	실시간 해빙 분포도 및 예측	항로 가용성	· 25km 해상도 위성자료 보유 · 100km 해상도 계절예측 생산
	해빙 두께 및 밀도 자료	일반 선박, 쇄빙선 운항 가능 여부 판단	· 산출기술 개발 중
	계절별 해빙 변화	연중 운항 가능 시점 파악	· 25km 해상도 위성자료 분석 · 100km 해상도 계절예측 생산
해양 기상 및 해황 정보	풍속, 풍향, 파고, 기온, 기압, 안개, 시정, 강설/강수	운항 안전성	· 없음(국외자료 활용)
	해류, 조석, 수온, 염분(해양물리) 및 관련 위험지역 자료	운항 안전성	· 없음(국외자료 활용)
	특이기상(극지 폭풍, 백야극야 영향 등)	운항 안전성	· 없음
	빙해역 특화 통합 예보자료(기상+해양+해빙)	운항 안전성	· 없음
해저지형 및 수심자료	북극 지역 항로 지형도 및 수심 지도	운항 안전성(좌초 위험 방지 및 해저 지질변화 감지)	· 없음(국외자료 활용)
	항로주변 암초, 해산, 퇴적지 위치정보	운항 안전성	· 없음(국외자료 활용)
위성 기반 항행정보 및 지리정보 시스템	항로 네비게이션 정보 및 북극권 전용 전자해도(ENC)	운항 안전성	· 없음(국외자료 활용)
	항해위험 지역(암초, 빙산 등)의 실시간 모니터링	운항 안전성	· 없음(국외자료 활용)

	자동식별시스템(AIS) 기반 선박 위치추적 및 항로 최적화 정보	운항 안전성	· 없음
	항해 시뮬레이션 결과 및 해상 리스크 분석 정보	운항 안전성	· 없음
기후변화 시나리오 기반 예측자료	항로 개방 가능 시점 예측	쇄빙선, 일반선박 운항 가능성	· 없음
	기후변화에 따른 항로 지속성	항로 가용성	· 없음(아라온 폴라코드 부합)
환경영향 및 생태계 자료	항로 주변 생물다양성, 해양 생태계 민감도	폴라코드 대응 극지 환경 보호	· 없음(국외자료 활용)
	선박 배출가스, 오염 사고 시 환경 파급력(EIA)	폴라코드 대응 북극 해역의 환경적 지속 가능성 평가	· 없음(국외자료 활용)
	오염 발생 시나리오 및 대응 모델링	폴라코드 대응 극지 환경 보호	· 없음(국외자료 활용)
	IMO의 폴라코드 및 관련 규제 대응 자료	폴라코드 대응	· 없음(국외자료 활용)
선박 성능 및 쇄빙 능력 정보	쇄빙선 시운전 데이터, 내빙 성능 테스트 결과	항로 활용성 제고	· 없음
	항로에 적합한 선형 설계 및 연료 효율성 연구	항로 활용성 제고	· 없음
정책·협력 기반 자료	북극이사회(Arctic Council) 관련 협력 현황	항로 활용성 제고	· 없음(항로관련)
	북극권 국가 항로 정보 공유 체계	항로 활용성 제고	· 없음

제2절 전략과제 선정

1. (항로 실측)실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화
2. (항로 예측)해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발
3. (항로 적합성 평가)항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출

제3절 총괄기술 로드맵

1. 중점 투자 및 기술분야

분야	세부내용	핵심분야
실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화	쇄빙선 기반 해빙 및 항행관련 실측	다중빔 음향측심기 활용 수심도 및 해저지형도 실측 및 분석
		관측장비 복합운용 해빙 실측 및 분석
		UAV 활용 고해상도 해빙 실측 및 분석
	Polar Code 대응 북극해 환경평가 데이터 관측	수중음향 수신기 활용 선박 방사소음 관측
		블랙카본 및 해양오염물질 관측
		Polar Code 대응 북극해 환경평가 데이터 정제 및 국제기구 제출
해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	다중 위성관측 기반 정밀 해빙 관측 체계 고도화	위성자료 융합처리 기술 개발
		해빙 유형 분류 및 이동 추적 알고리즘 개발
		정밀 공간·시간 정합 보정 기술
	인공지능 기반 북극 항로 예측 및평가 모델링	XAI 기반 예측 모델링 (설명가능한 AI)
		해빙 농도·두께·기상변수 등 다차원 변수통합 기술
		시계열 예측, 시뮬레이션 모델링, 경로 조건 기반 최적화 알고리즘
	극지 운항 지원 시스템 포함하는 북극항로 운영모델 개발	운항 안정성 지표 산정 알고리즘 및 위험 해역 판단 및 경보 시스템
		선박 조건별 맞춤 항로 추천 알고리즘
		사용자 인터페이스 및 인터랙티브 시각화 시스템 개발
	북극항로 및 항만에 대한 위성정보 준실시간 제공	항구 구조 및 해빙상태 인식 기술
		API 기반 위성정보 실시간 연동 기술
		IoT/Edge기반 현장정보 수집 및 분석기술 클라우드 기반 항만정보 서비스 플랫폼 구축
항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	AI모델 기반 시나리오 산출	딥러닝 기반 미래 항로 가용성 예측 기술
		불확실성 분석 및 다중 시나리오 분기 구조 설계
		AI 학습용 운항기상 빅데이터 처리기술
	수치모델 기반 시나리오 산출	북극기후/해양 물리 수치모델링 기술
		고성능 컴퓨팅 기반 시뮬레이션 운용
		위성/실측자료로 수치모델 보정 기술
	항로 운영정보 확보	북극 운항사례 DB 구축 및 정형화 기술
		쇄빙지원 계획, 안전정보 등의 메타정보 구조화 기술
		해운사/당국 협업 기반 정보 확보체계
	북극항로연구센터 운영	북극 데이터 공유연구 네트워크 관리 기술
		지역산학연 협력 프로그램 운영 전략
		연구성과 확산을 위한 정책협력 및 교육 프로그램 기획

2. 연구 개발 주요 내용



<북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 모식도>

□ 전체 사업내용

○(항로 실측) 실측기반 항로 관련 해빙 및 항로관련 데이터 고도화 및 Polar Code 규제 대응정보 확보

– 쇄빙선 투입가능 지역 고해상도 해빙 및 항행관련 실측자료* 생산

* 해빙 분포, 농도, 두께, 이동, 유형, 강도, 거칠기, 해도, 수심도, 해저지형 등

** 차세대쇄빙선 활용('30~) 2단계 중앙북극해 북극점까지 탐사영역 확대

– Polar Code* 대응 북극해 환경평가 데이터** 획득·제출

* 극지방 국제항해 안전 및 환경 보호를 위한 국제규범

** 선박 방사소음, 블랙카본 및 오염물질 모니터링 및 북극이사회 작업그룹(PAME)에 보고

*** 북극항로 시험운항('26) 동반 관측으로 실질적 환경평가 데이터 확보

○ (항로 예측) 해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발

– 다중위성자료 기반 해빙 관측체계 고도화

– 인공지능 기반 북극항로 예측·평가 모델 개발

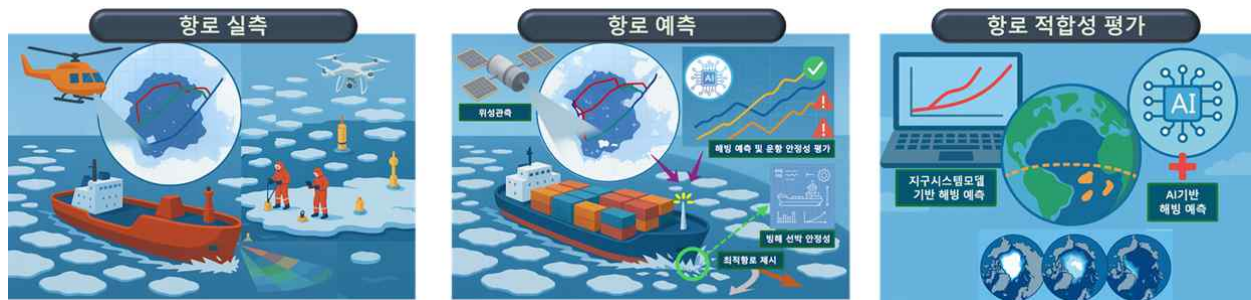
– 극지 운항 지원 시스템 포함 한국형 북극항로 운영모델 개발

- * 초고해상도 해빙 모델, 북극 운항 위험도 평가 및 의사결정 지원시스템 포함
- 항로 및 항만 정보를 시각적으로 통합 제공하는 인터랙티브 플랫폼 구축으로 실시간 운항 의사결정 지원 기능 강화

* 항로이용 선산에 시스템 개방으로 경제성과 안전성 제공

○ (항로 적합성 평가) 근미래 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 산출

- 상업적 수요 기반 북극항로 전망 불확실성을 저감한 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오로 지속가능한 북극 항로 운영 지원
- * 물리기반 수치모델 및 AI모델 병행하여 활용
- ** 실질적 항로 운영정보(운항허가·쇄빙지원계획·항로안전정보) 확보까지 포함하는 종합 시나리오 산출
- 부산에 ‘북극항로연구센터’ 신설하여 부울경 및 동남해안 지역 산학연과 협력연구 포함 지속가능한 북극항로 운영의 허브 역할 수행
- * 북극항로 거점 도시에서 관측·예측 통합정보와 운항지원을 위한 실시간 예측·분석 서비스를 제공



<북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발>

핵심기술	주요 연구 내용
1. (항로 실측) 실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화	- 쇄빙선 기반 항로지원 위한 관측체계 구축 및 항행관련 정보 실측 - Polar code 대응 북극해 환경평가 데이터 확보(선박 방사소음, 블랙카본, 해양오염물질 등)
2. (항로 예측) 해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	- 위성기반 정밀 해빙 관측 체계 개발 - AI기반 북극 항로 예측 및 평가 모델 개발 - 극지 운항 지원시스템을 포함하는 한국형 북극항로 모델 개발 - 항로·항만 위성정보 준실시간 감시체계 구축
2. (항로 적합성 평가) 항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	- 수치모델 기반 근미래 항로 가용성 시나리오 산출 - AI모델 기반 근미래 항로 가용성 시나리오 산출 - 근미래 항로 가용성 시나리오 산출

3. 성과 지표

성과지표명	목표치					측정방법
	'26	'27	'28	'29	'30	
실측기반 항로 관련 해빙 및 항로관련 데이터 고도화 및 Polar Code 규제 대응정보 확보 달성도	10	30	50	75	100	기술개발로드맵에 따라 계획된 연차별 실적치는 표 1에 따라 연도별로 산정
해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발 달성도	5	20	40	70	100	기술개발로드맵에 따라 계획된 연차별 실적치는 표 2에 따라 연도별로 산정
근미래 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 산출 달성도	5	20	40	70	100	기술개발로드맵에 따라 계획된 연차별 실적치는 표 3에 따라 연도별로 산정

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
항로 실측정보 확보	Polar Code 대응 북극해 환경평가 데이터 관측	관측거점 자료 획득 (30 개소 이상)	- 수중음향 수신기 활용 선박 방사소음 측정 - 블랙카본 및 해양오염물질 측정 - 탐사보고서 및 KPDC 자료 업로드 확인
	해빙 및 연관된 물리·해양·환경 변수 실측	정선자료 70 정점 이상 획득	- 다중빔 음향측심기 활용 수심도 및 해저지형도 실측 및 분석 - 관측장비 복합운용 해빙 관측자료 획득 - UAV 활용 고해상도 해빙 실측(2회 이상) - 북극해 지역 탐사(최소 4시즌 탐사 수행) - 탐사보고서 및 KPDC 자료 업로드 확인
	국제협력	6건 이상	- 북극이사회(PAME) 보고(2건 이상) - 국외 연구기관과 공동연구 수행 (LOI, LOA, MOU 등) - 국외 연구기관과 인력교류(파견·유치·국제워크숍 개최)
북극항로 예측체계 개발	AI 기반 다중위성 해빙 분석 알고리즘	2식	- GS(Good Software) 인증서 획득
	한국형 북극항로 운영모델 개발	극지 운항 지원 시스템을 포함 항로 운영모델	- 인공위성 관측자료 기준 모델의 항로 모의 성능을 표준모델 실험 대비 비교평가 (관측된 입력자료 활용하여 기존 모델과 비교)
	시각화 플랫폼 구축	해빙 및 항행 맞춤형 정보 가시화 툴	- 항로 및 항만정보 통합제공 인터랙티브 플랫폼 개발 및 운영 여부 • 검증 알고리즘 기반 시스템 프로토타입 개발(28) • 실험역 검증 기반 고도화(30)
항로 적합성 평가	항로 가용성 시나리오 산출	근미래(~2040) 연도별·월별 상세 시나리오	- 운항허가 조건, 쇄빙지원 계획, 항로위험 분석 등 포함
	거점지역에 허브기관 구축운영	1건	- 북극항로연구센터 운영

	국내외협력 및 성과확산	6건 이상	- 국내 심포지엄·포럼·워크숍 개최 - 국내 연구기관과 공동연구 수행 (LOI, LOA, MOU 등)
북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 관련 연구	SCIE 논문게재	30 편 이상	- 논문 총 30편 이상 게재하되, <u>아래의 논문들을 포함하여</u> 성과물 제출 · 국제공동저술 논문 5편 · 현장 관측자료 활용 논문 5편 · 항로예측 논문 3편 · mmlF* 70이상 SCI(E)급 논문 5편 * mmlF: 표준화된순위보정영향력지수(Modified Rank Normalized Impact Factor) 순위보정지수의 최소값을 0, 최대값을 100으로 표준화한 것으로 지수 값이 큰 저널일수록 해당분야 내에서 위상이 높은 저널임

< 표 1 실측기반 항로 관련 해빙 및 항로관련 데이터 고도화 및 Polar Code 규제 대응정보 확보 달성도 >

연도	연도별 달성계획	측정방법	실적인정	누적실적
2026	Polar Code 대응 북극해 환경평가 데이터 관측	관측거점 3개소 이상	4%	10%
	해빙 및 연관된 물리·해양·환경 변수 실측	정선자료 9정점 이상	3%	
	국제협력	1건 이상	3%	
2027	Polar Code 대응 북극해 환경평가 데이터 관측	관측거점 6개소 이상	8%	30%
	해빙 및 연관된 물리·해양·환경 변수 실측	정선자료 13정점 이상	8%	
	국제협력	1건 이상	4%	
2028	Polar Code 대응 북극해 환경평가 데이터 관측	관측거점 6개소 이상, 제어부	8%	50%
	해빙 및 연관된 물리·해양·환경 변수 실측	정선자료 13정점 이상	8%	
	국제협력	1건 이상	4%	
2029	Polar Code 대응 북극해 환경평가 데이터 관측	관측거점 6개소 이상	9%	75%
	해빙 및 연관된 물리·해양·환경 변수 실측	정선자료 13정점 이상	12%	
	국제협력	1건 이상	4%	
2030	Polar Code 대응 북극해 환경평가 데이터 관측	관측거점 6개소 이상	9%	100%
	해빙 및 연관된 물리·해양·환경 변수 실측	정선자료 13정점 이상	12%	
	국제협력	1건 이상	4%	

< 표 2 해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발 달성도 >

연도	연도별 달성계획	측정방법	실적인정	누적실적
2026	AI 기반 다중위성 해빙 분석 알고리즘	알고리즘 개발 및 등록 여부	3%	5%
	한국형 북극항로 모델 개발	AI기반 북극항로 예측·평가 모델 설계 여부	1%	
	시각화 플랫폼 구축	인터랙티브 가시화 툴 설계 여부	1%	
2027	AI 기반 다중위성 해빙 분석 알고리즘	알고리즘 개발 및 등록 여부	8%	20%
	한국형 북극항로 모델 개발	AI기반 북극항로 예측·평가 모델 개발 여부	5%	
	시각화 플랫폼 구축	인터랙티브 가시화 툴 개발 여부	2%	
2028	AI 기반 다중위성 해빙 분석 알고리즘	알고리즘 개발 및 등록 여부	8%	40%
	한국형 북극항로 모델 개발	극지 운항 지원시스템 포함 여부	8%	
	시각화 플랫폼 구축	인터랙티브 가시화 툴 초기버전 구축여부	4%	
2029	AI 기반 다중위성 해빙 분석 알고리즘	알고리즘 개발 및 등록 여부	16%	70%
	한국형 북극항로 모델 개발	북극항로 예측모델 성능개선 여부	8%	
	시각화 플랫폼 구축	인터랙티브 가시화 툴 개선여부	6%	
2030	AI 기반 다중위성 해빙 분석 알고리즘	알고리즘 개발 및 등록 여부	12%	100%
	한국형 북극항로 모델 개발	북극항로 예측모델 성능개선 여부	10%	
	시각화 플랫폼 구축	인터랙티브 가시화 툴 개선여부	8%	

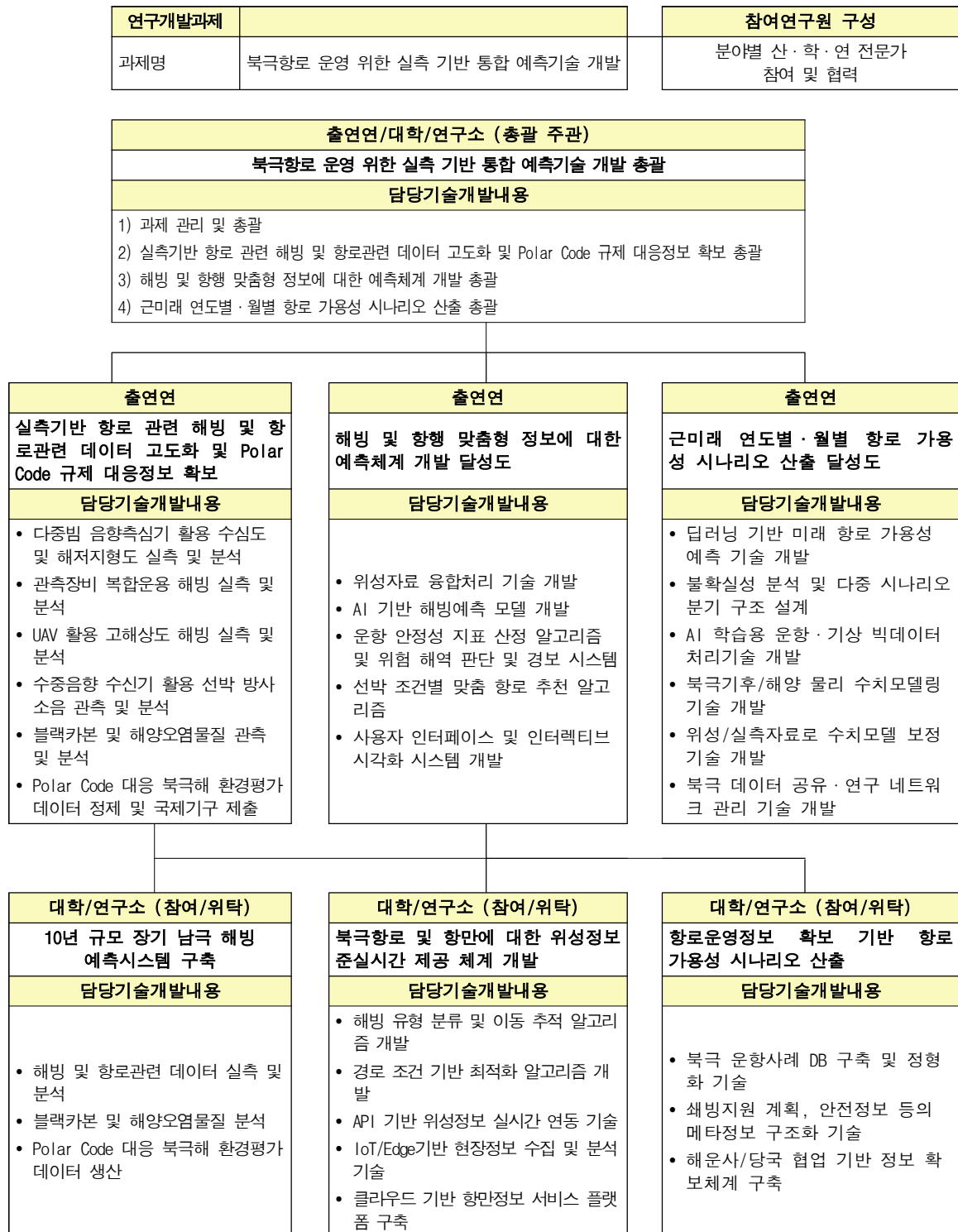
< 표 3 근미래 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 산출 달성도>

연도	연도별 달성계획	측정방법	실적인정	누적실적
2026	항로 가용성 시나리오 산출	AI모델 및 수치모델 기반 시나리오 설계 여부	2%	5%
	거점지역에 허브기관 구축·운영	거점지역에 허브기관 개설여부	2%	
	국내협력 및 성과확산	1건 이상	1%	
2027	항로 가용성 시나리오 산출	항로 운영정보 확보 여부	5%	20%
	거점지역에 허브기관 구축·운영	거점지역에 허브기관 운영여부	5%	
	국내협력 및 성과확산	1건 이상	5%	
2028	항로 가용성 시나리오 산출	항로 운영정보 포함된 근미래 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 산출 여부	10%	40%
	거점지역에 허브기관 구축·운영	거점지역에 허브기관 운영 및 활용여부	5%	
	국내협력 및 성과확산	1건 이상	5%	
2029	항로 가용성 시나리오 산출	근미래 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 개선 여부	20%	70%
	거점지역에 허브기관 구축·운영	거점지역에 허브기관 운영 및 활용여부	5%	
	국내협력 및 성과확산	1건 이상	5%	
2030	항로 가용성 시나리오 산출	항로 운영정보 포함된 근미래 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 고도화 여부	20%	100%
	거점지역에 허브기관 구축·운영	거점지역에 허브기관 운영 및 활용여부	5%	
	국내협력 및 성과확산	1건 이상	5%	

4. 추진 체계

○(추진체계)

– 사업추진체계



- 본 사업은 해양수산부, 해양수산과학기술진흥원, 주관·참여기관 등 추진 주체간 유기적인 협력을 통해 연구개발을 진행
 - 해양수산부(총괄): 사업의 총괄기획 및 정책과의 연계성 등을 종합적으로 검토하며, 관련규정에 의거하여 해당업무를 수행
 - 해양수산과학기술진흥원(전문기관): 연구개발사업의 기획·평가·관리를 전담하며, 위원회 등을 운영하며 전문적·효율적으로 사업 운영
 - 연구기관: 극지 관련 연구개발, 도출 기술 활용, 연구개발과제의 성과보고 및 확산 등 수행

- 협력체계 모식도



<협력체계 모식도>

5. 추진 방식

- 「제4차 국가연구개발 성과평가 기본계획(’21~’25)」에 따른 “국가연구개발 과제평가 표준지침 개정(안) (2021.12.15.)” 기준 지정공모를 통한 선정평가 절차를 거쳐 협약
 - * (법적근거) 국가연구개발사업 등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률
- 국가연구개발사업 평가 절차 준용
 - (평가방향) 연구자 역량 및 창의 도전성을 심층 검토하여 선정하고, 단계 및 최종평가는 정량적 목표 달성도가 아닌 연구성과의 질적수준 위주로 정성평가 추진
 - (적용대상) 창의·도전적 연구환경 조성을 위해 연구 과정 자체의 가치를 존중하는 관점의 과제 선정 및 평가

