

Letter

## 극지 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발

김현철<sup>1)†</sup> · 한향선<sup>2)</sup> · 현창욱<sup>2)</sup> · 지준화<sup>2)</sup> · 손영선<sup>3)</sup> · 이성재<sup>4)</sup>

### Research on Analytical Technique for Satellite Observstion of the Arctic Sea Ice

Hyun-cheol Kim<sup>1)†</sup> · Hyangsun Han<sup>2)</sup> · Chang-Uk Hyun<sup>2)</sup> ·  
Junhwa Chi<sup>2)</sup> · Young-sun Son<sup>3)</sup> · Sungjae Lee<sup>4)</sup>

**Abstract:** KOPRI (Korea Polar Research Institute) have researhed Arctic sea ice by using satellite remote sensing data since 2017 as a mission of KOPRI. The title of the reseach is “Development of Satellite Observation and Analysis for Arctc sea-ice”. This project has three major aims; 1) development of prototype satellite data archive/manage system for Arctic sea ice monitoring, 2) development of sea ice remote sensing data processing and analysis technique, and 3) development of international satellite observing network for Arcitc. This reseach will give us that 1) deveolpment of sea ice observing system for northern sea route, 2) development of optimal remote sensing data processing technique for sea ice and selected satelite sensors, 3) development of international satellite onbservation network. I hope that this letter of introducton KOPRI satellite program for Arctic will help to understand Arctic remote sensing and will introduce you to step into the Arctic remote sensing, which Iis like a blue ocean of remote sensing.

**Key Words:** Arctc remote sensing, Sea ice, KOMPSAT, KOPRI

**요약:** 온난화에 의한 이상기후의 징후가 직접적으로 감지되고 있는 북극권에 대한 연구 필요성이 사회적으로 강력히 요구되고 있다. 온난화의 추이를 가장 잘 보여주고 있는 해빙의 변화는 인공위성 원격탐사를 이용하여 추적 감시된다. 극지연구소에서 2017년부터 “북극해빙위성 관측을 위한 기술 개발” 연구를 진행하고 있다. 본 연구는 북극 해빙의 특성 정보를 위성자료로부터 추출하기 위한 다양한 접근법을 이용한 연구를 포함하고 있으며, 북극권 개발에 대비한 ‘북극 빙권 종합 위성 관측망’ 구축에 필수적인 국제 공동 연구 협력도 포함하고 있다. 기후변화 연구와 더불어 북극항로 활용에 대한 기초정보를 제공하고 있는 극지연구소의 북극 원격탐사 연구 소개를 통해 국내 원격탐사 전문가들의 관심과 집중을 부탁하고자 한다. 북극연구에 대한 국제 동향과 국내 정책 배경을 소개하고, 극지연구소에서 연구 수행한 빙권 정보, 특히 한국항공우주연구원과 협동연구를 통해 아리랑위성을 활용한 북극 해빙 관측 연구를 소개한다.

Received November 30, 2018; Revised December 12, 2018; Accepted December 13, 2018; Published online December 19, 2018

<sup>1)</sup> 극지연구소 북극해빙예측사업단 책임연구원(Principal Researcher, Unit of Arctic Sea-ice prediction, Korea Polar Research Institute)

<sup>2)</sup> 극지연구소 북극해빙예측사업단 선임연구원(Senior Researcher, Unit of Arctic Sea-ice prediction, Korea Polar Research Institute)

<sup>3)</sup> 한국지질자원연구원 광물자원기술연구팀 선임연구원(Senior Researcher, Department of Mineral Resources, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

<sup>4)</sup> 극지연구소 북극해빙예측사업단 연구원(Researcher, Unit of Arctic Sea-ice prediction, Korea Polar Research Institute)

† Corresponding Author: Hyun-cheol Kim (kimhc@kopri.re.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# 1. 서론

지구 온난화는 세계인의 관심을 받고 있는 기후변화의 중요한 부분이다. 기후변화에 대해 “2016년 세계기상기구 실태보고서”를 2017년 발간하면서 “지구 평균 해수면 온도가 최고 상승폭을 나타낸다. 그리고, 해수면도 지속적으로 상승하고 있으며, 2016년 북극 해빙의 면적은 예년보다 적었다”고 보고했다(WMO: World Meteorological Organization, 2017). 특히 온난화에 의한 극지역 빙하의 감소는 북반구 기상이변과 해수면 상승이라는 현상으로 연결되어, 인간 활동과 직접적인 관련을 가지고 있기 때문에 더욱 심각하고 직접적인 이슈로 전세계의 이목을 끌고 있다. 북극권에 대한 관심은 각국의 정책적인 면에도 반영되고 있다. 한국은 2013년 북극 이사회 연구 옵저버국이 되었으며, 2014년 북극정책 기본계획(Joint Minstry, 2013)을 수립하면서 북극권 기후변화 연구, 북극 항로 개척 등 과학/경제/사회 분야에 북극해 빙권 정보의 필요성을 제시하고 있다. 북극해 해빙의 면적 및 변동은 인공위성 관측을 통해 밝혀지고 있다(NSIDC: Natioanl Snow and Ice Data Center 해빙 정보 전세계 공유). 한국의 아리랑 위성을 포함하여

전세계 각국에서 보유한 북극 관측이 가능한 위성의 숫자가 증가 함에 따라 해빙 관측 시간 최소화와 정밀한 정보 획득이 가능해지고 있다.

우리나라는 지구온난화에 의한 북극해 변화에 대해 극지연구소가 운영하고 있는 쇄빙연구선 아라온호를 활용하여 북극해에서 현장관측을 수행해오고 있으나, 북극해 연안국의 배타적경제수역(EEZ: Exclusive Economic Zone) 밖 공해에서만 연구를 수행할 수 있기 때문에 북극해빙 감소에 따른 북극해 변화를 연구하는데 있어 공간적 제약을 받고 있다. 북극해의 EEZ로 인한 북극해 연구 제약을 벗어나기 위해 각국에서도 인공위성을 활용한 연구에 집중하고 있다. 북극해는 약 1400만 km<sup>2</sup>로 한반도 면적의 60여배에 달하는 광역이기 때문에 미국과 유럽연합 등 각국의 위성을 함께 활용하는 국제 공동 연구가 추진되고 있다. 대표적인 예로 유럽연합에서 추진하고 있는 INTAROS(International Arctic Observn System)라는 국제공동북극관측시스템이 있다. INTAROS는 유럽항공우주국(ESA: Euperan Space Agency)의 Sentinel 위성 시리즈 활용과 현장 관측을 포함하는 유럽연합의 지구관측 프로그램인 코페르니크쿠스 프로그램과 연계하고 있으며, 한국의 극지연구소 원격탐사 연구팀도



Fig. 1. Satellite play a key role in Arctic cryosphere research and application: 1) climate change, 2) northern sea route, and 3) human activity etc.

INTAROS 프로그램에 참여하고 있다. 극지연구소에서 기관과유사업으로 2017년도부터 1단계로 3년간의 연구를 시작한 “북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발” 연구가 한국을 대표하여 INTAROS에서 국제 공동연구 파트너로서 역할을 수행하고 있다. 이 연구는 국제 공동 위성 관측 정보 공유 체계 구축을 통한 북극권 전역의 빙권 정보 확보와 함께 한국의 아리랑 위성을 활용한 북극 해빙 분석/처리 기술을 확보함으로써 북극권 빙권 정보 수요에 대한 한계 극복을 목표로 하고 있다. 이 연구를 통해 한국에서도 국제 사회에서 적극적이고 주도적인 북극권 인공위성 원격탐사 연구가 가능해지고 있다. 본 글은 극지연구소에서 수행하고 있는 “북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발” 연구에 대한 소개와 함께 다가오는 북극권 활용 시대를 대비하기 위한 국내 극지 원격탐사 활성화화를 위한 정보 공유 체계를 구축하는데 기여하는데 목적이 있다(Fig. 1). 북극 인공위성 원격탐사는 북극항로 개발과 이를 이용한 에너지 수송 등 경제 부문에 대한 기여와 함께, 빙권과 동토층 환경 변화에 의한 기후 환경 변화 감시를 통해 북극 원주민의 생활지원 등 인류의 행복한 생활 지원에 중요한 역할을 할 것이다.

