

**인공위성 원격탐사 기술을 활용한
극지운항 선박의 빙해 실운항
성능평가 기술개발
[본원-부설 공동 기획연구 보고서]**



2024년 6월

선박해양플랜트연구소

BSPES5032125982

인공위성

원격탐사

기술

환경

극지연구

선박의 비행

실험

성능평가

기술개발

기획

연구

선박해양플랜트연구소



미래선도사업 과제실적 보고서 (본원-부설 공동 기획연구)



사 업 구 분	사업유형	☐ 기관목적사업 ☒ 미래선도사업 ☐ 인프라운영사업(R&D) ☐ 정책지원사업 ※해당란에 “ ☒ ”표		
	연구단계	☐ 기초 ☐ 응용 ☐ 개발 ☒ 기획		
	기술성격	☐ 아이디어 개발 ☒ 원천기술 ☒ 산업계 현안기술 ☐ 첨단 추격기술		
	사업성격	☒ 기초·미래선도형 ☐ 공공·인프라형 ☒ 산업화형 ☐ 기타		
과 제 명	국 문	인공위성 원격탐사 기술을 활용한 극지운항 선박의 빙해 실운항 성능평가 기술 개발을 위한 기획연구		
	영 문	Planning research on performance evaluation during operation in ice-covered waters using satellite remote sensing technologies for ships in polar waters		
키워드	인공위성, 원격탐사, 빙해, 극지운항 선박, 실운항 성능평가			
주관 연구책임자	소속 및 부서명	선박해양플랜트연구 소 지능형선박연구본부	직 위	책임기술원
	성 명	장진호	전 공	조선해양공학
	유선전화	042-866-3438	휴대전화	010-2277-0351
공동연구기관 연구책임자	소속 및 부서명	극지연구소 원격탐사빙권정보센터	직 위	책임연구원
	성 명	김현철	전 공	해양 원격탐사
	유선전화	032-760-5335	휴대전화	010-8938-2675
참여연구원	총 13 명 (내부 : 10 명, 외부 : 3 명)			
연구기간	2023. 07. 01 ~ 2023. 12. 31 (6 개월)			
연구비(원)	40,000,000원			
위탁연구	과제명	위탁연구비	위탁연구기관	연구책임자



| Contents |

I 과제 개요

1. 연구개발의 목표 및 내용	1
가. 최종목표	1
나. 연구수행 내용	1

II 연구 실적

1. 연구목표 대비 달성 내용	3
가. 연구목표 대비 달성내용 및 달성도	3
나. 달성된 연구목표의 질적 완성도	4
2. 연구수행 방법의 적절성	5
3. 연구성과의 우수성	6
가. 연구성과의 우수성	6
나. 관련분야 기여도	16
4. 연구결과의 활용성 및 기대효과	17
가. 연구결과의 활용성 (향후 본 과제 추진 시 연구내용)	17
나. 연구결과의 기대효과	22
다. 연구결과의 공공적 파급효과	23

[별첨 자료]

별첨 1. 인공위성 원격탐사 자료에 AI 관련 기법 적용 해빙 산출 기술 동향	4·2
별첨 2. 적설두께 원격탐사와 모델 모의 최신 동향(덴마크 기상청)	3·3
별첨 3. (기술수요조사) 빙해운항 환경분석(영산대)	14
별첨 4. (기술수요조사) 빙해 실운항 성능 분석(인하대)	64
별첨 5. (기술수요조사) 빙해운항 환경분석(스텔라비전)	0·5
별첨 6. (기술수요조사) 빙해운항 환경분석(서울대)	45
별첨 7. (기술수요조사) 빙해운항 환경분석(동아대)	75
별첨 8. (기술수요조사) 빙해운항 환경분석(강원대)	16
별첨 9. 빙해운항 환경분석 세부 과제계획 I (서울대)	07
별첨 10. 빙해운항 환경분석 세부 과제계획 II (서울대)	87



1. 연구개발의 목표 및 내용

가. 최종목표

- 인공위성 원격탐사 기술을 활용하여 극지 빙해에서 선박 운항에 큰 영향을 미치는 해빙 조건과 적설 특성 등의 해양 환경 정보를 획득하고,
- 이러한 특성이 선박의 빙해 운항 성능에 미치는 영향을 고려하여 극지운항 선박의 빙해 실운항 성능평가 기술을 개발하기 위하여 부설 기관 간 협력 연구를 기획함

나. 연구수행 내용

- 정책 및 연구 동향 조사: 국내외 환경변화 분석
 - 인공위성 원격탐사 및 극지운항 선박 빙해 실운항 성능평가 분야
- 기술수요조사, 연구개발 중복성 검토 및 세부과제 및 전략기술 도출, 연구개발 목표 수립
 - 기술수요조사 및 후보과제 도출, 중복성 검토
 - 국내 기술수준 및 기술개발 역량 분석
 - 연구개발 목표 설정
- 핵심과제 도출 및 기술개발 로드맵 수립·구개발 추진 전략 수립
 - 연구개발 우선순위 평가를 통한 중점 추진 연구 분야 선정

- 기술개발로드맵 수립
- 성과물 활용 방안 및 사업화 추진방안 도출

○ 연구개발 타당성 분석 및 활용 방안 검토

- 기술적, 정책적, 경제적 타당성 분석
- 기대효과 및 파급효과 산정
- 활용방안 검토



Ⅱ

연구 실적

1. 연구목표 대비 달성 내용

가. 연구목표 대비 달성내용 및 달성도

연차별 달성내용			연차별 계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
연구목표	연구내용	달성실적	
인공위성 원격탐사 기술을 활용, 극지운항 선박의 빙해 실운항 성능평가 기술 개발 협력 연구 기획	1. 인공위성 원격탐사 기술동향 분석 및 전망	- 기술개발 동향 조사 - 관련 정책 동향 조사 - 특허 분석	95
	2. 극지운항 선박 빙해 실운항 성능평가 기술동향 분석 및 전망	- 기술개발 동향 조사 - 관련 정책 동향 조사 - 특허 분석	95
	3. 기술수요조사, 연구개발 중복성 검토 및 세부과제 및 전략기술 도출	- 기술수요조사 및 후보과제 도출 - 중복성 검토 - 국내 기술수준 분석 - 연구개발 목표 설정	80
	4. 핵심과제 도출 및 기술개발 로드맵 수립	- 연구개발 우선순위 평가 - 중점 추진 연구 분야 선정 - 기술개발로드맵 수립 - 성과물 활용 방안 검토	80
	5. 연구개발 타당성 분석 및 활용방안 검토	- 연구개발 타당성 분석 - 기대효과 및 파급효과 산정 - 활용방안 검토	95
계			89

나. 달성된 연구목표의 질적 완성도

- 선박해양플랜트연구소와 극지연구소의 연구역량 결집을 통한 목표지향적 성과 목표 수립뿐만 아니라 세부 연구내용, 연차별 이행 계획 및 성과지표 수립
- 극지연구소 신규 쇄빙선 건조 일정 및 연구선 용선 가능성을 고려한 단계별 이행계획 수립
- 국내외 전문가 자문(고려대, 서울대, 충남대)을 통한 세부 연구내용 구체화
- 뉴질랜드(오클랜드대학, NIWA, GNS), 미국(하와이대학, 하바드대학), 통가지질 조사소, 쿡제도 심해저청 등 해외기관과 공동연구 및 연구선 임차가능성 협의 진행

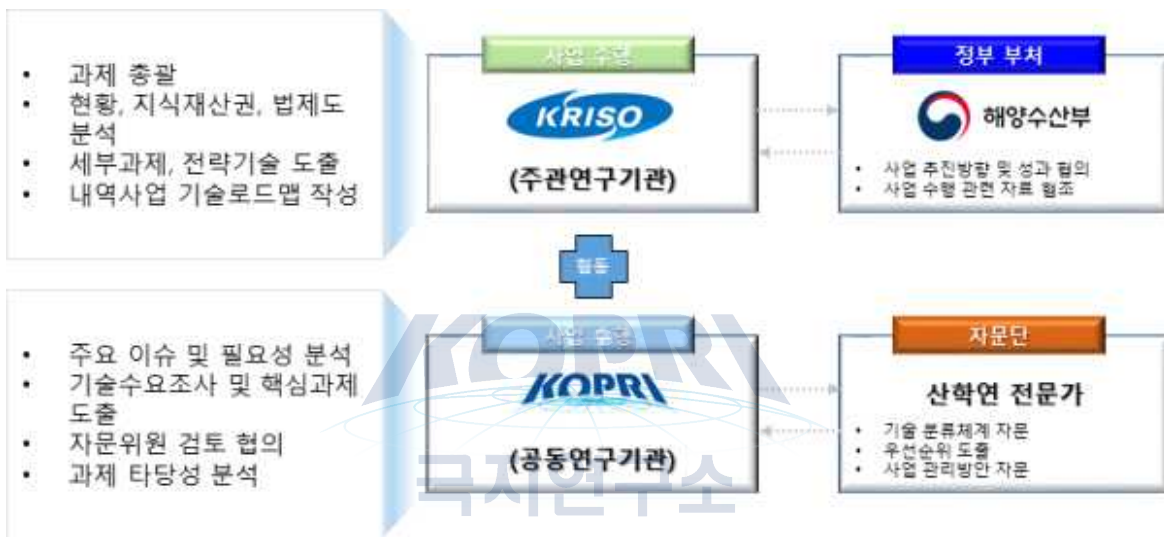


2. 연구수행 방법의 적절성

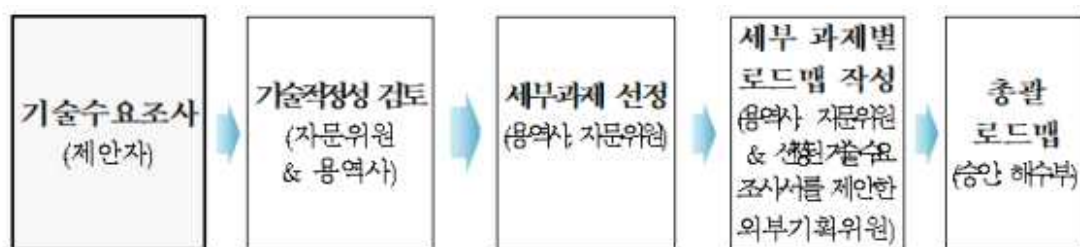
○ 연구계획서상의 추진체계 및 수행방법의 적정 수행 여부

한국해양과학기술원 부설연구소인 선박해양플랜트연구소와 극지연구소 간의 협업 체계

- 선박해양플랜트연구소 지능형선박연구본부-극지연구소 원격탐사빙권정보센터 공동 기획연구 수행
- 참여 기관 간 수행 내용에 대한 상호 피드백을 통하여 적용 가능한 핵심과제 도출



○ 기술수요조사



※ 기술수요조사를 통해 선정된 세부과제와 기술은, 별도의 심의를 거쳐 본 기획과제의 세부과제로 검토된 후, 선정된 제안자와 논의를 거쳐 총괄로드맵에 반영함

3. 연구성과의 우수성

가. 연구성과의 우수성

○ 연차별 기술개발 로드맵 및 연구추진 전략 수립

□ 기술개발 로드맵

- 인공위성 원격탐사 기술을 활용한 극지운항 선박의 빙해 실운항 성능평가 기술 개발 사업은 두 개의 내역사업으로 구성되며 기술로드맵은 다음과 같음

내역사업	세부사업	‘25	‘26	‘27	‘28	‘29
I 원격탐사 기술 활용 빙해 운항 환경 분석 기술	1. 다중위성자료 활용 해빙 정보 산출	아중위성 전처리기술 개발 및 해빙 탐지 기술 개발	물리 기반 해빙 점유율 두께 산출 기술 개발	AI/딥러닝을 이용한 해빙 점유율 산출 기술 개발	해빙 점유율 및 두께 검증 시스템 개발	해빙 점유율 및 두께 단기 예측 시스템 개발
	2. 빙해 위험 탐지 및 경로 예측	빙해 특성 해석 및 환경자료 데이터 구축	빙해 구분 및 경로 탐지 기술 개발	빙해/선박 구분 및 경로 예상 기술 개발	AI 활용 빙해 탐지 및 경로 예상 기술 개발	빙해 탐지 및 경로 예상 기술 고도화
	3. 실시간 빙해 환경 정보 제공 시스템 개발	클라우드 컴퓨팅 기반 실시간 정보 제공 서비스 시스템 요구사항 분석	클라우드 컴퓨팅 기반 실시간 정보 제공 서비스 시스템 설계	클라우드 컴퓨팅 기반 실시간 정보 제공 서비스 시스템 개발	클라우드 컴퓨팅 기반 실시간 정보 제공 서비스 시스템 고도화	클라우드 컴퓨팅 기반 실시간 정보 제공 서비스 시스템 운용
II 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술	1. 모형시험 및 쇄빙연구선 운항 데이터 기반 해빙 조건 추정 기술 개발	모형시험 및 쇄빙선 운항 데이터 확보 및 대상 해빙 조건 식별	모형시험 및 쇄빙선 운항 데이터 간 상관관계 분석	모형시험 및 쇄빙선 운항 데이터 기반 추정 기술 개발	해빙 조건 추정 결과(내역사업 I, II) 비교 및 상관관계 파악	해빙 조건 및 적설 특성 추정 기술 고도화
	2. 해빙 조건 및 적설 영향을 고려한 극지운항 선박의 안전 및 경제운항 기술 개발	극지운항 선박의 안전 및 경제운항 시스템 개념 설계	극지 환경 모니터링 기술 개발 및 쇄빙선 연구선 운항 데이터 수집	쇄빙 연구선 운항 안전/경제 및 육상관제 시스템 구축, 운항데이터 수집	운항 데이터 수집 및 계획 경로와 비교 분석을 통한 신뢰성 제고	쇄빙연구선 안전/경제 운항 시스템 및 육상관제 시스템 고도화

○ 기술수요조사

□ 개요

- (배경 및 문제점)

최근 북극 해빙의 감소로 북극해 연안의 방대한 양의 천연자원에 대한 접근이

점차 용이해지고 (세계 탄화수소 자원의 25%가 북극해에 있는 것으로 추정, 2008) 막대한 양의 자원 운송을 위한 유일한 현실적인 방안은 선박을 통한 해상운송임. 해빙 감소 전망에도 불구하고 극지의 겨울철 기온은 영하 40도 이하로 떨어지며, 연중 녹지 않는 두께 3미터 이상 다년빙과, 극야, 착빙 등 해빙에 의한 빙저항/빙하중은 선박 운항의 한계로 작용하는 위험요소들이 상존함. 현재 이러한 북극해 선박 운항 시 환경 위험요소 관리를 위한 기술이 없음. 우주강국으로 발돋움하는 첨단 우주기술 확보

▶ (기술수요조사 목적)

극지운항 선박의 빙해 실운항 성능평가를 위해 인공위성 원격탐사 기술을 활용하여 극지 운항 선박의 빙해 운항 환경을 분석하고, 이러한 빙해 운항 환경을 고려한 극지 운항 선박 실운항의 성능을 해석하는 기술을 개발하여 북극항로 개척에 필요한 기술 선점

▶ (기술수요조사 분야)

- ① 인공위성 원격탐사 기술을 활용한 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 기술
 - 원격탐사기술 기반 극지 해빙 분포 모니터링 기술, 극지 해빙 내 선박 탐지 및 모니터링 기술, 북극 해빙 예측 기술 등
- ② 극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술
 - 해빙 분포, 강도, 두께 등 극지 환경에 따른 최적 항로 분석 기술 등

□ 기술수요조사 결과

순번	기관	기술 수요명	비고
1	영산대학교	극지 선박과 인공위성 정보를 연계한 극지 운항 시스템 기술	적합
2	인하대학교	극지 운항 선박의 빙하중 통합 예측 시스템 개발	적합
3	스텔라비전	SAR 영상 기반 머신러닝 EO 변환을 활용한 극지운항 환경 분석	부적합
4	서울대학교	이종센싱 융합을 통한 고해상도 해빙 두께 모니터링 기술 개발	적합
5	동아대학교	다중 인공위성 자료와 클라우드 플랫폼 기반 준실시간 고정밀 해빙 표면특성 관측 및 이동과 변형 분석 기술 개발	적합

- 기술수요조사 결과를 바탕으로 관련 전문가 회의 실시
- 정성적 평가와 정량적 평가를 통해 후보과제 도출
- 적합/재검토 필요한 기술수요조사서 총 4개 선정
- 부적합한 기술수요조사서 총 1개 선정

▶ 극지 선박과 인공위성 정보를 연계한 극지 운항 시스템 (별첨 3)

- 2023년 파나마 가뭄으로 인한 파나마운하 통과 지연 사태, 2021년 수에즈운하 에버기븐호 좌초사고 등 기존 기간항로를 대체할 수 있는 항로의 필요성이 증대됨
- 극지선박 건조에 경쟁력을 가지고 있는 우리나라 조선업계에서 제작한 선박에 극지항해 지원 시스템이 선박에 탑재될 경우 한차원 높은 수준의 경쟁력 확보 가능
- 최근 2030년대에 북극 전체 해빙이 녹을 수도 있다는 연구결과들이 발표되고 있으며 기후변화로 인해 북극 해빙의 감소로 북극 항해 선박이 증가할 것으로 예상되어 조속한 대응 필요
- 러시아의 우크라이나 침공과 이에 따른 대러 제재로 인해 러시아는 독자적으로 북극해 항로를 개발중이며, 해빙기상정보 확보 추진이 포함되어 있음. 러시아에 의존하지 않는 독자적인 한국형 북극항로 개발 주도에 해당 기술이 필요
- 대우조선해양, 극지연구소, 인하대 등은 2022년 ‘인공위성을 활용한 극지 운항 공동연구를 위한 협약’을 체결한 바 있음
- 세부 기술로써 선박 간 해빙기상정보 교환, 인공위성 정보와 해빙기상정보 비교, 인공지능 기반 극지운항 지원 시스템이 제시됨
- ‘극지운항 지원 시스템’을 통해 국적선사의 극지항해 역량의 시스템적 향상 기대
- ‘선박간 해빙기상정보 교환 기술’을 통해 극지 안전 항해를 실현하고 설치 의무화를 북극이사회의 안건으로 제안 가능
- ‘인공위성 정보와 실제 해빙기상정보 비교 기술’을 통해 안정적이고 정확한 정보 활용 가능
- 극지 운항 선박의 빙하중 통합 예측 시스템 개발 (별첨 4)
 - 우리나라는 조선사업에 강점을 지니고 있으나 극지에 관한 누적 자료와 연구경험이 부족함에 따라 지속적인 극지운항 기술개발을 통해 조선산업의 강점을 활용한 시장 선점이 필요
 - 수출 주도형 산업 구조를 가지고 있는 우리나라의 특성 상 북극 항로의 활용은 국가 경제 성장에 있어 중요한 의미를 지님
 - 쇄빙선의 운항에는 빙하중에 대한 예측이 필수적이며, 현장 계측 자료에 크게 의존
 - 위성 데이터와 현장 계측 데이터 간의 연관성 분석을 통한 북극해 빙하중 분포도를 산출 할 시 빙해 운항에 매우 유용할 것으로 기대
 - 원격 탐사를 통한 실시간 해빙 관측 데이터베이스를 활용한 분석은 실험실 연구나 과거 기록을 활용한 자료에 비해 보다 현실적인 빙하중 추정 모의가 가능할 것으로 판단됨
 - 취득된 데이터 분석 및 공학적 해석을 통해 선박의 구조적 안정성 연구에도

큰 도움이 될 것으로 예상됨

- ▶ SAR 영상 기반 머신러닝 EO 변환을 활용한 극지운항 환경 분석 (별첨 5)
 - 국내에서는 과학기술정보통신부(해양유동체 식별 시스템 개발)와 해양수산부(해양위성센터 해양환경 모니터링)를 중심으로 해양 대상의 SAR 영상 분석 연구가 이루어지고 있음
 - 해외에서는 CryoSat-2 등의 SAR 위성을 통한 극지환경 모니터링 연구가 활발히 진행되고 있음
 - SAR 영상으로부터 광학 영상 변환 기술이 개발되면 선박의 빙해 운항 환경을 보다 정확하게 파악하고 예측할 수 있게 될 것으로 기대
 - SAR 영상 분석 기술과 인공지능 기법을 결합한 새로운 접근 방식을 사용
- ▶ 이중센싱 융합을 통한 고해상도 해빙 두께 모니터링 기술 개발 (별첨 6)
 - 극지방 해빙 질량은 전지구 기후 변동성을 설명하는 데 중요한 역할을 하기 때문에, 기후변동성 예측을 위한 정부 예산 투입이 시급
 - 해당 기술 확보 시 다른 해양 정보 모니터링 기술과 연계하여 활용이 가능할 것으로 전망됨
 - SAR, 수동마이크로파, 고도계 위성 자료 전처리 및 위성 데이터 융합을 위한 데이터 격자 통일 기술 개발
 - 수동마이크로파 센서 정보 기반 해빙 두께 산출
 - 수동마이크로파 기반 해빙 두께를 SAR 후방산란 모델링과 딥러닝 기술을 병합하여 100미터 해상도급 해빙 두께 고해상화 추정 기술 개발
- ▶ 다중 인공위성 자료와 클라우드 플랫폼 기반 준실시간 고정밀 해빙 표면특성 관측 및 이동과 변형 분석 기술개발 (별첨 7)
 - 단편적인 북극 해빙 관측, 해빙 동적 특성 분석, 표면 특성 탐지 연구들이 개별적으로 진행되고 있으며, 이들을 통합연계한 분석 시스템은 매우 제한적
 - 극지 해양에서의 선박 운항 증가가 예상됨에 따라 운항 안정성 확보와 선박 사고 대응을 위해 인공위성 원격탐사 기술을 활용한 빙해 환경 분석기술 개발이 필요
 - 이중 인공위성 센서 복합활용을 위한 전처리 기술 개발 수행
 - 전산자원 효율 극대화를 위한 클라우드 플랫폼 기반 분석 시스템 구축
 - 고해상도 위성자료 기반의 해빙 표면특성, 해빙 이동, 변형 자동 탐지 및 분석기술 개발
 - 해빙 이동 및 해빙 변형에 대한 정보 산출기법 구현기술을 바탕으로 한 산출 결과 가시화 방법 제시
 - 해당 기술을 통한 산출 자료는 미래 빙해 환경 예측을 위한 모델 입력 자료로써 활용이 가능

○ (환경 분석)국내외 정책 동향

□ 제1차 극지활동 진흥 기본계획(2023-2027)

- ▶ 미지의 영역 개척을 통한 미래 연구 도전
 - 해빙 감소로 접근 지역 확대와 북극발 중위도 지역 기후변화 영향 초래, 항로 수요 증대에 따른 고위도 북극 탐사 확대 필요
 - 신규 북극 연구 인프라(차세대 쇄빙연구선) 확보(2026) 및 아시아 최초 북극 고위도 해역 국제공동탐사 수행(2027)
 - (북극 총괄) 차세대 쇄빙연구선 건조 및 북극해 국제공동탐사 주도
 - (북극해) 차세대 쇄빙연구선을 기반으로 아시아 최초 북극 고위도 해역(북위 80도 이상) 국제공동탐사(K-Arctic 2033) 추진
 - (북극 고위도 육상) 한-덴-그린란드 북극연구 협력 네트워크를 구축하여 그린란드 지역 생태계-대기-동토 원격탐사 분야 미답 연구 추진
- ▶ 안전한 탐사 지원 기반 고도화
 - 안전한 탐사를 위한 북극 실시간 해빙변화 관측 필요
 - 북극 실시간 관측을 통한 해빙 회피가 가능한 초소형위성 개발확보
 - 초소형위성(10kg 이하)을 개발(2024~)하여 북극 전역 실시간 해빙 변화 관측정보(두께,면적,거칠기,이동경로 등) 생산
- ▶ 신기술 기반 북극항로 운항 경쟁력 확보
 - 북극 해빙(解氷) 가속화로 북극항로 이용에 대한 기대감이 증대되며, 러시아가 국가 계획을 바탕으로 북극항로 적극 개발 중으로 준비 필요
 - 단시일 내 활용은 어려우나, 북극권 국가들이 쇄빙컨테이너선 개발 및 항로 개발 투자 확대 중으로 미래 가능성 대비 필요
 - 북극해는 해빙과 혹한 환경으로 선박 운항 시 리스크 유형이 일반 해양과 상이하여 북극항로에 특화된 운항 기술 개발 필요
 - 북극 항로 운항 '친환경 쇄빙컨테이너선' 건조 기술 및 극지 항로에 특화된 디지털, 자율운항 기술 확보(2027)
 - 북극권 운항선박에 적용되는 북극권 맞춤형 기술 확보를 위한 친환경·디지털·자율운항 조선·선박 기술 개발
 - 빙해역 운항 선박의 손상 저감 및 시스템 수명 예측을 포함한 선박 모니터링-평가-유지관리 종합 기술 개발(2024)
 - 북극해운정보센터 구축(2024~) 등 북극항로 활성화 국내 지원기반 구축