- (평가방식) 성량적 목표달성도가 아닌 기술적 우수성 및 파급효과, 연구성과 질적 수준 등을 위주로 정성평가 추진

		세부내용
평가기준		· 과정존중
대상과제		· 소관부처가 지정
주요내용	선정평가	· 연구지역량 및 창의·도전성을 심층검토
	단계평가	· 차 단계 연구개발계획 컨설팅
	최종평가	· 정성평가(연구성과·의의 의견제시)
기타 (성과확보방안)		· 후속선정 시 최종평가 결과 연계

7. 연도별 사업 추진 계획

○(추진계획)

(단위 : 억 원)

내역사업명	구분	'26	'27	'28	'29	'30	'31	합계
남극해 급격한 온난화 대응 남극 해빙 예측 기술 개발	국비	54	72	72	72	72	72	414
	지방비	-	-	-	-	-	-	-
	민자	-	-	-	-	-	-	-
합계	국비	54	72	72	72	72	72	414
	지방비	-	-	-	-	-	-	-
	민자	-	-	-	-	-	-	-
	계	54	72	72	72	72	72	414

○ (자문회의) 재정 조정에 따른 연구내용 조정 및 최적화

【 전문위* 의견 (1) 】 (예산적절성)

- ▶ 국정과제로서의 필요성과 전략적 타당성은 충분히 인정되나, 총사업비가 다소 과도하다는 지적에 따라 일부 축소 및 재구조화 필요

※ 변경 내용에 대한 사유 등 작성

- (기존) 총사업비 414억원 / 총사업기간 2026-2031
- (변경) 총사업비 300억원 / 총사업기간 2026-2030

- (1~2차년도)
 - 핵심요소 실측* 및 한국형 북극항로 모델 개발에 집중, 기존 과제로부터 북극해 관련 자료 확보하여 활용 : 126억원 ⇨ 56억원
 - * '26년 시범운항 참여 Polar Code 대응 관측자료 확보 등
- (3~4차년도)
 - 수요기반* 항행 적합성 평가 시작 및 현장관측 확대 : 144억원 ⇨ 158억원
 - * 선사·항만·화주로부터의 수요 기반 항행 관련 필수 자료 확보
- (5차년도)
 - 제2쇄빙선 활용 현장관측 확대 및 모델·시나리오 고도화 : 144억원 ⇨ 86억원

(단위 : 억원)

내역사업명	구분	'26	'27	'28	'29	'30	합계
북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발	국비	29.13	51.40	71.40	77.67	70.40	300
	지방비	-	-	-	-	-	-
	민자	-	0.75	0.75	0.75	0.75	3
합계	국비	29.13	51.40	71.40	77.67	70.40	300
	지방비	-	-	-	-	-	-
	민자	-	0.75	0.75	0.75	0.75	3
	계	29.13	52.15	72.15	78.42	71.15	303

《 2026년 정부연구개발투자 방향 및 기준 관련 내용》

- 극지 등 해양과학영토 확대 연구 투자 강화
 - 기후·환경문제 대응 및 자원 안보를 위한 극지 연구 투자 확대 및 관련 기술개발 추진
 - 북극항로 개척과 같은 국가 전략사업 추진을 위한 해운·조선 정책 수립 및 국내 기업의 진출 기반 강화
- 북극항로 관련 공약 및 국정과제 이행
 - 공약: 북극항로 진출 거점을 육성하겠습니다.”(성장기반구축16)
 - 국정과제: (경제2-1) 북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설
(경제2-1-2) 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점

기존

변경

- 요구내용: **5,400백만원**
- (항로 실측) 실측 기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화를 위한 1,800백만원 요구
- (신규) 1내역×1,800백만원 = 1,800백만원
- (항로 예측) 해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발을 위한 2,000백만원 요구
- (신규) 1내역×2,000백만원 = 2,000백만원
- (항로 적합성 평가) 항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출을 위한 1,600백만원 요구
- (신규) 1내역×1,600백만원 = 1,600백만원

- 조정결과: **2,913 백만원**
- (항로 실측) 실측 기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화를 위한 1,600백만원 반영
- (신규) 1내역×1,600백만원 = 1,600백만원
- (항로 예측) 해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발을 위한 1,313백만원 반영
- (신규) 1내역×1,313백만원 = 1,313백만원

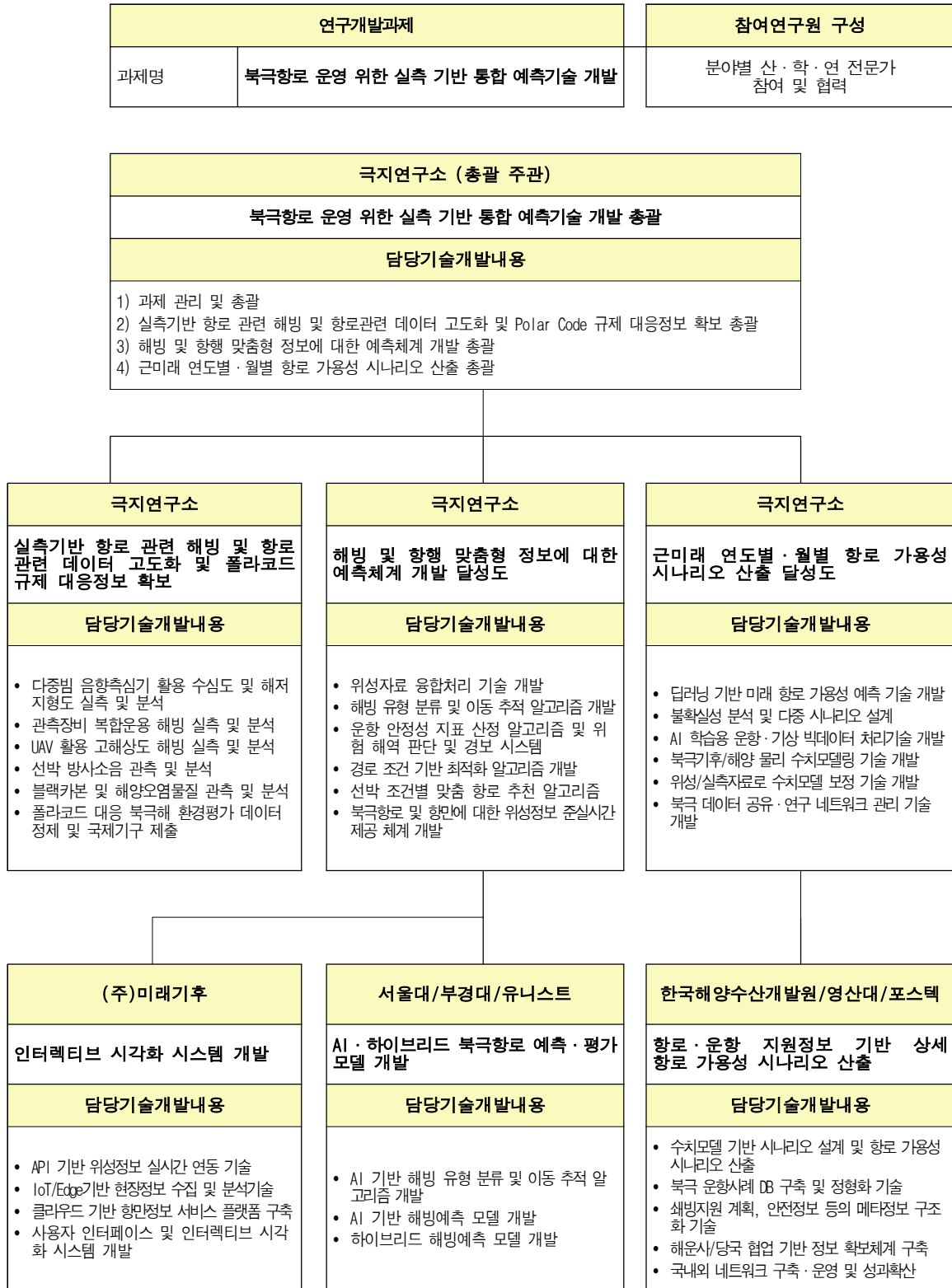
○ 총사업비 **414억원** / 총사업기간 2026-2031

○ 총사업비 **300억원** / 총사업기간 2026-2030

세부 연구내용 및 연구비 소요내역 (단위: 백만원)							
세부과제	세부내용	'26	'27	'28	'29	'30	'31
실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화	북극항로 실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화	5,400	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200
	항로실측을 위한 관측체계 구축	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
	항로실측을 위한 관측체계 구축 및 개선	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
	항로실측을 위한 관측체계 구축 및 개선	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
항로 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	항로 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
	항로 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
	항로 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
	항로 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600

세부 연구내용 및 연구비 소요내역 (단위: 백만원)							
세부과제	세부내용	'26	'27	'28	'29	'30	소계
실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화	북극항로 실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화	2,913	5,140	7,140	7,767	7,940	30,000
	항로실측을 위한 관측체계 구축	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	11,000
	항로실측을 위한 관측체계 구축 및 개선	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	11,000
	항로실측을 위한 관측체계 구축 및 개선	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	11,000
해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	1,313	1,313	1,313	1,313	1,313	12,800
	해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	1,313	1,313	1,313	1,313	1,313	12,800
	해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	1,313	1,313	1,313	1,313	1,313	12,800
	해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	1,313	1,313	1,313	1,313	1,313	12,800
항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	1,313	1,313	1,313	1,313	1,313	6,200
	항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	1,313	1,313	1,313	1,313	1,313	6,200
	항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	1,313	1,313	1,313	1,313	1,313	6,200
	항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	1,313	1,313	1,313	1,313	1,313	6,200

- 수정된 사업추진체계



8. 자원 조달 방법

○ 총사업비: 303억원 규모 국비로 구성

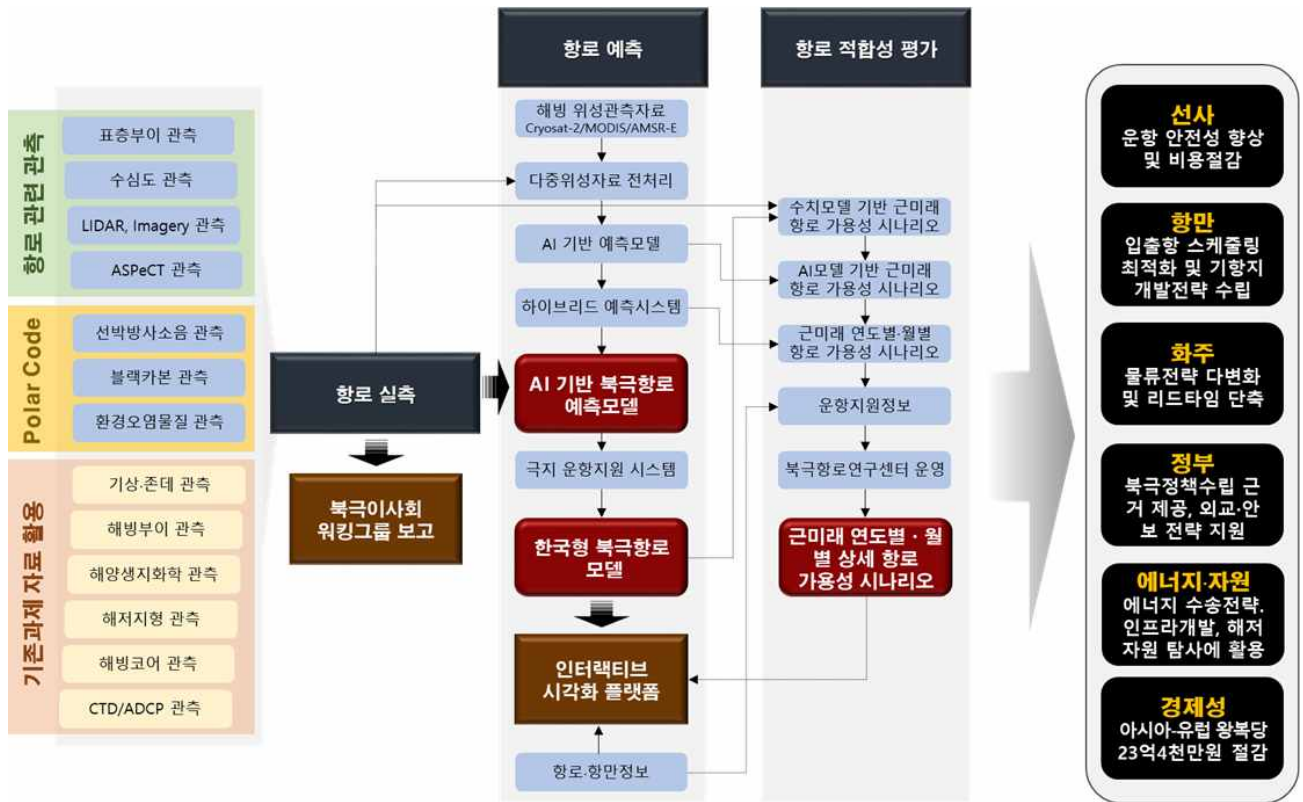
- 국비 300억원, 민자 3억원

○ 26년도 요구내역

① 북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발: ('25) - → ('26요구) 5,400백만원 → ('26검토) 2,913백만원, 순증

- 실측기반 항로 관련 해빙 및 항로관련 데이터 고도화 및 Polar Code 규제 대응정보 확보(1,600), 해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발(1,313) 등 반영 (3,884X9/12=2,913백만)

9. 연구 체계도



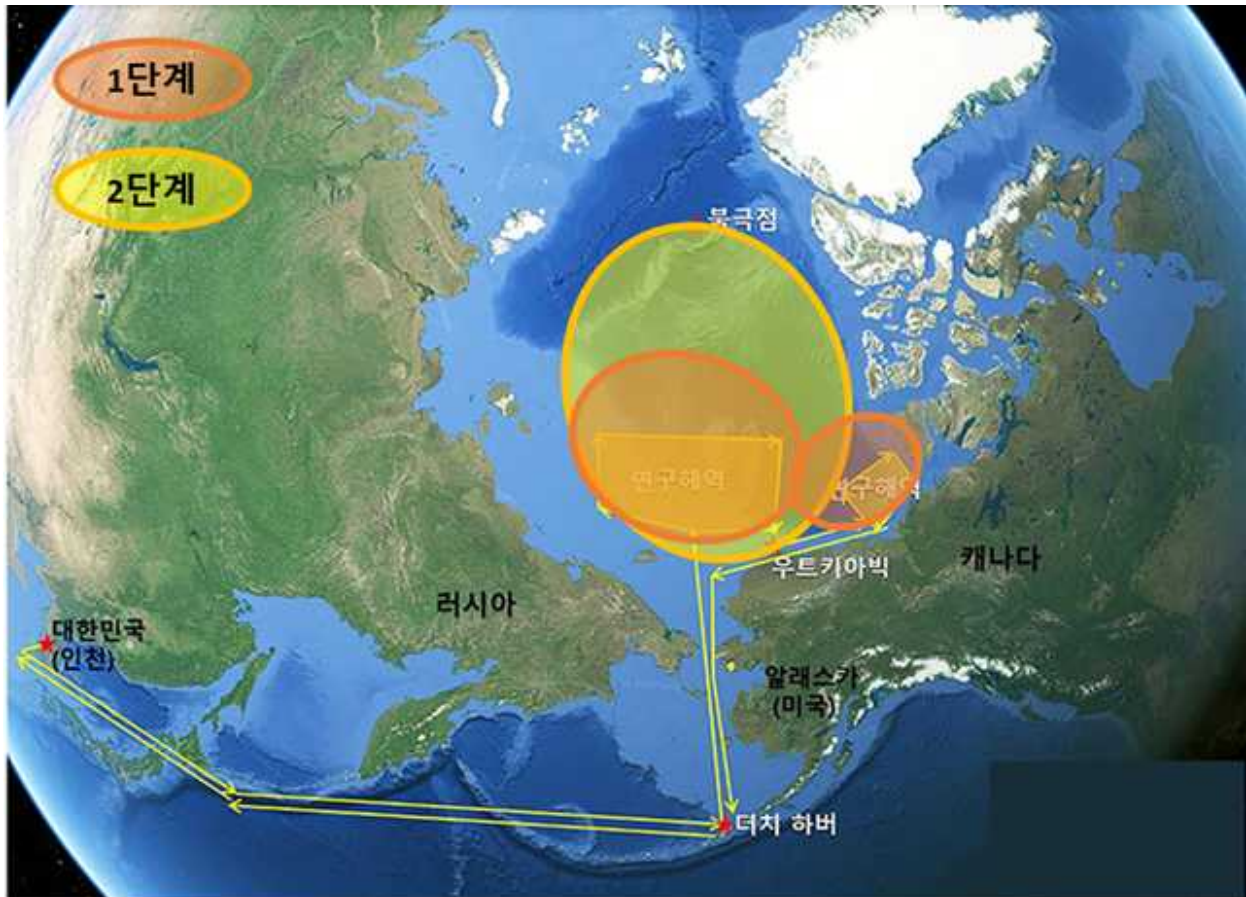
10. 탐사지역 확대

○ (1단계) 북극 해빙이 녹는 현황 기반 이동경로 점차 중앙북극해로 확대

- 확대된 영역 자료 확보 및 기존 탐사지역 반복 탐사로 장기데이터 확보

- 북극항로 시험운항 동반('26계획)으로 폴라코드 관련 환경데이터 확보

- 국제협력 플랫폼을 활용하여 실측 이외 지역 자료 획득
- (2단계) 차세대 쇄빙선 활용 중앙북극해 북극점까지 확대
 - 광역 실측자료 확보로 한국형 북극항로 운영모델 성능 도약발판 마련
 - 북극점을 포함하는 넓은 지역 탐사 주도로 북극과학 국제리더십 확보



<아래온 북극항해 이동계획>

11. 기술개발 목표

- 북극항로 과학정보 관측체계 구축 및 실측정보 100건 확보
- 북극이사회 워킹그룹 Polar Code 대응 환경자료 산출
- AI기반 북극항로 예측·평가 생산역량 제고(기술수준 Level 1→Level 4 향상)
- 극지 운항 지원 시스템을 포함 한국형 북극항로 운영모델 개발
- 항로 및 항만 정보를 시각적으로 통합 제공하는 인터랙티브 플랫폼
- 실시간 지능형 극지 운항 의사결정 지원체계 제공
- 항로 가용성 시나리오 정확도 향상

12. 주요 성과물

○ 예상성과

- 실측 북극항로 과학정보 확보 및 선도국 수준 관측체계 구축·운영
- AI기반 고해상도 북극항로 예측·평가 모델 개발
- 한국형 북극항로 운영모델 및 인터랙티브 플랫폼 운영
- 근미래 운항허가 조건, 쇄빙지원 계획, 항로위험 분석 등 종합한 정밀한 연도 별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 공유
- 북극이사회 워킹그룹 Polar Code 대응 환경자료 정기 제출
- 부산에 북극항로연구센터 운영

○ 극지 운항 지원시스템을 포함하는 한국형 북극항로 운영모델 개발

- (내용) ①실측 기반 북극항로 과학정보 100건 이상, ②선도국 수준의 극지 해양·기후 관측체계 구축 및 운영, ③이를 바탕으로 AI 기반 고해상도 항로 예측·평가 모델 개발, ④항로 및 항만 정보를 시각적으로 통합 제공하는 인터랙티브 플랫폼 구축 및 실시간 운항 의사결정 지원 기능 강화
- (국정과제 기여) 실질적 북극항로 운영 역량 확보를 통해 형제 2-1-2: 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점」에 직접 기여
- (활용) 극지 운항 전략 수립, 정부 정책 결정 지원, 민간 선사 항로 설계·운항계획 수립 등에 활용되어, 과학적 근거에 기반한 항행 리스크 대응 역량을 실질적으로 제고

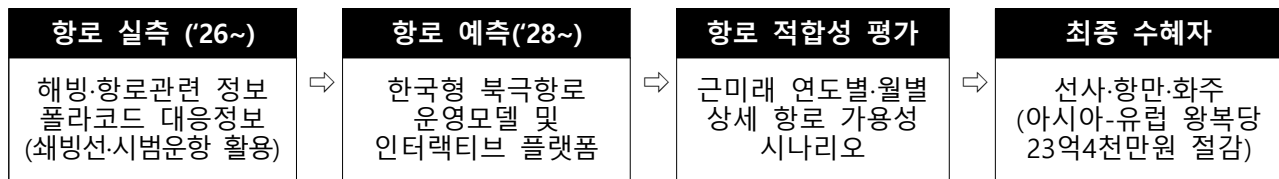
○ 북극이사회 워킹그룹 제출 위한 폴라코드 대응 환경자료

- (내용) 국제해사기구(IMO) 폴라코드 이행 지원을 위한 선박 방사소음, 블랙카본, 해양오염물질 관련 실측 환경자료 수집·정제하고, 북극이사회 PAME* 작업그룹에 제출 가능한 수준의 국제표준형 자료 구축
- * PAME(Protection of the Arctic Marine Environment)은 북극 해양환경의 지속가능한 이용을 위해 설립된 북극이사회 산하 작업그룹으로, 선박 활동 분석, 환경규제 가이드라인 마련, 폴라코드 이행 현황 평가 등 국제 정책 논의를 주도
- (국정과제 기여) 북극 항로 이용국으로서의 국제적 책임과 데이터 기여 역할 이행으로 규범 기반의 지속가능한 북극항로 개척 리더십 확보에 기여

- **(활용)** 북극 관련 국제표준 수립 논의 및 협의체 참여, 국제기구에서의 환경 규제 대응자료 및 협상 근거 자료로 활용

○ 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오

- **(내용)** AI 기술 및 수치모델을 활용하여 근미래 항로 이용 가능성을 연도별·월별 단위로 예측하고, 운항허가 조건, 쇄빙지원 계획, 항로위험 분석 등을 종합한 정밀 운영 시나리오 생산
- **(국정과제 기여)** 불확실성이 높은 북극환경에서 시기별·정책별 지정학적 리스크에 능동적으로 대응하고, 안정적 대체 물류 루트 확보를 통해 국제 무역 경쟁력 제고 및 공급망 안정성 강화에 기여
- **(활용)** 해운사 및 물류업계 북극항로 진입 시점 전략 수립, 정부 간 협상 및 정책결정 시 항로개방 타이밍 예측 등에 실질적 활용 가능



End product	핵심 성과 지표	목표 설정 근거		
		Y년 (현재)	Y+6년	선진기관 수준
- 한국형 북극항로 운영모델 개발 - 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 산출 - 북극이사회 실무그룹 Polar Code 대응 환경자료 제출	- 항로 실측정보 100건 확보 - 북극항로 예측·평가 생산역량 제고(기술수준 Level 1 → Level 4 향상) - 한국형 북극항로 운영모델 개발 - 항로·항만 인터랙티브 시각화 플랫폼 구축 - 운항허가 조건, 쇄빙지원 계획, 항로위험 분석 등을 종합한 항로 가용성 시나리오 산출 - 거점지역에 북극항로연구센터 운영	○ 기술 수준 - 현재 선진기관 대비 20%(Level 1) - 항로 관련 제한적 관측 데이터 보유 - Polar Code 대응을 위한 정식 실측정보 체계 미비 - AI 기반 동적 예측·경로 예측 미비 - 연도별 항로 이용 가용성 시나리오 및 운영정보 통합 부재 - 리스크 예측 기능 전무	○ 기술 수준 - 현재 선진기관 대비 80% (Level 4) - 해빙·기후·해저지형 등 다차원 고해상도 실측정보 100건 이상 확보 - 차세대 쇄빙선(30~) 기반 중앙북극해까지 관측 - 국제 표준 대응자료 제출 - 초고해상도 예측 모델 완성 - 항로·항구 예보 통합 시각화 플랫폼 운영 - 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 고도화 - 북극항로연구센터 기반 실시간 예측 운영	○ 기술 수준: 미국(NOAA, NSIDC) - 고해상도 수치모델, 위성 기반 동화 시스템, AI 보정 기술 등을 결합해, 예측 정밀도·시계열 분석·신뢰성 측면 모두에서 최상위 수준의 기술력을 보유 - 3~12km 수평해상도 6시간 단위 예측 제공, 오차(RMSE) 10~15% 수준