## 2. 북극 연구 국내외 동향

### 1) 국외 정책 동향

전 세계, 특히 북극 연안국들은 북극 지역 기후 변화 연구 및 조사에 지속적으로 투자를 증대시키고 있다. 예로, 2013년 5월 미국 정부는 “US National Strategy for the Arctic Region”이라는 북극에 대한 새로운 국가 정책을 발표하였다. 미국은 온난화에 의해 북극 해빙 면적이 지속적으로 감소할 것이라 생각하고, 변화하는 북극 환경하에서 자원 개발을 주도하기 위해 적극적이고 지속적인 과학 조사를 진행한다는 것이다. 이를 위해 미국 주도의 북극 국제 협력 연구를 강화하여, 전 지구 차원의 기후 변화 및 환경 관련 연구에 연구 개발 투자를 확대하여 인프라 구축 및 연구 활동 투자 기회를 증대하고 있다(The White House, 2013). 영국은 캐나다 등 북극권 국가들과 북극 연구 강화를 위해 협력을 증대하고 있다. 특히 북극해 환경 및 전 세계 기후 변화 연구에 투자 비중을 확대하고 있다. 독일은 주도적인 극지 연구

활동을 수행하기 위해 지속적으로 환경 및 지구과학 연구 투자를 확대하고 있는 중이다. 러시아는 북극해 연안 지역 자국 영토에 대한 영유권을 위해 북극 연구 투자 비중을 높이고 있으며, 관련법령을 제정하고 관련된 정책을 수립하고 있다. 북극해 및 결빙 지역 탐사 연구를 확대함은 물론, 북극해 정보를 수집 보존할 수 있는 시스템을 개발 운영 중이다. 중국은 국가 우주개발 계획과 함께 극지연구를 국가전략 투자 사업으로 지정, 지구적 기후변화 및 환경연구에 투자를 확대하고 있다. 북극해 연구 활동을 위한 오퍼저버 자격을 정식으로 획득하여 국제 극지의 해를 계기로 활발한 극지 연구 활동을 전개하고 있다. 특히 쇄빙연구선 설룡호를 이용한 북극해 종합 해양탐사를 활발히 진행하고 있어 동북아 극지 과학 선두 주자가 되기 위하여 많은 투자를 아끼지 않고 있다. 일본은 산학연 북극 연구 공동체 컨소시엄을 문부과학성에서 새롭게 조직함으로써 북극해 중심의 환경 변화 연구에 비중을 확대하고 있다. 또한 국립극지연구소를 중심으로 대규모 종합연구 체계를 구축함으로써 북극해 영유권 및 자원 개발을 위한 사전 연구를 활발히 진행 중이다.

### 2) 국외 북극 위성정보 활용 동향

미국 항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration, <https://www.nasa.gov>)은 NSIDC(National Snow and Ice Data Center, <https://nsidc.org>)와 함께 IceBridge 프로그램을 통해 북극해 연안 및 항로해역 활용을 위한 정밀 해빙 특성을 연구 중이다(<https://icebridge.gsfc.nasa.gov>). NSIDC는 전지구의 눈과 얼음에 대한 종합 정보망을 구축한 센터로 NASA와 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration, <https://www.noaa.org>)와 협업을 통해 빙권에 대한 위성 정보를 전세계에 공급하는 대표적인 기관이다. NSIDC에서는 다양한 위성 자료를 이용하여 빙권에 대한 50종 이상의 정보를 전세계에 제공하고 있다(<https://nsidc.org/data>). 주로 AMSR-E(The Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS), SSMI/SSMIS(The Special Sensor Microwave Imager/The Special Sensor Microwave Imager Sounder)를 이용하여 북극과 남극의 해빙의 분포 및 해빙농도 자료를 제공하고 있으며, 빙권에 대한 다양한 연구 활동과 연계하여 전세계 빙권 정보의 중심 역할을 하

고 있다. 독인은 AWI(Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research: www.awi.de)가 극지 연구를 담당하고 있으며, 웹기반 포탈 정보 시스템인 meereisportal.de를 통해 북극과 남극의 해빙정보를 공유하고 있다. 특히 data.seaiceportal.de에서는 다양한 종류의 해빙 자료 및 정보를 제공하고 있다. AMSR2(The Advanced Microwave Scanning Radiometer 2), AMSR-E, SSMIS 자료를 이용한 남북극 위성 해빙 정보를 제공하고 있으며, CryoSat-2로부터는 북극 해빙의 두께 정보를 제공하고, SMOS(Soil Moisture Ocean Salinity)를 이용해서 남극과 북극의 광역 해빙 두께 자료를 제공하고 있다. 공동연구 체제로 운영 중인 Polar View(polarview.org)는 17개국 80개 이상의 파트너로 구성된 국제 네트워크망을 가지고 있는 극지 위성관측 다국적 컨소시엄이다. 유럽우주국(ESA)과 유럽위원회(EC: European Commission)의 지원 그리고, 캐나다우주국(CSA, Canadian Space Agency)과의 공동연구를 통해 지구환경 모니터링 프로그램으로 시작했다가 2011년 영국에 Polar View Earth Observation Ltd.로 공식 출범했다. Polar View는 해빙, 빙하, 적설 등 극지의 빙권에서 일어나는 변화를 인공위성과 현장 관측을 통해 모니터링하고, 그 결과를 최종 사용자의 요구에 따라 다양한 형태로 제공하고 있다. 참여국은 영국, 캐나다, 독일, 프랑스, 이탈리아, 벨기에, 오스트리아, 미국, 러시아, 에스토니아, 스웨덴, 노르웨이, 핀란드, 덴마크, 아이슬란드, 오스트레일리아, 네팔이다.

### 3) 국내 정책 동향

국내에서는 2013년 북극이사회 영구옵저버 지위 획득을 계기로 대외경제 장관회의에서 의결한 “북극 종합 정책 추진 계획”의 후속 조치를 마련하였다. 이에 2013년 12월 정부 차원에서 처음으로 북극 분야에 대한 정책 기조를 담은 기본 계획인 “북극정책 기본 계획”이 발표된다 (Joint Ministry, 2013) “북극정책 기본계획”의 실천을 통해 북극에서의 과학조사 활동 및 원주민 공동체 지원 등과 같은 옵저버 국가로서의 책무를 수행하여 다가오는 북극권 개발 시대에 대비하기 시작하였다. 2018년 7월에는 “북극정책 기본계획”의 기조를 확장한 “북극활동 진흥 기본 계획”을 수립하여 2018년 부터 2022년 까지 “북극의 미래와 기회를 여는 극지 선도 국가” 라는 비전으로 4대 전략을 마련하여 추진하고 있다. 2017년 극지

연구소의 “북극해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발” 과제 추진의 성과를 반영하여, 아라온호(해상)-아리랑(위성)-관측기(육상)을 연계한 북극해 환경변화 통합 관측 시스템구축으로 북극권 환경 모니터링 강화가 주요 전략으로 채택되어 인공위성 기반의 북극해빙연구의 중요성이 공식화 되었다.

### 4) 국내 북극 위성정보 활용 동향

위성정보 활용분야에서는 2014년 5월 “제1차 위성정보 활용 종합계획”이 관계부처 합동으로 발표 되었다 (Joint Ministry, 2014). 이 종합 계획에서는 “위성정보 3.0 실현”이 주된 목표로 위성정보 보급 활동 통합체계 및 활용 촉진의 기반을 마련하는 것이 주된 목표이다. “위성정보서비스 제공 활성화 촉진”이라는 추진 과제가 마련되어 공공부문 위성정보 활용사업 확대 방안 및 융복합 위성정보서비스 창출 촉진 과제에서 아리랑 위성정보의 활성화 촉진을 강조하고 있다. 하지만, 2017년 극지연구소의 “북극해빙 위성 관측을 위한 분석기술 개발” 과제 전에는 북극에 대해 체계적인 연구가 국내에서는 진행되지 않았다. 극지연구소의 과제는 이러한 국내외적인 이슈에 대해 적극적으로 대처하고 이상기후의 영향에 의한 북극권의 변화를 인공위성으로 감시 분석하는 임무를 수행하여 다가오는 북극권 활용 시대에 대비한 국내 위성탐사 분야의 활동 강화를 목표로 하고 있다.