□ 제5차 과학기술기본계획(2023~2027)

- ▶ 연안-대양-극지 탐사로 미래자원 확보 및 해양안전체계 구축

- 지속가능한 해양 개발과 미개척 극지 영역 활용을 위한 차세대(2023~2027) 융복합 기술도입 등 과학기술적 접근 강화 필요
- 미래자원확보를 위한 극지 탐사기술 고도화 및 인프라 확충
- (해양)차세대 쇄빙연구선(2026) - (우주)초소형위성 관측(2027) - (육상) 고위도 관측센터(2031)로 이어지는 북극 종합관측망 및 남극 내륙 연구 3대 핵심연구거점 확보
- 첨단 융·복합 극지 탐사 기술 개발을 통한 극지 연구 역량 확보 및 극지 자원 개발 협력 주도권 확보

□ 제4차 우주개발진흥기본계획(2023~2027)

- 우주강국으로 발돋움하는 첨단 우주기술 확보
 - 위성정보 활용 서비스 발굴 지원 및 공공서비스 고도화
 - (해양, 극지) 초소형 해양 위성(4기)을 통한 해양 재해 대응 및 해빙 관측정보 생산

□ 대한민국 과학기술 미래전략 2045

- 새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척을 위해 우주, 심해, 극지 등 미지의 공간 개척을 위한 핵심기술 확보
- (단기목표) 한국형 발사체 기술 개발 및 극지연구용 고성능 쇄빙선 확보

□ 미국: 북극지역 국가전략(2022)

- 2032년까지의 미국의 북극 대응 전략 기조 발표
- (북극 환경 이해 증진) 효율적인 무역과 안전한 해양 및 비행운송을 위한 위성 관측 범위 확대, 고위도에서 사용 가능한 통신 및 네트워크 확충, 북극 관측과 지도, 도표 확충
- (기후변화와 환경보전) 기후변화에 대한 더 나은 이해를 위한 새 관측 장비와 자료, 예측 모델에 대한 개선
- (북극 변화에 대응 장기투자) 추가 쇄빙선 건조 및 통신과 해상 운송 인프라의 강화 추진
- (전략적 중요성 강화 대응) 러시아의 북극지역 군사투자 확대, 자원개발, 해상 영유권 주장에 대응하고 우크라이나 전쟁에 따른 갈등 고조에 대비 필요. 중국 역시 극지 투자를 확대하고 있으며 쇄빙선을 추가로 확보하고 해군을 북극으로 파견하는 등 관심 강화

□ 영국: 영국 북극 정책 체계(2023)

- 영국은 북극 해빙 두께 추정, 그린란드 빙상 감시 등 유럽 연합과 유럽항공우주

국 내에서 핵심 역할을 수행하고 있으며 극지 커뮤니티 지원과 극지 협력을 위해 극지를 대상으로 한 우주기술개발을 지속할 예정

- 확대되는 북극 항해로 인한 해양 오염 방지를 위해 선박에 의한 오염에 대한 국제 협약(MALPOL)을 지속적으로 지지하며 오염을 방지하기 위한 새로운 조약을 2024년 말까지 체결하기 위해 선도적 의견 제시

□ 프랑스: 프랑스 2030 극지 전략 (2022)

- 프랑스는 2025~2035년간 시행 예정인 ‘극지를 위한 10년’ 계획 출범을 제안할 예정이며, 극지와 극지 관측, 기후변화, 새로운 항해·운송 루트, 극지 자원과 생물다양성 등에 대한 예측과 더 나은 이해를 목표로 함
- 유럽연합과의 협력연구인 Horizon Europe (2021~2027)과 EU-PolarNet2 (2020~2023) 프로젝트의 구성국으로서 연구를 선도적으로 이끌고 회원국들에게 쇄빙선을 비롯한 해양 탐사 장비와 과학 기지 등의 네트워크 구축에 참여를 독려
- 남극기지 Dumont-d’Urville Station을 2027년부터 2050년까지 보수, 증축하여 안전한 새 입항시설과 유럽 위성들을 남반구에서 관리할 수 있는 기지국 시설 건립 추진

□ 러시아: 2035 북극정책 기본원칙 (2020)

- 세계 시장에서 러시아의 경쟁력있는 국가 운송 수단으로써 북극 항로 개발 추진
- 북극항로의 포괄적 인프라 구축과 쇄빙선함대의 현대화 착수 추진
- 북극항로와 물류적으로 연결된 광물 자원에 대한 인프라 개발 추진
- 타국의 기술 및 장비에 의존하지 않는 영구적 북극 통합 모니터링 시스템과 장비 개발 추진

□ 중국

- 2018년 최초의 공식 북극 백서에서 중국이 북극 지역에서 합법적인 권리를 갖는 근접 북극 국가로 정의하고 해당국의 항해, 어업, 연구 등의 다양한 권리가 존중되어야 한다고 주장
- 중국 최초의 자체 제작 쇄빙선 Xue Long II가 2019년 건조 완료되었으며, 원자력 추진 쇄빙선 건조 계획 또한 공개함

○ (환경분석)연구 동향

- AI 기법을 적용한 해빙 변수 산출 기술개발 증대
 - 해빙 농도, 해빙 두께, 해빙 유형 분류 등 범위가 다양화되고 있으며, AI 활

용 기법 의 정확도 또한 기존 알고리즘의 정확도를 웃도는 결과를 보임

- 현 상황에서는 아직 지속적으로 제공하는 산출물이 거의 없어 현업 운영에는 더딘 적용 수준이 걸림돌
- 최근 AI 기반 해빙 농도 예측의 경우 기존 수동마이크로파 센서 단독 활용시의 한계를 극복하기 위해 광학영상, 합성개구레이다(SAR), 모델 재분석자료 등과 결합한 딥러닝 기법들이 제시되고 있음
- 해빙 유형 분류 분야에도 AI 기반 알고리즘 연구가 활발히 진행되고 있으며, 기존 방법들에 비해 개선된 정확도와 자동으로 해빙 유형 차트를 생산할 수 있는 가능성을 제시
- 해빙 두께 산출 분야에서는 특정 두께 범위나 해빙 유형에 한정된 기존의 불완전한 산출 알고리즘들을 딥러닝 기법을 활용하여 해결하려는 시도들이 활발히 이루어지고 있음지속가

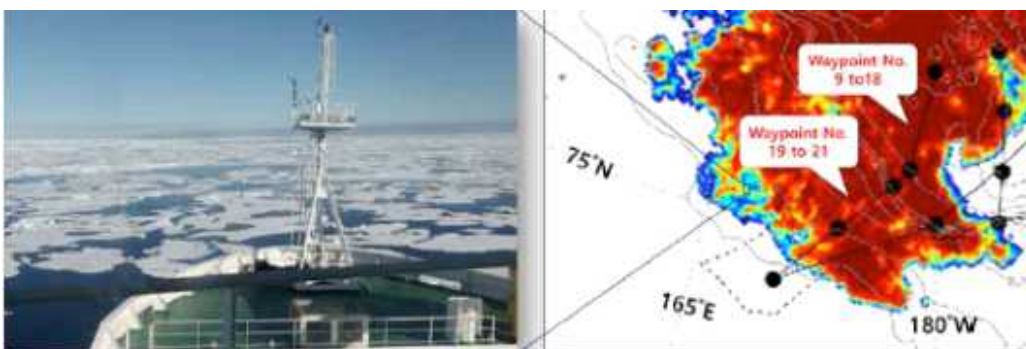
▸ 해빙 예측 기술의 진보와 연구 활성화

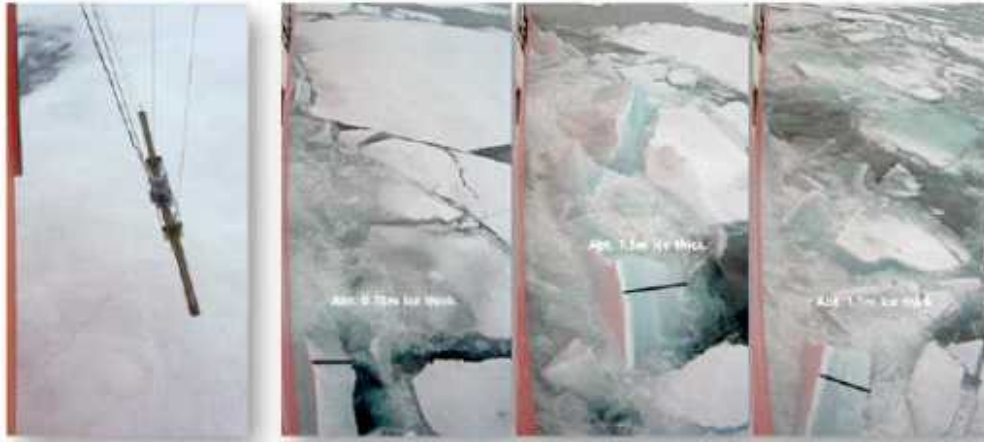
- 수치 모델 기반 해빙 예측에 있어서도 딥러닝을 활용한 AI기반 예측이 주목받고 있음
- 몇 개월 후 예측부터 수 십년 후 예측까지 다양한 시간범위의 해빙예측 연구가 활발히 진행 중
- 북극 해빙 예측의 전 세계적 관심이 높아짐에 따라 북극 해빙 예측 정보를 공유하는 Sea Ice Prediction Network에 제출된 예측 결과는 증가 추세를 보여 2008년 15건에서 2021년 40건으로 확대됨
- 북극 해빙은 연도별 변동성이 매우 크게 나타남에 따라 예측 모델들의 정확도 또한 연도별로 차이가 크게 나타나, 장기적인 분석이 예측 성능 향상에 도움이 될 것으로 기대
- 다중 모델 결과를 통한 중간값 예측은 단일 모델에 비해 좋은 예측성을 보여 다중 모델 활용이 예측 정확도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단됨

▸ 해빙 위 적설두께 원격탐사 최신동향

- 해빙 위 적설두께 원격탐사 방법은 크게 항공 관측과 위성 관측으로 분류할 수 있음
- 항공 관측의 경우 적설 레이더 센서 관측방법을 사용하며, 레이더로 관측한 파형을 분석해 적설 표면과 해빙 표면의 위치를 특정하는 기법을 사용하여 적설두께 산출
- 위성 관측의 경우 크게 수동마이크로파 관측과 고도계 활용 기법으로 나뉨
- 수동마이크로파 관측의 경우 더 전통적인 방식으로 매일 북극해 전역을 관측할 수 있는 장점이 있으나 정확도는 다소 떨어짐
- 최근 보다 다양한 수동마이크로파 주파수 채널을 활용하여 수동마이크로파 기반 적설관측의 정확도를 향상시키는 연구들이 진행되고 있음

- 위성 고도계 관측의 경우 적설 레이더와 유사하게 전자기파의 반사/산란된 파형을 활용함. 적설 표면을 관측하는 ICESat-2 관측과 해빙 표면을 관측하는 CryoSat-2 관측의 높이차이를 이용하여 적설두께를 관측하려는 시도가 활발히 진행 중
- 이 외에도 다양한 자료를 활용하여 다양한 해빙변수를 물리적으로 일관성있는 조건 하에 동시에 산출하여 해빙관측 품질을 끌어올리려는 다변수 동시산출 기법이 최근 각광받고 있음
- ▶ 해빙 위 적설두께 모델 모의 자료 최신동향
 - 대기 재분석 자료에서 제공하는 강설량에 기반하여 해빙 위에 쌓이는 적설층을 누적시키는 기법을 사용하는 수치 모델들이 늘어나고 있음
 - 이러한 모델들은 인공위성 고도계 기반 해빙두께 산출 시 필요한 적설두께 자료를 제공하는 목적을 가지고 있음
 - CICE는 대표적인 해빙 모의 모델로 본래 대기-해양-육지-해빙을 결합시킨 기후모델의 해빙 부분으로 개발되었으며, 해빙 모의 모델로 지속적인 개선이 이루어지고 있음
 - CICE는 적설에 대한 모수화 설정이 가능하여 적설 두께 모의에 용이함
 - 많은 극지역 해빙에 관한 최신 모델링 연구들이 CICE 모델을 활용하고 있음 해빙
- ▶ 2013년부터 2022년도까지 아라온호를 활용하여 해빙에 의한 국부 빙하중을 계측하고 이에 대한 선속 및 빙 두께 영향에 대한 연구
 - 북극 척치해와 동시베리아해에서 아라온호를 이용하여 해빙의 재료강도 특성 시험과 쇄빙 시 선수 선측부의 국부 빙하중 계측 실선 시험 진행(선박해양플랜트연구소)
 - 일정 크기 이상의 빙판을 쇄빙 대상으로 선정하고 그 빙판의 두께를 비롯하여 빙강도 등의 특성 값들을 실측한 후 쇄빙 시 좌현 및 선수 선측부 외판 내측에 부착된 스트레인 게이지와 광 센서를 이용하여 해빙 기인 하중 계측
 - 아라온호 계측 시험 결과를 기반으로 계측된 빙하중과 선속 및 빙두께의 상관관계에 추정 연구 수행





나. 관련분야 기여도

- 극지 운항 선박의 운항 안정성 향상 및 선진 모니터링 기술 확보
- 국가 자원인 아리랑위성의 활용 확대 및 우리나라의 북극이사회 옵서버 지위 유지와 국제적 영향력 확대 기대
- 재난모니터링 등의 시스템으로 확장 가능성 보유
- 극지 운항에 대한 선박 현황 모니터링 및 교통관리에 활용 가능
- 인공지능 예측 기술을 이용하여 해빙의 단기 예측 기술을 확보함으로써 이를 통한 항로 가이드 제공



4. 연구결과의 활용성 및 기대효과

가. 연구결과의 활용성 (향후 본 과제 추진 시 연구내용)

○ 사업성격 : 주요사업 또는 국가 R&D

○ 사업성격(주요사업 또는 국가 R&D) 적합성

□ 연구개발 필요성

- ▶ 해빙 및 적설 특성을 고려한 극지운항 빙해 선박 실운항 성능 평가
 - － 선박의 빙해 운항 시 위험지역을 회피하고 탄소배출을 최소화하는 극지 빙해 안전/경제운항 기술 개발을 위해 쇄빙선의 저항 성능에 큰 영향을 미치는 해빙 특성 및 적설에 대한 고려가 반드시 필요함
 - － 인공위성 원격탐사 기술을 활용하여 도출된 빙해 환경 정보를 선박의 빙해 실운항 성능평가에 활용 → 선박의 안전/경제운항 지원 및 이를 통한 극지 환경 보호
- ▶ 해빙 감소에 따른 북극권 심부 진출 확대 대비
 - － 해빙 감소에 따른 북극권 심부 진출 확대에 대비하여 우리나라 조선해양 및 해운산업 분야에서 경쟁우위를 점하기 위하여 선진국

□ 기관 R&R과의 연계성

- ▶ 선박해양플랜트연구소 R&R 상위 역할 1 “친환경·고효율 선박 기술개발을 통한 국가주력산업 경쟁력 강화”
 - － 주요역할 1-1 “쇄빙성능 해석 기술”에 부합 → 극지운항 선박의 빙해 경제 운항을 통한 선박 배출가스 저감 및 안전 운항 지원
- ▶ 극지연구소 R&R 상위 역할 2 “극지역 온난화가 초래하는 국가 사회문제 해결”
 - － 주요역할 2-2 “북극 해빙 및 남극 빙상 변동 관측 감시”에 부합 → 인공위성 원격탐사 기반 극지 빙해 상시 모니터링 체계 구축
- ▶ 극지연구소 R&R 상위 역할 3 “극지연구 신성장 동력 및 실용화 성과 창출”
 - － 주요역할 3-1 “극지적용 신기술 개발 및 활용성 고도화”에 부합 → 인공위성 원격탐사 기술을 극지운항 선박의 실운항 성능 평가에 활용

□ 기존연구와의 차별성

- ▶ 인공위성 원격탐사 기술 기반 극지운항 선박 빙해 운항 환경 분석
 - － 기존 연구의 경우 주로 해빙 분포 분석에 집중하여 연구 수행

- (차별성)선박의 빙해 실운항 성능에 큰 영향을 미치는 해빙 및 적설 특성 평가 → 선박의 실운항 성능 평가에 활용
- 인공위성 원격탐사 정보 기반 선박의 빙해 운항 환경을 고려한 북극항로 운항 선박의 빙해 실운항 성능 평가
 - 기존연구의 경우 해빙 집적도와 두께의 예측치 만을 고려함
 - (차별성) 인공위성 원격탐사 기술 기반 해빙의 집적도, 두께, 강도, 적설 두께를 고려한 실운항 성능 평가 사례 없음 → 세계 최초

□ 국가 정책과의 연계성

- 북극정책 기본계획 수립
 - 2013년 12월, 정부차원에서 처음으로 북극분야에 대한 정책기조를 담은 기본계획인 “북극정책 기본계획” 발표
 - 과학조사활동 및 원주민 공동체 지원 등과 같은 옅서버 국가로서의 책무 수행과 더불어 북극권 자원개발 시대에 대비
- 북극활동 진흥 기본계획 수립
 - 2018년 7월, 정부는 ‘북극의 미래와 기회를 여는 극지 선도국가’라는 비전을 설정하고, 해양수산부 및 관계부처 합동으로 북극활동 진흥 기본계획 수립
 - 4대 추진 전략: 북극권과 상생하는 경제협력 성과 창출, 책임 있는 옅서버로서 북극 파트너십 구축, 인류 공동과제 해결을 위한 연구활동 강화, 북극정책 추진을 위한 역량 강화
- 제1차 극지활동진흥기본계획(2023년~2027년) 수립
 - 5대 추진 전략: 남북극 미지의 영역 탐사 확대, 기후환경 문제 해결 주도, 국가경제에 기여하는 극지 산업 기반 마련, 다원적 국내외 협력생태계 조성, 참여하고 소통하는 극지활동 강화

○ 연구개발 목표 및 기술개발 내용

내역사업 I

년 차	연구개발 목표	기술개발 내용
1차년도 (2025)	-개념설계 선행기술 조사 및 알고리즘 설계	• (세부사업 1) LandSat-8&9 자료를 활용한 고해상도 북극 해빙 점유율 산출 기술 개발, 장기간 (5년 이상) 고해상도 북극 해빙 점유율 자료 산출 • (세부사업 2) 해빙과 구분되는 빙산의 다중분광 및 마이크로파 산란 특성 정보 구축, 북극해 빙산 이동경로 분석 기술 확보 • (세부사업 3) 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 분석, 예측시스템 및 촬영요청 시스템 분석, 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 설계, 극지환경 선박 탐지·식별 기술 설계
2차년도 (2026)	-상세설계 알고리즘 개발 및 기본 성능 테스트	• (세부사업 1) 인공위성 수동마이크로파 관측을 활용한 물리 기반 중저해상도 해빙 점유율 산출 기술 개발 및 검증, 인공위성 고도계 관측을 활용한 고해상도 해빙 두께 산출 기술 확보 및 개선, 장기간 (5년 이상) 고해상도 북극 해빙 두께 자료 산출 • (세부사업 2) 개빙구역 및 해빙영역 내 빙산의 정밀 탐지 기술 확보, 빙산 이동경로 탐지 시범기술 확보 • (세부사업 3) 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 설계, 예측시스템 및 촬영요청 시스템 설계, 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 개발, 극지환경 선박 탐지·식별 기술 개발
3차년도 (2027)	-시스템 개발 전처리, 분석, 표출 시스템 프로토타입 개발	• (세부사업 1) 인공위성 수동마이크로파 관측을 활용한 딥러닝 기반 해빙 점유율 산출 기술 개발, 인공위성 수동마이크로파 관측을 활용한 딥러닝 기반 해빙 두께 산출 기술 개발 • (세부사업 2) 빙산의 정밀 탐지 시범기술 확보, 빙산 이동속도 산출 시범기술 확보, 빙산 이동경로 산출 기술 구축 • (세부사업 3) 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 개발, 예측시스템 및 촬영요청 시스템 개발, 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 정확도평가 및 시스템 탑재, 극지환경 선박 탐지·식별 기술 정확도 평가 및 시스템 탑재
4차년도 (2028)	-알고리즘 통합 개발 기술의 시스템 통합 및 구현	• (세부사업 1) 딥러닝 기반 해빙 점유율 및 해빙 두께 산출 자료의 검증, 중저해상도 및 고해상도 해빙 점유율 및 해빙 두께 자료의 상시모니터링 기술 개발 • (세부사업 2) 빙산 정밀 탐지 기술 구축, 빙산 이동 경로 예측 시범기술 확보 • (세부사업 3) 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 고도화, 예측시스템 및 촬영요청 시스템 고도화, 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 고도화, 극지환경 선박 탐지·식별 기술 고도화
5차년도 (2029)	-성능검증 통합 검증 및 기술 안정화	• (세부사업 1) 딥러닝 기법을 활용한 단기 북극 해빙 점유율 및 두께 예측 기술 개발 • (세부사업 2) 실시간 빙산 위성정보 서비스 기술 구축 • (세부사업 3) 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 운영, 예측시스템 및 촬영요청 시스템 운영, 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 고도화

년 차	연구개발 목표	기술개발 내용
		양기상지도 생산기술 성능평가, 극지환경 선박 탐지·식별 기술 성능평가

내역사업 II

년 차	연구개발 목표	기술개발 내용
1차년도 (2025)	- 모형시험 및 운항 데이터 확보 및 대상 해빙 조건 식별 - 안전 및 경제운항 기술 개발	• (세부사업 1) 엔진 출력(빙저항)/선속 기반 해빙 조건 추정 기술 개발(평탄빙), 모형시험/쇄빙선박 운항데이터 기반 해빙 조건 추정 방법 검토, 쇄빙선박 운항데이터 조사 및 식별 • (세부사업 2) 극저온 계측 센서 및 DAQ 시스템 사양 결정, 극지 운항 선박용 안전/경제운항 시스템 환경 분석, 극지운항 안전/경제운항 시스템 개발 방안 수립
2차년도 (2026)	- 모형시험 및 쇄빙선 운항 데이터 간 상관관계 분석 - 극지 환경 모니터링 기술 개발	• (세부사업 1) 모형시험 및 쇄빙선박 운항데이터 기반 해빙 조건 추정 방법 개발, 상관관계 분석, 경험식 기반 해빙의 종류, 선속, 엔진 출력을 이용한 해빙 강도 및 두께 추정 기술 개발 • (세부사업 2) 쇄빙연구선 안전/경제운항 솔루션 개발 및 운항 데이터 수집
3차년도 (2027)	- 해빙 조건 추정 기술 개발 - 안전/경제 운항 및 육상관제 시스템 구축	• (세부사업 1) 추론기구를 활용한 빙 특성 추정, 모형시험 및 운항 데이터 분석 결과를 이용한 비교 검증, 경험식 기반 해빙의 종류, 선속, 엔진 출력을 이용한 해빙 강도 및 두께 추정 정도 향상 • (세부사업 2) 쇄빙연구선 안전/경제 운항 및 육상관제 시스템 구축, 운항데이터 수집
4차년도 (2028)	- 해빙 조건 추정 결과(내역사업 I, II) 비교 및 상관관계 파악 - 계획 경로와 최적 경로 비교 분석을 통한 신뢰성 제고	• (세부사업 1) 내역사업 I, II의 해빙 조건 추정 결과 비교, 해빙 조건 산출 자료의 검증 • (세부사업 2) 최적 경로 알고리즘 고도화, 계측 데이터 통계 처리 및 분석
5차년도 (2029)	- 해빙 조건 및 적설 특성 추정 기술 정도 향상 - 쇄빙연구선 안전/경제 운항 시스템 및 육상관제 시스템 고도화	• (세부사업 1) 적설 영향 고려 해빙 조건 추정 기술 개발 • (세부사업 2) 빙하중 계측 및 지속적인 데이터 분석을 통한 해빙 특성 정의 고도화, 효율적인 정보 전달 및 필요 정보 모니터링을 위한 시스템 보완

○ 연구비 규모

(단위: 백만원)

내역사업	세부사업	`25	`26	`27	`28	`29	합계
Ⅰ 원격탐사 기술 활용 빙해 운항 환경 분석 기술	1. 다중위성자료 활용 해빙 정보 산출	300	300	300	300	300	1,500
	2. 위험 탐지 및 경로 예측	200	200	200	300	200	1,100
	3. 실시간 빙해 환 경 정보 제공 시 스템 개발	2,700	5,500	5,000	3,500	3,500	20,200
	예산 소계	3,200	6,000	5,500	4,100	4,000	22,800
Ⅱ 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술	1. 모형시험 및 쇄빙연구선 운항 데이터 기반 해빙 조건 추정 기술 개발	1,000	1,000	1,000	1,500	1,500	6,000
	2. 해빙 조건 및 적설 영향을 고려 한 극지운항 선박 의 안전 및 경제 운항 기술 개발	1,000	2,000	2,000	1,500	1,500	8,000
	예산 소계	2,000	3,000	3,000	3,000	3,000	14,000

나. 연구결과의 기대효과

- 고해상도 해빙 점유율 자료를 확보, AI/딥러닝 모델 개발 가능
- 고해상도 해빙 점유율 기후값 산출로 해빙이 지속적으로 열리는 부분 감지 가능
- 기 확보 생산된 위성자료를 토대로 해빙 예측 모델 개발 가능
- 고해상도 마이크로파 원격탐사 자료 기반의 해빙 조건 정밀 탐지 기술을 우리나라 독자적으로 구축 가능
- 남극과는 다르게 북극해 빙산은 규모가 작아 이동 속도가 빠르고 경로가 매우 복잡하므로 정확도 높은 빙산 이동을 예측하여 극지운항 선박의 안전성 향상에 기여할 것으로 기대
- 사람의 개입 없이 운용될 수 있는 시스템으로써, 상시 모니터링 및 신속 처리/서비스 가능
- add-on 기능을 통해 극지해역의 추가분석 기능 탑재 가능
- 예측 기반의 위성영상 촬영요청 가능
- 초소형 군집 위성들에 대한 API연계 요청 및 수집 기능
- 연동위성 관리기능을 통해 신규위성 추가 및 작동불능위성 삭제 가능
- 극지 운항 선박에 대한 안전 항해 지수 및 통계적 항로지도 생산 가능
- 극지 운항 선박에 대한 교통관리 위험 선박 탐지 가능

다. 연구결과의 공공적 파급효과

- 위성 수동마이크로파는 하루에 12번 이상 극지역을 지나가기 때문에 시간에 대하여 고해상도로 해빙 점유율 모니터링이 가능하고 북극 항로 개척에 활용 가능
- 최신의 AI/딥러닝 기법을 활용하여 단기 해빙 예측을 통해 북극항로 개척의 수월성 확보
- 북극 운항 선박 및 항만 운영 관리의 효율성이 향상될 것으로 기대
- 극지운항 선박의 안전 지원을 위한 위험 해빙 조건 정보 서비스가 가능
- 다른 기능의 시스템으로 확장 가능: 예) 재난모니터링
- 해빙면적/두께에 대한 시계열적 변화자료 생산을 통해 지구온난화 및 기후변화에 대한 객관적 자료 확보
- 극지해역에 고립된 선박 탐지 및 지원 가능
- 해외 선박에 대한 모니터링 가능



별첨 1. 해빙변수 AI 원격탐사와 예측 최신 동향 (부경대)

○ 인공위성 원격탐사 자료에 AI 관련 기법을 적용한 해빙 산출 기술 동향

○ 최근 AI에 대한 관심 증가로 인해 위성 원격탐사자료로부터 해빙 정보를 산출하는 연구가 크게 늘고 있으며, 그 범위 또한 농도와 두께의 산출, 유형 분류 등 다양화되고 있음. AI를 이용해 산출되는 정보는 기존 일반적으로 사용되고 있는 산출 알고리즘의 결과를 대부분 상회하나 지속적으로 제공될 수 있는 운영 가능한 산출물이 없다는 것이 새로운 산출물 활용 활성화에 있어 가장 큰 걸림돌임.