13. 기술사업화 계획

- AI 기반 북극항로 예측·평가 모델은 SaaS 플랫폼 API 기반 제공(GS 인증 2건 이상)
- 북극 운항지원 시스템 포함 한국형 항로운영모델은 인터랙티브 플랫폼으로 예보서비스를 제공하며, 향후 클라우드 API 및 선박 내장형 솔루션으로 확대하여 사업화(특허 3건 이상)
- 기술사업화 단계: ① 정밀 데이터 확보, ② 실시간 예측 플랫폼 구축, ③ 국내외 협력 네트워크 확대를 중심으로 사업화 추진체계를 조기부터 마련,
 - ▶ 2032년까지 한국형 북극항로 운영모델 완성 및 선박탑재 실증,
 - ▶ 2033년까지 해운사·물류기업·항만 대상 맞춤형 항로 분석 서비스 상용화
- * 국내 해운사 및 물류기업 타겟: 팬오션, 현대글로벌비스, 에이치라인해운, SK해운
- ** 글로벌 주요 해운사 타겟: 머스크, COSCO Shipping, MSC, ZIM 등
- *** 물류/항만기업 타겟: CJ 대한통운, 부산항만공사, 여수항만공사, 물류 스타트업 등
- 기술사업화 성과 목표 : 특허 등록 3건 이상, 기술이전 1건 이상, GS 인증 2건 이상, 산업체 협력 MOU 체결 3건 이상, 국제기구 협력 실적 5건 이상

제4절 기대효과

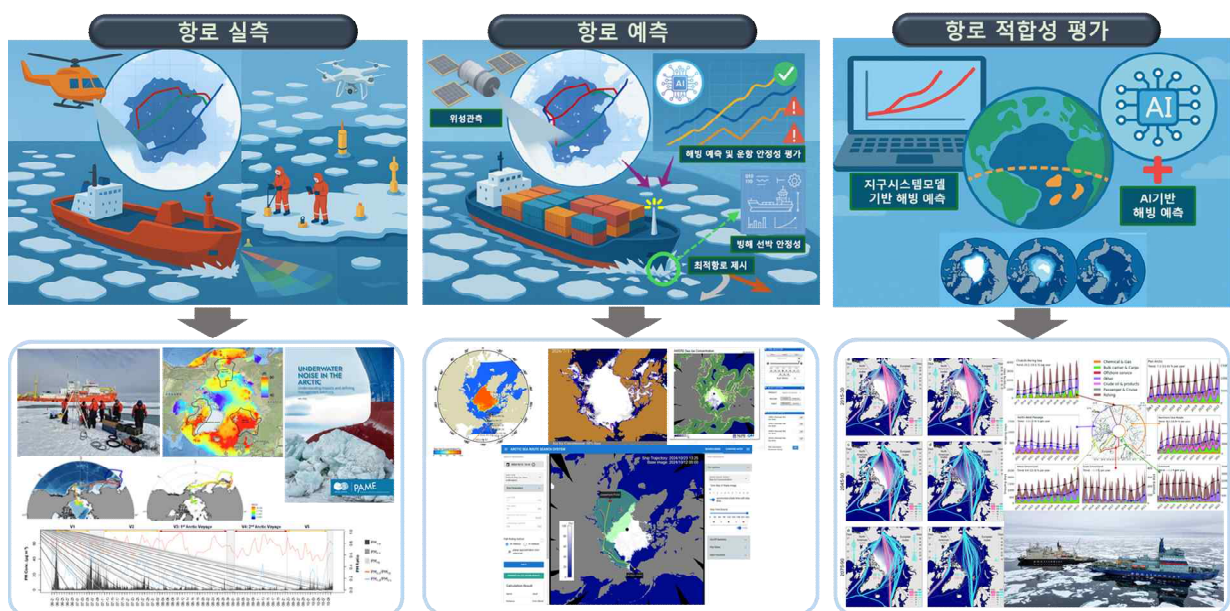
1. 기대 효과

- (해운사 및 선박운항 기관) 실시간 항로 예측 시스템과 해빙 위험 정보를 통해 안전 운항 확보 및 운항 효율 극대화
 - 선박별 조건(크기, 연료, 운항 목적 등)을 반영한 맞춤형 경로 추천을 통해 연료비 절감 및 스케줄 정확도 향상
 - 북극항로를 활용하려는 국내외 선사에 경제성 있는 신규 항로 전략 제시
 - 특히 예측 정확도 향상과 위험구간 사전 식별기술 확보를 통해 선박 손상 및 사고위험 감소→보험료 절감→운항비 절감으로 이어지는 직접적 경제적 파급효과 기대 (연료비 절감 20~30%, 운항시간 단축 30~40%, 운항사고 리스크 50%저감)
 - 항로 안전성 제고를 통한 해운보험 및 물류비용 절감으로 산업 전반의 비용 효율성 향상
- (물류/항만 산업) 항만 정박 가능성 분석, 입출항 타이밍 정보 제공으로 물류 대기시간 및 항만 혼잡 비용 감소
 - 북극항로 이용이 늘어날수록 부산·울산 등 국내 항만의 북극 물류 중계 거점화에 기여
- (Polar Code 및 국제 규범 대응) 선박 방사소음, 오염물질, 블랙카본 등 실측자료 확보로 국제규범에 대한 선제적 대응
 - IMO, 북극이사회(PAME 등)에 제출 가능한 표준화된 환경평가 자료 제공
- (국내 극지 정책 수립 지원) 과학 기반의 북극항로 운영 시나리오를 활용해 국토부·해수부 등 정부 기관의 북극 해상 전략 마련
 - 기후변화와 북극 개발 간 균형을 고려한 정책 대안 제시

2. 파급 효과

- (과학/기술적 파급효과)
 - 정밀 관측과 AI기반 예측기술 통해 북극 해양환경 모니터링 및 지속가능한 항로 운영 지원
 - 국내 독자 기술로 해빙·기후·지형 등 다양한 해양환경 정보를 실시간으로 획득하여 극지 관측기술의 고도화 및 국산화
 - 글로벌 선도국 수준의 AI 기반 극지 예측기술 확보로 기술 자립화
 - 정밀 위성자료와 실측, 모델 예측 결과가 통합된 지능형 항로운영지원 시스템 실현

- 북극이사회(PAME), IMO 등에서 한국산 북극 데이터를 과학공유 자산으로 인정받는 기반 조성
- (경제/사회적 파급효과)
 - 운항 안전성 향상과 기후위기 대응력 강화를 통해 경제적 피해를 줄이고 북극 관련 신산업 진출 기반을 마련
 - 해빙 변화 및 위험 해역 정보 실시간 제공으로 선박 손상·우회 비용 감소 등 북극항로 이용 실효성 증대 및 리스크 절감
 - 정밀 관측·AI 예측·운항 지원 등 연계 기술이 우주산업, 센서산업, 위성 서비스, 자율 운항 등 다른 신산업으로 확산 가능
 - 북극항로연구센터 기반 극지융합형 인재 수요 확대 및 지역산업 활성화 기대
- (정책적 파급효과)
 - 과학 기반 데이터를 활용해 북극정책의 실효성을 높이고 중장기 전략 수립 핵심 자료 제공 및 북극항로 운영의 지정학적 리스크 완화
 - 항로 가용성, 리스크 분석, 기후영향 예측 등 데이터 기반 정책 결정 가능하도록 국가 북극정책의 정량적 근거 확보
 - 선박 방사소음, 블랙카본 등 환경자료 확보로 Polar Code 및 IMO 대응력 강화하고 국제규범 대응 선도국 지위 확보
 - 러시아 중심의 동북항로 독점 위험에 대응하여 중립적·자립적 운항전략 마련 가능한 북극 항로 지정학적 리스크 대응 체계 구축
 - 부산·울산 등 극지 물류거점도시 육성 정책과 연계하여 지역 균형발전 효과 유도



<북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발 산출물 예시>



Korea Polar Research Institute

북극항로 운영 위한 실측
기반 통합 예측기술 개발
위한 기획연구

제6장 전략과제별 세부 추진계획

제1절 항로 관측

제2절 항로 예측

제3절 항로 적합성 평가

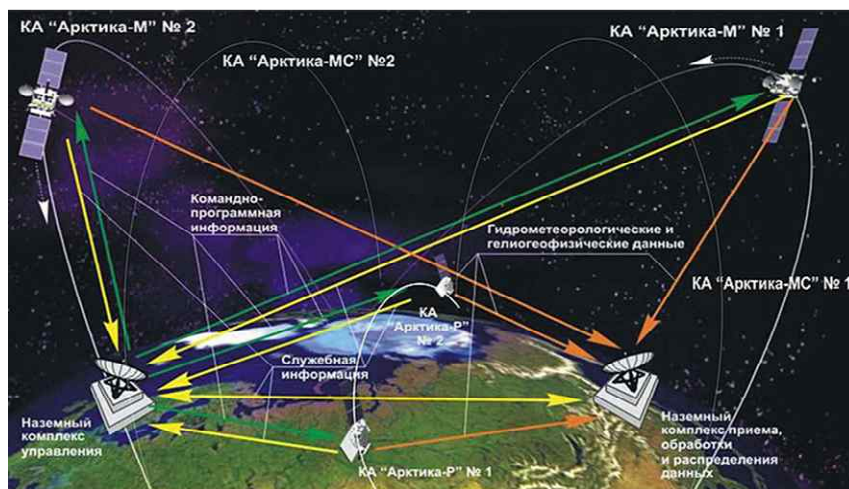
제1절 항로 관측

- (북극 해빙 관측체계 구축) 쇄빙연구선을 활용한 실측 관측 플랫폼 기반으로, 다중 해빙 정보를 통합적으로 확보할 수 있는 관측체계 정립
 - 북극항로 운항에 필수적인 해빙 두께, 이동, 분포 및 수심 데이터 확보
 - 확보된 자료는 예측모델 학습용 데이터로 활용하며, 폴라코드 대응을 위한 환경자료로도 사용
 - 주요 환경자료는 북극이사회 워킹그룹에 제출하여 국제 협력 기반 마련
- 북극이사회 워킹그룹 제출 위한 폴라코드 대응 환경자료
 - (내용) 국제해사기구(IMO) 폴라코드 이행 지원을 위한 선박 방사소음, 블랙카본, 해양오염물질 관련 실측 환경자료 수집·정제하고, 북극이사회 PAME* 작업그룹에 제출 가능한 수준의 국제표준형 자료 구축
 - * PAME(Protection of the Arctic Marine Environment)은 북극 해양환경의 지속가능한 이용을 위해 설립된 북극이사회 산하 작업그룹으로, 선박 활동 분석, 환경규제 가이드라인 마련, 폴라코드 이행 현황 평가 등 국제 정책 논의를 주도
 - (국정과제 기여) 북극 항로 이용국으로서의 국제적 책임과 데이터 기여 역할 이행으로 규범 기반의 지속가능한 북극항로 개척 리더십 확보에 기여
 - (활용) 북극 관련 국제표준 수립 논의 및 협의체 참여, 국제기구에서의 환경규제 대응자료 및 협상 근거 자료로 활용

제2절 항로 예측

- **(한국형 북극항로 운영모델 개발 및 운영지원 체계 구축)** 고해상도 위성자료와 AI 기술을 활용한 통합 예측 시스템 및 시각화 플랫폼 개발
 - 글로벌 표준에 부합하는 항로 가용성 예측 및 위험도 지도화 체계 마련
 - 운항 시나리오별 해빙 변화 예측 및 최적 경로 추천 알고리즘 개발
 - 인터랙티브* 시각화 플랫폼을 통해 운항 의사결정을 효과적으로 지원
 - * 사용자와의 쌍방향 상호작용이 가능한 시각화 시스템으로 북극항로와 같은 복잡한 과학정책 정보를 쉽게 이해하고, 상황에 맞춰 분석하거나 결정을 내릴 수 있도록 함
 - 해운사, 항만공사, 정책기관 등 실수요자와 연계 가능한 서비스 구조 확보
- **극지 운항 지원시스템을 포함하는 한국형 북극항로 운영모델 개발**
 - **(내용)** ①실측 기반 북극항로 과학정보 100건 이상, ②선도국 수준의 극지 해양·기후 관측체계 구축 및 운영, ③이를 바탕으로 AI 기반 고해상도 항로 예측·평가 모델 개발, ④항로 및 항만 정보를 시각적으로 통합 제공하는 인터랙티브 플랫폼 구축 및 실시간 운항 의사결정 지원 기능 강화
 - **(국정과제 기여)** 실질적 북극항로 운영 역량 확보를 통해 「경제 2-1-2: 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점」에 직접 기여
 - **(활용)** 극지 운항 전략 수립, 정부 정책 결정 지원, 민간 선사 항로 설계·운항계획 수립 등에 활용되어, 과학적 근거에 기반한 항행 리스크 대응 역량을 실질적으로 제고
- **(참고) 고해상도 SAR 기반 다중위성·AI 융합 북극항로(NSR) 맞춤형 동적 위험지도 및 최적항로 의사결정 시스템 개발**
 - 북극항로(NSR)는 해빙(Sea Ice), 기상, 교통혼잡, 지형복잡 등 동적 위험요소가 매우 크며, 이를 실시간으로 예측·관리할 수 있는 스마트 운항 지원체계가 필수적이다. 특히 북극에서는 극야·구름 등으로 광학 기반 관측의 한계가 커 전천후 관측이 가능한 SAR(영상레이더) 중심의 감시체계 구축이 핵심
 - 선도국(러시아 등)은 SAR를 북극항로 운영 지원의 핵심수단으로 보고, NSR 모니터링용 SAR 위성체계를 운영·확대하고 있음(Arktika-R, Kondor-FKA,

- Obzor-R 등). 이는 한국형 통합 예측 시스템 개발의 전략적 필요성을 뒷받침
- 또한 공공 위성 기반 “광역 지도”와 상업 SAR 기반 “전술적 스포트라이트”를 결합하는 2-tier 관측 아키텍처(뉴 스페이스 리비짓 확대)가 가속되는 만큼, 다중센서 자료를 통합해 실시간 위험지도·항로 추천으로 연결하는 연구가 요구
 - (목표) 고해상도 SAR 중심 다중센서(광학/열(SST)/고도계/ AIS) 자료와 AI 예측 엔진, GIS 기반 통합 플랫폼, 다목적 최적화 엔진을 결합하여 북극항로 맞춤형 의사결정 지원 체계를 구축
 - 1) SAR 중심 다중센서 융합 관측체계 설계 및 데이터 파이프라인 구축
 - 2) S그리드(Grid Cell) 기반 동적 위험지도(4단계) 산출 체계 개발
 - 3) AI 기반 단기 예측 및 사전 예방적 사고위험 추정 모델 개발
 - 4) 안정성(위험) - 효율성(연료/CO₂) 동시 고려 다목적 최적항로 산출 및 자동 우회 기능 구현
 - 5) 인터랙티브 대시보드 및 실시간 경보 기반 통합 관제 시각화 플랫폼 시제품 개발



<러시아의 북극 관측 위성 체계>

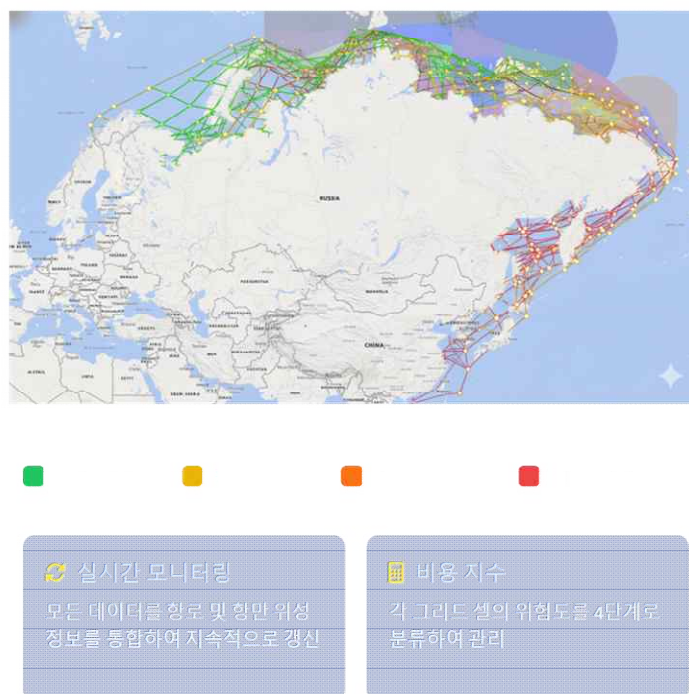
- (연구내용)

- 1) SAR 중심 다중센서 융합 관측체계 구축: SAR(전천후/주야간/암흑표적 탐지), 광학, 열(SST), 고도계(해류·파고), AIS 선박추적 데이터 통합
- 2) 전력망 위험관리 방법론(SRMM/SEGRID) 기반 ‘그리드형 위험관리’ 적용: 해상 공간을 격자(Grid Cell)로 구조화하고, 각 셀의 위험도를 녹색/황색/주황/빨강 4단계로 지속 평가하는 프레임워크 적용
- 3) GIS 기반 실시간 통합 계산 코어 구축: GIS를 공간 DB이자 계산 코어로 활용하여 기상예보, 해양데이터(해류/파고/해빙), 선박 성능 모델 등 다변수 입력을 통합하고, 그리드 셀 위험도를 갱신해 동적 위험지도를 생성
- 4) AI 예측 엔진 및 사전 예방적 위험추정 모델: AI 기반 항로 예측 모델: 극야/구름 상황에서도 항해 핵심정보를 자동 분석하고 단기 예측으로 사전 예방 위험추정: 과거 사고기록+환경변수+선박유형별 위험도를 학습하여 셀 단위 사고 가능성(위험지수) 산출
- 5) 다목적 최적화 엔진(안정성+효율성) 기반 최적항로 산출: 항로 추천을 단순 최단거리 문제가 아니라, 안정성(Stability) - 그리드 셀 위험지수 및 효율성(Efficiency) - 연료 소모·CO₂ 배출 기반 비용표면(cost surface), IMO CII 연계를 동시에 최소화하는 다목적 최적화로 정식화
- 6) 동적 리스크 관리 및 자동 우회(자동 재계산) 기능: 특정 셀이 위험/교통 등으로 “과부하” 상태가 되면 비용·위험지수 급상승 → 최적화 엔진이 자동으로 대체 경로 재계산, 운항 효율 저하(적색 구역) 진입 시 자동 우회 명령 수행
- 7) 통합 관제용 시각화·경보 플랫폼(대시보드): 입력(위성/기상/AIS + AI/수치모델 위험추정)을 바탕으로, 인터랙티브 대시보드(맞춤형 분석, 운항계획시스템 연동), 실시간 경고(적색구역 선제 경보, 효율성 저하 알림), 기능을 포함한 의사결정 지원 UI를 구현



<그리드 원리 기반 위험 관리 메커니즘 예시>

그리드 기반 위험 관리 시스템



<그리드 기반 위험 관리 시스템 모식도>

○ (참고) 인터랙티브 시각화 플랫폼 개발

- 인터랙티브 시각화 플랫폼 설계 및 개발
 - 인터랙티브 시각화 플랫폼 아키텍처 설계:
 - 맵기반 UI
 - 북극 영역 전개도 (극 투영), Time Slider
 - 표출 가능한 자료 레이어 선택/중첩
 - 항로 비교 뷰
 - 항로별 거리/소요 시간, 위험도, 비용, 예상 연료, 탄소 배출 등 제공 가능한 자료 그래프와 테이블 비교
 - 실측, 예측 비교
 - 과거 특정 기간, 모델 최적 항로, 실제 운항 항로 표출
 - 모델 검증 자료 표출
 - 항로 구간 운항 위험도 평가 자료 등 설명 가능 자료 표출
 - 근미래 상세 항로 가용성 시나리오 자료 분석 및 가시화
 - 시나리오별 항로 추천, 위험도 변화 업데이트
 - 대시보드 구성
 - 운영자용 모니터링 (모델 상태, 데이터 수집 현황, 서비스 상태)
 - 예측 정확도, 항로 활용률, 위험도 평가 등 수집 가능 자료 표출
 - 북극항로 실시간 계획 시스템 사례 벤치마킹
 - 한국형 북극항로 운영 모델, 근미래 상세 항로 가용성 시나리오 통합 시각화 플랫폼 설계
 - 데이터 통합 및 분석 PoC
 - 항로 실측 자료, 과거 항로 재현 분석
 - 항로 예측 및 운항 위험도 평가 자료 시각화
 - 항로, 항구 예보 통합 시각화 플랫폼 시범 구축
 - 근미래 상세 항로 가용성 시나리오 통합
 - 핵심 기능 기반 인터랙티브 뷰어 개발
 - 사용자, 운영자 대상 파일럿
 - 항로, 항구 예보 통합 시각화 플랫폼 업데이트
 - 파일럿 결과, 플랫폼 기능 개선 반영
 - 실시간/근미래 모델, 시나리오 데이터 수집
 - 실시간/근미래 모델, 시나리오 기반 플랫폼 업데이트

○ (참고) 고해상도 위성자료와 AI 기술을 활용한 해빙정보 고도화

- 고해상도 SAR+AI 기반 해빙 종류·두께 지도(≤ 10 m) 생산 기술
 - 항로 폭 수백 m 수준에서 회피 가능 구간과 통과 가능 구간을 구분할 수 있는 해빙 정보 제공
- 다중편파(PolInSAR)와 단일편파 AI 기반 두께 추정 기술
 - 관측 빈도가 낮은 다편파의 한계를 보완하여 운영 가능한 주기(예: 3일)의 두께 지도를 지속 생산
- 위성 기반 해빙 정보의 예측모델 동화 자료 및 항로 리스크 평가
 - 해빙 예측 오차를 줄이고, 항로별 위험도를 정량화하는 핵심 입력자료로 활용 가능

○ (참고) 고해상도 해양모델 활용 예측성 제고

- 글로벌 - 북극 - 연안 다중스케일 접합 설계안 정교화
 - 광역 스케일 대기 - 해양 - 파랑 - 해빙 접합을 기본 구조로 명시하고, 글로벌 모델 - 북극권 중간영역 - 항로·연안 고해상도 영역의 다중 네스팅 설계안을 제시
 - 항로 주변 연안 위험구간을 대상으로 우선순위 기반 고해상도화와 비정형 격자 적용을 포함하여 도메인, 해상도, 운영주기까지 구현
- 연안 위험구간 중심 파랑 - 해빙 결합예측·검증 설계
 - 북극항로 연안의 의사결정 수요에 맞춰 파랑 핵심 산출물(유의파고·주기·파향)을 정의하고, 이를 위해 필요한 대기 입력(10 m 바람·기압) - 해양 입력(수위·해류) - 해빙 입력(농도·두께·ice drift)의 입·출력 흐름과 단계별 접합로드맵을 구체화
 - 해빙 미고려 시 파랑 과대 산출 가능성을 위험요인으로 반영하고, 파랑 - 해빙 상호작용을 모델 구성·동화·검증 항목에 포함하도록 권고

○ (참고) 북극 해빙과 항로 예측모델의 기술적 정합성 제고 방안

- 실측 기반 자료(해빙·해양·기후환경 데이터) - 모델 - AI 기반 예측 체계 간 연계 구조 검토 기반 모델 성능 향상에 필요한 핵심 변수 선정, 자료 동화 전략, 오차 구조 개선 방안 마련