## 3. 북극해빙 위성관측 연구

극지연구소에서는 본 과제 수행을 통해 북극 해빙의 글로벌 트렌드 영향 분석을 위한 위성종합관측망을 2025년까지 구축하는 것은 목표로 하고 있다. 이를 위해 1) 극지 환경변화 준수시간 모니터링 시스템 개발, 2) 극지 원격탐사사 자료처리/분석기술 개발, 3) 국제 공동 위성관측 네트워크 구축에 대해 2017년부터 연구를 진행하고 있다. 2017년부터 2019년까지 1단계 3년간의 연구를 진행하고 있으며, 본 연구개발 과제의 추진체계는 아래와 같다(Fig. 2).

### 1) 위성정보 수집 관리 시스템(STAR시스템) 구축

극지 빙권 변화 준수시간 모니터링을 위해서는 위성

자료 확보가 우선되어야 한다. 북극 관측을 위한 전용 위성을 보유하고 있지 않기 때문에 NASA, ESA 등 선진 기관에서 무상 공개하고 있는 다양한 종류의 위성자료

를 체계적으로 자동 수집할 필요가 있다. 중저해상도급 이상의 영상레이더, 다중분광/초분광, 해색/해수면 온도 및 고도계 등의 다양한 위성 정보를 체계적이고 자



Fig. 2. Strategy and structure; 1) development of prototype satellite data archive/manage system for Arctic sea ice monitoring, 2) development of sea ice remote sensing data processing and analysis technique, and 3) development of international satellite observing network for Arctic.

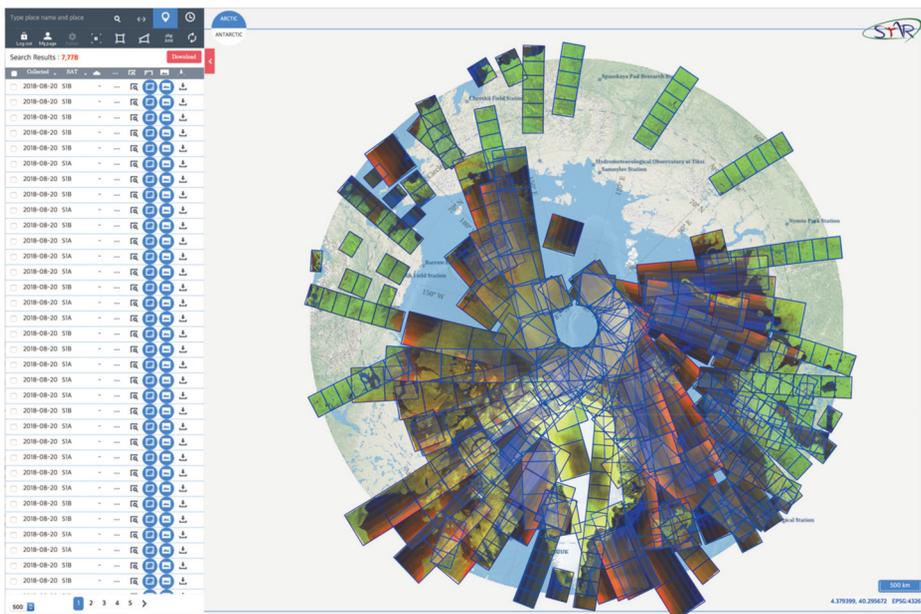


Fig. 3. STAR system; satellite data archive/manage system for Arctic sea ice monitoring.

Table 1. Inventory of archived data by STAR system. Since 2018, Sentinel data archiving started through the STAR system upgrade and sophisticate

Year	2017		2018 * Sentinel-1,2 added	
	item	# of scene	item	# of scene
Data	sea ice concentration	12,659	sea ice concentration	135,958
	sea ice tickness	8,348	sea ice tickness	531
	sea ice type	730	sea ice type	558
	KOMPSAT (2, 3, 3A, 5)	1,593	KOMPSAT (2, 3, 3A, 5)	1,424
			VIIRS sea ice	1,909

동적으로 수집관리하는 시스템을 구축하여, 북극 해빙 및 빙권의 변화를 준실시간으로 모니터링 할 수 있는 위성정보 수집 관리 시스템 구축을 추진 중이다. 또한, 아리랑위성의 북극 활용을 위해 아리랑위성 관측의 상시화를 추진하며 이를 위해 한국항공우주연구원과 극지연구소간 협업체계를 강화하였다. 극지연구소에서는 위성정보 자동수집/관리 및 자료 가시화를 위해 STAR 시스템을 2017년부터 개발하기 시작하여, 현재 성능 안정화를 진행 중이다(Fig. 3). 이는 향후 “북극 위성 관측 자료를 원하는 연구자들이 무상으로 쉽게 자료를 확보하여 연구에 사용할 수 있게 한다”는 극지연구소 원격탐사연구팀의 목표에 따라 웹기반 시스템으로 개발되었다. STAR는 Satellite Remote Sensing Team for Arctic and Antarctic Research의 줄임말로 극지연구소의 원격탐사연구팀의 기본 역할을 강조하기 위해 작명된 이름이다. STAR시스템은 현재 극지연구소 내부망에서만 활용되고 있으며, 2017년 2만 3천건, 2018년 약 14만건의 북극 지역 위성자료를 수집하였다(Table 1). 2018년도부터는 STAR시스템의 성능을 개선하여 Sentinel-1, -2 영상 수집을 시작하여 북극 해빙 영상확보율을 급격히 증가시켰다.

STAR시스템을 이용하여 다양한 종류의 극지 빙권 위성정보를 수집하는 임무는 극지연구소의 “위성탐사·빙권정보 센터”에서 수행되고 있다. 극지연구소에서는 “북극 해빙위성 관측을 위한 분석기술 개발” 연구를 시작하면서 극지 빙권변화를 상시 모니터링하기 위한 “위성탐사·빙권정보 센터”를 2017년 4월부터 공식 운영하기 시작하였다(Fig. 4). 위성탐사·빙권정보 센터는 “북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발”연구의 가장 큰 성과이다. 센터의 기능은 1) 북극권 종합 위성 정보망 구축, 2) 극지 빙권 상시 모니터링, 3) 극지연구 안전 지원, 4) 극지 빙권변화 대국민 홍보, 5) 범부처 협력 융복합 연구 수행이다. 북극권 종합 위성 정보망 구축을 위해 북극권 개발 활용에 필요한 위성정보 자료를 확보하고 있으며, 국제협력을 통해 해외 위성자료를 적극 수집하고 있다. 수집된 자료의 적재 적소 활용을 위해 고품질 위성정보 고속처리 및 서비스 기능 구현을 현실화하는 중이다. 극지빙권 상시 모니터링을 위해서는 북극항로 개발과 활용을 위한 해빙정보 생산이 주요한 기능이다. 또한 해수면 변화 파악 등 빙권 변동 모니터링을 통한 기후 변화 연구도 같이 진행되고 있다. 쇄빙연구선의 안전한 극지 현장조사를 위해 극지 현장조사시



Fig. 4. Satellite Remote Sensing and Cryosphere Information Center of KOPRI.

기에 대해 주변 해빙정보를 준실시간으로 제공하는 역할을 수행하고 있다. 남극과 북극에서 운영 중인 장보고과학기지, 세종과학기지, 다산과학기지에서의 안전한 연구활동 지원을 위해 위성 정보를 제공하고 있다. 위성탐사 빙권 정보센터에는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 북극 남극 해빙변화 모니터링을 위한 대형 비디오월이 설치되어 있으며, 위성자료 자동 수집 및 고속처리를 위한 고성능 컴퓨터 서버시스템이 구축되어 있다.