▶ 해빙농도 산출

- Chi et al. (2019)은 기후변화 연구에 많이 사용되는 해빙농도 정보를 딥러닝을 이용하여 보다 정확하게 산출하는 연구를 수행하였음. 과거 제안된 다양한 해빙농도 산출 알고리즘은 수동마이크로파 센서의 특정 채널에서 해빙과 해수의 밝기온도값을 이용한 선형 경험식을 바탕으로 계산되어 20 - 80 % 해빙농도 구간의 정확도가 크게 떨어졌음. 제안된 연구에서는 광학영상으로부터 분광혼합분석 기법으로 계산된 고해상도 해빙농도 정보와 수동마이크로파 정보를 이용하여 새로운 해빙농도 산출 기법을 시도하였고, 그 결과를 장기 데이터를 통해 검증하여 새로운 해빙농도 산출물 제작의 가능성을 확인함.
- Wang et al. (2016)은 RADARSAT-2 SAR 영상의 이중 편파와 CNN 기반의 딥러닝 모델을 이용하여 보퍼트해에서 용빙기의 해빙농도 산출을 시도하였음. 특히 HV 또는 HH 편파를 이용하는 것보다 이중 편파 정보를 이용했을 경우 해빙농도 추정의 정확도가 더욱 향상된 결과를 보여주었음. 해당 연구는 비록 제한된 양의 데이터를 사용한 보퍼트해 중심의 사례 연구이지만, 향후 CNN 등과 같은 딥러닝 모델을 이용한 해빙농도 추정이 향후 더욱 향상될 수 있을 것이라는 가능성에 대해 제시한 연구임.
- Radhakrishnan et al. (2021)은 수동마이크로파 자료 기반의 해빙농도 산출의 낮은 공간해상도와 대기효과에 의한 한계점과 해빙 분석가에 의한 해빙차트의 단점을 보완하고자 SAR 이미지와 U-NET 구조를 이용한 해빙농도 산출을 시도하였음. 특히 기존 CNN 모델보다 개선된 U-NET 구조의 사용과 향상된 훈련 전략 (해빙, 해수 지역 선 학습 후 중간 해빙농도 구간 학습)을 통해 해빙농도 추정에 있어 질적 향상을 이루었음.
- Han et al. (2021)의 연구에서는 수동마이크로파 센서로부터 관측 및 산출되는 해빙농도에 대해 특히 여름철의 부정확성에 대해 논의하였음. 이 연구에서는 AMSR2 수동마이크로파 자료와 ERA-5 재분석 자료를 기반으로 Random Forest 회귀모델을 이용하여 태평양 북극해의 여름철 해빙농도 산출 방법에 대해 제안하였음. 본 연구에서는 KOMPSAT-5 SAR영상으로부터 얻

은 얼음/물 지도로 계산된 해빙농도 값을 기준으로 AMSR2의 밝기 온도 채널과 GR과 같은 비율값, 대기 인자 등 총 24개의 변수를 모델의 입력으로 사용함. 제안된 모델은 여름철 해빙농도를 산출하는데 있어 기존 산출 알고리즘과 비교시 크게 개선된 결과를 보여주었음.

– 참고 문헌

1. Chi, J., Kim, H. C., Lee, S., & Crawford, M. M. (2019). Deep learning based retrieval algorithm for Arctic sea ice concentration from AMSR2 passive microwave and MODIS optical data. Remote Sensing of Environment, 231, 111204.
2. Han, H., Lee, S., Kim, H. C., & Kim, M. (2021). Retrieval of summer sea ice concentration in the Pacific Arctic Ocean from AMSR2 observations and numerical weather data using random forest regression. Remote Sensing, 13(12), 2283.
3. Radhakrishnan, K., Scott, K. A., & Clausi, D. A. (2021). Sea ice concentration estimation: Using passive microwave and SAR data with a U-net and curriculum learning. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14, 5339–5351.
4. Wang, L., Scott, K. A., Xu, L., & Clausi, D. A. (2016). Sea ice concentration estimation during melt from dual-pol SAR scenes using deep convolutional neural networks: A case study. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54(8), 4524–4533.

▸ 해빙유형 분류

- Park et al. (2020)은 ice chart로부터 반자동으로 수집된 훈련 및 검증 데이터를 이용하여 Sentinel-1 이미지로부터 해빙 유형을 분류하는 기계학습 기반의 모델을 제안했음. 제안된 방법론은 우선 Sentinel-1 자료의 각종 노이즈를 제거한 후 텍스처 피쳐들을 계산하여 해빙유형 분류를 위한 Random Forest 모델을 훈련 시켰음. 제안된 분류 모델은 겨울철에는 다섯 종류의 유형에 대한 분류 정확도는 약 60%를 보였고, 세 가지 유형 분류시 겨울과 여름 각각 87%, 67%의 분류 정확도를 보여주었음. 본 연구를 통해 위성영상으로부터 자동으로 ice chart 생성 가능성에 대해 보여주었음.
- Boulze et al. (2020)의 연구에서는 Sentinel-1 자료에 기반하여 CNN을 이용하여 해빙 유형 분류 방법을 제시함. 제안된 모델은 네 가지 유형의 해빙을 구분하며 Random Forest를 사용한 선형 연구에 비해 분류 정확도를 90% 이상으로 향상 시켰음. 특히 초년생 해빙에 대해서는 80%의 정확도를 보여 타 유형에 비해 불확실성이 약간 높으나 기존 연구들에 비해 높은 정확도를 보여

중. 특히 제안된 분류 모델은 SAR 데이터의 노이즈에 덜 민감하고 계산 시간이 효율적임을 보여줌.

- Zhang et al. (2021)은 Gaofen-3의 C-band SAR 데이터로부터 늦봄과 여름철 해빙 유형을 분류하는 ResNet 기반의 모델을 제안하였음. 특히 제안된 네트워크의 최적 패치 크기를 최적화하고, VV, VH, HH 편파 정보를 이용하여 해빙 유형별 95% 내외의 분류 정확도를 달성하였음. 또한 연구에 사용한 데이터의 경우 Sentinel-1 보다 유빙들을 구분하는데 더 효율적임을 보여줌.

- 참고 문헌

1. Boulze, H., Korosov, A., & Brajard, J. (2020). Classification of sea ice types in Sentinel-1 SAR data using convolutional neural networks. Remote Sensing, 12(13), 2165.
2. Park, J. W., Korosov, A. A., Babiker, M., Won, J. S., Hansen, M. W., & Kim, H. C. (2020). Classification of sea ice types in Sentinel-1 synthetic aperture radar images. The Cryosphere, 14(8), 2629-2645.
3. Zhang, T., Yang, Y., Shokr, M., Mi, C., Li, X. M., Cheng, X., & Hui, F. (2021). Deep learning based sea ice classification with Gaofen-3 fully polarimetric SAR data. Remote Sensing, 13(8), 1452.

▸ 해빙두께 산출

- Lee et al. (2016)은 북극 해빙의 두께를 추정하기 위해 해빙 사이의 균열인 리드를 식별한 후 이를 기반으로 해빙의 두께를 추정하였음. 특히 본 연구를 통해 제안된 기계학습 기반의 모델은 90% 이상의 정확도로 리드 탐지가 가능하였고, 탐지된 리드를 기반으로 CryoSat-2 위성자료로부터 기계학습 기반의 해빙 두께 산출 모델을 제안하였음. 해당 연구 결과는 항공기로부터 얻은 현장관측 데이터와의 비교를 통해 그 정확도를 검증하였음.
- Yan et al. (2020)은 TechDemoSat-1과 SMOS 자료로부터 CNN과 Support Vector Regression을 이용하여 1 m 이하의 얇은 해빙에 대한 두께를 산출하였음. 특히 두 종류의 위성으로부터 얻는 서로 다른 입력 값을 융합하여 기준 해빙 두께와 0.9 이상의 상관성과 5 - 7 cm 수준의 RMSE값을 얻음으로써 기계학습 기반의 해빙두께 산출 가능성에 대해 논의하였음.
- Chi et al. (2021)은 AMSR2 수동마이크로파 자료로부터 모든 유형의 해빙에 대해 두께를 산출하는 딥러닝 모델을 제안하였음. 기존 1 m 이하의 얇은 해빙에 대한 두께 산출만 가능하다고 알려진 수동마이크로파 채널 자료를 초고차원 공간으로 변환하는 feature engineering 기법의 제안과 함께 입력 자료의 형태별로 학습하는 앙상블 기반의 딥러닝 모델을 사용하여 CryoSat-2 산출 해빙두께와 비교시 매우 높은 상관성을 지닌 해빙두께 산출이 가능하였

음. 특히 CryoSat-2의 경우 약 1개월 자료 합성을 통해서 북극 전체에 대한 해빙두께 맵핑이 가능하였지만, 본 연구를 통해서 나온 수동마이크로파 자료 기반의 해빙두께의 경우 북극 전체에 대해 매일 자료 생산이 가능함을 보여 줌.

- Shamshiri et al. (2022)은 Sentinel-1 후방산란 데이터와 현장 관측 해빙 두께 자료를 이용하여 Random Forest 기반의 회귀모델을 이용하여 해빙 두께를 산출하였고, 이를 Google Earth Engine 플랫폼을 사용하여 시계열적 분석이 수행되었음. 특히 후방산란 자료의 경우 해빙 표면의 물리적 특성에 의존하여 해빙 두께를 합리적으로 추정할 수 있었고, 얇은 해빙에 대한 부정확성이 높았지만 제안된 산출 모델의 약 22 cm의 RMSE 정확도를 보여주었음. 본 연구에서 제안된 기술은 향후 해빙 두께의 시공간적 변동을 추정할 수 있을 것으로 기대.

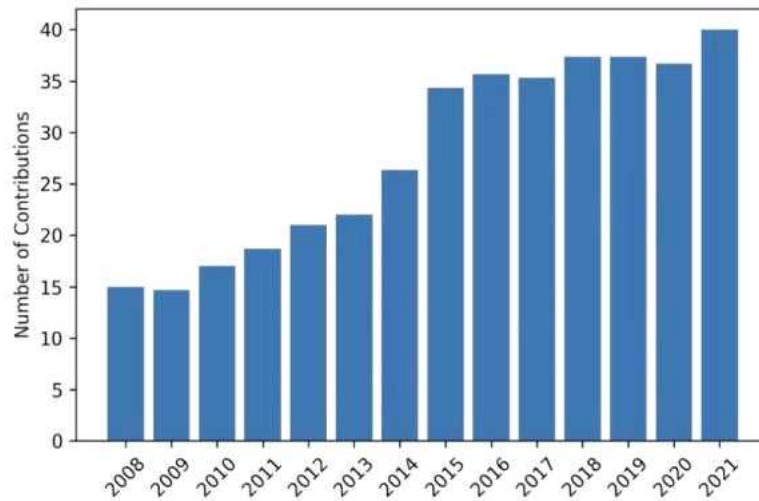
- 참고 문헌

1. Chi, J., & Kim, H. C. (2021). Retrieval of daily sea ice thickness from AMSR2 passive microwave data using ensemble convolutional neural networks. *GIScience & Remote Sensing*, 58(6), 812-830.
2. Lee, S., Im, J., Kim, J., Kim, M., Shin, M., Kim, H. C., & Quackenbush, L. J. (2016). Arctic sea ice thickness estimation from CryoSat-2 satellite data using machine learning-based lead detection. *Remote Sensing*, 8(9), 698.
3. Shamshiri, R., Eide, E., & Høyland, K. V. (2022). Spatio-temporal distribution of sea-ice thickness using a machine learning approach with Google Earth Engine and Sentinel-1 GRD data. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112851.
4. Yan, Q., & Huang, W. (2020, October). Sea ice thickness estimation from TechDemoSat-1 and soil moisture ocean salinity data using machine learning methods. In *Global Oceans 2020: Singapore-US Gulf Coast* (pp. 1-5). IEEE.

○ 해빙 단기/장기 예측 기술 동향과 그 예측 정확도 수준

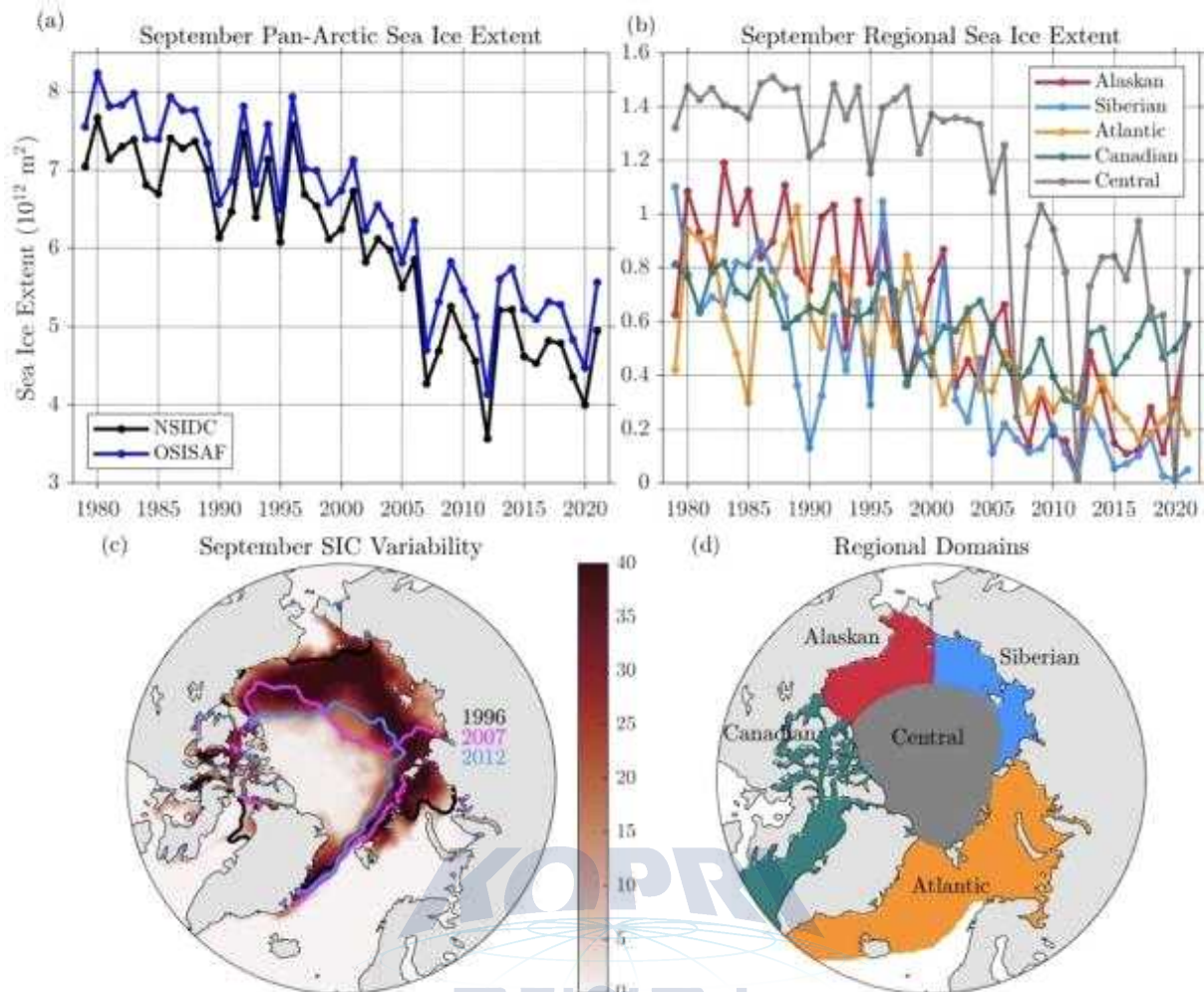
- 일반적인 해빙 예측 모델은 대기온도, 해수면 압력, 해수면온도, 해빙농도, 면적, 종류, 두께 등 다양한 해빙-해양-대기 인자 등을 이용한 통계적인 모델이나 물리적 방정식을 이용한 수치 모델 기반으로 연구되었으며, 2017년 인공지능 기반의 예측 모델이 등장한 이후 인공지능 기반 예측 모델에 관한 연구결과가 매년 늘어나고 있음.

- Chi et al. (2017)의 연구에서 인공지능의 한 형태인 딥러닝을 이용한 북극 해빙 예측 모델이 처음으로 제시되었음. 해당 연구에서는 시계열 해빙 농도 정보와 순환신경망의 일종인 LSTM 모델을 이용하여 1개월 예측을 수행함. 해당 예측 모델로부터 얻어진 예측 결과는 Sea Ice Prediction Network에 제출된 2015년 예측 결과와 비교시 4분위 값 안에 해당하는 결과를 보여주었으며, 이는 해빙 농도 정보만을 이용하여도 기존 통계 또는 수치모델 기반의 예측 모델과 비교 가능하다는 결과를 보여줌으로써 인공지능 모델의 가능성을 확인한 연구임.
- 그 이후 Kim et al. (2018)에 의해 다중 모델 앙상블을 이용한 딥러닝 모델을 통한 10 - 20년 근 미래에 대한 예측 연구, Choi et al. (2019)이 제안한 재귀신경망의 일종인 게이트 순환 유닛을 이용한 15일 예측 연구가 제안되었음. Kim et al. (2020)에 의해 시계열 예측 모델이 아닌 CNN 구조 기반으로 해빙-해양-대기 변수를 이용하여 월별 예측 모델을 만들어 북극 해빙에 대해 1개월 예측을 수행하였음. 해당 연구에서는 특히 다양한 입력변수가 예측 정확도에 미치는 영향력을 통계적으로 계산하여 분석하였음.
- Andersson et al. (2021)은 U-NET 구조 기반의 IceNet 해빙 예측 시스템을 개발함. 해당 모델은 1850년부터 2100년까지의 기후 시뮬레이션과 1979년부터 2011년까지의 관측 데이터를 학습하여 다음 6개월 동안의 월평균 해빙 농도 지도를 예측하도록 훈련되었음. 해당 모델은 특히 극단적인 여름 해빙에 대한 이벤트에서 물리 기반 모델을 능가하는 결과를 보여주었음.
- Chi et al. (2021)은 시계열 기반 모델과 이미지 기반 모델을 결합한 ConvLSTM 모델 기반으로 북극 해빙에 대해 6개월 예측 가능한 새로운 예측 모델을 제안함. 본 연구에서는 특히 해빙의 큰 변화를 탐지하는 구조와 작은 지역적 변화를 탐지하는 구조를 결합한 모델을 제안하였고, 인지기반의 손실함수를 통해 해빙 예측 결과에 있어 공간적 분포의 예측성을 높였음.



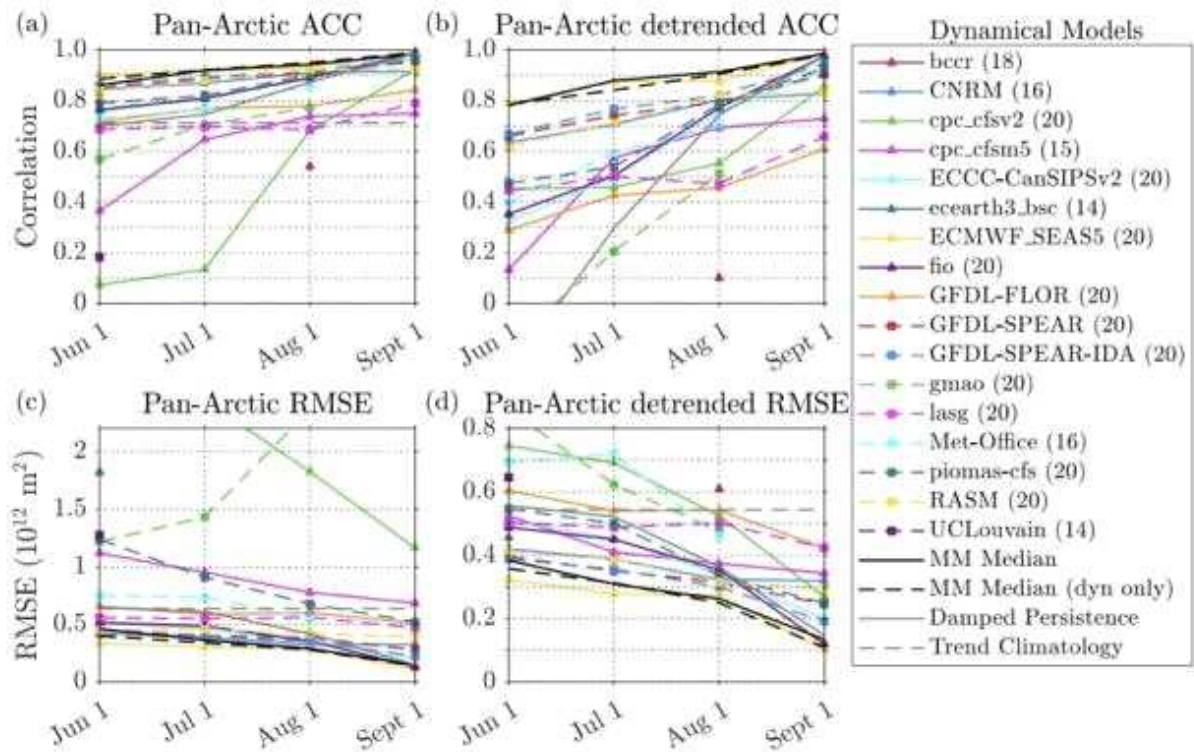
< Sea Ice Prediction Network에 제출되는 북극 9월 해빙 예측 결과의 수 >

- 북극 해빙 예측은 급격한 지구 온난화로 인해 전 세계적으로 관심이 높아지고 있음. 이는 북극 해빙 예측 정보를 공유하는 Sea Ice Prediction Network에 제출되어지는 해빙 예측 결과의 수가 아래 그림과 같이 2008년 이래로 매년 증가하고 있음.
- 다음 그림에서 보듯이 북극의 해빙, 특히 여름철 해빙의 경우 장기적으로는 감소하는 추세를 보이지만 아래 그림에서 보듯이 연도별, 해역별 변동성이 매우 큼. 예를들어 2020년 9월 북극 해빙 면적은 역대 두번째로 적었지만 2021년 9월 해빙 면적은 전년대비 약 25% 정도 급증함.