- 수치모델 기반의 계절내에서 계절규모(subseasonal-to-seasonal time scale) 예측 관련 state-of-the-art 예측시스템을 구축하고, 예측 성능 및 예측 가능 선행시간 등 산정
- 예측기술 고도화에는 수치모델 기반 예측과 AI 기반 예측의 융합이 필수이므로, 두 체계를 효과적으로 통합하기 위한 AI 검증·해석 기술, 예측 신뢰도 산정 체계 구축
- 기상-해빙 접합 모델링 및 극한 기상 현상 메커니즘
 - 북극항로의 안전을 위협하는 핵심 요소인 돌발적인 저기압(Polar Low), 블로킹 현상 등에 따른 대기 순환장 변화가 해빙 거동에 미치는 영향에 대해 메커니즘적 분석과 모델링 고도화

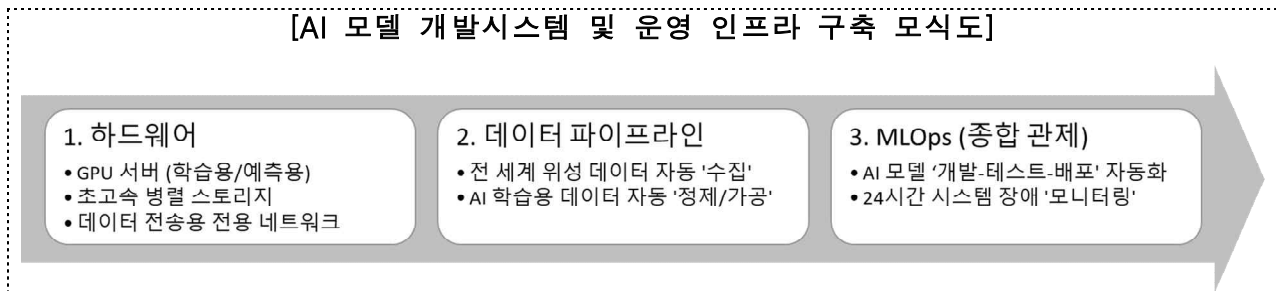
○ (참고) 연관된 전산자원 수요

□ 인공지능 기반 북극항로 예측·평가 모델 개발 및 운영 인프라 구축

- (구성) AI 모델 개발 위한 학습용 클러스터, AI 서비스 운영 위한 예측용 클러스터, 스토리지 및 네트워크 시스템으로 구성

구분	용도	성능	구성	비용(백만원)
학습 클러스터	대규모 모델훈련 기반 AI 원천모델 개발	10PB 데이터 1GB/s/GPU로 2주에 처리	8× H100 서버 × 2대 (최고사양 GPU)	900
예측 클러스터	안정적 실시간 서비스	30TB 데이터 일평균 1,000만 장 처리, 24시간 가동, 70% 효율 가정	4× L4 서버 × 2대 (고효율 GPU)	100
병렬 스토리지 및 네트워크	공통 데이터 입출력		10 PB + 100 GbE	300
계				1,300

[AI 모델 개발시스템 및 운영 인프라 구축 모식도]



[AI기반 북극항로 예측·평가 모델 개발 위한 자료분석 규모 산정]



항로포함 안전마진(buffer) 영역 10~30 km (18~50km):
총면적 : 18,720 km X 50 km = **936,000 km²** ~ 100만 km²

분석 영역 : 1,000,000 km²

분석 단위 (시공간):

25km > 10km > 1km > 500m > 100m > 10m
3 mon > 1 mon > 1 wk > 3 d > 1 d > 12 h > 1 h

분석정보 :

픽셀당 8개 + 변수 (해빙, 풍속, 파고 등)

시간당자료 10 년 분석 ~ **10 Petabyte (페타바이트)**

부산(한국) – 로테르담(네델란드) 직항	Approx. Distance (km)
Northern Sea Route (via Arctic)	14,200 km
메이저 항구를 포함한 항로	Approx. Distance (km)
Busan – Provideniya	4,260 km
Provideniya – Pevek	1,445 km
Pevek – Tiksi	2,890 km
Tiksi – Khatanga	1,165 km
Khatanga – Dudinka	960 km
Dudinka – Dikson	650 km
Dikson – Sabetta	870 km
Sabetta – Murmansk – Rotterdam	6,480 km

- (효율성 검토) 목표로 하는 자료분석 규모가 크고, 외부 공유 불가한 북극 실측자료 활용되며, 실시간 예측·서비스 운영이 필요
 - 안정된 개발 및 서비스 전산자원 확보 위하여 전적인 공공 HPC 활용보다 구축 필요. 단, 1차년도에는 샘플 학습 위해 공공 HPC 활용할 계획
 - 실측자료를 활용하지 않는 실험은 기 보유한 GPU 및 CPU 활용할 계획
- (세부내역 반영) 해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발 예산 세부 내역에 연차별로 아래와 같이 반영

○ (참고) 불확실성 속의 실효적 연구 추진전략과 민간 활용 연계 방향

□ 북극항로 활성화의 불확실성에 대한 대응

- 북극항로의 상업적 활성화 시점은 2030년 이후로 예측되고 있으나, 본 연구의 목적은 단기적 활용이 아닌 중장기적 대비체계 구축
 - 특히, 기후변화로 인한 해빙 축소와 북극항로 이용 가능일수 증가 추세를 고려하면, 2030년 직후 북극항로의 상업 운항 가능성은 점진적으로 현실화될 가능성이 높음
 - 따라서 본 사업은 즉시 활용보다는 **활성화에 대비한 기술적 기반 확보**에 중점을 두고 기획

⇒ 향후 정부·민간이 북극항로 진출을 결정할 때, 검증된 모델과 운항지원 기술을 즉시 활용할 수 있는 선제적 인프라로 기능

□ 시스템 활용성 및 해운사 연계 방안

- 극지운항지원시스템과 시각화 플랫폼은 북극항로 전용으로 한정되지 않고, 해빙·기상·항로 위험 분석 기술을 일반 해역 운항 의사결정에도 적용할 수 있도록 설계
 - 극지·남빙양 연구선 및 쇄빙선 운항 지원, 기상악화 해역(북태평양, 북대서양 등)의 위험 예측 모델, 해빙·기상 데이터 기반 운항 리스크 관리 기술 등으로 확장 활용이 가능
 - 사업 종료 전까지는 해운사와 공동 검증을 위한 시범연계를 추진할 예정
 - 해양수산부 북극항로 지원 TF 활동, 북극항로 관련 국회토론회, 극지연구소가 사무국을 운영 중인 KoARC(한국북극연구컨소시엄)의 회원사, 참여기관인 한국해양수산개발원 북극항로지원단, 영산대 북극물류연구소 조사 등 다양한 기회를 통해 해운사의 수요 조사
 - 북극항로 운항 경험이 있는 국내외 해운사들의 공통된 애로사항 중 하나는 급변하는 기상·해빙 환경으로 인한 안전 위험이었으며, 적시적이고 신뢰할 수 있는 예측자료(기상·해빙 정보 등)의 부재가 실질적인 운항 의사결정의 큰 제약 요인으로 확인
- ⇒ 이러한 현장의 문제 인식은 운항지원시스템의 실효적 필요성을 직접적으로 뒷받침하며, 본 연구가 개발하는 북극항로 예측 모델 및 시각화 플랫폼의 민간 활용 가능성을 강화하는 근거로 작용
- '26년 시범운항 활용 관측활동 수행 등 수요자와의 긴밀한 협력방안 마련
 - 시뮬레이션 기반 항로 예측 시스템 제공, AIS 데이터 연동 테스트 등을 통해 실운항 환경에서의 활용성을 지속적으로 검증할 계획

□ 해운사와의 공동 구축 전략

- 북극항로가 본격적으로 개방되는 시점에는, 이미 관련 운항데이터와 기술적 기반이 축적되어야 함
 - ('26~'30)사전 기술 기반 구축 → ('31~)활성화 시점 공동 실용화 2단계 전략으로 단순한 학술적 성과를 넘어 해운사 맞춤형 운항 의사결정 도구로 발전할 수 있는 실질적 기반을 제공할 것

□ 기존 연구와의 차별성 및 필요성

- 기존 북극 조사연구는 주로 해빙·기상 관측 중심이었으나, 본 연구는 이를 운항 의사결정 지원 시스템으로 통합하는 데 초점을 두고 있음
 - 데이터 생산을 넘어 데이터 활용 단계로 진입한 연구로 기존 연구와 차별화
- 북극항로 관련 국제 논의가 확대되고 있는 현시점에서, 우리나라 독자 모델 및 운항지원기술의 확보는 전략적·외교적 유의미한 포석
 - 연구성과는 향후 북극항로 개방 시점에 즉시 적용 가능한 운항지원 기술 및 해운사 연계형 시스템 구축 기반으로 발전할 것



< 북극항로TF 출범('25.06.25) >



< 과학으로 여는 지속 가능한 북극항로 토론회('25.06.19) >



< 북극항로 준비 공동포럼('25.09.18) >



< 북극항로 자문위원회('25.09.26) >

○ (참고) 여름철 북극항로 열리는 기작

- 북대서양난류와 육지에서 유입되는 담수의 영향 등으로 러시아 연안 얼음이 북극 중앙해로 후퇴하면서 항로가 개방됨
- 겨울철 북극해를 덮고 있는 얼음은 봄철 기온상승과 함께 서쪽에서 유입되는 북대서양 난류와 육지에서 유입되는 담수의 영향 등으로 북유럽에서 동북아시아로, 연안에서 북극중앙해로 후퇴하면서 여름철 일반선박 운항이 가능한 개방해역*(7~10월)이 발생하게 됨

* **얼음 밀집도**(Ice Concentration, 해역 내 얼음면적 비율)가 **1/10 이하**이고, **자유롭게 항행가능한 광대한 해역**으로 육상기인 얼음은 없는 곳(IMO, 국제해사기구 정의)

○ (참고) 북극항로의 이용가능 기간과 관련하여 과학계 전망과 현재 관측치 간에 차이

- 당초 전망 보다 얼음이 녹는 속도가 빨라 운항가능 기간이 확대 될 것으로 예상됨
- 현재 북극해 얼음이 녹는 속도가 예상보다 빨라 기후변화시나리오 상 전망치('25년 2개월) 보다 운항가능기간이 확대 됨. 이는 이는 6차보고서 발간('23년 종합보고서)시 2014년까지 수집된 자료기반으로 전망하여 실제 운항기간과 차이가 발생한 것
- 따라서, 기후변화 예측시나리오 보다 더 오랜기간 상업항로 이용이 가능할 것으로 예상됨. 다만, 북극해의 높은 기상 변동성 등을 대비하여 사전에 충분한 안전운항 체계를 구축할 필요가 있음

○ (참고) 현재 여름철 북극항로 일선선박 운항 조건

- 자유로운 운항이 가능한 개방수역*에 한해 “극지선박인증서”를 보유한 일반선박은 운항이 가능함

* **얼음 밀집도**(Ice Concentration, 해역 내 얼음면적 비율)가 **1/10 이하**이고, **자유롭게 항행가능한 광대한 해역**으로 육상기인 얼음은 없는 곳(IMO, 국제해사기구 정의)

- 러시아 북부 연안은 북대서양 해류와 육지 담수의 유입 등으로 여름철(7~10월) 선박운항이 가능한 개방해역이 발생하고 있으며, 일반선박의 경우, 안전한 북극해 항행을 위해 국제해사기구(IMO)가 발행한 “극지선박인증서”를 보유한 선박에 한해 제한적으로 통항을 인정하고 있음

* ①중국 Newnew Star 컨테이너선(Tianjin → St. Petersburg, '25.07.25~), ②러시아 Hon Fa 벌크선(UST-Luga → Huanghua, '25.07.07~) 등 다수 선박 운항 중



○ (참고) 현재 북극해 운항선박 등급 현황

① 북극해 운항선박 주요[3개] 등급 비교

- 선박등급(Ice Class)은 얼음상태별 운항 가능 여부를 나타내는 것으로 국제기구·국가별 상이한 체계로 존재*

* ①IMO Polar Code, ②IACS Polar Class, ③러시아 Arc Class, ④캐나다 CASPPR, ⑤발트해지역 FSICR 등

- 각각 목적과 기준에 차이가 있어 직접적인 1대1 매칭 곤란 → 얼음상태와 두께를 기준으로 유사등급 추정

<북극해 운항 선박 내빙 등급 비교(유사 연계)>

구분	IACS Polar Class (국제선급, PC)			Arc Class (러시아, RS)			Polar Code (IMO)		
목적	국제 선박안전 + 환경보호 설계			선박의 구조적 강도			러시아 북극해 환경 부합		
정도	등급	얼음상태	얼음두께 (범 위)	등급	얼음 상태	얼음두께 (최 대)	등급	얼음 상태	얼음 두께
高	PC 1	가장 심각한 다년생 얼음	수 미터 (>3.0m)	Arc9	매우 밀집된 다년생 얼음	3.5 m	Category A	다년생얼음 포함 중간두께 이상 얼음	다년생 얼음
	PC 2	심각한 다년생 얼음	2.0 m 이상	Arc8	밀집된 2년생 얼음	2.1 m			중간두께 1년생얼음 0.7~1.2m
	PC 3	중간 정도 다년생 얼음	1.5~2.0 m	Arc7	밀집된 1년생 얼음	1.4 m			
	PC 4	얇은 다년생 얼음 포함 두꺼운 1년생 얼음 상태	1.2~1.5 m	Arc6	열린 1년생 얼음	1.1 m			
	PC 5	중간 정도 1년생 얼음	0.7~1.2 m	Arc5	열린 1년생 얼음	0.8 m			
	PC 6	얇은 1년생 얼음	0.3~0.7 m	Arc4	열린 1년생 얼음	0.6 m			
低	PC 7	빙판과 부빙을 포함한 얇은 얼음 상태	0.3m 미만	없음	북극외 외 지역은 Ice 3~1 등급 적용 : 얼음 0.4~0.7m,		Category B	A범위 미포함 얇은 1년생 얼음	얇은 1년생얼음 0.3~0.7m
일반선박	없음	7~10월러시아 연안 개방해역(open water) 구간 한정(+ 극지선박중서 필수보유), 겨울철 운항 불가					Category C	개방해역 혹은 A 및 B 범주 보다 심하지 않은 얇은 얼음	개방수역 등

② 북극해 운항 일반선박 및 특수선박 비교

구분	일반선박 (No Ice Class)	내빙선 (Ice-Class Vessel)	쇄빙선 (Icebreaker)
국제규범상 분류(IMO)	Polar Code '범주 C'	Polar Code '범주 A', '범주 B'	Polar Code '범주 A' (특수 목적)
IACS 선급 등급	해당 없음	PC1 ~ PC7 (Polar Class) 등급	PC1 ~ PC5 등급 + "Icebreaker" 지정(특수선형+ 강력엔진)
쇄빙 능력	없음	쇄빙능력 없음 → 제한된 해빙 구역 항해	쇄빙 능력 있음 (강력한 엔진 추진력)
운항 가능 환경	얼음 없는 개방 수역 or 경미한 해빙	얇거나 중간 두께의 1년생 해빙 구역	다년생 해빙 포함 모든 극지 해역
선체 구조	일반 상선과 동일	선체 외판 및 프레임 해빙 충격 대비 강화	매우 두꺼운 외판, 강력한 선수부, 특수 선형
주요 기능	일반 화물 운송	극지 해역에서 화물 운송	항로 개척, 다른 선박 호위 및 구조

○ (참고) 북극항로(NSR) 여름철 일반선박 운항 사례

※ (자료출처) 노르웨이 노드대학교 고북 물류센터(CHNL: Centre for High North Logistics) “북동항로 물류보고서(‘25.09월)”

① '25년 6~8월 탱커선 운항기록

N	Ship_name	Voy Direction	Ballast or Laden	Status	IMO	LOA	Flag	DWT	Ice Class	Departure Date	Departure Port	Arrival port	Arrival Country
1	Latur	East	Laden	Finishing	9321706	275	Comoros	158 881	Unknown	07.08.25	Murmansk		---
1	Lynx	East	Laden	In NSR waters	9412347	274	Oman	156 630	No Ice Class	28.08.25	Murmansk		---
1	Nevskiy Prospect	East	Laden	Finishing	9256054	250	Russia	114 598	Ice 3	08.08.25	Murmansk		---
1	Mirabel	East	Laden	Finishing	9511521	250	Oman	113 867	Ice 3	05.08.25	Ust-Luga		---
1	Primavera	East	Laden	In NSR waters	9511533	250	Liberia	113 860	Ice 3	12.08.25	Primorsk		---
1	Vladimir Monomakh	East	Laden	Finishing	9842176	250	Russia	112 960	Ice 3	02.08.25	Ust-Luga		---
1	Kirill Lavrov	East	Laden	Completed	9333682	257	Russia	70 000	Arc 6	13.07.25	Murmansk	Ningbo	China
1	Np Dikson	East	Laden	Completed	9255270	170	Russia	25 049	Arc 5	26.06.25	Kandalaksha	Lavrentiya	Russia
1	Ararat	East	Laden	Completed	9171187	157	Russia	19 787	Arc 4	27.06.25	Arkhangelsk	Lavrentiya	Russia
1	Prisma	West	Ballast	In NSR waters	9299678	274	Cook Islands	164 565	Ice 2	21.08.25	Busan		---
1	Antarktika	West	Ballast	Started	9413559	249	Russia	111 107	Ice 3	28.08.25	Nakhodka		---
1	Mires	West	Ballast	Started	9299771	244	Sierra Leone	106 094	No Ice Class	28.08.25	Ningbo		---
1	Cilicia	West	Ballast	Completed	9171175	157	Russia	19 996	Arc 5	02.07.25	Vladivostok	Arkhangelsk	Russia
13													

② '25년 6~8월 벌크선 운항기록

N	Ship_name	Voy Direction	Ballast or Laden	Status	IMO	LOA	Flag	DWT	Ice Class	Departure Date	Departure Port	Arrival port	Arrival Country
1	Deyi Excellence	East	Laden	In NSR waters	9314064	288	Liberia	180 310	No Ice Class	25.08.25	Murmansk	Lanshan	China
1	Hon Fa	East	Laden	Completed	9248899	225	Panama	74 710	No Ice Class	07.07.25	Ust-Luga	Huanghua	China
1	Viktor Tsoi	East	Laden	Started	9609744	225	Liberia	74 559	Ice 3	27.08.25	Vysotsk	Caofeidian	China
1	Grey Whale	West	Ballast	Started	9498705	229	Barbados	93 143	No Ice Class	15.08.25	Hakampo	Vysotsk	Russia
1	Viktor Tsoi	West	Ballast	Completed	9609744	225	Liberia	74 559	Ice 3	25.07.25	Nakhodka	Vysotsk	Russia
1	Egor Letov	West	Ballast	Started	9609732	225	Liberia	74 518	Ice 3	21.08.25	Busan		---
1	Hong Xiang	West	Ballast	In NSR waters	9164615	225	Panama	73 732	No Ice Class	11.08.25	Shanghai	St. Petersburg	Russia
1	Hong Run	West	Ballast	Finishing	9180803	225	Panama	73 705	No Ice Class	04.08.25	Shanghai	St. Petersburg	Russia
1	Hwa Land	West	Ballast	Started	9187722	225	Panama	73 700	Unknown	22.08.25	Zhenjiang	Murmansk	Russia
1	Portia	West	Ballast	Started	9283980	225	Panama	73 624	No Ice Class	25.08.25	Busan		---
10													

③ '25년 6~8월 컨테이너선 운항기록

N	Ship_name	Vessel Type	Voy Direction	Ballast or Laden	Status	IMO	LOA	Flag	DWT	Ice Class	Departure Date	Departure Port	Arrival port	Arrival Country
1	Istanbul Bridge	Container	East	Laden	In NSR waters	9200811	294	Liberia	66 781	Ice 1	20.08.25	St. Petersburg	Qingdao	China
1	Newnew Panda 1	Container	East	Laden	Finishing	9315965	264	Hong Kong	53 697	No Ice Class	10.08.25	St. Petersburg	Shanghai	China
1	Newnew Star	Container	East	Laden	Started	9353228	231	Hong Kong	42 183	No Ice Class	29.08.25	St. Petersburg	Tianjin	China
1	Hui Da 9	Container	East	Laden	Completed	9714941	180	Panama	40 300	Ice 1	21.07.25	St. Petersburg	Rizhao	China
1	Xin Xin Tian 2	Container	East	Laden	Finishing	9359715	200	Hong Kong	33 662	No Ice Class	04.08.25	St. Petersburg		---
1	Hong Chang Sheng	Container	East	Ballast	Started	9178525	194	Panama	28 879	No Ice Class	24.08.25	St. Petersburg	Qingdao	China
1	Newnew Polar Bear	Container	East	Laden	Finishing	9313204	169	Hong Kong	15 952	Arc 5	19.08.25	Arkhangelsk	Shanghai	China
1	Newnew Star	Container	West	Laden	Completed	9353228	231	Hong Kong	42 183	No Ice Class	20.07.25	Tianjin	St. Petersburg	Russia
1	Honwell	Container	West	Laden	In NSR waters	9226413	208	Panama	33 715	No Ice Class	20.08.25	Dalian	St. Petersburg	Russia
1	Newnew Polar Bear	Container	West	Laden	Completed	9313204	169	Hong Kong	15 952	Arc 5	16.07.25	Shanghai	Arkhangelsk	Russia
10														

제3절 항로 적합성 평가

- (항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 생산) 최신 수치모델과 AI·기계학습 기반 기술을 결합하여 근미래 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 도출
 - 수치모델, AI모델, 하이브리드 모델을 융합하여 정밀한 항로 예측 가능
 - 실제 운항정보(항로 허가, 지원계획, 사고사례 등)를 반영한 항행 적합성 종합 평가 수행
 - 북극항로연구센터 중심의 지역 기반 지속운영 체계 구축으로 연구성과의 장기 활용 보장
- 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오
 - (내용) AI 기술 및 수치모델을 활용하여 근미래 항로 이용 가능성을 연도별·월별 단위로 예측하고, 운항허가 조건, 쇄빙지원 계획, 항로위험 분석 등을 종합한 정밀 운영 시나리오 생산
 - 러시아 정부가 통제하는 북극항로(NSR) 관련 규정/운항정보 수집 지원
 - 1) 로사토타사, 원자력쇄빙선회사(Atomflot), 북극해항로국(NSRA)(전임 몽코국장), 자원 전문가, 물류전문가 등 (모스크바 소재)
 - 2) 러 해양디자인연구소(CNIIMF), AARI(INSROP 러시아연구자 미팅 경험), 해도 제작소((디지털 해도 구매 가능)방문 (상트 페테르부르크 소재)
 - 3) Ice pilot 협회 회장, 원자력쇄빙선회사 미팅 (무르만스크)
 - 과제 수행을 위한 북극항로 관련 실무자들과의 연결 작업: 실제 러시아가 통제하는 북극항로(NSR) 구간에서 실측 협업 등
 - 북극항로(NSR) 운항에 영향을 미치는 제반 요인 분석
 - 1) 국내에서 러시아 자료 활용 러시아정부 및 러시아 내부 관점의 북극항로 연구를 지속적으로 수행
 - 2) 서방 대 러 제재 영향의 1/4이 북극항로 개발에 미치고 있음
 - 3) 해양위원회(파트루셰프위원장)의 영향이 커지면서, 항만인프라 개발(군용시설도 동시 구축 중), NSR 운항 허가 절차 강화 등에 영향을 미치고 있는 현황 등
 - (국정과제 기여) 불확실성이 높은 북극환경에서 시기별·정책별 지정학적 리스크에 능동적으로 대응하고, 안정적 대체 물류 루트 확보를 통해 국