## 2) 해빙 원격탐사

극지 빙권 변화 모니터링은 온난화에 의한 직접적인 변화를 직관적으로 파악하는 방법이다. “북극 해빙 위성 관측을 위한 분석기술 개발”은 해빙을 포함한 빙권 원격탐사를 위해 다양한 종류의 위성자료를 활용하고 있다. 극지 원격탐사는 구름이 많은 극지의 기상 특성과 해가 뜨지 않는 극야 환경으로 인해 광학을 이용한 원격탐사의 기회가 제한적이다. 기상에 영향을 적게 받는 마이크로웨이브 등 다양한 원격탐사 방법을 이용한 연구를 병행해야만 극지 빙권 연구가 원활히 수행될 수 있다. 영상 레이더 원격탐사는 신뢰도 높은 해빙 정보를 산출하는데 가장 효과적이다.

### (1) 아리랑 5호 해빙농도 평가

해빙 정보는 북극 기후변화 연구에 중요 인자이다. 특히, 기후변화 예측을 위한 기후모델에서 중요한 입력 변수 역할을 한다. 신뢰도 높은 해빙 정보 생산을 위해 아리랑 위성과 국외의 인공위성 원격탐사 자료를 함께 이용하고 있다. 특히, 아리랑 위성은 관측지와 관측시간 선택이 용이하기 때문에 한국 고유의 북극 해빙 원격탐사 기술 개발과 고해상도 해빙 모니터링을 수행하는데 효과적이다. 아리랑 5호(KOMPSAT-5)를 이용한 북극 해빙 탐지 가능성 연구가 극지연구소에서 한국 최초로 수행되었다(Han *et al.*, 2017). 이 연구를 통해 아리랑위성이 한국 고유의 해빙 원격탐사 분야를 개척하게 되었다. 2015년 북극 척치해(Chukchi Sea)에 대해 여름철 해빙의 분포를 아리랑 5호를 이용하여 125 m 공간 해상도로도 식화하였다. 기존 해빙 분포 자료가 수동 마이크로웨이브 25 km 공간해상도의 글로벌 규모(Comiso *et al.*, 1997; Spreen *et al.*, 2008; Steffen and Schweiger, 1991)인 것과는 달리 고해상도의 지역 해빙분포 정보를 산출할 수 있게

되었다(Fig. 5).

극지연구소에서 선행된 연구(Han *et al.*, 2017)에서 확인된 아리랑5호의 해빙정보 추출 결과를 바탕으로 여름철 북극에서 수동마이크로파를 이용하여 추출된 해빙정보의 정확성을 아리랑 5호와 수치모델 자료를 이용하여 평가하였다(Han and Kim, 2018). 1970년대 부터 수동 마이크로파를 이용한 해빙농도(Sea Ice Concentration) 정보가 제공되고 있지만, 여름철은 높은 대기온도에 의해 해빙 용융이 일어나기 때문에 수동마이크로파를 이용한 해빙농도는 정확도가 낮아진다(Comiso *et al.*, 2008; Holland *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2008). 본 연구에서는 해빙농도 산출에 NASA team(NT)(Cavalieri *et al.*, 1984), Bootstrap(BT)(Comiso, 1986), Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility hybrid(OSISAF)(Breivik *et al.*, 2001; Tonboe *et al.*, 2016), Arctic Radiation and Turbulence Interaction Study Sea Ice(ASI)(Spreen *et al.*, 2008) 등 다양한 알고리즘을 이용한 방법에 의해 산출된 결과에 대해, 이들 알고리즘을 고해상도영상 레이더 값을 제공하는 아리랑5호 자료를 이용하여 평가하였다. 평가는 해빙농도가 0-15%인 해역과, 15-80%인 해역으로 나누어 수행하였다(Fig. 6). NT와 ASI 알고리즘에 기반한 해빙농도는 대기 수증기가 많은 환경에서는 과대평가 되었으며, NT와 OSISAF 알고리즘에 기반한 해빙농도는 해빙표면의 용융이 많이 일어날때 과소평가 되는 결과를 확인하였다. BT알고리즘에 기반한 해빙농도는 해빙농도가 높은 해역(15-80%)에서는 과소 평가되는 등 각각의 알고리즘이 가지고 있는 대기 수분 함량에 대한 민감도 차이로 인해 과대 또는 과소 추정 의 결과를 보였다(Han and Kim, 2018). 이와 같이 “북극해빙위성 관측을 위한 분석 기술 개발” 연구에서 아리랑 5호를 이용한 해빙 연구를 국내 최초 시도하여 의미 있는 연구 결과들을 생산하였으며, 여름철과 겨울철 북극과 남극의 해빙역에서 현장조사를 수행하는 쇄빙연구선 아라온호의 안전한 항 및 해빙연구를 위한 해빙 위치 파악을 위해 아리랑 5호 영상을 한국항공우주연구원과 협업을 통해 준실시간 제공하였다(Fig. 7). 현재 아리랑 5호의 영상을 극지 현장조사를 수행하는 쇄빙연구선에 상시 자동 제공하는 기술을 개발 중이다.

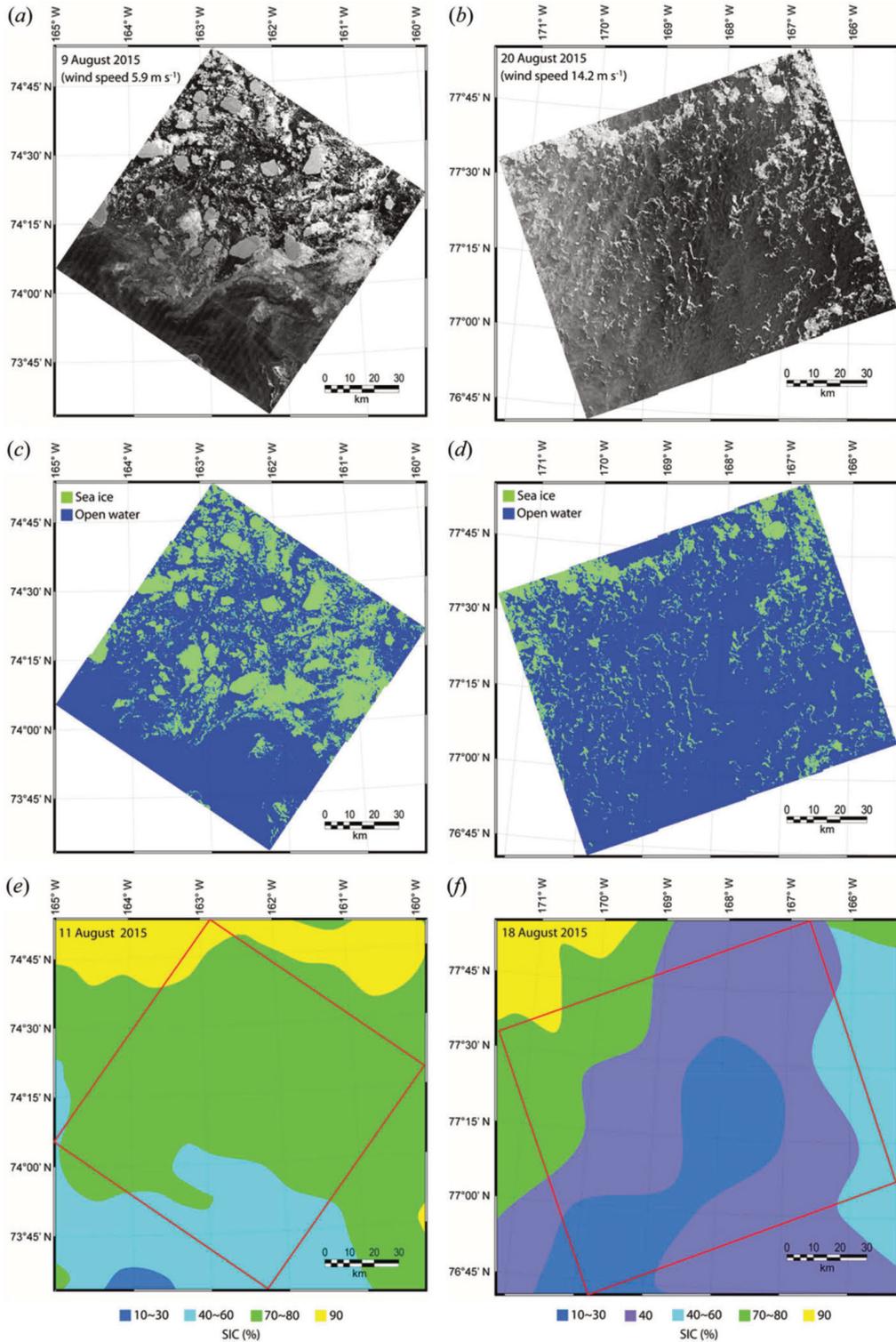


Fig. 5. (a), (b) Example of KOMPSAT-5 EW SAR images with different wind conditions. (c), (d) Sea ice maps generated by the RF model and (e), (f) sea ice concentration of the AARI ice charts corresponding to (a) and (b), respectively. Red box in (e) and (f) represents the SAR coverage (Han *et al.*, 2017).