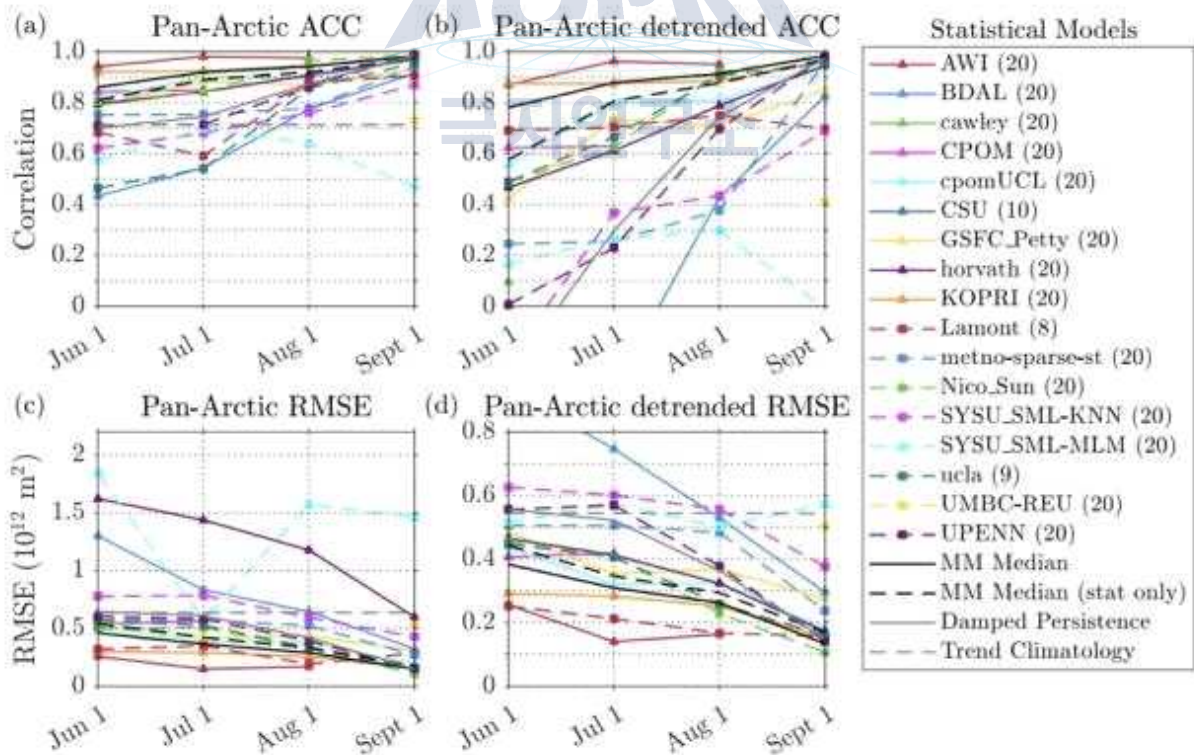


<해빙 면적의 연도별, 지역별 변동성>

- 이러한 큰 변동성으로 인해 북극 해빙 예측 모델 역시 연도별로 정확도의 차이가 크게 나타남. 따라서 단기간의 예측 결과만을 가지고 해빙 예측 모델의 성능을 평가하기에는 무리가 있음. 아래 그림은 Sea Ice Prediction Network에 주로 제출되는 수치 및 통계모델 기반의 예측 모델을 이용해 2001년부터 2020년까지 연중 최저 면적을 보이는 북극 9월 해빙 면적에 대한 예측 결과를 리드타임별로 비교한 그림임. 그림에서 보듯이 예측 주기가 짧아질수록 전반적인 예측 성능은 향상되나 예측 모델별 매우 큰 편차를 보이고 있음.



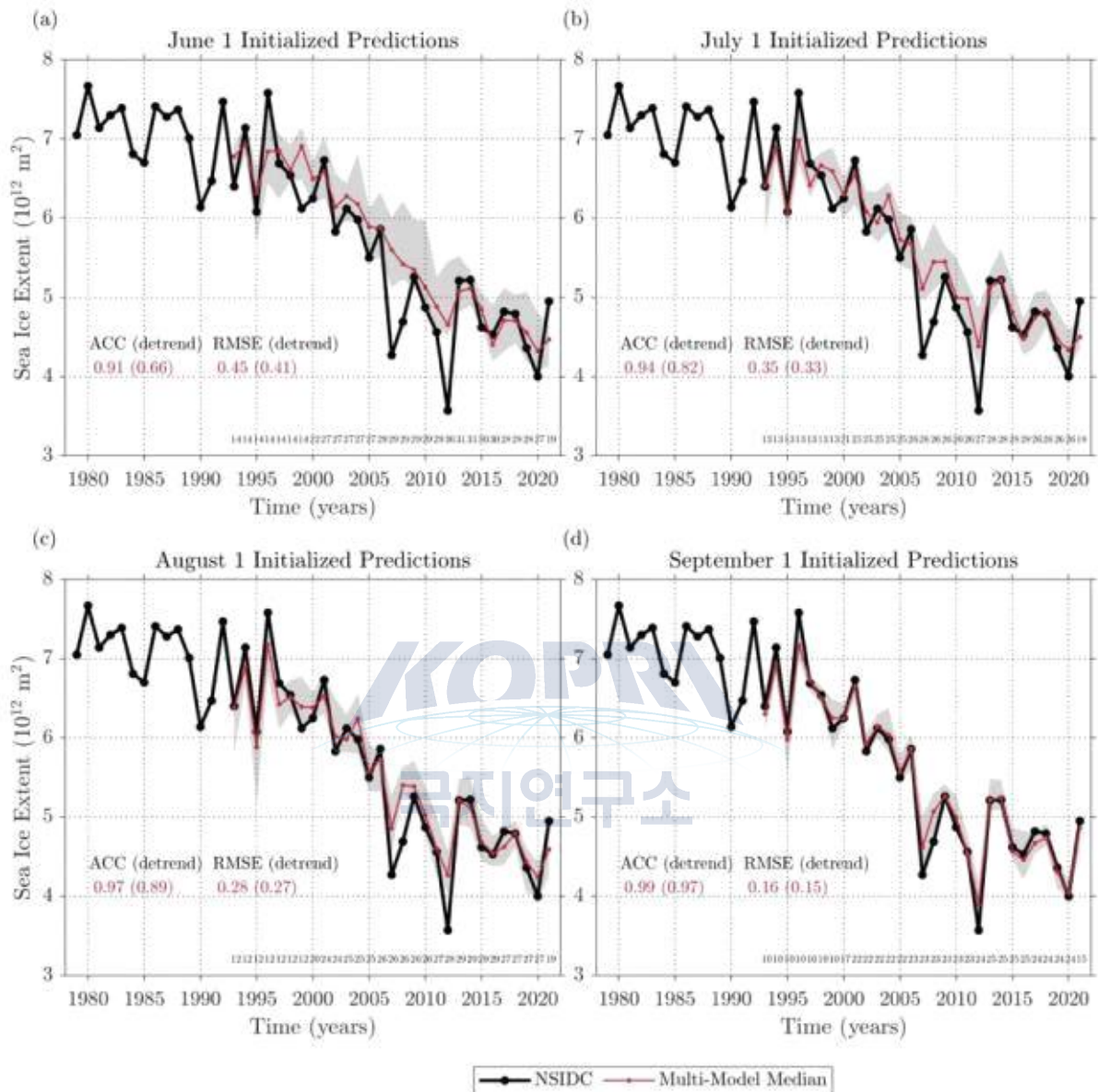
<수치모델 기반의 예측 모델 예측 정확도>



<통계모델 기반의 예측 모델 예측 정확도>

· 다음 그림은 여러 모델을 통해 예측된 해빙 면적의 중간값을 이용한 결과로 단일 모델에 비해 좋은 상관성과 낮은 오차를 보여주고 있으며, 이는 북극 해빙

예측에 있어 단일 모델 사용보다는 다양한 모델을 고려하는 것이 예측력 향상에 도움이 될 것으로 판단됨.



<다중 모델로부터 나온 예측 결과의 중간값>

— 참고 문헌

1. Andersson, T. R., Hosking, J. S., Perez-Ortiz, M., Paige, B., Elliott, A., Russell, C., & Shuckburgh, E. (2021). Seasonal Arctic sea ice forecasting with probabilistic deep learning. *Nature communications*, 12(1), 5124.
2. Chi, J., & Kim, H. C. (2017). Prediction of arctic sea ice concentration using a fully data driven deep neural network. *Remote*

Sensing, 9(12), 1305.

3. Chi, J., Bae, J., & Kwon, Y. J. (2021). Two-stream convolutional long-and short-term memory model using perceptual loss for sequence-to-sequence Arctic sea ice prediction. Remote Sensing, 13(17), 3413.
4. Choi, M., De Silva, L. W. A., & Yamaguchi, H. (2019). Artificial neural network for the short-term prediction of arctic sea ice concentration. Remote Sensing, 11(9), 1071.
5. Kim, J., Kim, K., Cho, J., Kang, Y. Q., Yoon, H. J., & Lee, Y. W. (2018). Satellite-based prediction of Arctic sea ice concentration using a deep neural network with multi-model ensemble. Remote Sensing, 11(1), 19.
6. Kim, Y. J., Kim, H. C., Han, D., Lee, S., & Im, J. (2020). Prediction of monthly Arctic sea ice concentrations using satellite and reanalysis data based on convolutional neural networks. The Cryosphere, 14(3), 1083–1104.



별첨 2. 적설두께 원격탐사와 모델 모의 최신 동향 (덴마크 기상청)

○ 해빙 위 적설두께 원격탐사 자료에 대한 최신 기술 동향

- 해빙 위 적설두께 원격탐사 방법은 크게 항공 관측과 위성 관측 두 가지로 분류할 수 있으며, 본 답변서에 대표적인 적설두께 항공 관측 기술/자료 및 다양한 위성 관측 기술/자료를 조사하여 정리함.

▶ 항공 관측: Snow radar 활용

- 항공 관측의 경우 항공기에 탑재된 snow radar 센서 기반 적설두께 원격탐사가 대부분이다. 지표에 마이크로파 펄스를 방출하는 snow radar는 반사 및 산란되어 돌아온 waveform을 기록하는데, waveform 분석을 통해 적설 표면과 해빙 표면의 위치를 특정하고 이로부터 적설두께를 산출할 수 있음. 가장 널리 알려진 항공 관측 적설두께 자료는 NASA의 Operation IceBridge (OIB) 캠페인 자료이다. NSIDC를 통해 배포되는 OIB 적설두께 자료는 Kurtz et al. (2013) 알고리즘을 바탕으로 산출되나, 이 외에도 같은 관측자료를 바탕으로 다양한 알고리즘을 통해 생산되는 OIB 적설두께 자료들을 찾을 수 있다 (Kwok et al., 2017). 다만, 현재 OIB 관측 미션은 2019년을 마지막으로 수행되지 않고 있다.
- 독일 Alfred Wegener Institute (AWI)에서 OIB와 유사한 관측 캠페인이 수행되고 있다. 해당 캠페인 이름은 ICEBird으로 지금까지는 OIB와 비교했을 때 상대적으로 근해 지역에 대해 관측을 수행하고 있다. 향후 관측 계획 등을 포함한 ICEBrid에 대한 자세한 정보는 AWI 웹사이트에서 확인 가능하다. (<https://www.awi.de/en/science/climate-sciences/sea-ice-physics/projects/ice-bird.html>). ICEBird 또한 snow radar 관측 기반으로 적설두께를 산출하며 해당 산출 알고리즘은 Jutila et al. (2022)에 자세히 기술되어 있다.

▶ 위성 관측: 수동 마이크로파(PMW)

- 위성 관측 활용 적설두께 산출 방법 중 가장 전통적인 방법은 PMW 활용 알고리즘으로 이는 Markus and Cavalieri (1998)에 의해서 고안되었다. PMW 활용 방법의 가장 큰 장점은 넓은 관측 범위로, 하루 안에 북극해 전체 관측이 가능하다. 해당 알고리즘의 이론적 배경은 해빙의 마이크로파 밝기온도가 해빙 위 적설층의 산란효과와 관련되어 주파수가 높아질수록 낮아지는 경향이 있고, 따라서 서로 다른 두 주파수 대의 밝기온도차와 적설두께가 비례할 것이라는 것이다. 초기의 알고리즘은 18 GHz와 37 GHz 채널 간 밝기온도 차를

활용한 방법이었으나, 다년빙에 적용되지 못한다는 한계가 있었다. 최근 독일의 University of Bremen 연구팀에서는 기존보다 낮은 주파수대인 6.9 GHz 채널을 활용하여 다년빙 상에서도 적설깊이를 산출하고 있다 (Rostosky et al., 2018).

▸ 위성 관측: 고도계 활용

- 위성 고도계는 snow radar와 마찬가지로 지표에 발사한 전자기파가 반사/산란되어 돌아온 기록을 분석하여 지표의 높이를 산출하는 센서이다. 고도계 활용 적설두께 산출방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째는 레이저와 마이크로파 레이더 고도계를 함께 사용하는 방법이다. 레이저는 적설표면에서 반사되고, 마이크로파 레이더는 적설층을 투과하여 해빙 표면에서 반사되는 것으로 알려져있다. 따라서 두 고도계가 관측한 고도의 차이는 적설두께와 비례할 것이라 예상할 수 있다. 해당 알고리즘은 ICESat-2와 CryoSat-2 관측 자료에 적용된 바 있다(Kacimi and Kwok, 2022). ESA는 ICESat-2과의 시너지를 고려하여 CryoSat-2의 궤도를 수정한 바 있으며, CRYO2ICE라는 이름의 프로젝트를 진행하고 있다.

(<https://earth.esa.int/eogateway/missions/cryosat/cryo2ice>)

- 이외에 같은 마이크로파 영역이지만 서로 다른 파장대를 사용하는 두 고도계 관측으로부터 적설두께를 산출하는 방법이 있다. 일반적으로 Ku band와 Ka band를 사용하며, Ku band 보다 Ka band에서 마이크로파 반사 및 산란이 더 적설 표면에 가까운 위치에서 일어난다는 이론적 배경을 바탕으로 두고 알고리즘이 개발되고 있다 (Lawrence et al., 2018). 이를 기반으로 유럽에서는 Ku, Ka band 고도계를 모두 탑재한 새로운 위성탐사 미션을 계획 중이다. 미션이름은 CRISTAL로 Kern et al. (2020)에 자세한 내용이 출판되었다.

▸ 위성 관측: 다변수 동시산출

- 이외에 다양한 해빙변수들을 동시에 산출하기 위한 위성 산출 알고리즘이 개발되고 있다. 해당 연구들은 위성산출 지구물리 변수들 간의 물리적 일관성 확보하는데 의의를 두고 있다. 그 예로 Kilic et al. (2019)는 적설두께와 적설-해빙 경계층온도, 유효온도를, Shi et al. (2023)은 해빙건현과 적설두께, 해빙두께, 해빙밀도를 동시에 산출한다. 최근 University of Bremen의 연구진은 대기변수와 해빙변수를 동시 산출하는 연구결과를 발표한 바 있다 (Ruckert et al., 2023).

○ 해빙 위 적설두께 모델기반 자료에 대한 최신 기술 동향

- 대기 재분석 자료 기반 적설두께 복원
 - 대기 재분석 자료에서 제공하는 강설량에 기반하여 해빙 위에 적설층을 누적하는 수치모델이 다수 존재한다.
 - SnowModel-LG: Liston et al. (2020)
 - NESOSIM: Petty et al. (2018)
 - University of Washington: Blanchard-Wrigglesworth et al. (2018)
- CICE 해빙모델
 - CICE는 coupled atmosphere-ocean-land-ice 기후 모델의 일부로서 개발된 극지방 해빙 시뮬레이션 모델로 미국 Los Alamos national laboratory의 주도로 개발되었으며 현재는 CICE 컨소시엄의 구성원들이 함께 개발해나가고 있다. 극지역 해빙에 관한 최신 모델링 연구들은 CICE 모델을 기반으로 하고 있다. 해빙 위 적설층에 대한 모수화가 내장되어 있어 적설두께 시뮬레이션이 가능하며, 오픈소스고 지속적인 개발이 이루어지고 있는 특징이 있다.
 - CICE 문서
<https://cice-consortium-cice.readthedocs.io/en/latest/index.html>
 Github: <https://github.com/CICE-Consortium/CICE>

○ 해빙 위 적설두께 산출 연구 기술 및 산출물을 제공/보유하고 있는 국내외 기관

□ 아래에 관련 국내/외 기관 목록 및 자료 경로를 정리함.

- (미국) National Snow and Ice Data Center (NSIDC)
 - OIB 적설두께: Kurtz et al. (2015), Kurtz et al. (2016)
 - AMSR2 산출 PMW 적설두께: Meier et al. (2018)
 - NESOSIM: Petty et al. (2022)
 - SnowModel-LG: Liston et al. (2021)
- (미국) NASA
 - SMMR, SSMI 산출 적설두께 (1978-2008):
<https://earth.gsfc.nasa.gov/cryo/data/arctic-snow-depth-sea-ice대>

- ▶ (미국) University of Washington
 - 적설두께 복원 모델 자료: <https://atmos.uw.edu/~ed/data/snow/>
- ▶ (독일) University of Bremen
 - AMSR-E, AMSR2 산출 적설두께: Rostosky et al. (2019a, 2019b)
- ▶ (독일) Alfred Wegener Institute (AWI)
 - ICEBrid 적설두께: Jutila et al. (2021)
 - PANGAEA data repository에 추가 자료 찾을 수 있음
- ▶ (영국) Centre for Polar Observation and Modelling, UCL
 - Ku-Ka 적설두께 DuST (<http://www.cpom.ucl.ac.uk/DuST/>)
- ▶ (한국) 서울대학교 위성기상실험실
 - 다변수 동시산출 알고리즘 Shi et al. (2023) 산출 기술 확보

※ 이외 Danish Meteorological Institute (DMI)에서 현업용 적설깊이 산출 알고리즘 개발 중

○ 원격탐사 적설 자료의 북극 항행 시 활용 가능성

□ 북극 항행에 어떤 자료가 활용되는지는 항행에 대한 전문성이 부족해 정확히 판단하기 어려우나, 두께가 얇은 해빙의 분포가 도움이 된다면, 해당 위치를 특정하는데 있어 적설 자료가 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

- ▶ 첫째로, 적설 자료를 직접 활용하는 경우, 두께가 두꺼운 해빙일수록 다년빙일 가능성이 크고, 일반적으로 다년빙의 경우 적설 누적 기간이 길어 두꺼운 적설층을 가지고 있다. 따라서 산출된 적설 두께가 얇은 곳을 탐지하는데 원격탐사 적설 자료가 활용될 수 있다. 그러나, 이는 해빙 두께에 대한 정보를 간접적으로 제공하는 것이기에 적설 두께 산출물을 고도계 관측 건현 정보와 합하여 해빙두께로 환산 후 정확한 정보를 전달하는 편이 더 유용할 것으로 판단한다. 인공위성 고도계의 경우 관측범위가 좁다는 한계가 있으나, 최근 발표된 수동마이크로파 기반 건현두께/ice draft 산출 알고리즘(Kim et al., 2022; Kim et al., 2023)의 활용 가능성을 살펴본다면 그 한계를 극복할 가능성을 점쳐볼 수 있

다.

- 둘째로, 모델 자료동화를 통해 해빙 두께 분포 예보를 하여 간접적으로 활용할 수 있다. 해빙 위 적설층은 높은 반사도 및 높은 단열효과를 통해 해빙 성장에 크게 관여한다. 최근 많은 연구들이 위성 산출 해빙변수들을 해빙 모델에 동화하여 예측성을 높이고 있다 (Sievers et al. 2023; Kang et al., 2021; Fritzner et al. 2019). 선행연구들을 볼 때 적설 자료의 자료동화는 수동 마이크로파 활용 인공위성 원격탐사의 정확도가 낮아지는 여름철을 포함하여 해빙 두께 분포 예측에 큰 기여를 할 것으로 판단된다. 미국) National Snow and Ice Data Center (NSIDC)

○ 참고 문헌

- 해빙 위 적설두께 원격탐사 자료에 대한 최신 기술 동향
 1. CKurtz, N. T., S. L. Farrell, M. Studinger, N. Galin, J. P. Harbeck, R. Lindsay, V. D. Onana, B. Panzer, and J. G. Sonntag. (2013): "Sea ice thickness, freeboard, and snow depth products from Operation IceBridge airborne data", The Cryosphere, 7, 1035~1056, doi: 10.5194/tc-7-1035-2013.
 2. Kwok, R., Kurtz, N. T., Brucker, L., Ivanoff, A., Newman, T., Farrell, S. L., King, J., Howell, S., Webster, M. A., Paden, J., Leuschen, C., MacGregor, J. A., Richter-Menge, J., Harbeck, J., and Tschudi, M. (2017): "Intercomparison of snow depth retrievals over Arctic sea ice from radar data acquired by Operation IceBridge", The Cryosphere, 11, 2571~2593, doi: 10.5194/tc-11-2571-2017.
 3. Jutila, A., et al. (2022): "High-Resolution Snow Depth on Arctic Sea Ice From Low-Altitude Airborne Microwave Radar Data", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 60, Art no. 4300716, doi: 10.1109/TGRS.2021.3063756.
 4. Markus, T. and Cavalieri, D. J. (1998): "Snow depth distribution over sea ice in the Southern Ocean from satellite passive microwave data", Antarct. Res. Ser., 74, 19-39
 5. Rostosky, P., Spreen, G., Farrell, S. L., Frost, T., Heygster, G., and

- Melsheimer, C. (2018): “Snow depth retrieval on Arctic sea ice from passive microwave radiometers – improvements and extensions to multiyear ice using lower frequencies”, *J. Geophys. Res.-Oceans*, 123, 7120–7138, doi:10.1029/2018JC014028.
6. Kacimi, S., and Kwok, R. (2022): “Arctic Snow Depth, Ice Thickness, and Volume From ICESat-2 and CryoSat-2: 2018~2021”, *Geophysical Research Letters*, 49(5), e2021GL097448.
 7. Lawrence, I. R., Tsamados, M. C., Stroeve, J. C., Armitage, T. W. K., and Ridout, A. L. (2018): “Estimating snow depth over Arctic sea ice from calibrated dual-frequency radar freeboards”, *The Cryosphere*, 12, 3551–3564, doi: 10.5194/tc-12-3551-2018.
 8. Kern, M., Cullen, R., Berruti, B., Bouffard, J., Casal, T., Drinkwater, M. R., Gabriele, A., Lecuyot, A., Ludwig, M., Midthassel, R., Navas Traver, I., Parrinello, T., Ressler, G., Andersson, E., Martin-Puig, C., Andersen, O., Bartsch, A., Farrell, S., Fleury, S., Gascoin, S., Guillot, A., Humbert, A., Rinne, E., Shepherd, A., van den Broeke, M. R., and Yackel, J. (2020): “The Copernicus Polar Ice and Snow Topography Altimeter (CRISTAL) high-priority candidate mission”, *The Cryosphere*, 14, 2235–2251, doi: 10.5194/tc-14-2235-2020.
 9. Kilic, L., Tonboe, R. T., Prigent, C., and Heygster, G. (2019): “Estimating the snow depth, the snow–ice interface temperature, and the effective temperature of Arctic sea ice using Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 and ice mass balance buoy data”, *The Cryosphere*, 13, 1283–1296, doi: 10.5194/tc-13-1283-2019.
 10. Shi, H., Lee, S. M., Sohn, B. J., Gasiewski, A. J., Meier, W. N., Dybkjær, G., and Kim, S. W. (2023). “Estimation of Arctic Winter Snow Depth, Sea Ice Thickness and Bulk Density, and Ice Freeboard by Combining CryoSat-2, AVHRR, and AMSR Measurements”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1–18, Art no. 4300718, doi: 10.1109/TGRS.2023.3265274.
 11. Ruckert, J. E., Huntemann, M., Tonboe, R., et al. (2023): “Modelling snow and ice microwave emissions in the Arctic for a multi-parameter retrieval of surface and atmospheric variables from microwave radiometer satellite data”, *ESS Open Archive*, August 04.

▶ 해빙 위 적설두께 모델기반 자료에 대한 최신 기술 동향

1. Liston, G. E., Itkin, P., Stroeve, J., Tschudi, M., Stewart, J. S., Pedersen, S. H., ..., and Elder, K. (2020): "A Lagrangian snow-evolution system for sea-ice applications (SnowModel-LG): Part I-Model description", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(10), e2019JC015913.
2. Petty, A. A., Webster, M., Boisvert, L., and Markus, T. (2018): "The NASA Eulerian Snow on Sea Ice Model (NESOSIM) v1.0: initial model development and analysis", *Geosci. Model Dev.*, 11, 4577-11;4602, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-4577-2018>.
3. Blanchard-Wrigglesworth, E., M. A. Webster, S. L. Farrell, and C. M. Bitz. (2018): "Reconstruction of Snow on Arctic Sea Ice", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(5), doi: 10.1002/2017JC013364.