제 무역 경쟁력 제고 및 공급망 안정성 강화에 기여

- (활용) 해운사 및 물류업계 북극항로 진입 시점 전략 수립, 정부 간 협상 및 정책결정 시 항로개방 타이밍 예측 등에 실질적 활용 가능

○ (참고) 현재 미래전망 시나리오 이슈

- 북극항로*의 상업적 운항을 위해 기후변화 시나리오별 북극해 얼음감소에 따른 항로 개방시기 등에 대한 과학계 전망 파악 필요

* 북극항로는 ①북동항로(가장 빠르게 개방 전망), ②북서항로(섬이 많아 운항위험), ③북극횡단 항로(두꺼운 해빙으로 운항곤란)로 구분, 통상 북극항로는 북동항로 지칭

- (시나리오) 과학계에서는 IPCC채택 기후변화시나리오기준('23년 6차보고서 발간)으로 탄소배출 수준에 따라 다양한 해빙시나리오 도출

① (현수준 감축유지, SSP2-4.5) 일반선박은 '30년 3~4개월(7~10월), '40년 6~7개월(6~12월) 운항 전망

* 내빙선 운항기간 : '30년 4~5개월(7~11월), '40년 7~9개월(5월 ~다음해 1월)

② (강력한 기후정책, SSP1-2.6) 일반선박은 '30년 3개월(8~10월), '40년 4~5개월(7~11월) 운항 전망, 40년 이후에도 계절적 운항 제한

* 내빙선 운항기간 : '30년 4~5개월(7~11월), '40년 4~5개월(7~11월)

③ (극단적 온실가스 고배출, SSP5-8.5) '30년 3~4개월(7~10월), '40년 6~8개월(6월~ 다음해 1월)로 기간 증가, '40년 이후 연중항행 가능

* 내빙선 운항기간 : '30년 6~7개월(7~12월), '40년 9~10개월(4월 ~ 다음해 1월)

< 탄소배출 시나리오별¹⁾ 북극항로 선박 운항가능 기간 전망²⁾>

탄소중립		2100년 온도상승	선박	'25년 현재 관측	전망			
시나리오	내용				'25년	'30년	'40년	'40년 이후
SSP1-2.6	탄소감축 (화석연료 최소화)	+1.8°C (1.3~2.4°C)	일반선	3~4개월(7~10월)	2개월(8~9월)	3개월(8~10월)	4~5개월(7~11월)	최대 7.5월(6~01월)
			내빙선	5개월(7~11월)	4~5개월(7~11월)	4~5개월(7~11월)	4~5개월(7~11월)	9개월 이상(5~01월)
SSP2-4.5	현 감축수준 유지, (경제발전 중간)	+2.7°C (2.1~3.5°C)	일반선	3~4개월(7~10월)	2개월(8~9월)	3~4개월(7~10월)	6~7개월(6~12월)	6~8개월(6~01월)
			내빙선	5개월(7~11월)	4~5개월(7~11월)	4~5개월(7~11월)	7~9개월(5~01월)	9개월 이상(4~12월)
SSP5-8.5	탄소배출 증가 (화석연료 사용)	+4.4°C (3.3~5.7°C)	일반선	3~4개월(7~10월)	2개월(8~9월)	3~4개월(7~10월)	6~8개월(6~01월)	연중운항
			내빙선	5개월(7~11월)	4~5개월(7~11월)	6~7개월(6~12월)	9~10개월(4~01월)	연중운항

* 1) '23년 발표된 IPCC 6차보고서로 2014년까지 수집된 자료 기반으로 미래기후 전망(2015~2100년)

2) 논문 : (관측) Müller('23) / (전망) Notz('20), Wei('22), Kim('23), Diebold('23), Jahn('24), Heuzé & Jahn('24), Zhang('25) 등

- (전망·관측 불일치) 북극해 얼음이 녹는 속도가 예상보다 빨라 기후변화 시나리오 상 전망치(‘25년 2개월) 보다 운항기간이 길어짐
- 이는 6차보고서 발간(‘23년 종합보고서)시 2014년까지 수집된 자료기반으로 전망하여 실제 운항기간과 차이 발생 ⇒ 실제 2030년에는 전망치(현 탄소 감축 유지, 일반선박 3~4개월) 보다 더 오랜기간 상업적 항로 이용이 가능할 것으로 예상
- (추가 필수조건) 북극 얼음이 녹는 것으로는 충분하지 않고*, ①기상변화(저온, 강풍), ②조류 등으로 짧은 시간 내 재결빙 등 높은 변동성 존재
- * ①기상, ②통항(수심·암초·협수로 등), ③겨울철 극야(11월~2월) 등 항행조건 고려 필요
- 위성관측 자료 확보, 비상조치 계획 등 안전운항 체계 구축과 국제규범(IMO Polar Code), 러시아 항행허가* 등 운항요건 충족 필요
- * 러시아 북동항로관리청(NSR Administration)은 여름철(7~10월) 제한적 일반선박 운항 허가

○ (참고) IPCC 기후전망 보고서

- ☐ (기후변화에 관한 정부간협의체) IPCC 채택 기후변화시나리오* 기준으로 탄소배출 수준에 따라 다양한 해빙시나리오 도출

* SSP(Shared Socioeconomic Pathways, 공통사회 경제경로) : 온실가스 감축노력에 따라 산업화 이전(1850~1900년) 대비 2100년까지 예상되는 기후변화 시나리오

○ 과거기후 재현, 미래기후 전망 등 위해 전세계 연구자가 참여해 개발한 CMIP6(접합모델 상호비교연구) 공동 연구 수행을 통해 시나리오 도출

* CMIP6(Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) : 지구시스템모델과 기후모델을 공통된 조건에서 실행, 그 결과를 비교·분석하는 국제 공동 프로젝트로 20여개 하위 프로젝트로 구성

< 기후변화 시나리오별 북극해 무빙(無氷) 도달 시기 >

탄소중립		2100년		무빙화 시작	출처
시나리오	내용	온난화 ¹⁾	CO ₂ (ppm)		
SSP1-2.6	재생에너지 화석연료 최소화	+1.8°C (1.3~2.4°C)	432	'30 - '50	Notz('20), Kim('23), Diebold('23), Jahn('24), Heuzé & Jahn('24)
SSP2-4.5	기후변화 완화 / 경제발전 중간	+2.7°C (2.1~3.5°C)	567	'30 - '40	Notz('20), Kim('23), Diebold('23), Jahn('24), Heuzé & Jahn('24)
SSP5-8.5	화석연료 사용 / 도시위주 개발	+4.4°C (3.3~5.7°C)	1089	'27 - '35	Notz('20), Kim('23), Diebold('23), Jahn('24), Heuzé & Jahn('24)

□ 보고서 발간절차 : 관측자료와 발표시기 최소 7~10년 시차 발생

보고서	대표실험		발간시기		우리나라 참여 현황
	과기기후재현 (관측자료 활용)	미래기후전망 (2014년 관측자료 기반)	작업반 보고서 (통상 3회 발행)	종합 보고서	
6차 보고서	1850년~2014년	2015년~2100년	WGI('21, 물리과학적 근거) WGII('22, 영향, 적응, 취약성) WGIII('22, 완화)	'23	기상청(국립기상과학원), 한국해양과학기술원, 서울대학교 대표실험 참여
7차 보고서	1850년~2023년	2024년~2100년	'27~'29	'29	기상청 대표실험 참여 예정 극지연구소는 하위 프로젝트 ISMIP7(빙상모델 상호비교연구) 참여 예정

○ (참고) 현재 북극 항로별 해빙 전망

□ 북극항로별 해빙(解氷) 전망(* 3개 항로로 구분되나, 좁은 의미인 '북동항로' 지칭)

◇ 북극해 해빙(解氷)은 연안 → 중앙해, 북유럽 → 동아시아 順 진행,
무빙*(無氷)시 일부(그린란드, 캐나다 북부) 제외 개방해역** 발생 전망

* 북극해(전체 1,405만km²) 얼음면적이 100만km² 이하(7.2%)로 감소되어 사실상 얼음이 없는 상황

** IMO 정의 : 얼음 밀집도(Ice Concentration, 해역 내 얼음면적 비율)가 1/10 이하이고, 자유롭게 항행가능한
광대한 해역으로 육상기인 얼음은 없는 곳 → "극지선박인증서" 보유 일반선박은 북극해 운항가능

① (북동항로(NSR)) 러시아 시베리아 북쪽 연안을 따라 유럽-아시아 잇는 항
로로 가장 빠르게 개방 전망(북유럽→ 아시아 순으로 解氷)

* (Northern Sea Route) 바렌츠해 → 카라해 → 라프테프해 → 동시베리아해 순으로 해빙(解氷)

② (북서항로(NWR)) 유럽-북미를 잇는 항로로 좁은 해협, 병목구간
많아 항해 가능성 낮음(알래스카 → 캐나다 북동부 순으로 解氷)

* (Northwest Passage) 척치해 → 보퍼트해 → 캐나다 군도 순으로 해빙(解氷)

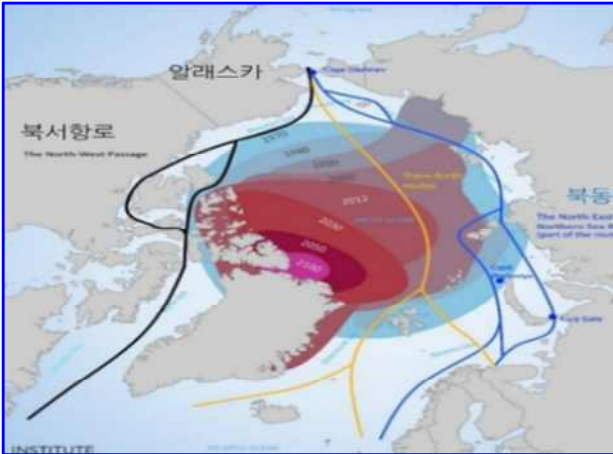
③ (북극횡단항로(TSR, Transpolar Sea Route)) 가장 짧으나, 가장 늦게 개방 전망

(기후변화에 관한 정부간협의체)
< IPCC 기후변화 시나리오별 북극해 무빙(無氷) 도달 시기 >

IPCC 기후변화시나리오		2100년 온난화	도달 예상시기	출처
시나리오	탄소중립 내용			
SSP1-2.6	탄소 감축 노력(재생에너지 화석연료 최소화)	+1.8°C (1.3~2.4°C)	'30 - '50	Kim('23), Heuzé & Jahn('24)
SSP2-4.5	현 수준 탄소감축 유지(경제발전 중간)	+2.7°C (2.1~3.5°C)	'30 - '40	Kim('23)
SSP5-8.5	극단적 탄소배출 증가(화석연료 사용)	+4.4°C (3.3~5.7°C)	'27 - '35	Diebold('23), Heuzé & Jahn('24)

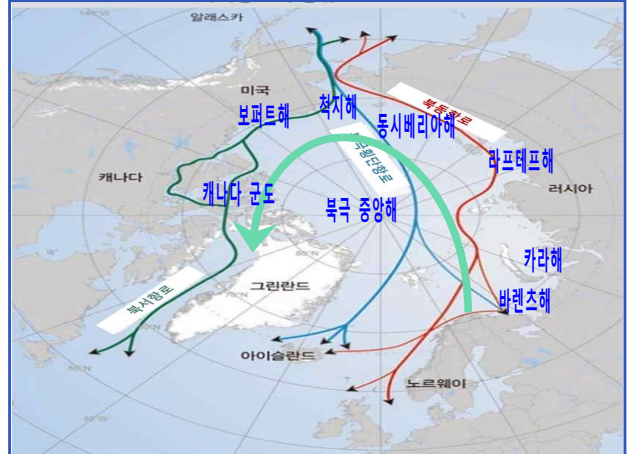
□ 북극해 해빙 감소 전망(매년 9월 기준)

< 여름철 해빙(海氷)감소 추이(1970→2100년) >

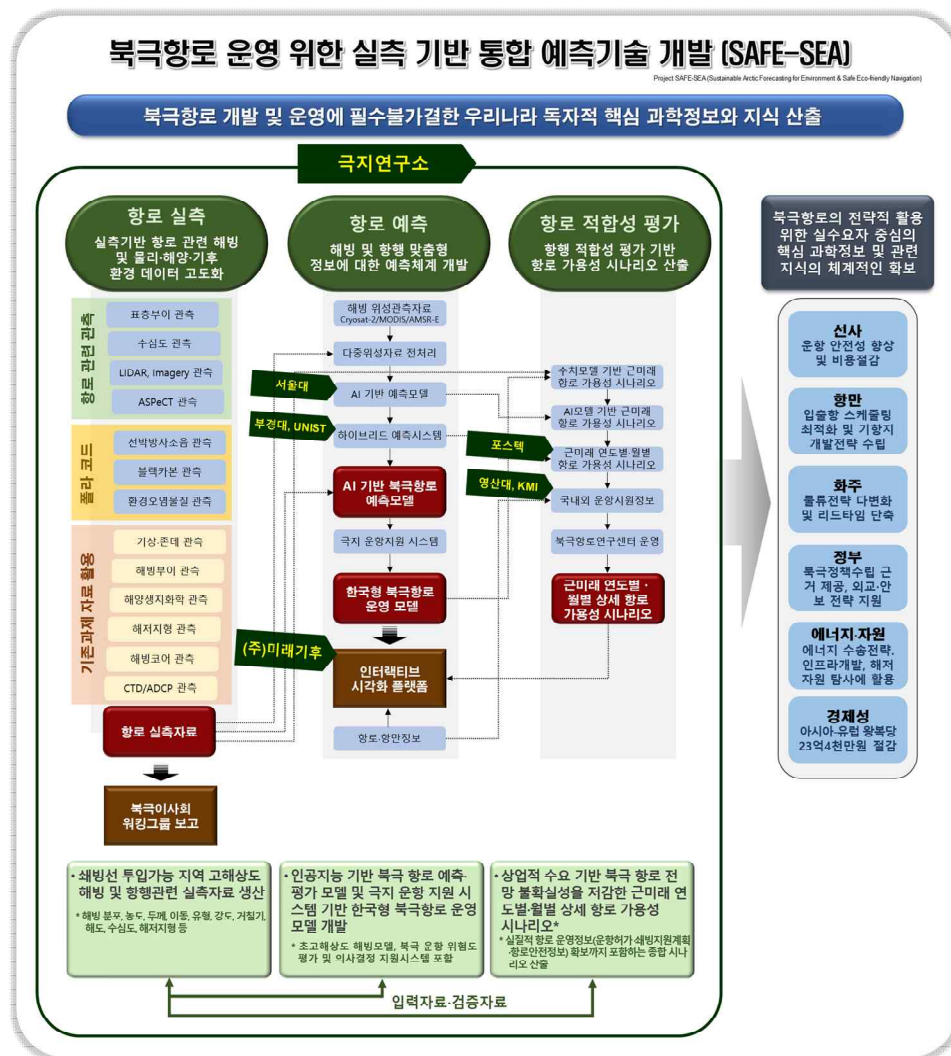


출처: 북극연감(Arctic Yearbook, 2012)

<북극항로 연간 해역별 해빙(解氷) 순서>



출처: 북극연감(Arctic Yearbook, 2012)



[사업 모식도]



Korea Polar Research Institute

북극항로 운영 위한 실측
기반 통합 예측기술 개발
위한 기획연구

제7장 소요예산

제1절 전체사업 소요예산

제1절 전체사업 소요예산

세부 연구내용 및 연구비 소요내역 (단위: 백만원)							
세부과제	세부내용	'26	'27	'28	'29	'30	소계
		2,913	5,140	7,140	7,767	7,040	30,000
북극항로 운영실적 기반 예측기술 개발	실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양기후환경 데이터 고도화	1,240	1,440	1,440	1,940	1,540	11,000
		북극항로 과학정보 확보 위한 관측체계 구축·운영	북극항로 과학정보 확보 위한 관측체계 운영	북극항로 과학정보 확보 위한 관측체계 운영	북극항로 과학정보 확보 위한 관측체계 개선	북극항로 과학정보 확보 위한 관측체계 확대	
		항로지원 위한 관측체계 구축			항로지원 위한 관측체계 확대 및 개선		
		360	700	700	940	700	
		폴라코드 대응 관측정보 확보	폴라코드 대응 관측정보 가공	폴라코드 대응 환경자료 제출	폴라코드 대응자료 확보 확대	폴라코드 정보 갱신 체계화	
	폴라코드 대응 환경정보 확보				폴라코드 대응 환경정보 제출 체계화		12,800
	1,000	1,000	800	800	700		
	다중위성자료 확보·전처리 체계 수립	다중위성자료 확보·전처리 기술 개선	다중위성자료 확보·전처리 기술 고도화	다중위성자료 확보·전처리 기술 확대	다중위성자료 확보·전처리 기술 보장·최적화		
	위성기반 정밀 해빙 관측 체계 개발			위성기반 정밀 해빙 관측 체계 고도화			
	313	900	900	900	900		
	Si기반 북극 항로 예측 및 평가 모델링	Si기반 북극항로 예측·평가 모델 개발	Si기반 북극항로 예측·평가 모델 개선	Si기반 북극항로 예측·평가 모델 고도화	Si기반 북극항로 예측·평가 모델 의사결정지원 시스템 적용		
	인공지능 기반 북극 항로 예측 및 평가 모델 개발			인공지능 기반 북극 항로 예측 및 평가 모델 개선			
		800	800	800	800		
		한국형 북극항로 운영모델 초기버전 개발	한국형 북극항로 운영모델 초기버전 개발	한국형 북극항로 운영모델 시범운용	한국형 북극항로 운영모델 운용		
		한국형 북극항로 모델 개발		한국형 북극항로 모델 운용			
		300	300	387	400		
		북극항로 주요 항구 분석 기술 개발	북극항로 주요 항구 분석 기술 개발	항구별 위성 기반 모니터링 체계 구현	북극항로 항구 위성정보 준실시간 제공		
	북극항로 항구 위성정보 준실시간 감시체계 구축				6,200		
	항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출	800	700	700			
		수치모델 기반 시나리오 설계 및 항로 가용성 시나리오 산출	수치모델 기반 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 산출	수치모델 기반 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 개선			
		수치모델 기반 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 산출					
		800	700	700			
		Si모델 기반 시나리오 설계 및 항로 가용성 시나리오 산출	Si모델 기반 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 산출	Si모델 기반 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 개선			
		Si모델 기반 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 산출					
		600	600	600			
		항로·위험도·운항지원정보 수집 및 북극항로연구센터 운영	항로·운항지원정보 개선 및 극항로연구센터 운영	항로·운항지원정보 고도화 및 극항로연구센터 운영			
	항로 가용성 시나리오 위한 운항지원정보 체계화						

● 주요 투자계획

(단위: 백만원)

	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	합계
(항로 실측) 실측기반 항로 관련 해빙 및 물리·해양·기후환경 데이터 고도화	1,600	2,140	2,140	2,880	2,240	11,000
(항로 예측) 해빙 및 항행 맞춤형 정보에 대한 예측체계 개발	1,313	3,000	2,800	2,887	2,800	12,800
위탁(항로 적합성 평가) 항행 적합성 평가 기반 항로 가용성 시나리오 산출비	0	0	2,200	2,000	2,000	6,200
총 합계	2,913	5,140	7,140	7,767	7,040	30,000

● 산출내역

(단위: 백만원)

	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	합계
인건비 및 직접비	2,278	4,107	5,957	6,537	5,865	24,744
간접비	185	333	483	530	475	2,006
위탁비	450	700	700	700	700	3,250
총 합계	2,913	5,140	7,140	7,767	7,040	30,000





Korea Polar Research Institute

북극항로 운영 위한 실측
기반 통합 예측기술 개발
위한 기획연구

제8장 타당성 분석 및 기대효과

제1절 정책적 타당성 분석

제2절 경제적 타당성

제3절 기대효과

제1절 정책적 타당성 분석

□ 정부 계획

- 「제1차 극지활동 진흥 기본계획」 (’ 23~ ’27)
 - 남·북극 미지영역 탐사 확대 및 국제공동연구 기반 기후문제 해결 주도
- 「제5차 과학기술기본계획」 (’ 23~’ 27)
 - 전략3 과학기술 기반 국가적 현안해결 및 미래대응 - 추진과제 3-7 우주·해양·극지 개척을 통한 과학영토 확대
 - 12대 국가전략기술 - ⑥우주항공·해양 기술, ⑨인공지능(AI) 활용 기술
- 「제2차 해양수산과학기술육성 기본계획」 (’ 23~ ’27)
 - 10대 해양수산 전략기술인 ⑨극지연구거점 확보에 필수적인 예측기술
- 「해양수산기후변화대응R&D 강화 로드맵」 (’ 21~)
 - 기후변화 진단·예측으로 국민 체감도 높은 정보 생산·제공 및 기후변화 적응·리스크 예방 위해 재해 해양수산 기후변화 K-방어시스템 구축
- 「제3차 국가 기후변화 적응대책」 (’ 21~ ’25)
 - (정책②)극지 감시정보 생산 및 확대로 기후변화 감시역량 강화
- 「제3차 국가 기후변화 적응 강화대책」 (’ 23~ ’25)
 - (정책①)과학적 기후 감시·예측 및 적응기반 고도화 - 고해상도 기후변화 예측자료 생산 및 종합적 기후리스크 적응정보 제공
- 「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획」 (’ 23~ ’32)
 - 과학기술 혁신을 통한 기후위기 대응과 新시장 선점을 위한 3대 전략 - 전략2. 기후변화 적응을 위한 기후변화 감시·예측 기술 개발
- (공약명) “북극항로 진출 거점을 육성하겠습니다.” (성장기반구축16)
 - “북극항로를 선도하는 육해공 트라이포트로 부산을 육성하겠습니다.”
 - (성장) B-2-2-16 북극항로 진출 거점 육성: 북극항로라는 새로운 기회를 대한민국이 선점해야 합니다. 전용선박 건조, 인력 양성과 함께 북극항로에 최적화된 인프라를 구축하겠습니다.” (4.18, V)

- 북극항로 개발 거점 육성 지원
 - 미래 가능성 주목 및 지속적인 경험 축적 등 진출 기반 강화
 - 북극항로 구축 지원을 위한 법률적 근거 마련
- 국가 차원의 북극항로 컨트롤 타워 및 국제적 협력 네트워크 구축 추진 강화
 - 우리 기업의 북극항로 진출 지원 및 시장 환경 분석 등 미래의 북극항로 활성화

■ 기획 과제와의 관련성

- **(북극항로 개발 거점 육성 지원)** 미래 가능성 주목 및 지속적인 경험 축적 등 진출 기반 강화
 - * 한국형 북극항로 운영모델 개발로 국정과제가 지향하는 과학 기반의 북극항로 개척 인프라 구축에 기여. 특히 극한 해역 운항의 안전성 향상을 위한 핵심 기술과 정보를 제공하여, 실효적인 운용 체계를 지원
- **(국가 차원의 북극항로 컨트롤 타워 및 국제적 협력 네트워크 구축 추진 강화)** 우리 기업의 북극항로 진출 지원 및 시장 환경 분석 등 미래의 북극항로 활성화
 - * 확실성과 지정학적 리스크에 대응하는 실질적 수단이 되는 Polar Code 대응 환경자료와 연도별·월별 항로 가용성 시나리오 산출로, 국제 규제 강화에 선제적 대응하고 안정적 운항 여건을 조성하는 데 기여

○ 「대한민국 진짜성장을 위한 전략(국정기획위원회)」 (' 25.6)

- 4. 지역성장과 국토공간 혁신 - 항로 최적화 연구와 물류 운송로 확보, 북극항로 비즈니스 모델 개발

○ 「국정과제」(' 25.7)

- 경제2-1: 북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설
- 경제2-1-2: 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점

■ 기획 과제와의 관련성

- 본 사업은 한국형 북극항로 운영모델 개발을 통해 국정과제의 북극항로 개척 달성을 위한 과학기반 인프라 확립에 기여
- 극한 해역 운항 안전성 향상을 위한 핵심 기술요소와 정보를 제공하여 실효적인 북극항로 운용 체계를 구축
- 최종 산출물인 폴라코드 대응 환경자료*와 연도별·월별 북극항로 가용성