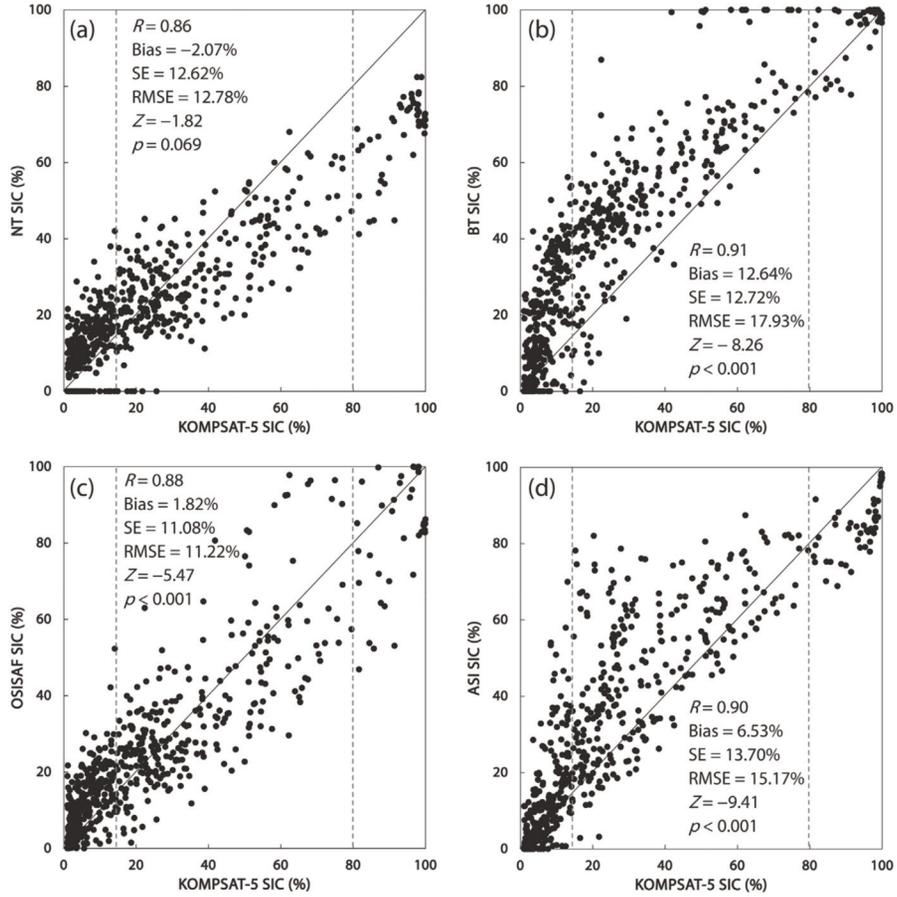


Fig. 6. Comparisons of SIC values estimated from KOMPSAT-5 with those from the algorithms (a) NT, (b) BT, (c) OSISAF, and (d) ASI. The vertical dotted lines in each scatter plot correspond to KOMPSAT-5 SIC values of 15% and 80%, respectively (Han and Kim, 2018).

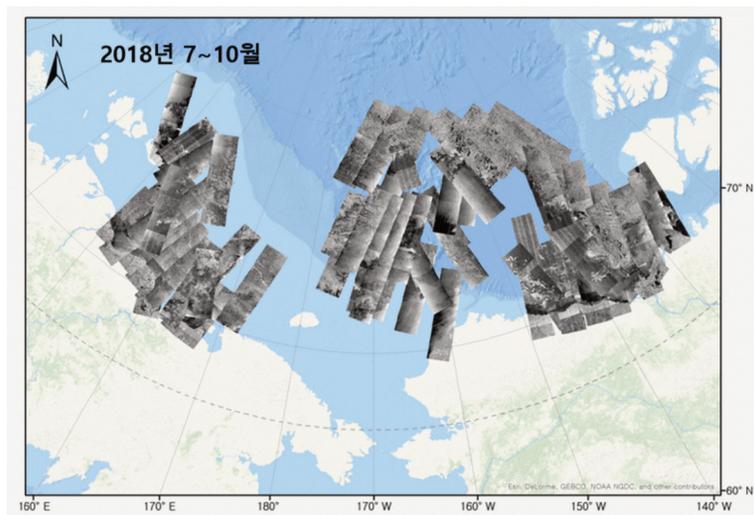


Fig. 7. Kompsat-5 sea ice monitoring during the Korean icebreaker research vessel (IBRV) Araon expedition on summer Arctic of 2018.

(2) 아리랑2, 3호 해빙이동 감지

광학 위성인 아리랑 2, 3호를 이용하여 해빙 이동에 대한 연구도 수행되었다(Hyun and Kim, 2017). 광학 위성은 영상레이더 위성보다 직관적인 결과물을 제공하기 때문에 해빙연구에 효과적이지만, 북극의 경우 구름과 긴시간 해가 뜨지 않는 극야로 인해 그 효용성이 떨어진다. 하지만 영상 획득이 가능하다면 효과적인 연구 수행이 가능하기 때문에 해빙연구 수행할 때마다 아리랑 5호와 함께 2호과 3호 촬영도 항공우주연구원의 지원을 받아 같이 수행되었다. Hyun and Kim(2017)의 연구는 2014년 8월 14-15일 간 수행된 국제 공동 북극 해빙 연구에서 수행되었다. 해빙의 이동을 추적하기 위해 해빙 조각 위에 미국 우즈홀 연구팀이 설치한 Ice-Tethered Profiler 80(ITP80)로부터 위치 정보를 연속 수집하여 아리랑 2, 3호 영상과 함께 이동성을 비교하였다(Fig. 8). ITP80의 위치 정보를 이용하여 측정된 해빙 이동 거리의 평균 제곱근 오차(RMSE)는 약 58-61 m로 평가되었다. 기존 중/저해상도 마이크로웨이브 기반 해빙의 이동 속도 계산보다 정확도가 개선된 결과를 확보하였다(Hyun and Kim, 2017).

(3) 고해상도 해빙표면 온도

해빙표면의 온도는 해빙의 성장 및 소멸 시 대기과 해양사이 열교환을 조절하는 역할을 한다(Murray and Simmonds, 1995). 일반적으로 연안 해빙의 변화는 위성으로부터 추출한 해빙표면 온도를 이용한다(Hirano *et al.*, 2016). 기존 해빙표면 온도 정보는 공간 해상도 약 1 km로 광역에 대해 MODIS(The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)로부터 생성되고 있으며, AVHRR(The Advanced Very High Resolution Radiometer)로부터 약 1.09 km, 그리고 VIIRS(The Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)로부터 약 750 m 공간해상도로 산출된다. 이는 북극권 전체에 대한 광역 해빙표면 온도 산출에 중점을 두어 기후예측 모델에 입력변수로 사용되고 있다(Serreze and Stroeve, 2015). 하지만, 연안역에서 해빙이 대기과 열교환에 기여하는 정도를 관측하기 위해서는 1 Km급의 해빙표면 온도는 공간 해상도는 너무 낮아 정확한 추정에 입력치로 활용되는 위성자료의 기술적 제한으로 남아있다. 이를 개선하기 위해 Son *et al.*(2018)은 ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflecion Radiometer)의 열적외선 영상을 이용하여 90 m 공간해상도의 해빙표면 온도(Ice Surface