▶ 해빙 위 적설두께 산출 연구 기술 및 산출물을 제공/보유하고 있는 국내외 기관

1. Kurtz, N., M. Studinger, J. Harbeck, V. Onana, and D. Yi. (2015): "IceBridge L4 Sea Ice Freeboard, Snow Depth, and Thickness, Version 1", Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.
<https://doi.org/10.5067/G519SHCKWQV6>. Date Accessed 10-09-2023.
2. Kurtz, N., M. Studinger, J. Harbeck, V. Onana, and D. Yi. (2016): "IceBridge Sea Ice Freeboard, Snow Depth, and Thickness Quick Look, Version 1", Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.
<https://doi.org/10.5067/GRIXZ91DE0L9>. Date Accessed 10-09-2023.
3. Meier, W. N., T. Markus, and J. C. Comiso. (2018): "AMSR-E/AMSR2 Unified L3 Daily 12.5 km Brightness Temperatures, Sea Ice Concentration, Motion & Snow Depth Polar Grids, Version 1", Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.
<https://doi.org/10.5067/RA1MIJOYPK3P>. Date Accessed 10-09-2023.
4. Petty, A. A., N. Kurtz, R. Kwok, T. Markus, T. A. Neumann, and N. Keeney. (2022): "ICESat-2 L4 Monthly Gridded Sea Ice Thickness, Version 2", Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.
<https://doi.org/10.5067/OE8BDP5KU30Q>. Date Accessed 10-09-2023.
5. Liston, G. E., J. Stroeve, and P. Itkin. (2021): "Lagrangian Snow Distributions for Sea-Ice Applications, Version 1", Boulder, Colorado

USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.

<https://doi.org/10.5067/27A0P5M6LZBI>. Date Accessed 10-09-2023.

6. Rostosky, P., Melsheimer, C., and Spreen, G. (2019a): “AMSR-E winter snow depth on Arctic sea ice, Version 1.0 (NetCDF) (2002 to 2011)”, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.902748>.
7. Rostosky, P., Melsheimer, C., and Spreen, G. (2019b): “AMSR-2 winter snow depth on Arctic sea ice, Version 1.0 (NetCDF) (2012 to 2018)”, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.902747>.
8. Jutila, A., King, J., Ricker, R., Hendricks, S., Helm, V., Binder, T. (2021): “Airborne high-altitude snow depth on sea ice during aircraft flight P6_211_RESURV79_2018_1804100301, Version 1”, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.932702>.

▸ 원격탐사 적설 자료의 북극 항행 시 활용 가능성

1. Kim, J. M., Sohn, B. J., Lee, S. M., Shi, H., Kwon, Y. J., Kim, S. W., and Kim, H. C. (2022): “The estimation of the total freeboard of Arctic sea ice in winter using passive microwave satellite measurements”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 39(10), 1611-1627.
2. Kim, J. M., Kim, S. W., Sohn, B. J., Kim, H. C., Lee, S. M., Kwon, Y. J., and Pnyushkov, A. V. (2023): “Estimation of summer pan-Arctic ice draft from satellite passive microwave observations”, *Remote Sensing of Environment*, 295, 113662.
3. Sievers, I., Rasmussen, T. A. S., and Stenseng, L. (2023): “Assimilating CryoSat-2 freeboard to improve Arctic sea ice thickness estimates”, *The Cryosphere*, 17, 3721-3738, doi: 10.5194/tc-17-3721-2023.
4. Kang, E. J., Sohn, B. J., Tonboe, R. T., Dybkjær, G., Holmlund, K., Kim, J. M., and Liu, C. (2021): “Implementation of a 1-D Thermodynamic Model for Simulating the Winter-Time Evolvement of Physical Properties of Snow and Ice Over the Arctic Ocean”, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13(3), e2020MS002448.
5. Fritzner, S., Graversen, R., Christensen, K. H., Rostosky, P., and Wang, K. (2019): “Impact of assimilating sea ice concentration, sea ice thickness and snow depth in a coupled ocean-sea ice modelling system”, *The Cryosphere*, 13, 491-509, doi: 10.5194/tc-13-491-2019.



별첨 3. (기술수요조사)빙해운항 환경분석 (영산대)

기술수요조사서

1. 기술 개요

가. 분야	①인공위성 원격탐사 기술을 활용한 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 기술, ②극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술 중 택 1 [①]		
나. 제안 기술명	극지 선박과 인공위성 정보를 연계한 극지 운항 시스템 기술		
다. 기술분류	해양수산 기술분류체계	MSF(EI08)-MSF02(EI0802)-MSF0202	공공() 산업(O)
			기초() 응용() 개발(O)

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	- 극지 항해선박 간 항해 해역의 해빙기상정보 교환 기술 개발 - 인공위성 정보와 실제 항해 해역의 해빙기상정보 비교 기술 개발 - 극지운항 선박의 최적항로 제안에 기반한 자율운항 시스템 기술 개발
연구개발의 내용	- 극지를 항해하는 선박의 기존 예상 항로에 있는 타 선박과 항해해역의 해빙 기상정보를 수신/송신할 수 있는 인프라와 기술을 개발함 - 극지를 항해하는 선박이 인공위성으로부터 수신한 해빙기상정보와 실제 해빙 기상 상황을 비교하여 인공위성의 해빙 이미지 분석능력을 향상시키는 인공 지능 모듈을 개발함 - 인공위성으로부터 수신하는 해빙기상정보와 기존 예상 항로상 선박으로부터 수신한 해빙기상 정보를 통합하여 최적항로로 항해하는 자율운항 시스템 기술을 개발함. 이는 단순한 최적항로를 선택하는 기술에 머물지 않고 북극에서의 선박 사고 예방에 기여함

3. 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발의 필요성	(정부지원의 필요성) ※ [물류업체 관점] 지난 2023년 하절기 파나마 지역의 가뭄으로 인한 파나마운하 통과 지연 사태, 2021년 수에즈운하 에버 기븐호 좌초사고와 최근 홍해 항해 선박에 대한 공격은 기존 기간항로를 대체할 수도 있는 항로(예를 들면 북극항로)를 통한 안정적 글로벌 공급사슬 유지가 필요함. 이를 통해 우리나라 수출업체와 물류업체에 대한 안정적 수출입 물류 서비스가 제공이 필요함.
-----------	--

		※ [정부] 극지 항해선박 간 정보 교환은 여러 나라의 서로 다른 선종간 정보교환 형태로 이루어질 것임. 또한 북극의 경우 북극이사회의 워킹그룹 내에서 논의 추진되면 보다 효과적으로 추진될 수 있는 사안이므로 정부 차원의 접근이 필요함. 북극에서의 선박 항해 안전을 추구하는 기술개발임 ※ [조선사 관점] 극지선박 건조에 경쟁력을 가지고 있는 우리나라 조선소는 극지항해 지원 시스템을 선박에 탑재할 경우 보다 높은 수준의 경쟁력을 확보할 수 있을 것임. 현재 관련 특허를 출원하고는 있으나, 실제 구현에는 보다 많은 투자가 필요해보이며, 단독으로 조선사가 시작하기에는 초기 개발 진입 비용이 많음. (추진의 시급성) ※ [기후변화] 2030년 여름에는 북극 전체의 얼음이 녹을 것이라고 함. 북극에 겨울이 와도 쇄빙항해하는 것이 용이한 1년빙이 북극 대부분을 차지할 것임. 이는 북극을 항해하는 선박이 증가할 것이라는 것을 예상하게 하며 쇄빙능력을 보유한 선박은 연중항해도 가능해질 수 있을 것임. 기후변화 추세에 대응하여 조속한 추진이 필요함. ※ [러시아] 우크라이나 침공으로 인한 대러 제재로 인해 러시아는 독자적으로 북극해항로를 개발중이며, 여기에는 해빙기상정보 확보를 위한 드론과 인공위성 등이 포함되어 있음. 북극항로 항해가 활발해지는 시점에, 러시아에 의존하지 않고 국적선사가 독자적으로 한국형 북극항로 개발을 주도하기 위해서는 본 제안기술을 미리 준비해 나가는 것이 필요함. (해수부 추진의 타당성) ※ [해수부 추진] 해양수산부가 주도하는 ‘극지활동진흥기본계획’에 프런티어 과제로 ‘북극 전역 해빙 변화 실시간 관측을 위한 초소형 위성개발(’24)’이 있으며, ‘국가 경제에 기여하는 극지 신기술 개발’ 전략 아래 ‘신기술 기반 북극항로 운항 경쟁력 확보’과제가 있음. 해빙변화 관측위성을 북극항로 운항 지원 시스템과 연계하여 추진해야 함. ※ [국적선사 관점] 극지 항해 특히 북극항로 항해는 10년 안에는 국적 선사가 직면할 수밖에 없는 상황으로 보임. 지금 당장 국적 선사가 추진하기에는 경제성이 낮음. 국적 선사가 극지운항시스템 개발에 적극적으로 참여하기에는 한계가 있으나, 국적 선사의 효과적 북극항로 항해에는 반드시 필요함
연구개발동향	국 내	※ [산학연 연구] 대우조선해양, 극지연구소, 인하대 등이 ‘인공위성을 활용한 극지 운항 공동연구를 위한 협약’을 체결하고 연구에 착수했다고 했음(2022년). 인공위성이 보내는 이미지를 해석해서 해빙 상황을 분석하는 수준의 연구로 판단됨. 인공위성의 해빙 이미지 만으로는 정확한 해빙상황을 판단하는 데 한계가 있음.
	국 외	※ [러시아] 북극해항로를 실질적으로 관리하는 러시아의 북극해항로 단일 운영기관 Rosatom은, 러시아 남북극연구소(AARI)가 제공하는 북극 위성 이미지 정보와 기상정보를 활용하여, 북극해항로를 항해하는 선박에 대한 모니터링, 항로와 쇄빙지원 시스템을 운영하고 있음. 보다 정확한 북극해빙 이미지 획득과 통신을 위해 인공위성을 추가로 발사할 준비를 하고

		있음. 그러나 자금 부족으로 지체되고 있음. 북극해항로를 국제운송항로로 개발하여 수에즈항로 통항료에 대응하는 북극해항로 통항수수료를 받는 것도 검토하고 있는 것으로 알려져 있음 ※ [DNV/IMO] DNV가 주도한, 빙해역에서 선박의 항해역량과 한계를 평가하는 POLARIS(Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System)가 IMO rules에 추가되었음. 결빙해역을 얼음 조건(12가지)별로 구분하고, 각 해역별로 12가지의 내빙등급 선박에 대한 Risk Index를 부여하여 항해가능한 최적항로를 제안할 수 있도록 했음. 그렇지만 특정해역의 얼음조건을 12가지로 구분하고 있지만, 12가지로 구분하기 위한 실질적 방법은 명확하지 않음.
--	--	---

4. 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
5년	1,500	15

5. 기대효과 및 특기사항

※ 본 제안 기술을 요약하면 세 가지로 구성됨. 선박간 해빙기상정보 교환, 인공위성 정보와 실제 해빙기상정보 비교, 북극항로 항해 선박에 대한 인공지능 기반 극지운항 지원 시스템. ※ 우리나라 조선소에서 건조하는 내빙/쇄빙선박에 ‘극지운항 지원 시스템’을 설치하여 판매할 수도 있는 옵션을 행사할 수 있음. 국적선사의 극지항해 역량을 시스템적으로 향상시킬 수 있음 ※ ‘선박간 해빙기상정보 교환’ 기술은 단순한 기술에서 나아가 북극이사회 혹은 북극이사회 산하 워킹그룹 차원의 논의를 통해 북극을 항해하는 모든 선박에 설치하도록 할 수 있음. 물론 현재 북극을 항해하는 일부 선박들은 자체적으로 다른 선박과 해빙기상정보를 교환하는 것으로 알려져 있음. 극지 항해 선박이 해빙기상정보를 교환할 수 있는 장치를 설치하면 자율적으로 AIS정보를 송신하듯이 그 선박의 위치에 해당하는 해빙기상정보를 인근 선박으로 송신하고 받을 수 있을 것임. 북극이사회 내에서의 논의를 통해 강제 설치 방안도 가능할 것이며, 이를 PAME워킹그룹에서 안건으로 제안할 수도 있을 것임. ※ ‘인공위성 정보와 실제 해빙기상정보 비교’ 기술은 ‘극지운항 지원 시스템’이 보유하고 활용할 ‘위성정보 기반 해빙기상정보 지식’을 보다 정확히 유지할 수 있는 지식 정보가 될 수 있음. 이러한 접근은 러시아의 북극해항로 선박항해 통제시스템에서 비공식적으로 활용되고 있는 것으로 알려져 있음(러시아 빙해역도선사들의 지식 활용). ※ 본 제안 기술들은 상업적으로 활용하는 기술이라고 할 수도 있지만, 북극에서의 안전한 선박항해를 지원하는 기술요소로 북극이사회 PAME의 지향점에 속한다고 볼 수 있으며, 북극이사회 연안국과 관련 업서버국가들과의 공동 연구과제로 확대할 수 있을 것임

6. 기존의 선행연구

- ※ [등록 특허] ‘극지 운항 선박의 통합 상태 모니터링 시스템 및 방법’(등록번호 : 1025274960000)은 극지 운항 선박의 상태를 모니터링하여 선박 상태를 측정하고 있음. 극지 운항 선박이 항해하는 데 있어서 상태를 정확히 파악하는 것은 매우 중요함. 극지 선박의 항로 결정에 기여할 수 있음
- ※ [등록 특허] ‘선박 안전 항해 모니터링 및 자동회피 서비스 제공 시스템’(등록번호:1018808150000)은 선박의 안전항해를 위해 모니터링하면서 장애물을 감지하여 회피항해하는 시스템을 제안하였음. 장애물을 극지 얼음이나 선박으로 분류하면 적용될 수도 있을 것임. 유사한 항해지원 시스템은 다양하게 있을 수 있음
- ※ [출원 특허] ‘극지 운항 선박의 안전항로 제공 시스템 및 동 시스템을 구비한 선박’(출원번호: 1020210162910)은 인공위성으로부터의 정보, 지상의 정보와 다른 시스템으로부터의 정보를 받아서 우주 방사선을 고려하면서 최적항로를 제안하는 시스템과 선박을 제안했음. 인공위성의 해빙정보 이미지와 우주방사선은 서로 다른 개념이지만, 적용방법은 동일할 것임.
- ※ [논문] 김현철 외, ‘극지 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발’(2018)에서 북극 해빙위성관측의 의미와 필요성을 제시했음. 위성관측 이미지의 지속적 축적과 분석의 필요성을 강조했으나 실제적으로 충분히 국내에서 실현된 것으로 보이지는 않음
- ※ 인공위성이 제공하는 해빙정보 이미지만으로 정확한 해빙기상상황을 판단할 수는 없음. 선박의 상태와 전방 항로의 상황을 보다 멀리까지 판단할 수 있다면 보다 안전한 극지 항해가 가능할 것임. 인공위성의 해빙 이미지와 실제 해빙 상황간 연계 지식을 인공지능으로 축적하는 과정을 통해 보다 안전한 극지항해를 지원하는 시스템으로 향상될 것임

7. 본 연구개발과제의 핵심어(Key word)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	극지항행	인공위성 이미지	선박간 정보교환	항해지원 시스템	지식축적
영문	arctic shipping	satellite image	communication between vessels	voyage support system	knowledge acquisition

8. 연구 추진에 적용될 첨단기술 정보

- ※ 선박상황 정보 송수신 기술 : 극지항해 선박에 설치되어 선박이 있는 해역의 해빙기상정보를 자동적으로 송신하면서, 인근 해역의 선박이 송신하는 해빙기상정보를 수신하는 기술과 그 장비
- ※ 극지에서의 선박간 통신 방법 : 극지 환경에서의 인공위성 통신 혹은 선박간 직접 통신 성능

평가 기술과 그 장비

- ※ 해빙기상정보 제공 인공지능 시스템 : 인공위성 이미지-실제 해빙기상정보의 지도 학습 과정을 통한 지식 축적 기술, 인공위성 이미지에 대응한 해빙기상정보를 제공하는 인공지능 시스템과 그 장비
- ※ 인공위성 이미지가 제공하는 해빙기상정보와 타 선박으로부터 수신한 해빙기상정보를 통합하여 극지항해를 지원하는 시스템과 자율항해 기술과 그 시스템

9. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성 명	김기태	소속기관명	영산대학교
소속부서	해운항공드론물류학과	직 위	부교수
연 락 처	(TEL)010-4022-3544	(FAX)	(E-mail)jeha@ysu.ac.kr
소속기관주소	부산 해운대구 반송순환로 142(반송동) 영산대학교		



별첨 4. (기술수요조사)빙해 실운항 성능 분석 (인하대)

기술수요조사서

1. 기술 개요

가. 분야	극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술		
나. 제안 기술명	극지 운항 선박의 빙하중 통합 예측 시스템 개발		
다. 기술분류 (별첨 참고)	해양수산 기술분류체계	극지해양과학-극지공학인프라-극지공학	공공() 산업(O)
			기초() 응용(O) 개발()

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	극지 운항 선박에 작용하는 다양한 형태의 빙하중을 실시간으로 예측할 수 있는 DB-AI 연계형 통합 예측 시스템 개발
연구개발의 내용	- 빙-선박 충돌에 대한 수치해석 기법을 활용하여 극지용 선박에 작용하는 빙하중에 대한 정밀한 해석을 수행하고 이를 DB화 함 - 평탄빙, 유빙, 빙맥 등과 같은 다양한 형태의 빙과 선박의 충돌을 빙해 수조모형을 통해 재현하고 수치해석 기법의 검증에 활용함 - 빙해 수조모형 시험 및 수치해석을 통해 구축된 DB를 기반으로 다양한 조건에서 발생 가능한 빙하중을 실시간으로 예측할 수 있는 AI 기반 추론 기구를 개발

※ 연구개발의 목표 및 내용은 구체적으로 기술하시기 바랍니다.

3. 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발의 필요성	(정부지원의 필요성) - 수출 주도형 산업 구조의 특성으로 인해 북극 항로의 활용은 대한민국 경제 성장에 있어 매우 중요한 의미를 지니고 있으며, 동시에 줄어드는 해빙 면적에 따라 북극항로 개척에 대한 전세계적인 관심이 모아지고 있는 상황임. - 이에 현재 및 미래의 고부가가치 먹거리 산업인 극지 운항 선박 및 해양 구조물과 관련하여 주요 핵심 기술 확보가 시급하고, 극지 조선 산업 시장 선점을 위해서는 극지 환경 및 해빙에 대하여 계측과 예측을 통해 안전성 및 건전성을 확보하는 기술개발이 필요함 (추진의 시급성)
-----------	--

		- 우리나라는 조선 산업에 강점을 가지고 있으나, 극지에 관한 누적 DATA와 연구 경험이 부족함에 따라 지속적인 기술개발을 통해 극지 개발 선진국과 경쟁구도를 만들고 조선산업의 강점을 활용하여 시장 선점의 기틀을 마련할 수 있음 - 해외에서도 아직 정립 단계이며 조선해양산업의 경쟁력의 척도로 자리매김한 최적 항로 운항 및 디지털 트윈 기술 개발을 통해 조선해양기술의 경쟁력을 확보하고 나아가 4차 산업혁명 및 조선해양산업의 경기침체에 대응 (해수부 추진의 타당성) - 빙해 선박 아라온, 빙해수조 등과 같이 극지용 선박의 빙하중 추정에 있어 매우 중요한 역할을 할 수 있는 연구 인프라 대부분이 해수부 산하연구기관의 자산임과 동시에 해당 분야의 전문성을 확보하고 있는 연구 인력의 활용 측면에서 매우 큰 타당성을 확보하고 있음
연구개발동향	국 내	최근 산업통상자원부에서 지원하는 조선해양산업핵심 기술 개발과제에서 수행된 “위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발”이 가장 대표적인 사례로 손꼽힐 수 있는데, 본 연구는 빙해용 선박의 구조건전성 관리 시스템 개발을 주 내용으로 한 연구로서, 해빙 분포도에 기반하여 북극항로를 운항하는 빙해 선박의 선수부에 발생 가능한 피로 수명을 예측하고 이를 통해 선박의 일생동안 경험하는 빙하중에 의한 피로 손상도를 정량적으로 예측하는 연구 내용을 포함한다.
	국 외	SAMCoT(Sustainable Arctic Marine and Coastal Technology) 프로젝트는 범 유럽 단위의 산-학-연 공동체로 구성된 연구팀에 의해 수행된 연구활동으로서 해빙에 대한 현장 데이터 수집, 해빙의 기계적 특성에 대한 모델링 기법, 북극 빙해지역에 대한 부유식 및 고정식 해양구조물의 대빙 설계 및 빙해 관리 등에 대한 연구를 집중적으로 수행하였음.

※ 연구개발의 필요성은 구체적으로 기술하시기 바랍니다.

4. 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
4년	5,000	50

5. 기대효과 및 특기사항

- 빙해선박의 최적 운항경로 선정 및 선체 구조건전성 관리 등을 위해서는 선박에 작용하는 빙하중에 대한 예측이 필수적으로 요구되며, 이는 위성 및 다양한 현장 계측을 통해 얻어진 데이터에 절대적으로 의존한다. 위성 데이터와 현장 계측 데이터 간의 상관성의 분석을 위해 인공지능망 등과 같은 AI 기법을 적용할 수 있으며, 추출된 데이터를 통해 파랑 산포도와 유사한 “빙 분포도”를 도출할 수 있다. 또한, 계측된 물리량 및 수치해석 데이터를 DB화 하여 북극해의 해빙 분포에 대한 장기적인 변화 추이 등을 면밀하게 고찰할 수 있으며, 이를 통해 빙해선박의 설계 및 운영에 광범위하게 활용이 가능할 것으로 사료되며, 이는 빙해 선박의 운항에 매우 유용한 정보로 활
--

용될 수 있다.

- 북극해의 해빙에 대한 정보의 획득은 빙해선박의 건조에 있어 전세계적인 경쟁력을 보유하고 있는 국내 조선업체의 기술 경쟁력을 한단계 도약시킬 수 있는 초석이 될 것으로 판단되며, 이는 북극 항로 및 자원 개발에 있어 여타 북극권 국가들에 대비해 기술적인 비교 우위적 지위를 확보할 수 있는 지름길이 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 위성을 통한 해빙 정보의 취득, 취득된 데이터 분석 및 공학적 해석 등의 융합을 통해 빙해 선박의 최적 항로 선정과 구조적 안전성 확보에 매우 유용한 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단됨. 이는 자연과학적 연구가 공학적 응용으로 확대되는 매우 모범적인 사례가 될 수 있을 것으로 여겨진다.

6. 기존의 선행연구

- 유한요소법 등과 같은 수치해석 기법을 활용하여 특정 조건 하의 빙과 충돌하는 구조물에 작용하는 빙하중을 해석하는 기존의 사례 연구가 다양하게 존재함. 이는 평탄빙, 유빙, 빙맥 등과 같은 다양한 형태의 빙과 극지용 선박 및 해양 구조물의 충돌 해석을 다루고 있음
- 선행 연구에서 적용된 빙의 기계적인 특성은 과거 현장 계측 등을 통해 축적된 데이터 혹은 실험실 등에서 제조된 빙의 것을 바탕으로 하고 있어, 향후 실제 선박이 운항하며 조우하게될 빙의 기계적 특성을 대변한다고 보기 어려운 면이 있음. 원격 탐사를 통한 해빙의 실시간 관측과 DB를 통한 기계적 물성치의 도출을 활용한다면 보다 현실적인 빙하중 추정이 가능할 것으로 판단됨.
- 선행 연구는 평탄빙의 두께, 유빙의 분포도 등과 같이 빙하중을 특정지을 수 있는 빙 조건에 대한 가정을 기반으로 하고 있으며, 실제 선박이 경험할 수 있는 다양한 사례를 모두 커버하지 못하는 단점을 지니고 있음. 해석 DB에 기반한 추론기구의 활용한 운항 중에 얻어지는 빙정보를 실시간으로 반영하여 선박 및 해양구조물에 작용하는 빙하중을 추정할 수 있는 장점이 있음.