예측 시나리오**는 북극항로 운영의 불확실성 및 지정학적 리스크에 대한 실질적 대응 수단으로 작용

* 극지방 국제항해 안전 및 환경 보호를 위한 국제규범에 대응, 선박 방사소음, 블랙카본 및 오염물질 모니터링 및 북극이사회 작업그룹(PAME)에 보고

** 실질적 항로 운영정보(운항허가·쇄빙지원계획·항로안전정보) 확보까지 포함하는 종합 시나리오 산출
· 이를 통해 국제 규제 강화에 선제적으로 대응하고, 우리 선박의 안정적인 운항 여건 확보 가능

- 국정과제(실천과제) 및 사업내용 개요표

관련 공약	번호	공약명		
	성장-4-3	북극항로 진출 거점 집중 육성		
국정 과제	연번	국정과제명	주관부 처	협조부 처
	경제2-1	북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설	해수부	-
실천 과제	연번	실천과제명	주관부 처	협조부 처
	경제2-1-2	북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점	해수부	-
사업 내용	사업목 표	북극항로 개발 및 운영의 상업적 활용을 위해, 우리나라 고유의 과학정보와 지식을 독자적으로 확보하고 이를 기반으로 리스크를 사전에 식별하고 대응하는 체계를 구축		
	사업기 간	'26~'30		
	도출성 과	① '28년까지 한국형 북극항로 운영모델 시험버전 개발 및 북극이사회 워킹그룹 Polar Code 대응 환경자료 제출 ② '30년까지 항로·항구정보 포함하는 한국형 북극항로 운영모델 시각화 플랫폼 구축 및 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오 산출		
	기대효 과	운영모델, 환경자료 및 시나리오 개발을 통한 <u>과학적·지정학적 북극항로 운영 리스크 저감</u> 으로 지속가능한 항로 운영 지원		

- 국정과제(실천과제) 관련성

① (경제2-1) 북극항로 시대를 주도하는 K-해양강국 건설

- (경제2-1-2) 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점

- 본 사업은 한국형 북극항로 운영모델을 개발하여, 국정과제가 지향하는 북극항로 개척의 과학기반 인프라 확립에 기여. 특히 극한 해역에서의 운항 안전성 향상위한 핵심 기술요소와 정보를 제공하여, 실효적인 북극항로 운용 체계를 뒷받침함

- 최종 산출물로 제공될 Polar Code 대응 환경자료* 및 연도별·월별 북극항로 가용성 예측 시나리오**는 북극항로 운영의 불확실성과 지정학적 리스크에 대한 실질적 대응 수단이 될 수 있음. 이는 국제적 규제 강화에 선제적으로 대응하고, 우리 선박의 안정적 운항 여건을 확보하는 데 중요한 역할을 수행함

* 극지방 국제항해 안전 및 환경 보호를 위한 국제규범에 대응, 선박 방사소음, 블랙카본 및 오염물질 모니터링 및 북극이사회 작업그룹(PAME)에 보고

** 실질적 항로 운영정보(운항허가·쇄빙지원계획·항로안전정보) 확보까지 포함하는 종합 시나리오 산출

- 사업 종료시점에서 달성 목표 및 성과물

- (목적) 북극항로 개발 및 운영의 상업적 활용 기반 확보를 위해, 극지과학 연구를 통한 우리나라 고유의 과학정보와 예측기술을 독자적으로 구축하여, 북극항로 운항의 위협요소를 사전 식별·대응할 수 있는 국가 주도형 체계를 수립함

- (목표) 북극항로 운영을 위한 실측 기반 해빙 및 항행 맞춤형 정보 예측 기술을 개발하고, 북극해 환경 및 항로 적합성 평가체계를 구축함으로써, 안전하고 지속가능한 극지 운항 여건 조성에 기여

· (성과물)

▶ 극지 운항 지원시스템을 포함하는 한국형 북극항로 운영모델 개발

- (내용) ①실측 기반 북극항로 과학정보 100건 이상 확보, ②선도국 수준의 극지 해양·기후 관측체계 구축 및 운영, ③이를 바탕으로 AI 기반 고해상

도 항로 예측·평가 모델 개발, ④항로 및 항만 정보를 시각적으로 통합 제공하는 인터랙티브 플랫폼 구축하여 실시간 운항 의사결정 지원 기능 강화

- (국정과제 기여) 실질적 북극항로 운영 역량 확보를 통해 「경제2-1-2: 북극항로 개척을 통한 신(新) 무역로 선점」에 직접 기여
- (활용) 극지 운항 전략 수립, 정부 정책 결정 지원, 민간 선사 항로 설계·운항계획 수립 등에 활용되어, 과학적 근거에 기반한 항행 리스크 대응역량을 실질적으로 제고

▶ 북극이사회 워킹그룹 제출 위한 Polar Code 대응 환경자료

- (내용) 국제해사기구(IMO) Polar Code 이행 지원을 위한 선박 방사소음, 블랙카본, 해양오염물질 관련 실측 환경자료 수집·정제하고, 북극이사회 PAME* 작업그룹에 제출 가능한 수준의 국제표준형 자료 구축

* PAME(Protection of the Arctic Marine Environment)은 북극 해양환경의 지속가능한 이용을 위해 설립된 북극이사회 산하 작업그룹으로, 선박 활동 분석, 환경규제 가이드라인 마련, Polar Code 이행 현황 평가 등 국제 정책 논의를 주도

- (국정과제 기여) 북극 항로 이용국으로서의 국제적 책임과 데이터 기여 역할 이행으로 규범 기반의 지속가능한 북극항로 개척 리더십 확보에 기여
- (활용) 북극 관련 국제표준 수립 논의 및 협의체 참여, 국제기구에서의 환경규제 대응자료 및 협상 근거 자료로 활용

▶ 근미래 연도별·월별 상세 항로 가용성 시나리오

- (내용) AI 기술 및 수치모델을 활용하여 근미래 항로 이용 가능성을 연도별·월별 단위로 예측하고, 운항허가 조건, 쇄빙지원 계획, 항로위험 분석 등을 종합한 정밀 운영 시나리오 생산
- (국정과제 기여) 불확실성이 높은 북극환경에서 시기별·정책별 지정학적 리스크에 능동적으로 대응하고, 안정적 대체 물류 루트 확보를 통해 국제 무역 경쟁력 제고 및 공급망 안정성 강화에 기여
- (활용) 해운사 및 물류업계 북극항로 진입 시점 전략 수립, 정부 간 협상 및 정책결정 시 항로개방 타이밍 예측 등에 실질적 활용 가능

□ 법령

○ 「북극항로 구축 지원 특별법」 제11조 ('25.03.31 국회발의)

- 정부는 북극항로 구축 관련 기술을 효율적으로 개발·육성하기 위하여 연구개발에 관한 투자를 확대해야 함

○ 「해양수산과학기술육성법」 제8조

- 해양수산부장관은 해양수산과학기술 연구개발 과제를 선정하고, 해양수산과학기술 연구개발사업 및 전문인력 양성사업 추진

○ 「해양수산발전기본법」 제17조 및 제20조

- 정부는 해양과학조사계획을 수립하고 해양에 대한 과학조사 및 관측 실시
- 남북극 해양과학기지 설치 및 해양 조사·연구 활성화에 필요한 지원계획 수립

○ 「극지활동진흥법」 제8조 및 제12조

- 국가는 극지 관련 연구개발 촉진 및 활성화를 위해 연구개발사업 지원
- 극지활동을 위한 국제협력 촉진 지원

○ 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」 제8조(' 24.10.25 시행)

- 해양수산부장관은 해양·극지의 환경 및 생태계에 관한 기후예측 정보를 생산하고, 정보통신망에 게재하는 등 국민에게 알릴 의무

□ 「북극항로 구축 지원 특별법」 (‘25.3 발의)

- 정부는 북극항로 구축 관련 기술을 효율적으로 개발·육성하기 위하여 연구개발에 관한 투자를 확대해야 함

북극항로 구축 지원 특별법안 (문대림의원 대표발의) 의안 번호 9483 발의연월일 : 2025. 3. 31. 발 의 자 : 문대림·이원택·윤준병 임미애·임호선·김영호 박용갑·이기구·허성무 이재관·박민규·권형열 주원현·정일영·이병권 조인철·채현일·정진욱 최민희·송옥주·허영 박지원·김한규·이연주 손명수·문금주·정동영 송재봉·이재강·서삼석 장준원 의원(31인) <u>제안이유</u> 물은 국제 분쟁으로 해상 항로의 불안정성이 증가하면서 물류비용과 무역의 불확실성이 가중되고 있음. 한편, 지구온난화 가속으로 북극 지역에 해빙이 빠르게 진행되며 북극의 바닷길이 열리고 있어 '북극항로'의 현실화 가능성이 높아지고 있으며, 이에 따라 미국·러시아·캐나다·핀란드·노르웨이 등에서 북극 관련 전략을 발표하는 등, 세계 각국의 주도권 싸움이 치열한 상황임.	제11조(북극항로 구축 관련 연구개발 등) ① 정부는 북극항로 구축 지원 및 경쟁력 강화에 필요한 연구·개발 사업을 실시할 수 있다. ② 정부는 북극항로 구축 관련 기술을 효율적으로 개발·육성하기 위하여 연구개발에 관한 투자를 확대하도록 노력하여야 하며, 학계·연구기관·산업계 간의 협업체 구성 및 공동 연구를 촉진할 수 있다. ③ 해양수산부장관은 북극항로 관련 국내외 연구개발 동향, 시장 동향 등 국내외 연구개발에 관한 정보를 수집·조사하여 이를 체계적·종합적으로 관리·보급하여야 한다. 제12조(북극해운정보센터) ① 해양수산부장관은 북극항로에 필요한 해의동향 및 관련 데이터의 구축·제공, 해빙 현황 및 항로 안전 정보 제공 등을 위하여 북극해운정보센터(이하 이 조에서 "센터"라 한다)를 설치·운영할 수 있다. ② 해양수산부장관은 센터의 설치·운영을 그 업무에 필요한 전문인력과 시설을 갖춘 법인 또는 단체에 위탁할 수 있다. ③ 그 밖에 센터의 설치·운영 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. 제13조(국제협력) 정부는 북극항로의 구축 및 지속적인 확대와 관련 국가 간의 협력 강화를 위하여 관련 기술 및 전문인력의 국제교류, 국제행사에서의 참가, 국제공동연구개발 등에 관하여 필요한 국제협력 사업을 추진할 수 있다.
---	---

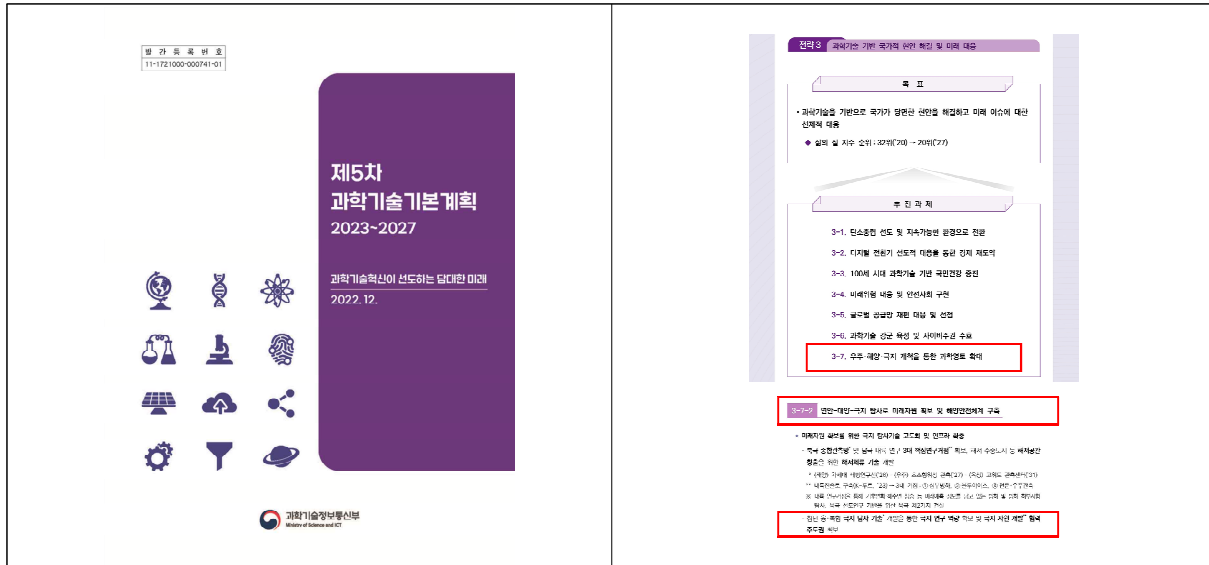
- (해양 탄소중립·탐사·안전) 극지 연구 투자 확대
- (해양안전·환경) 해양 재난 및 사고 예방을 위한 기술개발 촉진

- 87 -

- 전략3 미래대응 과학기술 기반 확충
- 주요정책 및 시급성과 영향력을 고려한 12대 우선 투자분야 중 사회 문제 해결, 탄소중립에 부합

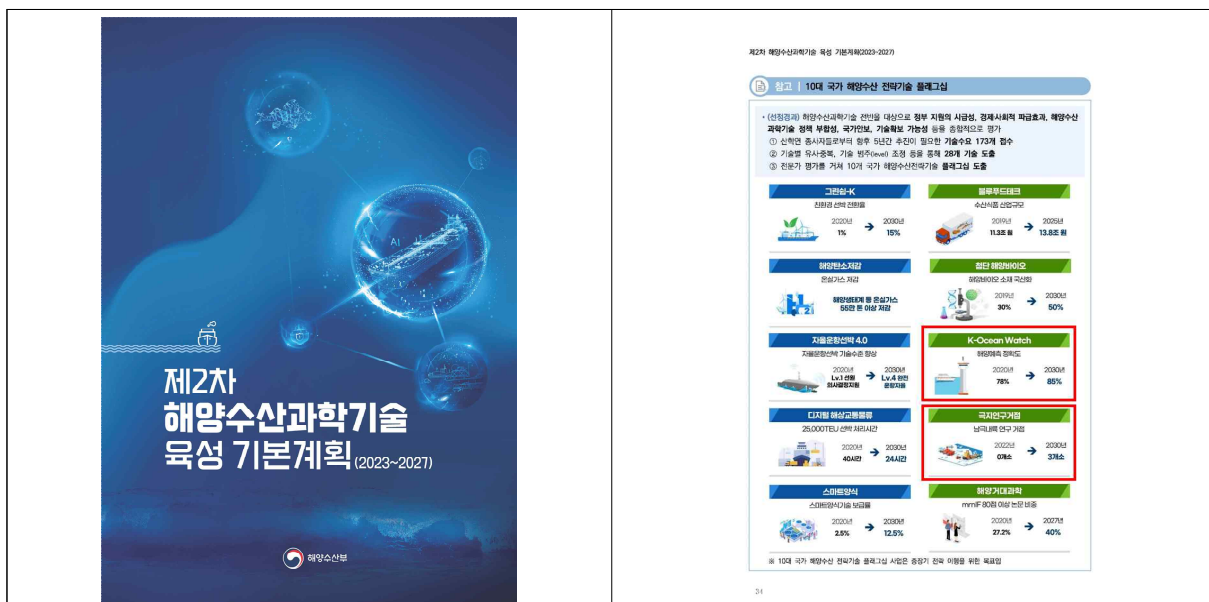
□ 「제5차 과학기술기본계획」 ('23~'27)

- (전략3) 과학기술 기반 국가적 현안해결 및 미래대응
 - (추진과제 3-7) 우주·해양·극지 개척을 통한 과학영토 확대: 해양·극지 등 미개척 영역에 대한 탐사기술 개발과 접근성 증대 및 활용
- 12대 국가전략기술 - ⑥우주항공·해양 기술, ⑨인공지능(AI) 활용 기술



□ 「제2차 해양수산과학기술 육성 기본계획」 ('23~'27)

- 정부 지원의 시급성, 경제·사회적 효과, 해양수산과학기술 정책 부합성, 국가안보, 기술확보 가능성이 높은 10대 해양수산 전략기술



□ 「제1차 극지활동 진흥 기본계획」 (‘23~’27)

- 남·북극 미지영역 탐사 확대 및 국제공동연구 기반 기후문제 해결 주도

전체본

제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획

2022. 4.

관계부처 합동

제1차
극지활동 진흥 기본계획

2 비전 및 전략

비전

국민을 위한 극지선도국가: 미지를 향한 도전, 미래를 향한 도약

목표

구분	항목	2027년	2032년
인지도 향상 지표	-북극해 입문 교육 (인도해, 북극해) 통시제(2016) -남극 내륙탐사(2018) 주축	자세한 해양연구 논문 발표율 향상 -남극 내륙탐사 후보지 선정	미지의 미지, 북극해 해양연구 논문 -세계 연례 남극내륙탐사 주축(20)
기후변화 해결	-북극해 한반도 기상변화 예측 정확도 최고선도국 대비 40% -남극 스웨덴, 영국, 미국, 일본 등 후보지 방문 예측	북극해 한반도 기상변화 예측 정확도 최고선도국 대비 40% 2025년 전까지 후보지 방문 예측 선도국 대비 70%	북극해 한반도 기상변화 정확도 최고선도국 대비 40% 2025년 남극해 한반도 인근 해역의 기상 예측 선도국 대비 100% 이상(31)
극지 선도국 기반 마련	-해양과학기술인력 양성과 -해양과학기술자 역량 강화 -해양과학기술자 역량 강화	해양과학기술인력 양성과 -해양과학기술자 역량 강화 -해양과학기술자 역량 강화	해양과학기술인력 양성과 -해양과학기술자 역량 강화 -해양과학기술자 역량 강화

프론티어 과제

구분	과제
인지도 향상 지표	-북극해 해양연구 논문 발표율 북극해 과학연구 향상(27) -해양과학기술인력 양성과 -해양과학기술자 역량 강화
기후변화 해결	-북극해 한반도 기상변화 예측 정확도 최고선도국 대비 40% -남극 스웨덴, 영국, 미국, 일본 등 후보지 방문 예측 선도국 대비 70%
극지 선도국 기반 마련	-해양과학기술인력 양성과 -해양과학기술자 역량 강화 -해양과학기술자 역량 강화

5대 추진 전략

남·북극 미지의 영역 탐사 확대

기후변화 해결을 위한 선도

다양한 국내외 협력관계 조성

해양과학기술인력 양성과

해양과학기술자 역량 강화

□ 「제3차 국가 기후변화 적응대책」 (‘21~’25)

- (정책②) 감시·예측 및 평가 강화 위해 서남극 지역 빙권의 장기 관측자료 확보와 기후변화 시나리오 생산 및 예측 고도화

제3차 국가 기후변화 적응대책

(2021~2025)

2020. 12.

관 계 부 처 합 동

비전 국민과 함께하는 기후안전 국가 구현

- 2℃ 지구온도 상승에도 대비하는 사회 전반의 기후탄력성 제고
- 기후감시·예측 인프라 구축으로 과학기반 적응 추진
- 모든 적응 이행주체가 참여하는 적응 주류화 실현

3대 정책	① 기후위험 취약성 제고	- 미래 기후위험을 고려한 물관리 - 생태계 건강성 유지 - 전 국토의 적응력 제고 - 지속가능한 농수산 환경 구축 - 건강피해 사전예방 체계 마련 - 산업 및 에너지 분야 적응역량 강화
	② 감시·예측 평가 강화	- 종합 감시체계 구축 - 시나리오 생산 및 예측 고도화 - 평가도구 및 정보제공 강화
	③ 적응 구현화 실현	- 기후적응 추진체계 강화 - 기후탄력성 제고 기반 마련 - 기후적응 협력체계 구축 및 인식제고

핵심 전략 기후탄력성 제고 취약계층 보호 시민참여 활성화 신기술체계 대응

※ 본 대책은 기후변화 적응대책, 기후위기 대응을 위한 기후안전 강화대책, 기후위기 대응을 위한 기후안전

□ 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」('23~'32)

- 과학기술 혁신을 통한 기후위기 대응과 新시장 선점을 위한 3대 전략 및 15대 세부전략 수립
- (전략2) 기후변화 적응
 - (2-4) 과학기술 기반 기후변화 감시·예측 및 영향평가
 - (2-5) 과학기술 기반 재난·재해 관리

기후기술 혁신을 통한 기후위기 대응 제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획(2023~2032) 2022. 12. 14. 관계부처 합동	III 비전 및 추진방향 비전·방향성 과학기술 혁신을 통한 기후위기 대응과 新시장 선점 탄소중립 실현 기여 온실감축 및 에너지전환 확보 기후위기 적응 강화 기본 방향(안) <table border="1"> <tr> <td>전략1 온실가스 감축</td><td>전략2 기후변화 적응</td></tr> <tr> <td> 1-1. 무탄소 에너지 생산 1-2. 에너지 시스템 전환 1-3. 탄소배출권 유통·거래 1-4. 에너지 소비 효율 향상 1-5. 온실가스저장 흡수 활용 1-6. 에너지 공급·수요 유연성 향상 </td><td> 2-1. 자연·생태계 회복력 강화 2-2. 산업·에너지·건설·교통·농업 분야 기후탄력성 제고 2-3. 기후 적응정책·제도·인프라 구축 2-4. 과학기술·기반 기후변화 감시·예측 및 영향평가 2-5. 과학기술·기반 재난·재해 관리 </td></tr> </table> 전략3 혁신 생태계 조성 3-1. 기후기술산업 육성·지원 3-2. 연구·개발·혁신·창업·투자·인재·인프라 등 활용 3-3. 국제·지역·민간·공공 협력·거버넌스 기반 조성 3-4. 기후변화 대응 거버넌스·협업·인프라·인재·인프라 강화	전략1 온실가스 감축	전략2 기후변화 적응	1-1. 무탄소 에너지 생산 1-2. 에너지 시스템 전환 1-3. 탄소배출권 유통·거래 1-4. 에너지 소비 효율 향상 1-5. 온실가스저장 흡수 활용 1-6. 에너지 공급·수요 유연성 향상	2-1. 자연·생태계 회복력 강화 2-2. 산업·에너지·건설·교통·농업 분야 기후탄력성 제고 2-3. 기후 적응정책·제도·인프라 구축 2-4. 과학기술·기반 기후변화 감시·예측 및 영향평가 2-5. 과학기술·기반 재난·재해 관리
전략1 온실가스 감축	전략2 기후변화 적응				
1-1. 무탄소 에너지 생산 1-2. 에너지 시스템 전환 1-3. 탄소배출권 유통·거래 1-4. 에너지 소비 효율 향상 1-5. 온실가스저장 흡수 활용 1-6. 에너지 공급·수요 유연성 향상	2-1. 자연·생태계 회복력 강화 2-2. 산업·에너지·건설·교통·농업 분야 기후탄력성 제고 2-3. 기후 적응정책·제도·인프라 구축 2-4. 과학기술·기반 기후변화 감시·예측 및 영향평가 2-5. 과학기술·기반 재난·재해 관리				