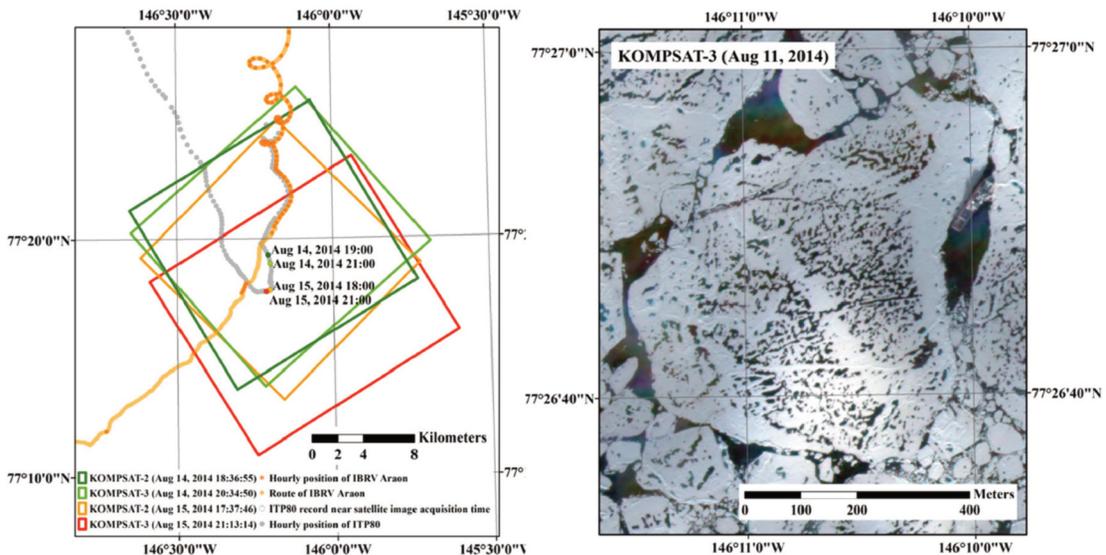


Fig. 8. Overview of satellite image acquisition and ITP80 buoy deployment. (a) schematic placements of satellite images used to measure sea ice motion and deformation, and synoptic trajectory of the ITP80 and (b) a view of the ice floe where the ITP80 was deployed from the Korean icebreaker research vessel (IBRV) Araon, captured by the KOMPSAT-3 satellite on 11 August 2014 (Hyun and Kim, 2017).

Temperature, IST)를 산출하는데 성공하였다. 공간해상도 1 km급의 MODIS로부터 추출된 해빙표면 온도(MOD29)를 참값으로 가정하고, ASTER(The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)의 밝기 온도(Bright Temperature, BT)를 사용하여 다중 채널 회귀 계수를 계산하였다. 알래스카 연안에서 획득된 ASTERT 자료의 채널10(BT10)에서 채널14(BT14)까

지 5채널 회귀 계수를 사용하였을때 RMSE는 0.746 K 정도였으며, 채널13(BT13)과 채널14(BT14)의 2 채널 회귀 계수를 사용할 경우 0.497 K의 RMSE 를로 5개의 채널을 사용할때 보다 개선된 결과를 보였다. ASTER의 채널13(BT13)과 채널14(BT14)의 2채널을 사용한 회귀 모델은 알래스카 이외의 고위도에서도 좋은 관계를 나타내어(Fig. 9), 2채널을 이용한 회귀식 모델이 북극 해

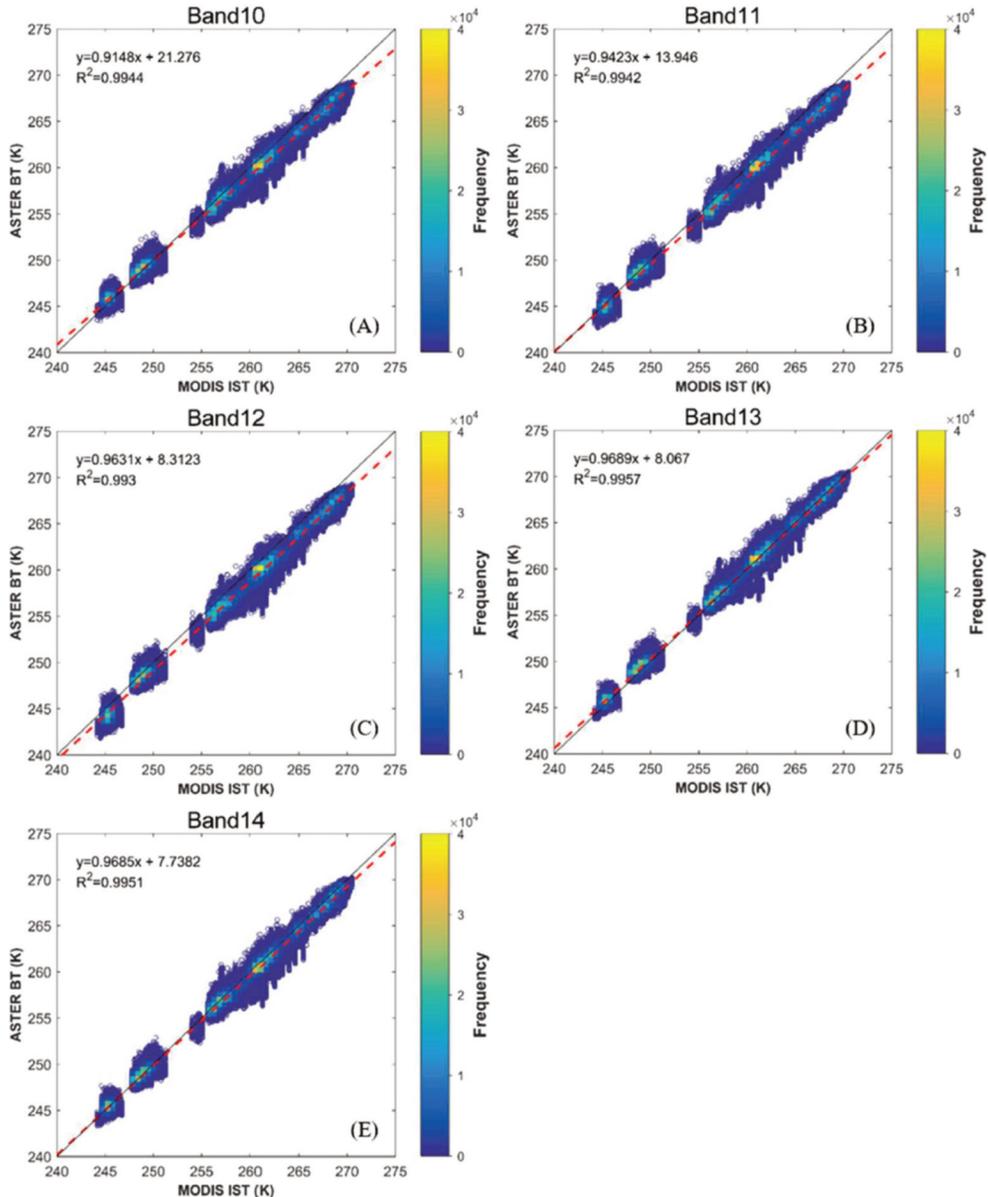


Fig. 9. Scatter plots of MODIS IST versus ASTER brightness temperature for (A) band 10 through to (E) band 14 ( $n = 7938 \times 121$ ). The solid line is the 1:1 line. The dashed red line is the best-fit line (Son *et al.*, 2018).