※ (중요) 기존 관련 국내외 유사 연구사례 분석 및 제안하는 기술아이템과의 차별성 제시

7. 본 연구개발과제의 핵심어(Key word)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	빙하중	수치해석	인공지능	추론기구	빙해수조
영문	Ice load	Numerical simulation	Artificial Intelligence	Inference system	Ice tank

※ 연구목표와 내용을 포괄하는 핵심어(keyword)를 국문 5개, 영문 5개로 작성

8. 연구 추진에 적용될 첨단기술 정보

- 유한요소법(Finite element method) 등과 같은 수치해석 기법은 빙-구조물 충돌 시에 발생하는 물리적 현상을 정밀하게 예측할 수 있음

- 페리다이나믹스(Peridynamics)는 입자에 기반한 수치해석 기법으로 빙-구조물 충돌 시에 발생하는 빙의 취성 파단현상을 효율적으로 모사할 수 있음
- 인공지능에 기반한 추론기구는 선박이 운항중에 경험할 것으로 예상되는 빙하중 정보를 실시간으로 예측할 수 있는 통합 예측 시스템의 기반이 됨
- 빙해수조를 활용한 모형시험은 수치해석을 통해 도출된 빙하중에 대한 정략적 정보를 실험을 통해 검증할 수 있는 중요한 접근법임

9. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성 명	김유일	소속기관명	인하대학교
소속부서	조선해양공학과	직 위	교수
연 락 처	(TEL)01096894914	(FAX)	(E-mail)yooilkim@inha.ac.kr
소속기관주소	인천광역시 미추홀구 인하로100 인하대학교 조선해양공학과		



별첨 5. (기술수요조사)빙해운항 환경분석 (스텔라비전)

기술수요조사서

1. 기술 개요

가. 분야	①인공위성 원격탐사 기술을 활용한 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 기술, ②극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술 중 택 1 [①]		
나. 제안 기술명	SAR 영상 기반 머신러닝 EO 변환을 활용한 극지운항 환경 분석		
다. 기술분류 (별첨 참고)	해양수산 기술분류체계	해양 관측 및 예보(지구과학) - 해양관측 및 감시 - 해양수층 관측 기술	공공() 산업()
			기초(O) 응용() 개발()

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	본 연구개발의 목표는 인공지능 기술을 활용하여 극지를 촬영한 SAR 영상을 광학영상으로 변환하는 기술을 개발하는 것. 이를 통해 바다와 빙봉 등의 극지운항 환경 요소를 더욱 정확하고 효율적으로 분석이 가능함. 또한, 이 기술은 극지운항 선박의 빙해 운항 환경을 이해하고, 이에 따른 위험 요소를 사전에 파악하고 대응할 수 있게 해, 선박의 안전성을 크게 향상시키는데 기여할 것임.
연구개발의 내용	1. SAR 데이터 전처리작업: - 인공위성에서 수집된 SAR 영상 데이터를 전처리. - 이 과정에서 바다, 빙봉 등 극지 환경의 요소들을 정확하게 분석하고 라벨링 작업 실시. - 전처리된 데이터는 후속 과정에서 인공지능 학습에 활용. 2. AI 기반 광학 영상 변환 기술 개발 - 전처리된 SAR 데이터를 기반으로 인공지능을 활용한 광학 영상 변환 기술을 개발 - GenCycle 등의 딥러닝 기반 차원간 변환 알고리즘을 사용해 최적의 극지 SAR 영상을 EO영상으로 변환 할 수 있는 알고리즘 개발 - 이 기술은 복잡한 SAR 영상을 더 직관적으로 이해할 수 있는 광학 영상으로 변환하는 데 사용 3. 데이터 처리 및 분석 - 변환된 EO 영상을 통해 바다와 빙봉 등의 극지운항 환경 요소 분석 - 이 과정에서 선박의 빙해 운항 환경을 파악하고, 빙하의 위치 등을 고려한 운항 환경 지도 제작을 수행

※ 연구개발의 목표 및 내용은 구체적으로 기술하시기 바랍니다.

3. 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발의 필요성		1. 정부지원의 필요성 이 연구개발은 기술적 어려움과 높은 개발비용 등으로 높은 초기 투자 비용을 필요. SAR 영상 데이터를 수집하고 처리하는 데 필요한 고가의 장비와 소프트웨어, 그리고 이를 운용할 수 있는 전문 인력의 비용이 큼. 따라서 정부의 지원이 없으면 성공적인 개발이 되기 어려움. 이 기술이 국내 선박 산업의 안전성 향상과 국가 경제에 기여할 수 있을 것으로 예상 2. 추진의 시급성: 극지운항 환경은 지구 온난화로 인해 빠르게 변화. 이로 인해 안전한 극지운항을 위한 기술 개발의 필요성이 점점 더 커지고 있음 이 기술은 국가의 해양안전 강화와 국제적인 해양관리 수준 향상에 기여할 수 있어 우선시 되어야 함. 3. 해수부 추진의 타당성: 극지운항 환경 분석 기술은 해양안전과 국제해양관리에 직접적으로 기여하는 기술로, 이를 추진하는 것은 해수부의 주요 역할 중 하나.이 기술은 해수부의 '해양안전 강화'와 '해양기술 발전' 등의 상위계획과 부합하며, 해수부의 기존 추진사례인 '해양관측기술 개발'과 '해양 위성 데이터 활용 촉진' 등의 사례와 연관성이 있음
연구개발동향	국 내	국내에서는 주로 과학기술정보통신부와 해양수산부를 중심으로 SAR 영상 분석과 관련된 연구가 이루어지고 있음. 2020년에는 과학기술정보통신부가 주관한 '해양위성센터'에서 해양환경 모니터링을 위한 SAR 영상 분석 기술 개발 프로젝트가 진행. 2021년에는 기상청이 SAR 영상을 활용한 '해양유동체 식별 시스템'을 개발. 이 시스템은 SAR 영상을 활용하여 해양유동체의 위치와 이동경로를 식별하는 기술로, 해양안전에 기여.
	국 외	해외에서는 주로 선진국에서 SAR 영상 분석과 관련한 연구가 활발하게 진행. 특히, 유럽우주국(European Space Agency, ESA)은 극지환경 모니터링을 위한 'CryoSat'과 같은 위성을 발사하며, 이를 위한 SAR 영상 분석 기술 개발에 투자. 또한, 미국의 NASA에서는 극지 빙하의 변화를 모니터링하기 위한 'ICESat' 프로젝트를 진행하면서 SAR 영상의 분석 기술을 활용 중. 이 위성은 SAR 영상을 활용하여 해빙의 두께와 면적을 측정하는 기술로, 극지운항 환경의 이해에 크게 기여. 캐나다의 MDA사는 고해상도 SAR 영상을 제공하는 'Radarsat Constellation Mission'을 성공적으로 진행. 이 프로젝트는 SAR 영상을 활용하여 해양환경과 기후변화를 모니터링하는데 중요한 역할을 수행.

※ 연구개발의 필요성은 구체적으로 기술하시기 바랍니다.

4. 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
3년	6억원	7명

5. 기대효과 및 특기사항

기대효과 이 연구개발을 통해 극지운항 선박의 안전 운항을 위한 새로운 기술을 개발. 특히, SAR 영상으로부터 광학 영상으로의 변환 기술이 개발되면, 선박의 빙해 운항 환경을 보다 정확하게 파악하고 예측할 수 있게 되어, 극지운항 환경의 예측 정확도를 향상시키고, 운항 안전성을 높이는 데 기여할 수 있음. 또한, 국가의 해양 안전 강화와 국제적인 해양관리 수준 향상에 기여할 것으로 예상.
특기사항 이 연구개발은 고도의 전문성을 요구하는 SAR 영상 분석 기술과 인공지능 기술을 결합한 새로운 접근 방식을 제시. 따라서, 이 연구개발이 성공적으로 수행되려면, 해양 환경에 대한 깊은 이해와 전문적인 인공지능 기술 능력이 요구. 따라서 다양한 분야의 전문인력들이 협력이 필요. 또한, 기술의 개발과 활용을 위해서는 충분한 데이터 수집과 처리 능력이 필요해, 이에 대한 준비가 필요.

6. 기존의 선행연구

1. 국내 선행연구 국내에서는 기상청이 2021년에 SAR 영상을 활용한 '해양유동체 식별 시스템'을 개발. 이 시스템은 SAR 영상을 활용하여 해양유동체의 위치와 이동경로를 식별하는 기술로, 해양안전에 크게 기여하. 그러나 이 시스템은 해양유동체의 식별에 초점을 맞추었으며, 극지운항 환경 분석에는 한계. 한편, 한국해양과학기술원(KIOST)은 '해양 위성 데이터 활용 플랫폼 구축' 프로젝트를 통해 위성 영상 데이터를 활용한 해양 환경 분석 기술을 연구. 하지만, 이 연구는 주로 해양 환경의 일반적인 모니터링에 초점을 맞추고 있으며, 극지운항 환경에 대한 구체적인 분석이나 AI 기반 광학 영상 변환 기술에 대한 연구는 아직 부족한 상태.
2. 해외 선행연구 해외에서는 미국의 NASA가 2020년에 SAR 영상을 활용한 '해빙위성(ICESat-2)'을 발사. 이 위성은 SAR 영상을 활용하여 해빙의 두께와 면적을 측정하는 기술로, 극지운항 환경의 이해에 크게 기여. 그러나 이 기술은 해빙의 측정에 초점을 맞추었으며, 선박의 빙해 운항 환경 분석에는 한계.
3. 제안하는 기술아이템과의 차별성 제안하는 기술아이템은 인공지능을 활용하여 극지운항 환경을 분석하는 새로운 접근법을 제시. 기존의 선행연구에서는 SAR 영상을 직접 분석하였지만, 이 연구개발에서는 인공지능을 활용하여 SAR 영상을 광학영상으로 변환하고 이를 분석. 이를 통해 복잡한 SAR 영상의 해석과 분석을 단순화하고 효율화할 수 있음. 또한, 이 기술은 극지운항 환경의 정확한 이해를 통해 선박의 안전성을 향상시키는데 크게 기여 이는 기존의 선행연구들이 다루지 못한 분야로, 극지운항 선박의 빙해 운항 환경을 이해하고, 이에 따른 위험 요소를 사전에 파악하고 대응할 수 있는 차별화된 기술.

따라서, 기존 연구와 비교하여 더욱 구체적이고 실용적인 측면을 갖추고 있음
 ※ (중요) 기존 관련 국내외 유사 연구사례 분석 및 제안하는 기술아이템과의 차별성 제시

7. 본 연구개발과제의 핵심어(Key word)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	합성개구레이더	변환알고리즘	극지	머신러닝	빙붕
영문	Synthetic Aperture Radar	Transformation Algorithm	Polar Region	Machine Learning	Iceberg

※ 연구목표와 내용을 포괄하는 핵심어(keyword)를 국문 5개, 영문 5개로 작성

8. 연구 추진에 적용될 첨단기술 정보

Synthetic Aperture Radar (SAR) 기술 SAR은 고해상도의 지구 표면 이미지를 제공하는 레이더 기술. SAR영상은 극지환경에서 특히 중요하며, 이 연구에서는 SAR 영상을 분석하여 빙해 운항 환경을 파악하는데 활용. AI 기반 광학 영상 변환 기술 이 연구개발에서는 인공지능 기술을 활용하여 SAR 영상을 광학 영상으로 변환하는 기술을 개발. 이를 통해 복잡한 SAR 영상을 더 직관적으로 이해할 수 있게 하여, 극지운항 환경의 예측 정확도를 높이 고자 합니다. 머신 러닝 및 딥 러닝 기술 이 연구개발에서는 머신러닝 및 딥러닝 기술을 활용하여 SAR 영상 데이터를 효과적으로 분석할 예정. 특히, 딥러닝의 Convolutional Neural Network(CNN) 기술은 이미지 분석에 효과적이므로, 이를 활용하 여 SAR 영상에서 유의미한 정보를 추출할 예정.

9. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성 명	이승철	소속기관명	(주)스텔라비전
소속부서	위성활용팀	직 위	대표
연 락 처	(TEL)010-8314-8385	(FAX)050-4488-8385	(E-mail) leesc@stellarvision.kr
소속기관주소	대전 유성구 유성대로1689번길 70 KT대덕2연구센터 3동 402호		

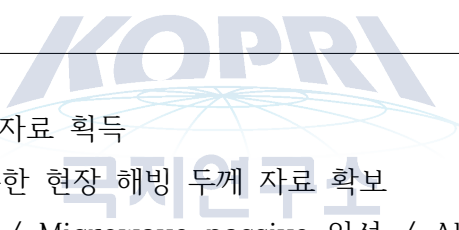
별첨 6. (기술수요조사)빙해운항 환경분석 (서울대)

기술수요조사서

1. 기술 개요

가. 분야	①인공위성 원격탐사 기술을 활용한 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 기술, ②극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술 중 택 1 [①]		
나. 제안 기술명	이종센싱 융합을 통한 고해상도 해빙 두께 모니터링 기술 개발		
다. 기술분류 (별첨 참고)	해양수산 기술분류체계	극지과학-극지해양 기초연구-빙하 연구	공공
			기초 ~ 응용

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	이종센싱 융합을 통한 고해상도 (100 m 급) 해빙 두께 모니터링 기술 개발 (분기별)
연구개발의 내용	 1. 해빙 두께 자료 획득 - ULS를 비롯한 현장 해빙 두께 자료 확보 2. SAR 위성 / Microwave passive 위성 / Altimeter 위성 자료 전처리 기술 개발 - 각 위성별 검보정 적용을 통한 전처리된 데이터 확보 기술 개발 - 위성 데이터 융합을 위한 데이터 격자 통일 기술 개발 3. Altimeter 위성 자료 파라미터화를 통한 Microwave passive 위성 자료 기반 해빙 두께 추정 기술 개발 - Altimeter 데이터 기반 해빙 밀도, 눈의 두께등 모델에 필요한 인풋 파라미터화 - Microwave passive 정보 기반 해빙 두께 추출 모델 구축 - Microwave passive 정보 기반 해빙 두께 산출 4. SAR backscattering 모델링과 딥러닝 기술을 병합한 해빙 두께 고해상도 추정 기술 개발

※ 연구개발의 목표 및 내용은 구체적으로 기술하시기 바랍니다.

3. 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발의 필요성		(정부지원의 필요성) ※ 극지방 해빙의 질량 균형은 전지구 기후 변동성을 설명하는 데에 중요한 역할을 하고 있음 이는, 기후변화에 의한 재난재해가 증가하고 있는 이 시점에서 기후변동성 예측은 정부 예산 투입이 필요한 사항이라 할 수 있음 (추진의 시급성) ※ 이미 해빙의 질량 감소는 현재 진행형이며 특히, 고해상도 위성 기반의 정확한 질량 측정을 통하여 정확한 정보를 확보해야 함 (해수부 추진의 타당성) ※ 극지 해빙은 주변 해양 환경과 직접적으로 상호 작용을 하기 때문에 이 영향과 관련된 해수부에서 진행되어야 함 ※ 또한, 본 기술을 발전시켜 다른 해양 모니터링에 적용할 수 있을 가능성이 있음
연구개발동향	국 내	- 극지연구소에서는 Passive microwave 위성을 통한 해빙 두께 측정 연구가 진행된 바 있음
	국 외	- UC Boulder를 포함한 해외에서는 passive microwave 위성을 비롯한 altimeter 자료를 활용하여 해빙의 두께를 측정하는 연구가 진행됨

※ 연구개발의 필요성은 구체적으로 기술하시기 바랍니다.

4. 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
3년	1,000	5

5. 기대효과 및 특기사항

- 이종센서 위성 데이터 융합을 활용한 고해상도 극지 해빙 두께 측정 정밀 모니터링 시스템 구축 - 빙하 모델링 기술 확보 - 딥러닝 활용 기술 구현

6. 기존의 선행연구

- passive microwave 위성 정보 기반 중/저해상도 극지 해빙 두께 측정연구 수행 - altimeter 기반 중/저해상도 극지 해빙 두께 측정연구 수행
--

※ (중요) 기존 관련 국내외 유사 연구사례 분석 및 제안하는 기술아이템과의 차별성 제시

7. 본 연구개발과제의 핵심어(Key word)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	원격탐사	위성	모델링	해빙	눈
영문	remote sensing	satellite	modelling	sea ice	snow

※ 연구목표와 내용을 포괄하는 핵심어(keyword)를 국문 5개, 영문 5개로 작성

8. 연구 추진에 적용될 첨단기술 정보

- 고해상도 SAR(레이더) 원격탐사 정보 처리 기술 - CNN 계열 딥러닝 활용
--

9. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성 명	최창현	소속기관명	서울대학교 농업생명과학연구원
소속부서	-	직 위	선임연구원
연 락 처	(TEL)010-9373-5891	(FAX)	(E-mail) xyw947@snu.ac.kr
소속기관주소	서울시 관악구 관악로 1 200동		

별첨 7. (기술수요조사)빙해운항 환경분석 (동아대)

기술수요조사서

1. 기술 개요

가. 분야	①인공위성 원격탐사 기술을 활용한 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 기술, ②극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술 중 택 1 [①]		
나. 제안 기술명	다중 인공위성 자료와 클라우드 플랫폼 기반 준실시간 고정밀 해빙 표면특성 관측 및 이동과 변형 분석 기술개발		
다. 기술분류 (별첨 참고)	해양수산 기술분류체계	POS(ND11) - POS01(ND1101/2/3/6/7/8) - POS0101	공공(○) 산업()
			기초() 응용(○) 개발()

2. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발의 목표	다중 인공위성에 탑재된 센서 자료를 복합 활용할 수 있는 클라우드 플랫폼 기반의 분석 기술을 개발하고, 이를 통해 준실시간으로 해빙 이동과 변형에 대한 고해상도 관측 및 분석 시스템을 구현하고자 함
연구개발의 내용	● 우리나라 지구관측 인공위성(예: KOMPSAT-2, 3, 3A, 7, 7A 등) 및 해외의 지구관측 인공위성(Sentinel-2, PlanetScope, SkySat, RapidEye 등)에 탑재된 고해상도(공간해상도 10 m 이하) 광학센서 자료를 복합 활용함으로써 빙해 관측자료 확보 효율을 극대화하고자 함 ▪ 이종 인공위성 센서(multisensor)로부터 획득된 자료의 복합 활용을 위한 데이터 전처리기술(방사해상도 및 공간해상도 일치, 공간 중첩도 평가, 획득 시간차 산정) 개발 수행 ● 자동 분석 및 자료처리 과정에서의 전산자원 효율 극대화를 위한 클라우드 플랫폼 기반의 분석 시스템 구축 ▪ Google Earth Engine (GEE) 기반의 해빙관측 인공위성 다중센서 자료의 자료 선택과 입력, 전처리 수행, 준실시간(near real-time) 분석 및 결과 산출의 전과정 자동화 시스템 구현 ● 고해상도 위성자료 기반의 해빙 표면특성(sea ice surface feature)에 대한 자동 탐지기술 개발 ▪ 고해상도 해빙관측 인공위성 다중센서 자료를 활용하여 해빙의 물성 및 진화에 영향을 미치는 다양한 표면특성(melt pond, pressure ridge 등)

	탐지기술 구현 ● 고해상도 위성자료 기반의 해빙 이동(sea ice motion)과 변형(sea ice deformation)에 대한 자동 분석기술 개발 ▪ 고해상도 해빙관측 인공위성 다중센서 자료 활용 영상블록 간 상관도 평가기법 기반의 해빙 이동(velocity, direction) 및 해빙 변형(shear, divergence)에 대한 정보 산출기법 구현 및 산출결과 가시화 방법 제시
--	---

※ 연구개발의 목표 및 내용은 구체적으로 기술하시기 바랍니다.

3. 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발의 필요성		(정부지원의 필요성) ● 북극해에서의 선박의 효율적 운항은 개별 선박 운영사의 이익뿐만 아니라 국가적 관점에서 무역, 수출입 등 각종 경제적 요소와 긴밀하게 연관됨 ● 우리나라로부터 원격지인 극지 해양에서의 운항 선박의 증가가 예상되는 가운데 운항 안정성 증대와 선박 사고가 발생할 경우 즉각적인 조치를 위해서는 국가적 차원에서 인공위성 원격탐사 기술을 활용한 빙해 환경 분석기술 개발이 필요함 (추진의 시급성) ● 북극 해빙의 빠른 감소로부터 북극해에서의 운항 선박의 증가 및 근시일 내의 본격적인 북극항로의 활용이 예상되기 때문에 선도적으로 빙해 환경 분석기술을 개발하여 국제적으로 기술 우위를 차지하는 것이 필요함 (해수부 추진의 타당성) ● 해양환경 및 선박운항과 관련된 연구개발이기 때문에 해수부에서 추진함이 타당함
연구개발동향	국 내	● 아직 국내에서는 본격적인 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 결과의 응용 및 현장 적용을 위한 연구개발이 이루어진 사례가 보고된 바 없음
	국 외	● 해외에서는 단편적인 북극 해빙 관측, 해빙 동적 특성 분석, 표면 특성 탐지 등의 연구들이 개별적으로 진행되었으며, 이들을 연계 통합한 관측 및 분석 시스템은 매우 제한적임

※ 연구개발의 필요성은 구체적으로 기술하시기 바랍니다.

4. 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
5년	총 500백만원 (100백만원/년)	총 10명

5. 기대효과 및 특기사항

- 제안 과제에서의 해빙 상태 준실시간 평가로부터 향후 빙해 환경의 예측을 위한 모델의 입력자료 제시가 가능함
- 지속적으로 변화하는 빙해 환경에서의 운항 선박을 위한 네비게이션용 탑재 자료의 지속적 생산이 가능함
- 우리나라로부터 원격지인 극지 해양에서의 선박 사고가 발생할 경우 즉각적인 조치를 위한 의사결정 활용 자료의 생산이 가능하기 때문에 국민 안전을 위한 긴급 대응에 사용될 수 있음

6. 기존의 선행연구

- 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 통해 조사된 관련 선행연구 및 제안 과제와의 차별점은 다음과 같음
 - “인공위성 SAR 영상을 이용한 남극 장보고 과학기지 주변 빙하와 해빙 조사(2016~2019)” 연구는 남극 과학기지 주변의 정착해빙에 대해 SAR 위성자료를 이용하여 분석을 수행하여 제안 연구와는 연구지역, 주제 및 활용 자료에 큰 차이가 있음
 - “북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발(2017~2019)” 연구는 북극 해빙의 분석을 위한 위성 종합 관측망 구축에 대한 기초연구를 수행하여 제안 연구에서의 클라우드 기반 자동분석 시스템을 구현하는 응용 연구와는 활용 자료, 세부 주제 및 분석 기법에 큰 차이가 있음
 - “극 지역의 해빙변수 탐지기술 개발 및 기후연구에의 활용(2016~2019)” 연구는 북극해빙의 상태 및 관련 변수 산출을 위해 마이크로파 위성자료를 활용하고 극지역의 해빙면적 및 관련 변수의 변화와 한반도 기후변화와의 연관성을 진단하는 연구로 제안 연구와는 주제, 활용 자료 및 분석 기법에 큰 차이가 있음

※ (중요) 기존 관련 국내외 유사 연구사례 분석 및 제안하는 기술아이템과의 차별성 제시

7. 본 연구개발과제의 핵심어(Key word)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	해빙 이동 및 변형	해빙 표면특성	다중센서	클라우드 플랫폼	준실시간
영문	Sea ice motion and deformation	Sea ice surface feature	Multisensor	Cloud platform	Near real-time

※ 연구목표와 내용을 포괄하는 핵심어(keyword)를 국문 5개, 영문 5개로 작성

8. 연구 추진에 적용될 첨단기술 정보

● 다중 인공위성 광학센서 자료 융복합 활용 ▪ 광학센서는 현재 운용중인 다수의 인공위성에 탑재되어 있지만 구름 등 기상현상으로부터 관측이 제한되는 경우가 발생되기 때문에 이를 극복하고 관측의 가능성을 극대화하기 위해 다중 인공위성 자료의 융복합 활용을 하고자 함 ● 클라우드 플랫폼 활용 준실시간 분석 ▪ 신속한 해빙 정보의 생산으로부터 항해 중인 선박에서 준실시간으로 활용 가능한 네이게이션용 탑재 자료 및 선박 사고가 발생할 경우 즉각적인 조치를 위한 의사결정용 자료 생산의 효율화가 가능함 ● 고해상도 해빙 특성 분석 ▪ 기존 연구에서는 수백 미터에서 수 킬로미터 중저 공간해상도의 위성자료로부터 광역 해빙 현황관측이 주요하였지만 제안 과제에서는 고해상도 위성자료 기반의 해빙 표면특성 탐지와 해빙 이동 및 변형에 대한 분석이 이루어지고, 이로부터 정밀한 빙해 환경의 미래 예측을 위한 모델의 입력자료 제시가 가능함

9. 연구개발사업의 제안자 인적사항

성 명	현창욱	소속기관명	동아대학교
소속부서	환경·에너지공학부 미래에너지공학전공	직 위	조교수
연 락 처	(TEL) 051-200-7790	(FAX) -	(E-mail) cuhyun@donga.ac.kr
소속기관주소	부산광역시 사하구 낙동대로 550번길 37 동아대학교		

별첨 8. (기술수요조사)빙해운항 환경분석 (강원대)

세부과제계획서

○ 제안자 인적사항

성명	한향선	소속기관명	강원대학교
과학기술인 등록번호	1016 9843	직위	조교수
(TEL)	033-250-8589	(E-mail)	hyangsun@kangwon.ac.kr
소속기관주소	강원특별자치도 춘천시 강원대학길1		