제2절 경제적 타당성 분석

I. 제3항목

1. 경제적 효과 | 2. 직·간접 효과 구분 | 3. 편익분석

1. 경제적 효과

- 연구개발사업과 같은 국가재정사업과 경제적 효과 간의 관계는 경제적 파급효과에 대한 명확한 개념과 그 범위를 명확하게 설정하는 것임
 - 경제적 파급효과는 연구자와 연구목적에 따라 제시되고 있는 파급효과의 범위가 상이함
 - 경제적 파급효과라는 표현을 사용하는 과정에서 이러한 명확한 정의의 부재와 범위의 모호함이 항상 문제점으로 제기되어 왔음
 - 이로 인하여 경제적 파급효과를 측정하기 위한 다양한 도구가 있음에도 불구하고, 연구자 간의 이견을 좁히기 어려움
- 해양분야 연구개발사업의 경제적 효과 또한 수혜자 및 최종산출물에 따라 효과의 범주를 명확하게 설정하기 어려움
 - 해양분야 연구개발사업은 기업, 일반인, 공공분야(부처 및 공공기관) 등 수혜대상 범위가 명확하지 않으며,
 - 기후 및 환경변화 예측, 환경오염개선 등은 수혜자가 명확하지 않아 그 범위는 더욱 모호함
- 경제적 파급효과는 기본적인 정의에서 연구자 간 논쟁이 되는 출발점은 ‘파급’이라는 표현임
 - 특정한 투입을 통해 발생하게 되는 산출물 간의 관계에서 있어서 파급이라는 표현은 직접적으로 발생하게 되는 산출물과 간접적으로 발생하게 되는 산출물로 구성됨
 - 해당 기술 혹은 산업 외에 미치게 되는 외부효과 등 다양한 것을 포함하는 것인가라는 의문점에서 출발

- 어떤 사업이 되었건 경제성, 경제적 효과, 경제적 파급효과, 경제적 타당성, 비용분석, 편익 분석, 효과분석 등 다양한 용어가 혼재되어 있음을 확인할 수 있음
- 경제적 효과를 논의하는 과정에서 이러한 개념이 혼재된 용어에 대한 기본적인 개념정리가 되지 않는다면, 전체적인 분석은 무의미하다고 판단
- 경제적 효과분석 방법론 개발은 경제성 분석, 경제적 파급효과, 편익추정, 비용추정, 경제적 타당성, 직접효과, 간접효과 등 각 표현에 대한 정의를 설정하는 것에서 출발함
- [경제적 타당성] 연구개발사업에 투입되는 비용을 추정하고, 편익을 추정하여 비용-편익 분석결과를 제시하는 것을 의미하며, 본 연구의 경제성 분석에 해당함
- [비용-편익분석] 사업수행을 위해 투입되는 비용을 추정하는 것을 의미하며, 사업수행에 따른 수혜자의 직접적인 편익을 계측하는 것으로 직접 경제효과는 편익분석에 해당함
- [경제적 파급효과] 연구개발사업에 투입되는 예산을 최종수요로 처리하여 산업연관분석으로 연관산업에 미치는 파급효과를 계측하는 것을 의미하며, 간접효과에 해당함

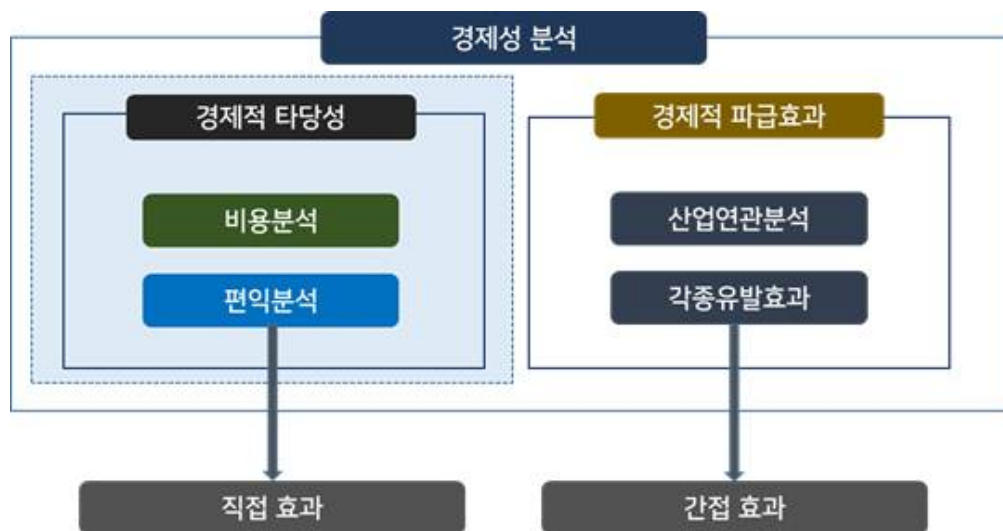


그림 1 경제적 효과분석 및 범위

- 본 연구는 경제효과분석 방법론 편익-비용분석 중심의 경제적 타당성 분석방법론을 채택함
- 사업에 투입되는 비용을 추정하고, 편익을 추정하여 비용-편익 분석결과를 제시하는 것을 의미
- 경제적 타당성은 비용산출모델 중 사업에 적합한 모델을 선별하고, 적용하며, 편익은 편익항목, 편익범주, 편익기간 등을 반영한 편익추정방법을 제시

- 경제적 타당성은 국가재정사업 예비타당성 평가에 제시되고 있는 방법론을 준용함
- 경제적 타당성은 국가재정사업 예비타당성 평가지침에 제시된 비용 및 편익분석의 방법론의 절차를 준용하여 분석방법의 적절성을 확보함

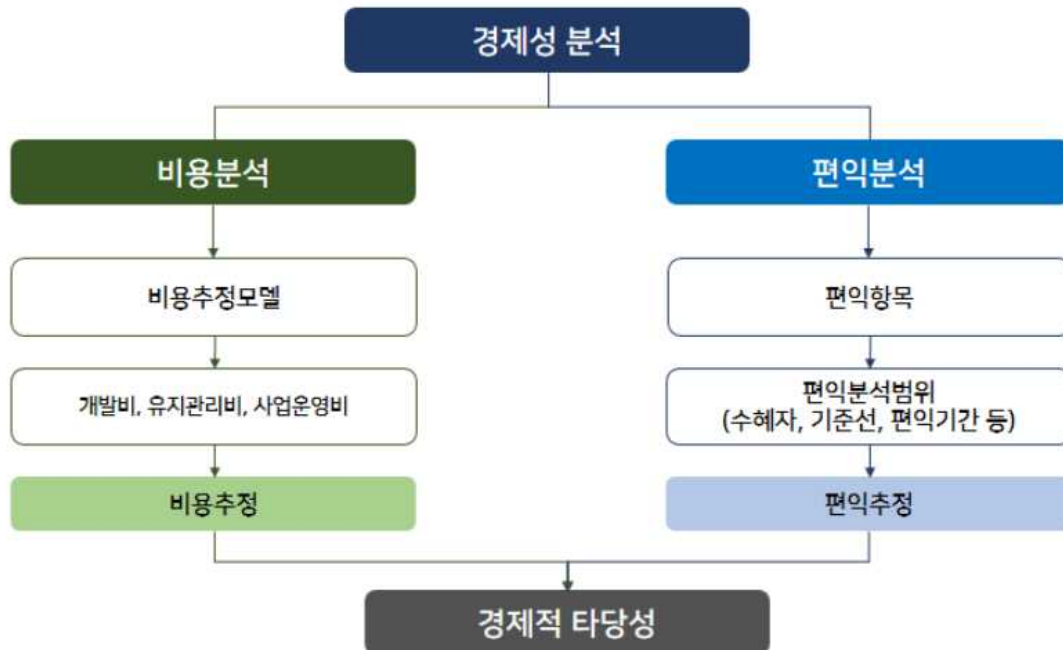


그림 2 경제적 타당성 분석 방법

2. 직·간접 효과 구분

- 경제적 효과는 직·간접 효과로 구분할 수 있으며, 직접효과는 사업의 효과를 바로 나타낸 것이며, 간접효과는 투자사업으로 인해 파생되거나 유발되는 효과를 의미
- 직접효과는 사업의 직접적인 수혜자에게 발생하는 편익을 의미하고, 간접효과는 사업에 투입되는 예산으로 인하여 연관산업에 파급되는 효과를 의미함
- 경제적 효과는 우선 직접효과와 간접효과로 나눌 수 있으며, 직접효과는 사업의 효과를 바로 나타낸 것이며, 간접효과는 직접효과로 인해 유발되는 2차 효과를 의미
- 일반적인 직접효과는 생산물의 증대, 품질의 개선, 비용절약, 입지개선 등 여러 가지 형태로 나타날 수 있는 사업추진의 목적 달성에 따르는 효과
- 예를 들면 대민서비스 중심의 정보화 사업에서는 서비스를 받는 고객의 편익 확대가 직접효과가 될 수 있음

- 공공부문의 생산성을 촉발하기 위한 사업에서는 내부업무 효율화에 대한 편익, 예산절감 등을 직접효과로 분류할 수 있음
- 재정사업의 경제적 효과는 원칙적으로 직접효과를 대상으로 함
- 간접효과는 특정 투자사업으로 인해 파생되거나 유발되어 나오는 효과를 말하는데, 이것은 투자사업이 지역 또는 경제 전체에 영향을 주어 경제활동 증대의 결과로 나타나는 효과를 의미
- 재정투입으로 인한 산업별 투자 효과, 국민경제적 파급효과 등의 사업의 간접적 수요자들에 대한 효과를 간접효과로 나타낼 수 있음
- 이와 같은 간접효과는 경제 전체에 미치는 파급효과에 대한 분석이 필요한 경우 직접효과보다 그 가치가 중요할 수 있음
- 해양분야 연구개발사업의 경제적 효과를 직·간접 효과로 구분한다면, 직접효과는 기술개발에 따른 직접 수혜자의 편익을 의미하며, 간접효과는 최종산출물이 활용됨에 따라 추가적으로 발생하는 파급효과를 의미
- 직접효과는 사업의 직접적인 수혜자인 기업, 공공분야(부처 및 공공기관)에게 발생하는 편익을 의미하고, 시장접근법을 통한 부가가치 창출, 비용절감 등이 이에 해당함
- 간접효과는 최종산출물이 활용(운영)됨에 따라 발생하는 효과를 의미함
- 본 연구는 연구개발사업사업의 경제적 효과를 분석하는 연구로 직접효과와 간접효과를 모두 산출하는 것을 목표로 함
- 직접효과는 국가재정사업에서 다루는 편익의 관점으로 접근하여 시장접근법(부가가치 창출), 비용절감 편익에 초점을 두고 분석하며,
- 직접효과의 수혜자는 최종산출물의 수혜자로 설정함
- 간접효과는 최종산출물 활용에 따른 효과로 설정함

3. 편익분석

- 공공투자사업에 있어서 편익을 추정하는 것은 민간부문의 투자사업과 근본적으로 차이가 있음
- 공공투자사업에서의 편익은 원칙적으로, 투자활동의 결과로 나타나는 모든 긍정적 효과를 총칭함

- 투자로 인해 생산된 재화와 서비스는 물론 시장에서 거래되지 않는 외부경제까지도 포함
- 편익분석을 실시하는 데 있어 가장 먼저 당면하는 과제는 투자의 착수부터 투자사업의 경제적 수명이 끝날 때까지 매기간 동안 어느 것이 편익이고 어느 것이 비용인지를 판별해야 하는 것임
- 공공투자사업 편익은 투자활동의 결과로 나타나는 모든 긍정적 효과를 총칭하며, 부가가치 증대, 비용절감이 대표적인 편익
- 투자활동의 결과로 나타나는 모든 효과는 가능한 양의 가치와 음의 가치가 모두 규명되고 계량화되어야 함
- 편익은 새로운 사업수행 이후에 발생하는 정(+)의 부가가치 증대효과와 시간절약 또는 비용절감 등과 같은 부(-)의 가치 감소로 산정
- 부가가치 증대는 시장접근법으로 표현되며, 시장가치 창출을 목적으로 하는 국가재정사업에 사용되는 편익임
- 부가가치 증대 편익은 국가재정사업 시행에 따른 미래시장규모, 생산성 향상, 신규시장 창출 등 사업의 기여도 창출된 직접적인 편익을 의미함
- 부가가치 증대 편익은 사업의 목적, 기대효과에 따라 편익항목을 구성하게 되며, 사업목적에 신시장, 신산업이라는 키워드가 포함된 경우가 이에 해당함
- 비용 절감편익은 사업시행 전/후를 비교하여, 발생하게 되는 비용을 분석하여 절감되는 수준을 계량화하는 것을 의미함
- 비용 절감편익은 사업 시행에 따른 수혜자의 범위를 설정하는 것이 필요하며, 수혜자는 사업으로 인한 직접적인 편익을 받는 행위주체를 의미
- 비용 절감편익 추정에는 사업 시행 전에 발생한 비용을 파악하는 것이 선행되어야 하며, 이를 사업시행 후 발생한 비용과 비교하는 것을 의미함
- 사업을 시행하기 전 100원이 비용이 발생하였고, 사업시행 후 40원의 비용이 발생하였다면, 비용 절감편익은 60원으로 산출하는 방법임
- 편익추정은 ‘사업분석 → 편익항목 도출 → 자료의 가용성(可用性) 확인 → 편익추정방법의 선택 → 항목별 수요(시장) 또는 비용도출 → 가치계산’의 과정을 거침
- 사업을 면밀히 분석하여 사업목표와 수혜자를 명확히 식별하고, 사업의 핵심목표 및 수혜자와 일관성이 있으면서 사업의 직접적인 효과를 편익항목으로 선정하고, 자료의 가용성에 따라 편익 추정방법을 선택



- 편익추정에 사용되는 수치와 모수(parameter)들은 객관적인 자료에 근거하여 충분한 신뢰성을 갖춰야 함
- 비용 절감편익은 사업시행 전 수혜자가 지불한 금액을 보다 정확하게 측정하는 것이 필요
- 편익추정단계에서 포함되어야 할 요소는 수혜자, 기준선 설정, 편익발생 기간 등을 들 수 있음
 - [수혜자] 사업목적에 기준으로 수혜자의 표적화가 이루어져 있어야 하며, 편익의 직접적 수혜자를 설정
 - [기준선 설정] 사업시행으로 인한 효과를 분리·분석하기 위해서는 사업 시행 유·무에 대해 각각의 효과를 분석하고 비교하여 양자의 차이를 도출해야 함
 - [편익기간] 초기조건으로써 최초 편익 발생시점이 결정된다면, 사업의 편익 지속기간이 경계조건으로서 정의될 수 있어야 함

II. 북극항로 운영 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발에 따른 경제성 분석

1. 사업개요 | 2. 최종산출물과 경제적 효과 | 3. 경제성 분석

1. 사업개요

A. 사업 개요 및 전략적 필요성

- 본 보고서는 '북극항로 운영을 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발' 연구개발(R&D) 사업의 경제적 타당성을 분석하는 것을 목적으로 함
- 본 사업은 2026년부터 2031년까지 6년간 총 414억 원의 국고를 투입하여, 인공지능(AI)과 실측 데이터에 기반한 한국 독자적인 북극항로예측 시스템을 구축하는 것을 핵심 목표로 삼고 있음
- 사업의 구체적인 성과물로는 항로 가용성 시나리오 예측 오차 30% 감소, 해운사 맞춤형 운항 지원 시스템 구현, 그리고 국제해사기구(IMO)의 Polar Code 등 국제 규범에 대응하기 위한 표준화된 환경 데이터 확보 등이 명시되어 있음
- 이 사업은 단순한 기술 개발을 넘어, 기후변화로 인해 새로운 지정학적·경제적 공간으로 부상하는 북극에 대한 대한민국의 전략적 주도권 확보와 직결됨
- 2027년부터 북극해가 계절적으로 얼음이 없는 '무빙해(Ice-free Arctic)' 시대가 도래할 것으로 전망됨에 따라, 미국, 러시아, 중국 등 주요국들은 이미 국가 주도의 예측 기술 개발 및 인프라 투자를 통해 영향력 확대를 꾀하고 있음
- 특히 북동항로(NSR)의 경우, 러시아가 운항 허가, 쇄빙선 서비스, 실시간 정보 제공등을 사실상 독점하고 있어, 국내 해운사들은 높은 비용과 지정학적 불확실성에 노출되어 있음
- 따라서 본 사업은 단기적으로는 운항 비용 절감이라는 경제적 효과를 창출하지만, 장기적으로는 특정 국가에 대한 기술적·정보적 종속에서 벗어나 독자적인 운항 전략을 수립하고, 예측 불가능한 외부 환경 변화에 대한 국가적 대응 능력을 확보하는 '전략적 자산'을 구축하는 의미를 지님
- 이는 해운·물류 산업의 경쟁력 제고를 넘어, 국가 안보 및 과학 외교 차원에서의 중대한 가치를 내포함. 본 분석은 이러한 다층적인 가치를 종합적으로 고려하여 사업의 경제적 타당성을 평가하고자 함

B. 경제성 분석 방법론 및 주요 가정

- 본 사업의 경제적 타당성을 평가하기 위해 공공투자사업 분석의 표준 방법론인 비용-편익 분석(Cost-Benefit Analysis, CBA)을 적용함
- 이 방법론은 사업으로 인해 발생하는 모든 사회적 비용과 편익을 화폐 가치로 환산하고, 이를 현재가치(Present Value)로 할인하여 사업의 순 경제적 가치를 평가함
- 분석의 주요 가정은 다음과 같음
 - 분석 기간: 사업의 효과가 장기간에 걸쳐 발현되는 특성을 고려하여, 총 13년의 분석 기간을 설정함. 이는 사업 기간 6년(2026년~2031년)과 사업 완료 후 기술의 성과가 본격적으로 발생하는 운영 기간 7년(2032년~2038년)을 포함함
 - 사회적 할인율(Social Discount Rate, SDR): 미래에 발생하는 비용과 편익을 현재가치로 환산하기 위한 할인율은 한국개발연구원(KDI)의 '공공투자사업 예비타당성조사 수행을 위한 일반 지침'에 따라 기준 할인율인 4.5%를 적용함
 - 장기 환경 편익에 대한 고려: 본 사업은 탄소 배출저감과 같이 미래 세대에 걸쳐 발생하는 장기적 환경 편익이 큼. Stern Review 등 다수의 국제연구에서는 이러한 세대 간 편익을 평가할 때 현행보다 낮은 할인율을 적용할 것을 권고하고 있음
 - ▶ 이는 높은 할인율이 미래 가치를 과도하게 축소시켜 장기 환경 프로젝트의 가치를 과소평가할 수 있기 때문임
 - ▶ 따라서, 기존 분석에서는 공식 지침인 4.5%를 사용하되, 사업의 환경적 가치를 보다 정확하게 평가하기 위해 민감도 분석에서 3.5%의 낮은 할인율을 적용한 시나리오를 추가로 검토함.
 - 평가 지표: 사업의 경제적 타당성을 판단하기 위한 핵심 지표는 다음과 같음
 - ▶ 순현재가치(Net Present Value, NPV): 총편익의 현재가치에서 총비용의 현재가치를 차감한 값임. NPV>0일 경우 사업이 비용보다 큰 가치를 창출함을 의미하며, 경제적 타당성이 있는 것으로 판단함
 - ▶ 비용-편익 비율(Benefit-Cost Ratio, B/C Ratio): 총편익의 현재가치를 총비용의 현재가치로 나눈 값임. B/C Ratio>1.0일 경우 편익이 비용을 초과하여 경제적 타당성이 있음을 의미함

C. R&D 사업 특수성을 고려한 조정계수

- 국가연구개발사업의 편익은 일반적인 사회간접자본(SOC) 사업과 달리, 기술 개발의 성공 여부와 시장 상황 등 다양한 불확실성에 노출되어 있으며, 창출된 편익이 온전히 해당 R&D 사업만의 결과라고 보기 어려움

- 따라서 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침」에서는 이러한 R&D 사업의 고유한 특성을 반영하기 위해 산출된 총편익에 조정계수를 적용할 것을 명시하고 있음
- 본 분석에서는 지침에 따라 다음과 같은 두 가지 핵심 조정계수를 적용하여 보다 현실적이고 보수적인 편익을 산출
 - ▶ 기술개발 성공률 (사업기여율): R&D 프로젝트가 목표한 기술적 성과를 달성할 확률을 의미함. 모든 R&D가 100% 성공하는 것은 아니므로, 이 확률을 적용하여 총편익의 기댓값을 산출함
 - ▶ R&D 기여율: 기술 개발이 성공하여 시장에 적용되더라도, 그로 인해 발생하는 경제적 편익(예: 매출 증대, 비용 절감)은 해당 기술뿐만 아니라 기업의 마케팅, 경영 전략, 인프라 투자, 시장 상황 등 복합적인 요인에 의해 결정. R&D 기여율은 전체 편익 중 순수하게 해당 R&D 활동으로 인해 창출된 부분만을 분리해내기 위한 계수임

2. 비용분석

A. 총 투자비 (직접 비용)

- 본 사업의 총 투자비는 사업 계획서에 명시된 바와 같이 414억 원으로, 전액 국고에서 조달됨
- 이 비용은 2026년부터 2031년까지 6년에 걸쳐 분할투입될 예정. 연차별 투자 계획은 다음과 같으며, 이 금액을 각해당 연도의 비용으로 산정하여 분석에 반영함

〈표 1〉 사업비

연도	투입예산(억 원)
2026	54
2027	72
2028	72
2029	72
2030	72
2031	72
합계	414

- 사업비 세부 내역을 살펴보면, 토목이나 건축과 같은 물리적 인프라 구축 비용은 없이 전액 이 '연구비 등' 항목으로 책정되어 있음.

- 이는 본 사업이 AI 모델링, 데이터 분석, 시스템 개발 등고도의 기술 개발에 집중된 R&D 사업임을 시사함
- 이러한 특성은 일반적인 사회간접자본(SOC) 사업과는 다른 비용 구조와 리스크 프로파일을 가짐. 즉, 물리적 건설에 따르는 리스크 대신, 기술 개발 과정에서의 불확실성이나 난이도 상승에 따른 잠재적 비용 증가 리스크가 존재함
- 이와 같은 잠재적 리스크는 민감도 분석에서 비용 할증 시나리오를 통해 검토될 것임.

B. 운영 및 유지관리(O&M) 비용

- R&D 사업이 완료되는 2032년부터는 개발된 예측 시스템과 '북극항로연구센터'의 지속적인 운영 및 유지관리를 위한 비용이 발생함
- 사업 계획서에는 O&M 비용이 구체적으로 산정되어 있지 않으므로, 공공사업 타당성 분석에서 통용되는 기준을 적용하여 추정함
- 일반적으로 R&D 시설 및 시스템의 연간 O&M 비용은 총 투자비의 일정 비율로 산정함
- 본 분석에서는 보수적인 관점에서 총 투자비 414억 원의 2.0%를 연간 O&M 비용으로 가정함

연간 O&M 비용 산출: $41,400,000,000\text{원} \times 2.0\% = 828,000,000\text{원}$

- 따라서 2032년부터 분석 기간 마지막 해인 2061년까지 매년 8억 2,800만 원의 O&M 비용이 발생하는 것으로 가정하고, 이를 현재가치로 할인하여 총비용에 반영함
- 이 비용에는 연구센터 인력 인건비, 시스템 유지보수, 서버 운영, 데이터 라이선스 갱신 등 예측 시스템의 안정적 운영에 필요한 제반 경비가 포함됨

3. 경제적 편익 식별 및 계량화

- 본 사업으로 인해 발생하는 경제적 편익은 해운 산업에 직접적으로 귀속되는 편익, 국가 및 항만 경제 전반에 미치는 간접적 편익, 그리고 사회 전체가 향유하는 사회·환경적 편익으로 구분하여 계량화함.

A. 직접 경제적 편익 (해운산업)

① 운항 비용 절감 (연료비 및 운영비)

- 본 사업의 가장 직접적이고 핵심적인 편익은 북극항로 이용에 따른 운항 비용 절감임
- 개발되는 예측 시스템은 해운사가 더 안전하고 신뢰성 있게 북극항로를 선택할 수 있도록 지원하

여, 기존 수에즈 운하 경유 항로 대비 운항 거리와 시간을 획기적으로 단축시킴.