빙 표면 온도 산출에 최적인 모델로 평가되었다(Son *et al.*, 2018). Fig. 10과 같이 ASTER 에서 추출한 90 m 해상도의 고해상 해빙표면 온도는 북극 연안에 존재하는 고착빙과 연안해빙의 표면에서 일어나는 열교환의 정보를 추정하는데 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

(4) 다양한 위성을 이용한 북극 해빙 및 해양 연구  
 앞에서 소개한 연구 외에 딥러닝과 기계학습을 이용한 위성해빙 농도예측 연구(Chi and Kim, 2017), 북극의 해양 생태계 평가를 위한 해색알고리즘 개선연구(Son and Kim, 2018) CryoSat-2를 이용한 해빙의 갈라짐(Lead) 감지 알고리즘 개발 연구(Lee *et al.*, 2017) 등을 “북극 해

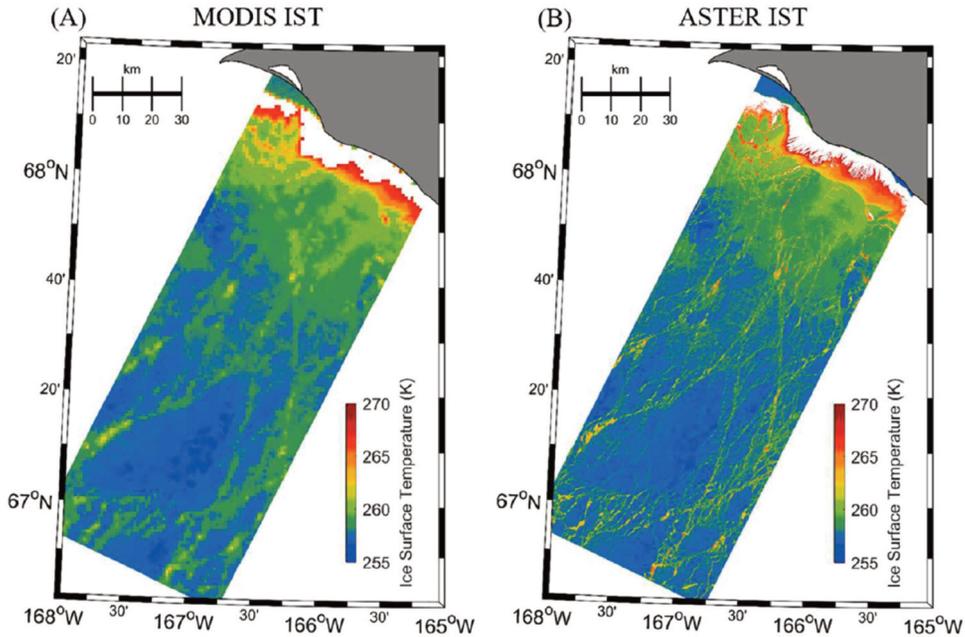


Fig. 10. (A) MODIS IST image and (B) ASTER IST images near Red Dog Dock, Alaska, USA. Thick ice or wetted ice types near the coast or in crevices had a higher temperature (Son *et al.*, 2018).



Fig. 11. International and domestic collaboration on KOPRI Arctic remote sensing program.

빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발”연구에서 수행 완료 하였다. 원격탐사를 이용한 북극 해빙 및 해양 연구의 시작이 본 과제로부터 진행 되었으며, Fig. 11과 같은 산학연 협동연구를 통해 지속적인 협동연구가 진행 중이다. 또한, 극지 원격탐사에 대한 국내 연구자의 관심과 노력 확대에 본 연구 과제가 기여하고 있다.

(5) 북극 해빙 위성 국제 공동 관측망 구축

극지 위성탐사에서 가장 필요한 것이 극지관측 위성을 보유한 기관과의 협동연구 및 극지 위성원격탐사 연구를 수행하는 각국의 연구기관과 함께 공동연구를 수행하는 것이다. 한국은 북극 원격탐사를 2017년부터 시작한 후발 주자이다. 한국항공우주연구원과의 체계적인 협력으로 아리랑위성의 북극 활용성을 높이고 있다. 하지만, 북극 원격탐사 연구에서 한국보다 수십년 앞선 기관과의 격차를 줄이기 위해서는 위성원격탐사 선진

기관과의 협력도 중요하고, 또한 각 국이 보유한 위성 자료의 확보가 필수적이다. 극지연구소에서는 본 과제의 수행을 통해 현재 북극 해빙분야에서 선도적인 역할을 하고 있는 미국의 NSIDC(National Snow and Ice Data Center)와 상호 양해각서를 2017년 교환하고, 국제연구를 공동 수행하고 있다. 또한 북극에 대한 연구분야에서 최고의 성과를 내고 있는 미국알래스카대학의 국제북극연구센터(IARC, International Arctic Research Center)와도 2017년 상호 양해각서 교환을 통해 구체적인 북극 해빙 연구 협력을 진행하고 있다. 매년 젊은 연구원 2-3명이 미국 국제북극연구센터를 방문하여 국제공동 현장 조사 수행 및 공동연구를 진행하고 있다. 쇠빙연구선 아라온호를 이용한 북극해빙 공동연구가 2017년와 2018년 여름철 약 1개월 정도 진행되었으며, 노르웨이, 미국 등 북극 원격탐사분야 전문기관이 같이 참여하는 국제공



Fig. 12. INTAROS (Interantional Arctic Observing System) partners. KOPRI play a role as a main Asian member since 2017.

동연구를 수행하고 있다. 유럽연합에서는 INTAROS (국제 북극 종합 관측 시스템)을 노르웨이가 주관하여 진행하고 있으며, 한국의 “북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발”과제가 2017년부터 공식 파트너로 참여하고 있다(Fig. 12). 또한, 위성을 이용한 해빙정보 추출은 북극 현장의 해빙을 직접 관측하는 현장 조사가 뒷받침이 되어야 신뢰도 높은 해빙정보를 위성으로 추출할 수 있기 때문에 이를 위해 러시아와 공동연구를 수행하고 있다. Fig. 13과 같이 러시아의 랩티프해(Laptev Sea; Fig 13(b))에서 러시아 주도로 국제공동 관측을 수행하고 있는 정지관측점에서 Upward Looking Sonar(Fig. 13(a))를 이용한 해빙 두께의 시계열 자료를 공동 활용하여 인공위성으로부터 신뢰도 높은 해빙 두께를 산출할 수 있는 알고리즘을 개발 중이다.

한국은 북극 이사회 옵저버 지위를 가진 국가로 최근 중요한 이슈로 떠오르는 북극권에 접근이 수월하지 않다. 그러므로 국제 협력과 국제 사회 기여를 통해 북극 연구의 수월성을 높이기 위해 극지연구소에서 수행하고 있는 본 과제가 국내 북극연구를 주도하여 많은 국내 연구자가 함께 참여할 수 있도록 노력하고 있다.

### 4. 제언

극지는 이제 한국에서 먼곳이 아니다. 원격탐사가 극지를 가깝게 하고 있다. 해빙변화를 인공위성 관측을 통해 실험실에서 확인할 수 있기 때문이다. 이상 기후 등 우리가 일상에서 겪고 있는 현상의 원인 중 하나가 발생하는 극지, 특히 북극에서 일어나는 해빙 감소 등 온난화에 의한 영향이 극지에서 떨어져 있는 한반도까지 어떤 영향을 주는지에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한, 북극권은 향후 국제 경제에 많은 영향을 줄 것이다. 러시아의 에너지 수출 및 북극항로를 이용한 선박들의 경제적인 운송 등 북극권 개발에 대비한 준비가 절실히 필요하다. 인공위성 원격탐사는 북극에 대한 연구에 가장 중요한 역할을 하고 있다. 세계 각국이 북극 빙권 정보를 생산하고 있고, 매년 북극 해빙에 대한 정보가 갱신되고 있다는 보고를 인공위성자료를 이용해서 하고 있다. 국내 원격탐사분야 전문가 및 새로이 원격탐사 연구에 입문하는 젊은 학생들에게 극지원격탐사는 중요한 기회를 제공할 것이다. 극지연구소에서 수행하고 있는 “북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발”연구를 소개함으로써 극지원격탐사에 대한 필요성 및 발전 가능성을 제시하였다. 또한 북극원격탐사 연구에 많은 국내 연구