1. 기술 개요

가. 분야	① 원격탐사기술 기반 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 기술 (V) ② 극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술 ()		
나. 과제명	인공위성 원격탐사를 활용한 북극해 빙산 탐지 및 경로 예측 기술 개발		
다. 최종목표	다중 위성 원격탐사를 통해 북극해의 빙산을 탐지하고 이동 경로를 예측하는 기술을 개발하여 북극항로의 선박 및 운항 환경 모니터링에 중요 정보를 제공		
라. 주요내용	- 인공위성 영상레이더 자료 분석을 통한 북극 빙산 탐지 및 선박과의 구분 기술 개발 - 다중 위성영상 자료와 기계학습의 융합을 통해 북극 빙산의 이동 경로 예측 기술 개발 - 북극해 빙산 위치와 경로에 대한 공간정보 산출물 생산 및 극지운항 선박 지원을 위한 정보 제공		
마. 기대효과	- 극지운항의 위험 요소인 빙산에 대한 정보 제공을 통해 선박의 북극해 운항 안전성 향상 - 위성 기반 극지운항 선박 탐지의 정밀도 향상 및 선진화된 선박 모니터링 기술 확보 - 국가 고유 자원인 아리랑위성의 활용분야 확대 및 상업화 가능한 기술 개발을 통해 위성 기반의 경제적 효과 창출 기대 - 우리나라의 북극이사회 옵서버 지위 유지 및 북극권 이슈에 대한 국제적 영향력 확대		
바. 기술분류	해양수산 기술분류체계	극지해양과학-극지해양기 초연구-달리 분류되지 않는 극지/해양 기초연구	공공 (V) 산업 ()
			기초 (V)

			응용 () 개발 ()
--	--	--	------------------

2. 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발의 필요성	(정부지원의 필요성) - 북극해 빙산은 크기가 작고 이동속도가 빠른 특성을 가지고 있으므로 고해상도 위성영상이 짧은 주기로 활용되어야 함 - 아리랑위성, 차세대중형위성, 차세대소형위성 등 고해상도 영상 촬영이 가능한 국가 위성 자원을 유기적으로 활용할 필요가 있음 - 민간지원 연구개발로는 국가 고유 자원 위성영상 활용에 한계가 있어 정부지원 기반의 연구수행이 필요함 - 또한 북극해 빙산 탐지 및 경로 예측 연구는 국내뿐만 아니라 세계적으로도 도전적인 과제이므로, 현 단계에서는 정부지원 연구수행을 통한 기초이론 정립 및 위성 기반 기술 개발이 선행되어야 함 (추진의 시급성) - 지구온난화로 인한 북극해빙의 감소는 불가피한 상황이며, 이에 따라 우리나라 경제발전에 기여를 위한 북극항로 개척이 국가 현안으로 대두되고 있음 - 극지운항의 위험요소 중 하나인 빙산은 과거 발생빈도가 낮았고 해빙에 의해 특정 해역에서만 이동하였으나, 지구온난화에 따라 발생빈도가 높아지고 해빙 감소로 인하여 빙산의 이동 경로 또한 확장되는 추세임 - 현재의 북극항로는 빙해운항 기능이 우수한 선박들이 여름철에 특정 국가의 영해를 통과하는 형식으로 운영되고 있으나, 기후변화 추세를 볼 때 북극점에 가까운 공해를 일반 상선이 통과하는 새로운 항로 개척이 가능할 것으로 예상됨 - 따라서 북극해 선박 운항의 안전성에 대한 빙산의 위험도는 빠르게 높아질 수 있어 빙산 탐지와 경로 추적에 대한 연구개발이 시급함 (해수부 추진의 타당성) - 해양수산부는 2021년 12월 중장기 북극 활동 전략(2050 북극 활동 전략)을 발표하고, 북극권 국가와 함께 지속가능한 북극 발전에 동참하기로 함 - 특히 북극항로 활성화에 대비한 정책 방향으로 북극해 선박 안전운항을 위한 다양한 기술개발을 수립하였음
-----------	---

		- 북극해 선박 안전운항을 위한 지능형 북극해 해상교통정보서비스 개발을 추진하고 있으며, 본 계획의 성공적 달성을 위해서는 빙산 탐지와 경로 예측 연구가 필수적으로 수행되어야 함
연구개발동향	국내	- 한국해양과학기술원 부설 극지연구소를 중심으로 인공위성 원격탐사 기반 북극 해빙정보 개발 연구가 활발히 수행되고 있음 - 극지연구소는 또한 남극에서 발생한 대형 빙산(A-68) 진화 과정 모니터링 연구를 수행한 바 있음 - 강원대학교는 마이크로파 원격탐사를 통해 남극 해빙농도 위성정보에 미치는 빙산의 영향도 평가 및 해빙농도 위성정보 개선 연구를 수행하고 있음 - 북극해 빙산의 탐지 및 경로 예측을 위한 국내 연구는 전무함
	국외	- 노르웨이 National Environmental and Remote Sensing Center, 덴마크 National Space Institute of Denmark 등 일부 북극권 국가의 인공위성 원격탐사 연구 선진기관에서 위성영상 기반의 빙산 탐지 및 추적 연구가 수행되고 있음 - 주로 영상레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR)를 활용한 빙산 탐지 기초 기술 개발 연구가 수행되고 있으며, 실제 극지운항을 위한 정보 개발 및 서비스는 이루어지지 않음

3. 연차별 주요사업 내용 및 필요 예산과 인력

연차별 추진 내용		'25	'26	'27	'28	'29
인공위성 원격탐사를 활용한 북극해 빙산 탐지 및 경로 예측 기술 개발	북극해 빙산 탐지 기술 개발	다중위성자료 구축	다중위성자료 구축	다중위성자료 구축	빙산 탐지를 위한 AI 기법 설계	빙산 탐지 AI 기법 성능 개선
		빙산 분광특성 분석	해빙 영역 내 빙산 분광특성 분석	선박 분광특성 분석	빙산 탐지 학습 및 검증 자료 구축	빙산 위치 정보서비스 기술
		빙산 마이크로파 산란 특성 분석	해빙 영역 내 빙산 마이크로파 산란 특성 분석	선박 마이크로파 산란 특성 분석	빙산 탐지를 위한 AI 기법 개발	빙산 크기 정보서비스 기술
		빙산 고도 분석	해빙 영역 내 빙산 고도 분석	빙산과 선박의 분광/산란 특성 차이	빙산 탐지 AI 기법 성능 평가	실시간 빙산 탐지 기술

				분석		
		해빙과 구분되는 빙산 특성 해석	빙산/해빙 구분 기술	빙산/선박 구분 기술	빙산 탐지 기술	빙산 탐지 기술 고도화
		연차별인력 (8명)	연차별인력 (10명)	연차별인력 (10명)	연차별인력 (15명)	연차별인력 (10명)
		연차별예산 (100백만원)	연차별예산 (100백만원)	연차별예산 (100백만원)	연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (100백만원)
	북극해 빙산 경로 예측 기술 개발	해양/기상 환경자료 구축	빙산 경로 탐지 AI 기법 설계	빙산 경로 탐지 AI 기법 성능 개선	빙산 경로 예측 AI 기법 설계	빙산 경로 예측 AI 기법 성능 개선
		빙산 이동 영향인자 조사	빙산 경로 탐지 학습 및 검증 자료 구축	빙산 경로 정보서비스 기술	빙산 경로 예측 학습 및 검증 자료 구축	빙산 경로 예측 정보서비스 기술
		빙산 이동에 대한 해양/기상 환경 영향도 평가	빙산 경로 탐지 AI 기법 개발	빙산 이동속도 정보서비스 기술	빙산 경로 예측 AI 기법 개발	빙산 이동속도 예측 정보서비스 기술
		빙산 이동경로 분석 기술	빙산 경로 탐지 AI 기법 성능 평가	실시간 빙산 경로 탐지 기술	빙산 경로 예측 AI 기법 성능 평가	빙산 경로 예측 기술 고도화
		빙산 이동경로 DB 구축	빙산 경로 탐지 기술	빙산 경로 탐지 기술 고도화	빙산 경로 예측 기술	
		연차별인력 (8명)	연차별인력 (10명)	연차별인력 (10명)	연차별인력 (15명)	연차별인력 (10명)
		연차별예산 (100백만원)	연차별예산 (100백만원)	연차별예산 (100백만원)	연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (100백만원)
	과제의 연차별 총 인력 및	16명	20명	20명	30명	20명

	예산	200백만원	200백만원	200백만원	300백만원	200백만원
	사업 종료 후 성과 확산 방안	- 북극해 빙산의 위치, 크기, 이동 경로 및 속도 정보 현업 서비스 - 북극해 빙산 탐지 및 이동 경로 예측을 위한 원격탐사 기술 논문화 및 특허 출원/등록 - 극지운항 선박 안전 지원을 위한 빙산 공간정보 서비스				

3-1. 연구를 통해 개발될 기술 추가정보

연차별 상세 추진 내용 및 성과와 타기술 연계 방안		
연차	연차별 기술개발 목표(연구비, 억원)	연차별 기술개발 성과
(‘25)	- 북극해 빙산 다중분광 라이브러리 구축 1건 - 북극해 빙산 마이크로파 산란 시계열 DB 구축 1건 - 북극해 빙산 이동경로 분석 기술 1식	- 해빙과 구분되는 빙산의 다중분광 및 마이크로파 산란 특성 정보 구축 - 북극해 빙산 이동경로 분석 기술 확보
(‘26)	- 빙산과 해빙의 구분 알고리즘 1식 - 빙산 이동경로 탐지 AI 알고리즘 1식	- 개빙구역 및 해빙영역 내 빙산의 정밀 탐지 기술 확보 - 빙산 이동경로 탐지 시범기술 확보
(‘27)	- 빙산과 선박의 구분 알고리즘 1식 - 빙산 이동 속도 및 경로 산출 알고리즘 1식	- 빙산의 정밀 탐지 시범기술 확보 - 빙산 이동속도 산출 시범기술 확보 - 빙산 이동경로 산출 기술 구축
(‘28)	- 빙산 탐지 AI 알고리즘 1식 - 빙산 이동 경로 예측 AI 알고리즘 1식	- 빙산 정밀 탐지 기술 구축 - 빙산 이동 경로 예측 시범기술 확보
(‘29)	- 실시간 빙산 탐지 알고리즘 1식 - 빙산 이동 속도 예측 AI 알고리즘 1식	실시간 빙산 위성정보 서비스 기술 구축
타 과제/기술 연관성 및 연구 수행에 필요한 기술요소		
- 본 제안 과제에서 개발하고자 하는 원격탐사 기반 북극해 빙산의 탐지 및 이동 경로 예측 기술은 극지연구소에서 연구개발을 수행 중인 북극해 해빙의 유형 분류 및 이동 지도 산출물 개발과 연관성이 있음 - 극지연구소 수행 과제에서 마이크로파 위성 자료의 분석 기술 개발을 통해 해빙의 유형을		

분류하고 이동 지도를 산출하는데, 해당 산출물 개발에 사용되는 원격탐사학적 방법론이 본 제안 과제의 기술 개발에 연계되어 사용될 수 있음

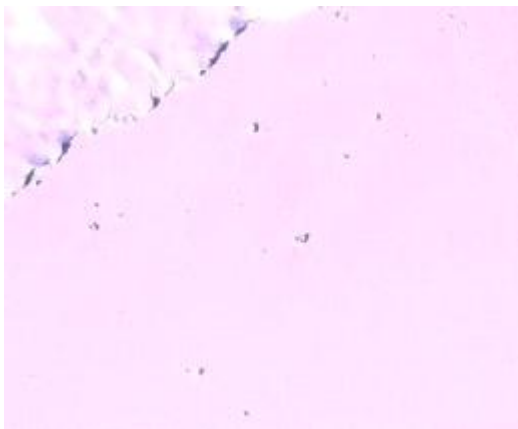
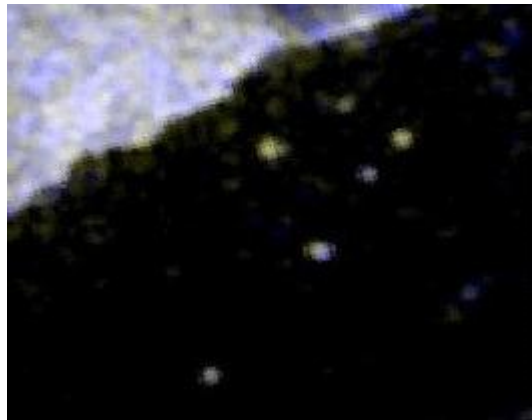
- 마이크로파 원격탐사 자료의 처리 및 분석, 응용 활용력과 위성영상의 분류 및 자연사건의 예측을 위해 사용되는 기계학습 기법이 본 과제 수행에 필요한 기술요소임

3-2. 개발 기술별 기대효과 및 특기사항

개발 기술	기대효과 및 특기사항
위성 기반 북극해 빙산 탐지 기술	• 우리나라의 고해상도 마이크로파 원격탐사 자료 기반의 빙산 정밀 탐지 기술 독자적 구축 가능 • 극지운항 선박의 안전 지원을 위한 빙산 위치 정보 서비스가 가능
위성 기반 북극해 빙산 이동 경로 탐지 및 예측 기술	• 남극과는 다르게 북극해 빙산은 규모가 작아 이동 속도가 빠르고 경로가 매우 복잡함 • 본 기술 개발을 통해 정확도 높은 빙산 이동을 예측하여 극지운항 선박의 안전성 향상에 기여
북극해 빙산과 선박의 구분 기술	• 선박 및 항만 운영 관리를 위해 위성영상 기반 선박 탐지 연구가 활발히 수행 중이며, 선박 탐지의 정확도 향상이 매우 중요한 이슈임 • 북극해 연안의 경우 빙산과 선박은 서로 오탐지 되는 경우가 많아 두 객체의 구분 기술 개발이 필수 • 본 기술 개발을 통해 북극해 선박 및 항만 운영 관리의 효율성이 향상될 것으로 기대

4. 연차별 성과지표 및 목표치 산출 방법

성과지표	구분	'25	'26	'27	'28	'29	측정산식 (또는 측정방법)	자료수집방법 (또는 자료출처)
북극해 빙산 탐지 정확도 (%)	목표	30	50	60	70	80	위도 60도 이상 북극해 전역에 대한 빙산 탐지	고해상도 위성영상으로 부터 빙산 공간정보
	실적	30	50	60	70	80		

							정확도 확인	DB화하고, 이를 검증자료로 활용
	달성도	100	100	100	100	100		
북극해 빙산 경로 예측 정확도 (%)	목표	30	50	60	70	80	위도 60도 이상 북극해 전역에 대한 빙산 경로 예측 정확도 확인	고해상도 위성영상으로 부터 빙산 공간정보 DB화하고, 이를 검증자료로 활용
	실적	30	50	60	70	80		
	달성도	100	100	100	100	100		
과거 수준(모습)					R&D 수행시 개선수준(모습)			
광학영상 및 기존 SAR 영상 활용기술 기반 빙산 탐지 정확도는 대형 빙산에서 70% 이상으로 높은 편이나 소형 빙산에서 false alarm이 90%에 달함					고해상도 SAR 영상 분석기술 개발을 통해 북극해 전역에서 크기에 관계 없이 빙산의 탐지 정확도 80% 이상 달성			
								
<광학영상 기반 빙산 탐지>					<고해상도 SAR 영상 기반 빙산 탐지>			
현재 북극해 빙산의 이동 경로 탐지 및 예측 기술의 개발과 정보서비스는 없는 상황임 남극해의 경우 빙산의 시계열 위치 정보가 저해상도 마이크로파 원격탐사 자료로 제공되며, 여름철의 경우 자료가 없거나					계절에 상관 없이 80% 이상의 정확도를 가지는 북극해 빙산 이동 경로 탐지 및 예측 기술 개발			

정확도가 매우 낮음	
------------	--

5. 사업의 차별성 및 중복성

부처명	사업명	사업내용/규모	사 업 기간	총예산 (백만원)	차별성 및 연계방안
해 양 수 산부	북극 빙권변화 정량 분석을 위한 원격탐사 연구	- 북극 빙권 구성요 소 특성 변화 파 악을 위한 원격탐 사 산출물 개발 - 해빙 두께, 이동, 유형의 3종에 대 해서 시공간 해 상도 대폭 개선 - 굽힘강도, 거칠기 의 2종에 대해 기존에 없던 신 규 산출물 개발	2020 ~ 2022	2,197	- 북극해 빙산에 대한 위성 탐사 기술 및 위성정보 산출물 기술은 개발되지 않음 - 빙산이 아닌 해빙 위성정 보 기술 개발에 초점이 맞춰짐 - 해빙의 탐지 및 분류, 이 동속도 산출물 개발을 위 한 원격탐사학적 방법론 을 본 제안 과제의 빙산 탐지 및 이동경로 예측 기술 개발 연구에 연계할 수 있음
해 양 수 산부	기후변화 이슈 대응 강화를 위한 A-68 빙산 상시 모니터링 시스템 기반 구축 연구	- 빙산의 면적, 이 동, 회전, 두께 등 다양한 빙산 정보를 산출하기 위한 위성자료 처 리기술 분석 및 확보 - 빙산 A-68 위성 모니터링 정보의 대외 서비스 및	2018	30	- 북극이 아닌 남극해의 대 형 빙산인 A-68에 대한 모니터링 기술 개발 연구 가 수행되었음 - 남극 대형 빙산의 진화 과정 모니터링을 위한 원 격탐사 자료 분석 기술이 개발되었음 - 빙산 진화과정 모니터링 기술을 본 과제의 빙산

		홍보를 수행하기 위해 모니터링 정보서비스 구축 - 위성탐사를 통한 대형 빙산 및 주 변 환경 상시 모 니터링 시스템 구축안 설계			이동 경로 예측 기술의 개발에 연계하여 활용할 수 있음
--	--	--	--	--	--------------------------------------

6. 본 연구개발과제의 핵심어(Key word)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	북극해	빙산	빙산 탐지	빙산 이동 경로	북극항로
영문	Arctic Ocean	Iceberg	Iceberg detection	Iceberg drift	Northern Sea Route

7. 연구 적용될 첨단기술 추가정보

북극해 소형 빙산의 정확한 탐지를 위해 고해상도 다중편파 SAR 영상이 활용될 수 있으며, 빙산 탐지 기술 개발에 다양한 편파에 대한 빙산의 산란특성 분석 및 레이더 산란 메커니즘 구분 기술이 개발/적용될 수 있음

빙산의 이동 경로 예측을 위해 다양한 기계학습 기법이 적용될 수 있으며, 특히 자연사건의 예측에 활용되는 최신 기계학습 알고리즘이 활용될 수 있음

[별첨 9] 빙해운항 환경분석 세부과제계획서 (서울대)

세부과제계획서

○ 제안자 인적사항

성명	김덕진	소속기관명	서울대학교
과학기술인 등록번호	1013 7527	직위	교수
(TEL)	02-880-6631	(E-mail)	djkim@snu.ac.kr
소속기관주소	서울시 관악구 관악로 1 서울대학교		

1. 기술 개요

가. 분야	① 원격탐사기술 기반 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 기술 (○) ② 극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술 ()		
나. 과제명	군집 초소형 다종위성을 연계한 극지운항 선박 주변의 실시간 빙해 환경정보 제공 시스템 개발		
다. 최종목표	극지 해역을 운항중인 선박 주변의 빙해 환경정보(해빙지도,해상풍,파고,해류,주변선박 등)를 초소형 다종 군집위성들로부터 신속히 생산하여 제공해 줄 수 있는 시스템 개발		
라. 주요내용	- 전과정 무인 자동으로 운영될 수 있는 클라우드컴퓨팅 기반의 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 구축 - 극지 해역 운항 선박의 예상 항로 예측 시스템 및 연동위성* 촬영요청 시스템 개발 - 연동위성으로부터 해빙지도(분포, 연령, 두께 등) 생산 기술 개발 - 연동위성으로부터 극지해양기상지도(극지 해상풍, 극지 파고, 해류 등) 생산 기술 개발 - 연동위성으로부터 극지환경에 최적화된 선박 탐지·식별 알고리즘 개발 *다종 군집/초소형 위성 별 촬영주기, 실시간 수신 및 접근 가능성, 상용/공용 유무, 생산가능 빙해 환경정보 등을 종합적으로 분석하여 본 과제 시스템과 직접적으로 연동될 수 있는 국내외 위성체계		
마. 기대효과	- 극지 운항 선박의 항로주변 빙해환경을 실시간으로 파악할 수 있어 안전 항해에 기여 - 극지 운항 상선의 예상 도착 시간 확보에 기여		
바. 기술분류	해양수산 기술분류체계	대분류-중분류-소분류	공공 (○) 산업 ()
			기초 () 응용 () 개발 (○)

2. 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발의 필요성	(정부지원의 필요성) - 우주 기술과 극지 연구는 매우 전문화된 분야로서, 국가 간의 높은 기술적 장벽이 존재. 이러한 기술은 공유하기 어렵고 접근하기도 힘들어, 개별 연구자나 작은 팀들에게는 큰 도전이 됨 - 이러한 상황에서 정부 주도의 연구개발이 필수적이며, 이를 통해 고도의 기술개발과 국제 협력을 촉진할 수 있음 (추진의 시급성) - 제4차 우주개발진흥기본계획에 따라 공공서비스인 저궤도 관측위성 활용 공공 서비스 고도화 지속 추진과 관련하여 초소형 해양 위성(4기)을 통한 해양 재해 대응 및 해빙 관측정보 생산 - 제3차 위성정보활용종합계획(안)에 따라 초소형위성을 활용한 극지환경 모니터링 시스템의 개발 필요 (해수부 추진의 타당성) - 극지진흥법 및 해양수산 과기기본계획 전략과제 등에 따라 북극관측 초소형 위성 개발 등 북극 고위도의 해양환경, 해빙, 해저, 수산분야 공동연구 확대
연구개발동향	국내 - 위성·무인기 등 다채널 영상정보를 활용한 연속적 재난상황 인지 및 위험 모니터링 모니터링 기술개발 - 해양경찰청 위성활용 기반 기술 개발 - 클라우드컴퓨팅(AWS)을 활용한 위성기반 재난 모니터링 시스템 - 국내외 위성자료의 실시간 수집체계 개발 (API, FPT, 클라우드컴퓨터 등)
	국외 - Umbra Canopy:Umbra사의 인공위성을 직접 작업할 수 있는 플랫폼으로, 고객들이 자체 서비스를 통해 Umbra의 SAR 위성군에 액세스할 수 있게 해줌. 이 플랫폼은 웹 애플리케이션과 API를 통해 새로운 데이터 수집을 요청하고, 관심 있는 대상의 작업 가능성을 즉시 계산하며, 요청된 작업과 관련 수집의 생명 주기를 실시간으로 추적하고, 작업에 직접 데이터 배송 설정을 구성 및 적용할 수 있게 해줌. - Polar View:유럽 우주국(ESA)과 유럽위원회의 지원을 받아 설립된 Polar View는 극지방에서 위성 기반 정보와 데이터 서비스를 제공. 이 회사는 상업, 정부, 비상 관리 및 어업과 같은 다양한 사용자 부문의 필요를 충족시키기 위해 데이터 및 정보 서비스를 제공. - Space Norway:Space Norway는 Viasat와 협력하여 극지방을 위한 위성을 배치할 계획. 이들 위성은 북극 지역에 지속적인 커버리지를 제공할 예정.