○ 적용 산식 :

$$\text{연간 운항 비용 절감 편익} = (\text{항차당 연료비 절감액} + \text{항차당 운영비 절감액}) \times \text{연간 이용 항차 수}$$

○ 주요 가정 및 데이터:

- ▶ 비교 항로: 부산-로테르담 구간을 기준으로 분석함. 기존 수에즈 운하 항로는 약 20,000 km, 24일이 소요되는 반면, 북극항로는 약 12,700 km, 14일이 소요되어, 편도 기준 약 8,000 km의 거리와 10일의 시간을 단축할 수 있음
- ▶ 대상 선박: 아시아-유럽 노선의 주력 선대인 20,000 TEU급 초대형 컨테이너선을 기준으로 함
- ▶ 연료 소모량 및 가격: 20,000 TEU급 선박은 하루 약 250톤의 저유황유(VLSFO)를소모함.10 VLSFO 가격은 변동성이 크나, 과거 데이터와 시장전망을 고려하여 보수적으로 톤당 600 USD로 가정함
- ▶ 일일 운영비(OPEX): 선원비, 보험료, 수리유지비 등 연료비를 제외한 일일 운영비는 Drewry 등 전문기관의 분석을 참고하여 20,000 USD로 가정함
- ▶ 이용 항차 수: 사업 성과가 발현되는 2032년, 연간 50항차(왕복 기준 25회) 이용을 시작으로, 북극항로의 안정성과 경제성이 입증됨에 따라 매년 5%씩 이용률이 증가하는 것으로 가정함

- 이를 바탕으로 산출한 항차당 운항 비용 절감효과는 아래 표2와 같음. 왕복 기준 약 23억 4천만 원의 비용 절감이 발생하는 것으로 분석됨

<표 2> 항차당운항 비용 절감 효과 (부산-로테르담, 20,000 TEU급 선박, 왕복 기준)

항목	수에즈운하항로	북극항로	절감효과
운항기간(일)	48	28	20
총연료소모량(톤)	12,000	7,000	5,000
총연료비(백만원)	9,720	5,670	4,050
총운영비(백만원)	1,296	756	540
총운항비용(백만원)	11,016	6,426	4,590
선회/통과료등추가비용 (백만원)	1,890	675	1,215
순수비용절감액 (백만원)	-	-	5,805

주: 환율 1,350원/USD, VLSFO 가격 600 USD/톤, 일일 운영비 20,000 USD 적용. 북극항로 추가 비용(선회선 이용료, 통과료 등)은 수에즈 운하 통과료의 약 1.5배 수준으로 보수적으로 가정하여 총 운항 비용의 약 35%로 산정.

② 선대 운용 효율화 및 자본비용 절감

- 운항 기간 단축은 단순히 비용 절감을 넘어, 선박이라는 고가자산의 운용 효율성을 극대화함. 동일한 수의 선박으로 더 많은 운항을 수행하거나, 동일한 서비스 빈도를 유지하는 데 더 적은 수의 선박을 투입할 수 있게 됨. 이는 해운사의 막대한 신조선 투자 부담을 경감시키는 중요한 편익을 창출함.

○ 적용 산식 :

$$\text{자본비용 절감 편익} = \text{감축 가능한 선박수} \times \text{선박 1척당 가격}$$

○ 주요 가정 및 데이터:

- ▶ 일반적으로 아시아-유럽 항로의 주 1회 서비스를 위해서는 약 12척의 선박이 필요함. 왕복 20일의 운항기간 단축은 약 2~3척의 선박을 절감하는 효과를 가져옴.
- ▶ 20,000 TEU급 신조 컨테이너선 1척의 가격은 약 1억 6천만 USD (약 2,160억 원)에 달함.
- ▶ 본 분석에서는 북극항로 운항이 연간 100항차를 초과할 때마다 1척의 신조선 투자를 회피할 수 있다고 보수적으로 가정하여 편익을 산출함.

B. 간접 경제적 편익 (국가 및 항만 경제)

① 부산항 환적 물동량 증대 및 부가가치 창출

- 본 사업은 부산항을 '북극 물류 중계거점'으로 육성하는 것을 명시적 목표로 하고 있음. 북극 항로가 활성화되면 아시아와 유럽을 오가는 화물들이 부산항에서 환적(Transshipment)될 가능성이 커짐
- 본 사업의 예측 시스템은 부산항의 물류 처리 효율성과 예측 가능성을 높여, 중국 및 일본 항만과의 경쟁에서 우위를 점하게 하는 핵심 요소로 작용할 것임.
- 이러한 환적 물동량 증가는 항만 하역, 창고 보관, 육상 운송 등 연관 산업의 성장을 견인하며 상당한 경제적 부가가치를 창출함.

○ 적용 산식 :

$$\text{환적 부가가치 편익} = \text{연간 추가 환적 물동량 (TEU)} \times \text{TEU당 부가가치}$$

○ 주요 가정 및 데이터:

- ▶ TEU당 부가가치: 환적화물 1TEU 처리 시 발생하는 부가가치는 과거연구에서 11만 8,000원에서 25만 6,000원까지 다양하게 제시되었음. 본 분석에서는 물가상승률과 산업 구조 변화를

고려하여 보수적으로 150,000원/TEU를 적용함

- ▶ 추가 환적 물동량: 사업 초기인 2032년, 북극항로 활성화로 인해 50,000 TEU의 환적 화물이 추가로 유치되고, 이후 연간 5%씩 증가하는것으로 가정함

● 이러한 직접적, 간접적 편익은 상호 시너지를 창출하는 선순환 구조를 형성함

- 즉, 예측 기술로 인한 운항 비용 절감(직접 편익)이 더 많은 선박을 북극항로로 유인하고, 이는 부산항의 환적 물동량 증대(간접 편익)로 이어짐
- 다시, 북극 물류 허브로서 강화된 부산항의 위상은 더 많은 글로벌 선사들을 유치하여 항로 전체의 가치를 높이는 촉매 역할을 하게 됨

C. 사회·환경적 편익 (공공재)

① 탄소 배출 저감에 따른 환경적 편익

- 북극항로를 통한 운항 거리 단축은 선박의 연료 소모량 감소로 이어지며, 이는 곧 온실가스(CO₂) 배출량 감축이라는 중요한환경적 편익을 의미함
- 이는 기후위기 대응이라는 전 지구적 과제에 기여함과 동시에, 강화되는 국제 환경 규제 속에서 국가와 산업의 지속가능성을 높이는 핵심적인 가치임
- ▶ 적용 산식 :

$$\text{탄소 저감 편익} = \text{연간 총 연료 절감량 (톤)} \times \text{CO}_2 \text{ 배출계수} \times \text{탄소의 사회적 비용 (SCC)}$$

○ 주요 가정 및 데이터:

- ▶ 연간 총 연료 절감량: 상기 '운항 비용 절감' 항목에서 산출된 값을 사용함.
- ▶ CO₂ 배출계수: 선박용 저유황유(VLSFO) 1톤 연소 시 약 3.114톤의 CO₂가 배출됨.
- ▶ 탄소의 사회적 비용(Social Cost of Carbon, SCC): 1톤의 CO₂ 배출로 인해 발생하는 미래의 경제적 피해를 화폐 가치로 환산한 것임. 미국 환경보호청(EPA) 및 국내외 연구를 참고하여, 기준값을 톤당 60 USD (약 82,000원)로 설정하고, 민감도 분석에서 변동시켜 불확실성에 대응함

② 해양 사고 리스크 감소에 따른 사회적 편익

- 북극해는 유빙, 급격한 기상 변화등 예측 불가능한 위험이 상존하는 고위험 해역임
- 본 사업의 핵심 목표는 바로 이러한 불확실성을 과학적예측을 통해 통제하고, 운항 안전성을 극대화하는 것임
- 해양 사고, 특히 대형 사고는 막대한 인명 및 재산 피해, 복구 불가능한 수준의 환경오염을 유발함

- 2021년 '에버기븐(Ever Given)'호의 수에즈 운하 좌초 사고는 단 6일간의 마비로 전 세계 교역에 약 90억 달러의 손실을 입혔으며, 단일 해운사에만 약 8,900만 달러의 직접 손실을 안겼음
- 따라서 사고를 예방하는 것의 경제적 가치는 매우 큼
- 본 사업은 '항로 가용성 시나리오 예측 오차 30% 감소'를 질적 성과 목표로 제시하고 있으며, 이는 사고 발생 확률 자체를 직접적으로 낮추는 효과로 해석될 수 있음
- ▶ 적용 산식 :

$$\text{사고 예방 편익} = (\text{사고 발생 확률} \times \text{사고당 평균 피해액}) \times \text{리스크 감소율} \times \text{연간 이용 항차 수}$$

- 주요 가정 및 데이터:
 - ▶ 사고 발생 확률 및 피해액: 북극항로의 사고 데이터는 아직 충분히 축적되지 않았으나, 전손 및 대규모 유류 유출을 동반하는 대형 사고의 피해액은 10억 USD를 상회할 수 있음. 본 분석에서는 연간 항차당 대형 사고 발생 확률을 0.01%로 매우 낮게 가정하고, 사고당 평균 피해액을 10억 USD (약 1조 3,500억 원)로 설정함
 - ▶ 리스크 감소율: 사업 목표치인 30%를 적용함. 즉, 본 사업의 예측 시스템을 활용함으로써 기존 대비 사고 발생 리스크가 30% 감소하는 것으로 가정함
- 이와 더불어, 사업 계획서의 'Polar Code 대응'은 단순한 규제 준수를 넘어, 북극항로 상업 운항의 전제 조건이 되는 '면허'와 같은 가치를 지님
- Polar Code는 북극 수역을 운항하는 선박의 안전 및 환경 보호를 위한 국제 강행 규정으로, 이를 준수할 수 있는 데이터와 기술 없이는 사실상 운항 허가를 받거나 적정 수준의 보험에 가입하는 것이 불가능함
- 따라서 본 사업이 제공하는 Polar Code 대응 환경 데이터는 다른 모든 경제적 편익을 실현 가능하게 하는 편익으로서, 그 가치는 다른 모든 편익의 총합과 같다고 볼 수 있음

4. 계수 적용

A. 기술개발 성공률(사업기여율) 적용

- 본 사업은 '개발연구' 단계에 해당하며, 이는 기초·응용 연구 결과를 바탕으로 실제 시스템을 구현하는 단계임
- 국가 R&D 사업의 서류상 성공률은 90%를 상회하는 경우가 많으나, 기술 개발에는 본질적인 불확실성이 내재되어 있음
- 따라서 모든 편익이 100% 실현된다고 가정하는 것은 비현실적임

- 이에 본 분석에서는 예비타당성조사의 보수적 관행과 사업의 기술적 난이도를 고려하여 기술개발 성공률을 90%로 적용
- 이는 사업이 목표한 기술적 성과를 달성하고 편익 창출의 전제조건을 마련할 확률을 의미
 - ▶ 조정된 편익 = 총편익 × 90%(기술개발성공률)

B. R&D 기여율 적용

- 본 사업을 통해 개발된 예측 기술이 성공적으로 상용화되더라도, 그로 인해 발생하는 경제적 편익은 오직 이 기술 하나만으로 창출되는 것이 아님
- 해운사의 경영 전략, 선박 운용 능력, 국제 유가 변동, 항만 인프라 수준 등 수많은 외부 요인이 복합적으로 작용
- R&D 기여율은 이러한 전체 편익 중에서 순수하게 해당 R&D 기술 개발이 기여한 부분을 분리해 내는 지표
- 국가연구개발사업 예비타당성조사 지침에서는 이러한 R&D 기여율을 일관되게 적용할 것을 권고하고 있음
- 본 분석에서는 지침에 따라 R&D 기여율을 35.4%로 적용

$$\text{최종 조정 편익} = (\text{총편익} \times \text{기술개발 성공률 } 90\%) \times \text{R\&D 기여율 } 35.4\%$$

- 결론적으로, 본 분석에서 최종적으로 인정되는 편익은 총편익에 90%와 35.4%를 순차적으로 곱한 값, 즉 총편익의 31.86%가 됨

5. 경제성 분석

A. 최종 비용-편익 분석 결과

- 경제적 타당성은 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 환산한 비용편익 비율(benefit-cost ratio, BCR), 순현재가치(net present value, NPV)를 통해 타당성 여부를 확인함
- [사회적 할인율] 사업의 비용과 편익은 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하나, 이에 대한 경제성 분석은 현재 시점에서 이루어지므로 모두 현재가치로 환산하여 비교해야 하며 이를 위해 할인율(discount rate)을 적용
- [비용편익 비율] 비용 대비 편익의 비율이 높은 사업일수록 경제성이 높은 것으로 평가하는 기준이 됨

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

B_t : t 시점의 편익, C_t : t 시점의 비용, r : 할인율, n : 분석기간

- [순현재가치] 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 순편익의 합계를 현재가치로 환산한 값을 의미하며 양수인 경우 대상사업이 경제적으로 타당성 있는 것으로 평가

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 비용은 사업 기간 6년(2026-2031)과 운영 기간 30년(2032-2061)에 걸쳐, 편익은 운영 기간 7년(2032-2038)에 걸쳐 발생하는 것으로 분석하고, 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 현재가치로 환산한 결과는 표3 와 같음
- 총편익은 기술개발 성공률(90%)과 R&D 기여율(35.4%)을 적용하여 조정한 최종 편익 값임
- 표 4는 2032년부터 2038년까지의 연도별 편익 발생액을 상세히 제시한 것임
- 각 연도별로 운항 비용 절감, 자본비용 절감, 환적 부가가치, 탄소 저감, 사고 예방 편익의 총합인 '총편익'을 계산하고, 여기에 R&D 조정계수(31.86%)를 적용하여 '최종 조정 편익'을 산출한 후, 이를 사회적 할인율 4.5%로 할인하여 '현재가치'를 도출한 결과임

<표 3> 연도별 편익 산출 내역 (2032-2038년, 단위: 억 원)

연도	경제적 효과	편익(기여율반영)	현재가치
2032	3,148	1,003	412
2033	3,293	1,049	413
2034	3,445	1,097	414
2035	3,604	1,148	415
2036	3,771	1,201	416
2037	4,427	1,410	468
2038	4,636	1,477	469
합계	26,324	8,385	3,007

<표 4> 비용-편익 종합 분석 결과 (현재가치 기준, 단위: 억 원)

구분	항목	현재가치 (PV)
비용 (Cost)	총비용 (A)	551
	총 투자비	344
	운영 및 유지관리(O&M) 비용	207
편익 (Benefit)	총편익 (B)	3,007
	운항 비용 절감 편익	1,711
	자본비용 절감 편익	319
	환적 물동량 증대 편익	328
	탄소 배출 저감 편익	304
	해양 사고 리스크 감소 편익	346
타당성 지표	순현재가치 (NPV = B - A)	2,456
	비용-편익 비율 (B/C Ratio = B/A)	5.46

주: 사회적 할인율 4.5% 적용. 총편익은 R&D 조정계수(기술개발 성공률 90%, R&D 기여율 35.4%)를 적용한 최종 조정 편익의 현재가치 합계임

- 분석 결과, 본 사업의 순현재가치(NPV)는 2,456억 원으로 0보다 크며, 비용-편익 비율(B/C Ratio)은 5.46으로 1.0을 월등히 상회하는 것으로 나타났음
- 이는 본 사업에 투입되는 총비용보다 이로 인해 창출되는 사회·경제적 총편익이 약 5.46배 더 크다는 것을 의미
- 따라서 '북극항로 운영을 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발' 사업은 국가연구개발사업 예비타당성조사 지침을 엄격히 준수한 기준 시나리오 하에서 경제적 타당성을 충분히 확보하는 것으로 평가됨

B. 민감도 분석

- 경제성 분석은 미래에 대한 여러 가정을 전제로 하므로, 주요 변수의 변화에 따라 결과가 어떻게 달라지는지를 살펴보는 민감도 분석이 필수적임
- 본 분석에서는 북극항로 이용 항차 수, 국제 유가, 탄소의 사회적 비용, 사회적 할인율, 그리고 총사업비 등 5가지 핵심 변수를 변동시켜 B/C 비율의 변화를 측정함

<표 5> 주요 변수 변화에 따른 민감도 분석 결과

변수	시나리오	B/C 비율
북극항로 이용 항차 수 (기준: 연 5% 증가)	저성장 (연 2% 증가)	4.26
	기준 시나리오	5.46
	고성장 (연 8% 증가)	6.99
국제 유가 (VLSFO) (기준: 600 USD/톤)	저유가 (400 USD/톤)	4.66
	기준 시나리오	5.46
	고유가 (800 USD/톤)	6.25
탄소의 사회적 비용 (SCC) (기준: 60 USD/톤)	저비용 (30 USD/톤)	5.19
	기준 시나리오	5.46
	고비용 (100 USD/톤)	5.87
사회적 할인율 (SDR) (기준: 4.5%)	3.5% 적용	6.89
	기준 시나리오	5.46
	5.5% 적용	4.37
총사업비 (기준: 414억 원)	20% 증가	4.55
	기준 시나리오	5.46

- 민감도 분석 결과, 모든 시나리오에서 B/C 비율이 1.0을 월등히 상회하여 사업의 경제적 타당성이 매우 견고함을 확인할 수 있음
- 항차 수와 유가: 사업의 수익성은 북극항로 이용 항차 수와 국제 유가에 가장 민감하게 반응함. 이는 사업의 직접 편익인 운항 비용 절감 효과가 전체 편익에서 가장 큰 비중을 차지하기 때문임
- 사회적 할인율: 할인율을 3.5%로 낮출 경우, 미래에 발생하는 환경 편익 등의 가치가 더 높게 평가되어 B/C 비율이 6.89로 크게 상승함. 이는 본 사업이 장기적 관점과 환경적 가치를 중시할 수록 경제성이 더욱 부각됨
- 비용 증가: 기술 개발의 불확실성으로 인해 총사업비가 예상보다 20% 증가하는 비관적인 상황에서도 B/C 비율은 4.55를 기록하여, 여전히 매우 높은 경제성을 유지하는 것으로 나타남
- 결론적으로, 본 사업은 다양한 미래의 불확실성을 고려하더라도 경제적 타당성을 잃지 않는 강건한(robust) 사업으로 평가할 수 있음
- '북극항로 운영을 위한 실측 기반 통합 예측기술 개발' R&D 사업에 대한 비용-편익 분석 결과, 순현재가치(NPV)는 2,456억 원, 비용-편익 비율(B/C Ratio)은 5.46으로 산출되었음
- 이는 국가연구개발사업 예비타당성조사 지침을 준수하고, R&D 사업의 불확실성을 보수적으로 반영한 결과로서, 본 사업이 투입되는 비용을 상회하는 규모의 사회·경제적 편익을 창출하며

경제적 타당성이 매우 높음을 명확히 보여줌

- 민감도 분석을 통해서도 사업의 타당성은 견고하게 유지됨을 확인하였음
- 북극항로 이용률이 예상보다 저조하거나, 국제 유가가 하락하는 등 비관적인 시나리오에서도 B/C 비율은 모두 1.0을 크게 초과하였음
- 특히, 장기적이고 공공적인 가치를 반영하는 낮은 사회적 할인율을 적용할 경우 사업의 경제성은 더욱 증대되는 것으로 나타났음
- 이는 본 사업이 단기적 이익을 넘어 국가의 장기적 경쟁력과 지속가능성에 기여하는 가치 있는 공공투자임을 시사함

제3절 기대효과

- (과학/기술적 파급효과) 정밀 관측과 AI 기반 예측 기술을 통해 북극 해양환경 모니터링 및 지속가능한 항로 운영을 지원
- (경제/사회적 파급효과) 운항 안전성 향상과 기후위기 대응력 강화를 통해 경제적 피해를 줄이고 북극 관련 신산업 진출 기반을 마련
- (정책적 파급효과) 과학 기반 데이터를 활용 북극정책의 실효성을 높이고 중장기 전략 수립 핵심 자료제공 및 북극항로 운영의 지정학적 리스크 완화
- (비용 절감 효과) 북극항로의 안전한 활용을 통해 선박 연료비 절감, 운항 시간 단축, 사고 및 재해 리스크를 효과적으로 감소
- (예측기술 자립 확보) 외국 기술에 의존하지 않고 북극항로를 안전하고 경제적으로 운항할 수 있는 독자적 예측기술 확보로, 연간 수백억 원의 비용 절감과 데이터 수출까지 가능한 전략적 자산 확보
- (글로벌 물류 경쟁력 확보) 수에즈운하 폐쇄, 홍해 무력 분쟁 등 글로벌 공급망 충격에 대응하는 지정학적 회피 전략으로, 국가 물류 회복 탄력성 제고
- (AI 기반 예측 서비스 산업 창출) 예측정보와 시각화 플랫폼을 구독형 SaaS로 제공하고, 예측 데이터 API 판매, 운항 컨설팅, 정책 자문, 보험사·국제기구 대상 규범 대응 컨설팅 등 파생 서비스 시장 창출
- (국가 경제 및 수출 촉진 효과) 수출 기업의 운송비 절감은 물론, 예측정보 기반 시스템 수출과 쇄빙 LNG선 수주 확대를 통한 조선·선박기자재 산업의 동반 성장 유도

참고문헌

- Aksenov et al. (2017). On the future navigability of Arctic sea routes: high-resolution projections. *Marine Policy*, 75, 300-317. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.027>
- Cao et al. (2022). Navigability of the Northern Sea Route for Arc7 ice-class vessels. *Marine Policy*, 137, 104957. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104957>
- Diebold et al. (2023). Statistical forecast of Arctic sea ice extent. *The Cryosphere*, 17, 259-275. <https://doi.org/10.5194/tc-17-259-2023>
- Guarino et al. (2020). Sea ice-free Arctic during the Last Interglacial supports fast future loss. *Nature Climate Change*, 10, 928-933. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0865-2>
- Heuzé & Jahn (2024). Sea ice choke points reduce the length of the shipping season in the Northwest Passage. *Nature Climate Change*, 14, 234-240. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01856-9>
- Jahn et al. (2024). CMIP6 ensemble projections of Arctic sea ice. *The Cryosphere*, 18, 567-585. <https://doi.org/10.5194/tc-18-567-2024>
- Kim et al. (2023). Changing Arctic Northern Sea Route and Transpolar Sea Route. *Marine Policy*, 152, 105536. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105536>
- Melia et al. (2016). Sea ice decline and 21st century trans-Arctic shipping routes. *Geophysical Research Letters*, 43, 9720-9728. <https://doi.org/10.1002/2016GL069315>
- Min et al. (2022). The emerging Arctic shipping corridors. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(9), 1182. <https://doi.org/10.3390/jmse10091182>
- Müller et al. (2023). Arctic shipping trends during hazardous weather and sea-ice. *Marine Policy*, 150, 105392. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105392>
- Notz et al. (2020). Arctic Sea Ice in CMIP6. *Geophysical Research Letters*, 47(10), e2019GL086749. <https://doi.org/10.1029/2019GL086749>
- Shen et al. (2023). Projected changes in sea ice and the navigability of the Arctic Passages. *Nature Communications*, 14, 1234. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-05672-4>
- Smith & Stephenson (2013). New trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 110(13), E1191-E1195. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214212110>
- Vermassen et al. (2023). Seasonal variability and predictability of Arctic shipping routes. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL102548. <https://doi.org/10.1029/2023GL102548>
- Wei et al. (2020). Projections of Arctic sea ice conditions and shipping routes in the twenty-first century using CMIP6 forcing scenarios. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104079. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab88d2>
- Zhang et al. (2023). Changing Arctic Northern Sea Route and Transpolar Sea Route. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(11), 2340. <https://doi.org/10.3390/jmse11112340>