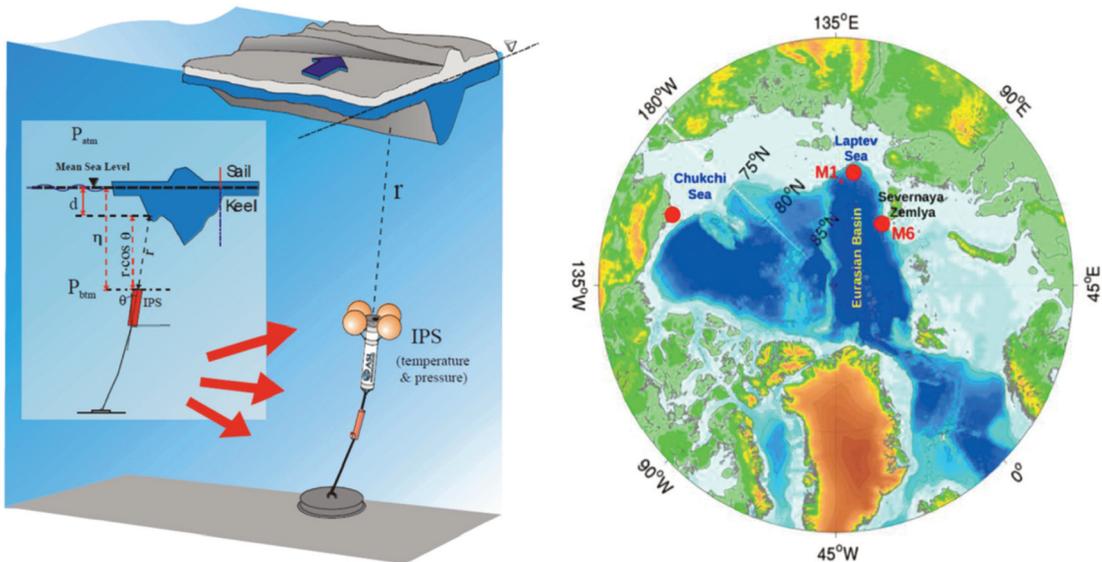


Fig. 13. (a) Schematic of an acoustic Upper Looking Sonar utilized for measuring the sea ice draft. (b) Map showing locations of the moorings with Upward Looking Sonar records in the eastern Eurasian Basin of the Arctic Ocean and in the Chukchi Sea.

자의 관심을 기대한다. 아리랑 위성을 활용한 극지 빙권 연구는 후발 주자로 머물지 않을 수 있는 기회를 제공하고 있다. 극지를 집중 관측할 수 있는 한국의 위성이 준비 된다면, 현재의 기술보다 더 발전되고, 더 효과적으로 사용될 수 있을 것이다. 한국에서 운용 예정 중인 극궤도 위성들에 극지관측이 가능한 탑재체가 실린다면, 원격탐사를 통해 다가오는 극지 시대를 한국 주도의 연구 현장으로 만들 수 있을 것이다. 특히 북극항로와 관련한 정밀 해빙 정보를 한국의 위성을 이용하여 준 실시간 제공 할 수 있는 서비스가 가능할 것이다. 극지 전용 관측 탑재체가 하루 속히 마련되길 기대한다.

## 사 사

본 연구는 극지연구소의 북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발(PE18120) 연구과제의 지원으로 수행되었습니다. 본 연구에 소개된 연구를 공동 수행한 공동 연구자들과 극지연구소 원격탐사 연구팀에 다시 한번 감사를 전합니다. 특히, 국제사회의 관심을 가질 수 있는 우수한 연구결과를 본 연구에서 생산하는데 절대적으로 기여한 항공우주연구원의 협력에 감사드립니다.

## References

- Breivik, L.A., S. Eastwood, Ø. Godøy, H. Schyberg, S. Andersen, and R. Tonboe, 2001. Sea Ice Products for EUMETSAT Satellite Application Facility, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27(5): 403-410.
- Cavalieri, D.J., P. Gloersen, and W.J. Campbell, 1984. Determination of sea ice parameters with the NIMBUS 7 SMMR, *JGR Atmospheres*, 89(D4): 5355-5369.
- Chi, J. and H.-C. Kim, 2017. A fully data-driven method for predicting Antarctic sea ice concentrations using temporal mixture analysis and an autoregressive model, *Remote Sensing Letters*, 8(2): 106-115.
- Comiso, J.C., 1986. Characteristics of Arctic winter sea ice from satellite multispectral microwave observations, *JGR Oceans*, 91(C1): 975-994.
- Comiso, J.C., D.J. Cavalieri, C.L. Parkinson, and P. Gloersen, 1997. Passive microwave algorithms for sea ice concentration: A comparison of two techniques, *Remote Sensing of Environment*, 60(3): 357-384.
- Comiso, J.C., C.L. Parkinson, R. Gersten, and L. Stock, 2008. Accelerated decline in the Arctic sea ice cover, *Geophysical Research Letters*, 35: L01703, doi:10.1029/2007GL031972.
- Han, H., S.-H. Hong, H.-C. Kim, T.-B. Chae, and H.-J. Choi, 2017. A study of the feasibility of using KOMPSAT-5 SAR data to map sea ice in the Chukchi Sea in late summer, *Remote Sensing Letters*, 8(5): 468-477.
- Han, H. and H.-C. Kim, 2018. Evaluation of summer passive microwave sea ice concentrations in the Chukchi Sea based on KOMPSAT-5 SAR and numerical weather prediction data, *Remote Sensing of Environment*, 209: 343-362.
- Hirano, D., Y. Fukamachi, E. Watanabe, K. I. Ohshima, K. Iwamoto, A. R. Mahoney, H. Eicken, D. Simizu, and T. Tamura, 2016. A wind-driven, hybrid latent and sensible heat coastal polynya off Barrow, Alaska, *JGR Oceans*, 121(1): 980-997.
- Holland, M.M., C.M. Bitz, and B. Tremblay, 2006. Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice, *Geophysical Research Letters*, 33(23): 1-5.
- Hyun, C.-U. and H.-C. Kim, 2017. A Feasibility Study of Sea Ice Motion and Deformation Measurements Using Multi-Sensor High-Resolution Optical Satellite Images, *Remote Sensing*, 9(9): 930.
- Joint Ministry, 2013. *Arctic Policies Basic Plan*, Joint Ministry, Korea.
- Joint Ministry, 2014. *1st Comprehensive Plan of Utilizing Satellite Information*, Joint Ministry, Korea.
- Lee, S., H.-C. Kim, and J. Im, 2017. Arctic lead detection

- using a waveform mixture algorithm from CryoSat-2 data, *The Cryosphere*, 2017: 1-21.
- Murray, R.J. and I. Simmonds, 1995. Responses of climate and cyclones to reductions in Arctic winter sea ice, *JGR Oceans*, 100(C3): 4791-4806.
- Serreze, M.C. and J. Stroeve, 2015. Arctic sea ice trends, variability and implications for seasonal ice forecasting, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 373(2045): 20140159.
- Son, Y.-S. and H.-C. Kim, 2018. Empirical ocean color algorithms and bio-optical properties of the western coastal waters of Svalbard, Arctic, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 139: 272-283.
- Son, Y.-S., H.-C. Kim, and S. Lee, 2018. ASTER-Derived High-Resolution Ice Surface Temperature for the Arctic Coast, *Remote Sensing*, 10(5): 662.
- Spreen, G., L. Kaleschke, and G. Heygster, 2008. Sea ice remote sensing using AMSR-E 89-GHz channels, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C2): C02S03.
- Steffen, K. and A. Schweiger, 1991. NASA team algorithm for sea ice concentration retrieval from Defense Meteorological Satellite Program special sensor microwave imager: Comparison with Landsat satellite imagery, *JGR Oceans*, 96(C12): 21971-21987.
- The White House, 2013. *National Strategy For The Arctic Region*, The White House, Washington, D.C., USA.
- Tonboe, R.T., S. Eastwood, T. Lavergne, A. M. Sørensen, N. Rathmann, G. Dybkjær, L. T. Pedersen, J. L. Høyer, and S. Kern, 2016. The EUMETSAT sea ice concentration climate data record, *The Cryosphere*, 10(5): 2275-2290.
- WMO, 2017. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016*, WMO(World Meteorological Organization)-No 1189, Geneva, Switzerland.
- Zhang, J., R. Lindsay, M. Steele, and A. Schweiger, 2008. What drove the dramatic retreat of arctic sea ice during summer 2007?, *Geophysical Research Letters*, 35: L11505, doi:10.1029/2008GL034005.