3. 연차별 주요사업 내용 및 필요 예산과 인력

연차별 추진 내용		'25	'26	'27	'28	'29
전과정 무인 자동운행수출입 클라우트 컴퓨팅 기반의 빅데이터 환경정보 시스템 구축 극지 해역 운항 선박의 예상 항로 예측 시스템 및 연동인정 시스템 개발 해빙지도/극지 해양기상지도 생산 기술개발 극지환경에 선박 탐지·식별 알고리즘 개발 과제 의별 연차별 인력 예산 사업 종료 후 성과확산 방안	극지 해역 운항 선박의 예상 항로 예측 시스템 및 연동인정 시스템 개발	시스템 분석	시스템 설계	시스템 개발	시스템 고도화	시스템 운용
		연차별인력 (10명)	연차별인력 (10명)	연차별인력 (10명)	연차별인력 (10명)	연차별인력 (10명)
		연차별예산 (1,000백만원)	연차별예산 (2,000백만원)	연차별예산 (3,000백만원)	연차별예산 (2,000백만원)	연차별예산 (2,000백만원)
	극지 해역 운항 선박의 예상 항로 예측 시스템 및 연동인정 시스템 개발	시스템 분석	시스템 설계	시스템 개발	시스템 고도화	시스템 연동 및 운용
		연차별인력 (5명)	연차별인력 (5명)	연차별인력 (5명)	연차별인력 (5명)	연차별인력 (5명)
		연차별예산 (500백만원)	연차별예산 (500백만원)	연차별예산 (1,000백만원)	연차별예산 (500백만원)	연차별예산 (500백만원)
	해빙지도/극지 해양기상지도 생산 기술개발	연동위성 해빙정보/해상풍속/파고/해류 추출 알고리즘 설계	연동위성 해빙정보/해상풍속/파고/해류 추출 알고리즘 개발	각 알고리즘 별 정확도 평가 시스템 탑재 및 인터페이스개발	알고리즘 고도화	성능평가
		연차별인력 (6명)	연차별인력 (6명)	연차별인력 (6명)	연차별인력 (6명)	연차별인력 (6명)
		연차별예산 (600백만원)	연차별예산 (1,500백만원)	연차별예산 (1,000백만원)	연차별예산 (500백만원)	연차별예산 (500백만원)
	극지환경에 선박 탐지·식별 알고리즘 개발	극지환경 최적 선박탐지·식별 알고리즘 설계	극지환경 최적 선박탐지·식별 알고리즘 개발	각 알고리즘 별 정확도 평가 시스템 탑재 및 인터페이스개발	알고리즘 고도화	성능평가
		연차별인력 (5명)	연차별인력 (5명)	연차별인력 (5명)	연차별인력 (5명)	연차별인력 (5명)
		연차별예산 (600백만원)	연차별예산 (1,500백만원)	연차별예산 (1,000백만원)	연차별예산 (500백만원)	연차별예산 (500백만원)
	과제 의별 연차별 인력 예산	26	26	26	26	26
		2,700	5,500	5,000	3,500	3,500
	사업 종료 후 성과확산 방안	- 해양수산부(극지연구소)로 시스템 이관 및 운영 - 물류 및 선적회사 지원				

3-1. 연구를 통해 개발될 기술 추가정보

연차별 상세 추진 내용 및 성과와 타기술 연계 방안		
연차	연차별 기술개발 목표(연구비, 억원)	연차별 기술개발 성과
('25)	- 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 분석 - 예측시스템 및 촬영요청 시스템 분석 - 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 설계 - 극지환경 선박 탐지·식별 기술 설계	- 분석보고서 2건 - 설계서 5건 - 논문 5편, 특허 5건
('26)	- 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 설계 - 예측시스템 및 촬영요청 시스템 설계 - 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 개발 - 극지환경 선박 탐지·식별 기술 개발	- 설계서 2건 - 알고리즘 소스코드 및 설명서 5건 - 논문 5편, 특허 5건
('27)	- 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 개발 - 예측시스템 및 촬영요청 시스템 개발 - 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 정확도평가 및 시스템 탑재 - 극지환경 선박 탐지·식별 기술 정확도 평가 및 시스템 탑재	- 시스템 2식 - 검증문서 5건 - 논문 5편, 특허 5건
('28)	- 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 고도화 - 예측시스템 및 촬영요청 시스템 고도화 - 해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술 고도화 - 극지환경 선박 탐지·식별 기술 고도화	(고도화)시스템 2식 - 검증문서 5건 - 논문 5편, 특허 5건
('29)	- 전자동 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템 운영 - 예측시스템 및 촬영요청 시스템 운영 - 해빙지도/극지해양기상지도 생산기술 성능평가 - 극지환경 선박 탐지·식별 기술 성능평가	- 운영매뉴얼 2건 - 성능평가서 5건 - 논문 5편, 특허 5건
타 과제/기술 연관성 및 연구 수행에 필요한 기술요소		
인공지능 기술, ICT 기술, ML, 분산처리기술 등		

3-2. 개발 기술별 기대효과 및 특기사항

개발 기술	기대효과 및 특기사항
전과정 무인 자동으로 운영될 수 있는 클라우드컴퓨팅 기반의 빙해환경정보 실시간 제공 서비스(웹) 시스템	• 사람의 개입 없이 운용될 수 있는 시스템으로써, 상시 모니터링 및 신속 처리/서비스 가능 • add-on 기능을 통해 극지해역의 추가분석 기능 탑재 가능 • 타 기능의 시스템으로 확장 가능(예, 재난모니터링)
극지 해역 운항 선박의 예상 항로 예측 시스템 및 연동위성 촬영요청 시스템	• 예측 기반의 위성영상 촬영요청 가능 • 초소형 군집 위성들에 대한 API연계 요청 및 수집 기능 • 연동위성 관리기능을 통해 신규위성 추가 및 작동불능 위성 삭제 가능
해빙지도/극지해양기상지도 생산 기술	• 해빙면적/두께에 대한 시계열적 변화자료 생산을 통해 지구온난화 및 기후변화에 대한 객관적 자료 확보 • 극지 운항 선박에 대한 안전 항해 지수 및 통계적 항로지도 생산 가능
극지환경에 최적화된 선박 탐지·식별 알고리즘	• 극지해역에 고립된 선박 탐지 및 지원 가능 • 극지 운항 선박에 대한 교통관리 위험 선박 탐지 가능 • 해외 선박에 대한 모니터링 가능

4. 연차별 성과지표 및 목표치 산출 방법

성과지표	구분	'23	'24	'25	'26	'27	측정산식 (또는 측정방법)	자료수집방법 (또는 자료출처)
목표 달성도 [기술적] %	목표	정확도 처리시간 하루당 수신영상 수 위성영상 수	정확도 처리시간 하루당 수신영상 수 위성영상 수	정확도 처리시간 하루당 수신영상 수 위성영상 수	정확도 처리시간 하루당 수신영상 수 위성영상 수	정확도 처리시간 하루당 수신영상 수 위성영상 수	F1-score, 초, 개 등	
	실적							
	달성도	70%	80%	90%	100%	100%		
개발목표 달성도 %	목표	분석보고서 2건 설계서 5건 도면 5건 특허 5건	설계서 2건 알고리즘 및 설계서 5건 도면 5건 특허 5건	시스템 2건 검증서 5건 도면 5건 특허 5건	(고도화) 시스템 2건 검증서 5건 도면 5건 특허 5건	운영매뉴 얼 2건 성능평가 서 5건 도면 5건 특허 5건	식, 건	
	실적							
	달성도	100%	100%	100%	100%	100%		
과거 수준(모습)					R&D 수행시 개선수준(모습)			
극지운항 선박에 주변 환경정보를 실시간으로 제공할 수 있는 서비스 부재					극지운항 선박에 주변 환경정보를 실시간으로 제공 가능			

5. 사업의 차별성 및 중복성

부처명	사업명	사업내용/규모	사 업 기간	총예산 (백만원)	차별성 및 연계방안
해 당 사 항 없음					
					

6. 본 연구개발과제의 핵심어(Key word)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	극지운항 선박	빙해 환경정보	클라우드컴퓨팅 기반 시스템	연동위성	실시간 데이터 제공
영문	Polar Navigation Ships	Ice Sea Environmental Information	Cloud Computing Based System	Interlinked Satellites	Real-time Data Provision

7. 연구 적용될 첨단기술 추가정보



위성 전처리 및 ARD 기술
 인공지능 기술
 클라우드컴퓨팅 관리/구성/처리/개발 기술
 MLOps
 쿠버네티스
 분산처리 등

세부과제계획서

○ 제안자 인적사항

성명	이상무	소속기관명	서울대학교
과학기술인 등록번호	1115 7425	직위	교수
(TEL)	02-880-4205	(E-mail)	sangmoolee@snu.ac.kr
소속기관주소	서울특별시 관악구 관악로 1 서울대학교		

1. 기술 개요

가. 분야	① 원격탐사기술 기반 극지운항 선박의 빙해 운항 환경 분석 기술 (O) ② 극지 운항 선박의 빙해 실운항 성능 해석 및 분석 기술 ()
나. 과제명	다중위성자료를 활용한 북극 해빙 정보 산출기술 개발
다. 최종목표	1) LandSat 고해상도 이미지 자료를 활용한 장기간 해빙 점유율 참조표준자료(reference standard data) 산출 2) 인공위성 수동마이크로파 자료를 활용한 해빙 점유율 산출 기술 개발 3) 인공위성 수동마이크로파 자료를 활용한 해빙 두께 산출 기술 개발 4) 인공지능/딥러닝을 이용한 해빙 점유율/두께 단기 예측 기술 개발
라. 주요내용	- 인공위성 자료를 활용하여 북극 해빙의 점유율과 북극 해빙의 두께를 산출하는 기술을 개발한다. - 개발할 기술은 물리적인 접근법과 통계적인 접근법을 모두 활용하여, 물리 원격탐사 모델과 통계 방법의 장점을 모두 살려 통합적인 독자적인 그리고 통합적인 알고리즘을 개발하고자 한다. - 또한, 개발된 알고리즘을 토대로 생산된 해빙 점유율 및 해빙 두께 자료 및 보조자료 등을 활용하여 AI/딥러닝 기반 단기 해빙예측 모형을 개발한다.
마. 기대효과	- 해빙 점유율 및 해빙 두께 산출에 관한 국내 독자적인 기술 확보 - 산출된 해빙 점유율 및 해빙 두께를 토대로 북극 항로 개척 가능 - 단기 해빙 점유율 및 해빙 두께를 예측함으로써 북극 항로 개척에 활용 가능

바. 기술분류	해양수산 기술분류체계	대분류-중분류-소분류	공공 (O) 산업 ()
			기초 () 응용 () 개발 (O)

2. 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발의 필요성		정부지원의 필요성 - 해빙의 점유율과 해빙의 두께는 북극항로의 개척에 필수불가결한 정보이다. 이 두 해빙 변수의 지속적이며, 안정적인 모니터링은 특히 북극항로 운용에 있어 중요하다고 할 수 있다. 현재 미국/일본/유럽 등에서 운용 중인 마이크로파 위성자료의 Level 1B (위성복사자료)는 WMO를 통해 직수신 중이기 때문에 실시간 자료 수집이 가능하지만 해빙점유율 해빙 두께와 같은 Level 2 (위성산출물 자료)는 일주일 혹은 한 달의 시간에 걸쳐 수신된다. 즉, 정부주도의 독자적인 해빙변수 산출기술개발을 통해서 직수신된 인공위성의 Level 1B 자료를 Level 2자료로 변환하는 과정이 있어야 북극항로 개척 시대상에 맞출 수 있을 것이라 판단한다. 추진의 시급성 - 관측 및 기후모델은 2030년 이후에 여름철 북극항로의 개척이 가능할 것으로 모의하고 있다. 따라서, 세계 유수의 극지기관들은 해빙점유율 및 해빙 두께를 모니터링하고 예측하는 기술을 개발하였으며, 현재는 이를 개선하고 있다. 우리나라는 후발주자이기 때문에 시급한 추진이 필요하다. 해수부 추진의 타당성 - 해양수산부 산하의 극지연구소는 1987년 한국해양연구소의 극지연구실로 시작하여 30년 이상 국내 극지연구를 선도해왔다. 해빙탐사가 가능한 쇄빙선을 보유하고 있으며, 해빙 영역의 일점 관측자료를 지속적으로 관측하고 있다. 그 뿐아니라 극지연구소의 원격탐사빙권정보센터에서는 우수한 인력으로 지속적으로 북극 해빙에 대한 원격탐사 연구를 진행해오고 있다. 따라서, 해당 과제는 해양수산부에서 추진하는 것이 타당하다.
		연구개발동향 국내 해빙점유율 산출 기술 개발 - 국내의 해빙점유율 산출기술 개발이 극지연구소를 중심으로 과거 AI/딥러닝 기반으로 진행되어왔다. - 물리기반 산출기술개발 시도는 전무한 상태이다. 해빙두께 산출 기술 개발 - 국내에서는 과거 서울대학교 손병주 교수가 해빙 두께 산출 기술 개발 연구를 이끌었고, 현재는 서울대학교 이상무 교수가 이끄는 위성기상실 협실을 중심으로 물리기반 해빙두께 산출 연구가 진행 중이다. - AI/딥러닝 및 기타 통계기법을 활용한 해빙두께 산출 연구는 극지연구소, 울산과학기술대학교에서 진행되어왔다. 해빙점유율 및 두께 단기에측기술 개발 - 북극 해빙의 점유율에 대한 단기에측기술은 극지연구소와 국립기상과학

	원에서 물리모델기반으로 진행되어왔지만, 예측 정확도는 높지 않은 편이다. • 울산과학기술원에서 AI/딥러닝 기법을 기반으로 해빙의 점유율에 대한 단기예측을 시도하였다. • 해빙두께의 단기예측기술 개발은 아직 국내에서 진행되어오고 있지 않다.
국외	해빙점유율 산출 기술 개발 • 미국: 물리기반 산출기술개발은 현재 NASA에서 개발한 Bootstrap 알고리즘, NASA Team 알고리즘이 National Snow and Ice Data Center (NSIDC)에서 지속적으로 개선 운용 중에 있다. AI/딥러닝 기법 알고리즘은 여러 연구자가 개발한 상태이지만 실제 현업에는 활용되지 않고 있다. • 유럽: 유럽에서는 ESA와 EUMETSAT에서 프로젝트 기반으로 알고리즘이 개발되었으며, 현재 독일의 브레멘 대학의 연구진들이 개발한 ASI 알고리즘이 널리 활용되고 있으며, 이와 별개로 SAF 프로그램으로 모델과 관측자료 기반의 알고리즘을 통한 실시간 해빙점유율을 산출하고 있으나, 모델 동화에 적합한 해빙 점유율이지 모니터링에는 적합하지 않다. • 일본: 일본의 JAXA에서는 미국 NASA에서 개발한 Bootstrap 알고리즘을 기반으로 AMSR2 관측 토대로 실시간 해빙점유율 모니터링을 수행하고 있다. 해빙두께 산출 기술 개발 • 미국에서 운용 중인 ICESat-2와 유럽에서 운용 중인 CryoSat-2 위성 고도계 자료를 활용한 해빙의 두께를 산출하는 기술이 개발된 상태이며, 현재 다양한 민감도 실험을 토대로 산출 기술을 개선하고 있는 추세이다. • 고도계 자료 뿐만아니라 SMOS 등 L-band를 관측하는 수동마이크로파 센서 자료를 이용하여 얇은 단년빙의 해빙 두께를 통계적으로 산출하는 기술이 현업적으로 운용 중이지만, 정확도는 높지 않다고 알려져 있다. • AI/딥러닝 기반은 세계 곳곳에서 개발이 되고 운용되어오고 있지만, 실제로 현업 모니터링 시스템에 적용은 되지 않고 있다. 해빙점유율 및 두께 단기예측기술 개발 • 해빙의 점유율과 두께의 단기예측은 기후모델 기반으로 수행되어오고 있으며, 미국의 CESM2, PIOMAS가 대표적인 물리모델기반 예측 시스템이다. 하지만 지속적인 자료동화가 필요하다는 단점이 있다. 유럽과 일본에서 북극항로 개척 시대에 맞서 자체 해빙 점유율 및 두께 예측 시스템을 개발 중에 있다. AI/딥러닝 방법은 지속적으로 개발 및 개선이 되고 있는 상태이며, 아직 실제 모니터링에 활용되고 있지 않다.

3. 연차별 주요사업 내용 및 필요 예산과 인력

연차별 추진 내용		'25	'26	'27	'28	'29
과제명	세 부 내 용 1	LandSat 전 처리기술 개발 및 해빙 탐지 기술 개발	물리 기반 새 로운 이론에 근거한 해빙 점유율 산출 기술 개발	AI/딥러닝을 이용한 해빙 점유율 산출 기술 개발	해빙 점유율 및 해빙 두께 검증 기술 개 발	해빙 점유율 단기 예측 시 스템 개발
		LandSat 자료 처리 기술	해빙 점유율 산출 기술	AI활용 해빙 점유율 산출 기술	해빙 변수 검증 기술	해빙 점유율 예측 기술
		연차별인력 (3 명)	연차별인력 (3 명)	연차별인력 (3 명)	연차별인력 (3 명)	연차별인력 (3 명)
		연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (150백만원)
	세 부 내 용 2	고해상도 해빙 점유율 데이터 준 실시간 생 산 및 장기 검 증 데이터 생 산	물리 기반 위 성 고도계 활 용 해빙 두께 산출 기술 개 선	AI/딥러닝을 이용한 해빙 두께 산출 기 술 개발	해빙 점유율 및 두께 상시 모니터링 기술 개발	해빙 두께 단 기 예측 시스 템 개발
		준 실시간 해빙 데이터 산출 기술	해빙 두께 산출 기술	AI활용 해빙 두께 산출 기술	해빙 변수 모니터링 기술	해빙 두께 예측 기술
		연차별인력 (3 명)	연차별인력 (3 명)	연차별인력 (3 명)	연차별인력 (3 명)	연차별인력 (3 명)
		연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (150백만원)	연차별예산 (150백만원)
	과 제 의 연 차 별 총 인 력 및 예 산	6 명	6 명	6 명	6 명	6 명
		300백만원	300백만원	300백만원	300백만원	300백만원
	사 업 종 료 후 성 과 확 산 방 안	- 표준과학원과 연계하여 생산된 자료를 참조표준자료로 등록함으로써 국 내 연구자들이 표준 해빙 점유율 및 두께 활용이 가능하게 함 - 다수의 학술 논문 출판을 통한 과학적 업적 홍보 마련 - 해빙 점유율 및 두께 예측 시스템의 현업화				

3-1. 연구를 통해 개발될 기술 추가정보

연차별 상세 추진 내용 및 성과와 타기술 연계 방안		
연차	연차별 기술개발 목표(연구비, 억원)	연차별 기술개발 성과
(‘25)	- LandSat-8&9 자료를 활용한 고해상도 북극 해빙 점유율 산출 기술 개발 - 장기간 (5년 이상) 고해상도 북극 해빙 점유율 자료 산출 (연구비, 3억원)	1) LandSat 자료 전처리 기술 개발 2) 북극 해빙 픽셀 특정을 위한 기술 개발 및 개선 3) 고해상도 해빙점유율 자료 준실시간 확보 가능 4) 중저해상도 해빙점유율 검증 및 신뢰성 부여에 활용 가능
(‘26)	- 인공위성 수동마이크로파 관측을 활용한 물리 기반 중저해상도 해빙 점유율 산출 기술 개발 및 검증 - 인공위성 고도계 관측을 활용한 고해상도 해빙 두께 산출 기술 확보 및 개선 - 장기간 (5년 이상) 고해상도 북극 해빙 두께 자료 산출 (연구비, 3억원)	1) 새로운 이론에 근거한 해빙 점유율 산출 기술 개발 2) 실시간 물리알고리즘 기반 해빙 점유율 자료 확보 가능 3) 이론에 근거한 해빙 두께 산출 기술 개선 4) 원격탐사 자료 기반 해빙 예측 시스템 기초훈련자료 생산
(‘27)	- 인공위성 수동마이크로파 관측을 활용한 딥러닝 기반 해빙 점유율 산출 기술 개발 - 인공위성 수동마이크로파 관측을 활용한 딥러닝 기반 해빙 두께 산출 기술 개발 (연구비, 3억원)	1) AI/딥러닝을 활용한 해빙 점유율 산출 기술 개발 2) 실시간 통계알고리즘 기반 해빙 점유율 자료 확보 가능 3) 실시간 통계알고리즘 기반 해빙 두께 자료 확보 가능
(‘28)	- 딥러닝 기반 해빙 점유율 및 해빙 두께 산출 자료의 검증 - 중저해상도 및 고해상도 해빙 점유율 및 해빙 두께 자료의 상시모니터링 기술 개발 (연구비, 3억원)	1) 개발된 물리 및 AI/딥러닝 기반 해빙 점유율 및 해빙 두께 자료에 신뢰성 부여 2) 해빙점유율 및 두께 상시모니터링 기술 개발
(‘29)	딥러닝 기법을 활용한 단기 북극 해빙 점유율 및 두께 예측 기술 개발 (연구비, 3억원)	1) 단기 해빙 점유율 및 해빙 두께 예측 기술 개발 2) 북극항로 설정에 참조표준 데이터로 활용 가능
타 과제/기술 연관성 및 연구 수행에 필요한 기술요소		

타 과제/기술과의 연관성을 적으며, 연구 수행에 필요한 기술 요소는 아래와 같다.

- (1) LandSat 자료처리 기술
- (2) 인공위성 수동마이크로파 처리 기술
- (3) 인공위성 고도계 자료 처리 기술
- (4) 마이크로파 복사전달 모델링 기술
- (5) AI/딥러닝 활용 기술

3-2. 개발 기술별 기대효과 및 특기사항

개발 기술	기대효과 및 특기사항
LandSat 자료를 활용한 고해상도 해빙 점유율 산출 기술 개발	• 고해상도 해빙 점유율 자료를 확보 가능 • 고해상도 해빙 점유율 자료를 토대로 AI/딥러닝 모델 개발 가능 • 장기간 데이터 생산을 통한 산출 자료에 신뢰성 부여 가능 • 고해상도 해빙 점유율 기후값 산출을 통해 해빙이 지속적으로 열리는 부분 감지 가능
수동마이크로파를 활용한 해빙 점유율 산출 기술 개발	• 위성 수동마이크로파는 하루에 12번 이상 극지역을 지나가기 때문에 시간에 대한 고해상도로 해빙 점유율을 모니터링이 가능하고 북극 항로 개척에 활용 가능
위성 고도계 및 수동마이크로파를 활용한 해빙 두께 산출 기술 개발	• 위성 수동마이크로파는 하루에 12번 이상 극지역을 지나가기 때문에 시간에 대한 고해상도로 북극 해빙 두께 산출 가능 및 북극 항로 개척에 활용 가능
AI/딥러닝을 활용한 단기 해빙 점유율 및 두께 예측 기술 개발	• 기 확보 생산된 위성자료를 토대로 해빙 예측 모델 개발 • 최신의 AI/딥러닝 기법 활용 • 단기 해빙 예측을 통해 북극항로 개척의 수월성 확보

4. 연차별 성과지표 및 목표치 산출 방법

성과지표	구분	'23	'24	'25	'26	'27	측정산식 (또는 측정방법)	자료수집방법 (또는 자료출처)
목표 달성도 [기술적] %	목표	50	50	50	50	50	각 연차별 기술 개발 여부 및 국제학술지 논문 출판 여부	미국 NASA, 일본 JAXA, 유럽 ESA와의 협업을 통한 자료 확보
	실적	50	50	50	50	50		
	달성도	100	100	100	100	100		
개발목표 달성도 %	목표	50	50	50	50	50	각 연차별 기술 개발 여부 및 국제학술지 논문 출판 여부	미국 NASA, 일본 JAXA, 유럽 ESA와의 협업을 통한 자료 확보
	실적	50	50	50	50	50		
	달성도	100	100	100	100	100		
과거 수준(모습)					R&D 수행시 개선수준(모습)			
- 단순 통계적인 기법을 활용한 해빙 점유율 및 두께 산출 기술					- 물리 기반의 해석 가능한 해빙 점유율 및 두께 산출 기술 확보 가능 - 최신의 AI/딥러닝 및 기타 통계 기법들을 물리모델에 접목한 Hybrid 형 기술 확보 가능 - 해빙 점유율 및 농도의 상시 모니터링 가능			
- 물리 모델 기반의 해빙의 점유율의 단기 예측 - 겨울철 해빙에 한계					- 해빙 점유율 뿐 아니라 해빙 두께의 단기 예측을 가능하게 함 - 북극 항로는 여름철에 개척이 가능하기 때문에 여름철 해빙 점유율 및 두께를 단기 예측하는 AI/딥러닝 모델 확보 가능			

5. 사업의 차별성 및 중복성

부처명	사업명	사업내용/규모	사 업 기간	총예산 (백만원)	차별성 및 연계방안
미 래 창 조 과 학 부	극 지역의 해빙 변수 탐지기술 개발 및 기후연 구에의 활용	해빙온도, 상태, 산 출 알고리즘 개발	3년	300	해당 연구의 최종보고서에는 해빙의 온도와 상태 산출에 관련한 내용이 나와 있음. 이 연구를 접목하여 보다 나은 해빙 점유율 및 두께 산출 가능
과 학 기 술 정 보 통신부	다중위성관측을 이용한 북극 적 설깊이 산출과 응용	해빙 위 눈 두께 산 출 알고리즘 개발	2년	180	북극의 적설 깊이는 해빙 두께와 상관성이 높기 때문에 이 연구를 활용하여 해빙 두께 산출기술 개발에 활용할 수 있음

6. 본 연구개발과제의 핵심어(Key word)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	북극 해빙	해빙 점유율	해빙 두께	수동 마이크로파 위성 관측	해빙 예측
영문	Arctic Sea Ice	Sea Ice Concentration	Sea Ice Thickness	Satellite Passive	Sea Ice Prediction

				Microwave Measurements	
--	--	--	--	---------------------------	--

7. 연구 적용될 첨단기술 추가정보

- 연구제안자가 보유하고 있는 LandSat 및 마이크로파 처리 기술
- 연구제안자가 개발한 해빙복사전달모델 사용
- 본 연구실에서 확보한 AI/딥러닝 기술



주 의

1. 이 보고서는 선박해양플랜트연구소에서 수행한 주요 사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 선박해양플랜트연구소에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.