

Editorial

한국의 극지 원격탐사

김현철 ¹⁾ · 홍상훈 ²⁾ · 박상은 ³⁾ · 이훈열 ⁴⁾†

Polar Remote Sensing in Korea

Hyun-Cheol Kim ¹⁾ · Sang-Hoon Hong ²⁾ · Sang-Eun Park ³⁾ · Hoonyol Lee ⁴⁾†

Abstract: Recently, much attention has been focused on the change and role of the Arctic region due to climate change. Studies using various platforms are being conducted in the polar regions. Among them, monitoring of Arctic cryosphere information using remote sensing is the most important observational role of various scientific activities. This special issue introduces several studies on polar exploration monitoring in polar research. We hope that this special issue contributes to the sharing of information on the role of polar exploration in remote areas, as well as the identification of the current status of domestic polar exploration and remote environmental exploration. We are also looking forward to the efforts of Korean remote sensing experts to find out the persistent polar exploration field and to increase national support.

Key Words: Polar, Sea Ice, KOPRI

요약: 최근 기후변화에 의한 극지의 변화 및 역할에 대해 많은 관심이 집중되고 있으며, 다양한 플랫폼을 이용한 연구들이 극지에서 진행되고 있다. 그 중 원격탐사를 이용한 북극 빙권 정보 모니터링은 여러 과학적 활동 중 가장 중요한 관측 역할을 수행하고 있다. 본 특별호는 극지연구소에서 수행 중인 극지 환경 변화 원격탐사 모니터링에 대한 여러 연구를 소개한다. 극지 원격탐사연구에 대한 대외적인 환경변화와 국내 극지 원격탐사의 현 주소 파악과 함께 극지원격탐사의 역할에 대한 정보 공유에 본 특별호가 기여하길 기대한다. 더불어 지속적인 극지원격탐사 분야 발굴 및 국가적인 지원을 이끌어 내기 위해 국내 원격탐사 전문가들의 노력을 기대한다.

Received December 19, 2018; Revised December 19, 2018; Accepted December 20, 2018; Published online December 24, 2018

¹⁾ 극지연구소 북극해빙예측사업단 책임연구원 / 대한원격탐사학회지 객원편집위원 (Principal Researcher, Unit of Arctic Sea Ice Prediction, Korea Polar Research Institute / Guest Editor, Korean Journal of Remote Sensing)

²⁾ 부산대학교 지질환경과학과 조교수 / 대한원격탐사학회지 객원편집위원 (Assistant Professor, Department of Geological Sciences, Pusan National University / Guest Editor, Korean Journal of Remote Sensing)

³⁾ 세종대학교 에너지자원공학과 조교수 / 대한원격탐사학회지 객원편집위원 (Assistant Professor, Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Sejong University / Guest Editor, Korean Journal of Remote Sensing)

⁴⁾ 강원대학교 지구물리학과 정교수 / 대한원격탐사학회지 객원편집위원 (Professor, Department of Geophysics, Kangwon National University / Guest Editor, Korean Journal of Remote Sensing)

† Corresponding Author: Hoonyol Lee (hoonyol@kangwon.ac.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

본 사실은 대한원격탐사학회지에 발간되는 극지원격 탐사 특별호의 소개와 발간 의미를 독자들과 나누고자 작성되었다. 기후변화에 의한 온난화, 특히 해빙을 포함한 극지 빙권에서 일어나는 변화는 가장 직접적인 온난화 추이를 보여주어주고 있다. 인공위성 원격탐사를 이용한 극지빙권 연구는 인류의 접근이 어려운 극지에서 일어나는 현상을 연구하는데 효과적으로 사용되고 있다. 우리가 접하고 있는 북극 해빙 변동 추이 자료는 전적으로 인공위성 원격탐사에 의해 확인된 결과들이다.

최근, 북극권 환경 변화는 기후변화에 대한 우려와 함께 새로운 개척의 기회로 생각되고 있다. 각 국에서는 북극권 변화를 이해하기 위한 다양한 과학적인 접근을 하고 있으며, 향후 북극권 활용이라는 경제적인 효과를 고려한 연구 및 활동들도 진행 중이다. 극지에서 수행된 대부분의 인공위성 원격탐사는 미국과 유럽 등 인공위성을 보유한 선진국들에 의해 수행되고 있다. 또

한 북극해는 러시아, 미국, 캐나다, 덴마크(그린란드), 노르웨이 등 연안국에 의해 배타적 경제 수역(EEZ: Exclusive Economic Zone)이 존재하며, 북극해에서 자국의 배타적 경제수역을 넓히기 위한 각국이 치열한 경쟁을 하고 있다(Kim, 2012)(Fig. 1). 비 북극권국가들 사이에서는 북극해 연안국의 경제적 배타 수역을 벗어난 공해에서 쇄빙연구선을 이용한 북극권 현장 조사와 더불어 인공위성을 이용한 극지 관측에 관심을 기울이고 있다.

한국은 북극권 연구를 주도하고 있는 해양수산부에서 비북극권 국가로서의 북극권에 대한 역량 강화를 위해 많은 노력을 하고 있다. 이러한 노력의 일환으로 해양수산부 한국해양과학기술원 부설 극지연구소에서는 “북극해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발”이라는 사업을 수행하고 있다. 이 연구는 인공위성을 이용하여 북극 해빙을 관측하기 위한 분석 기술을 개발한다는 목표로 2017년부터 극지연구소의 기관과유 연구사업으로 시작되었다. 2019년까지 3년이 1단계 연구사업 기간에

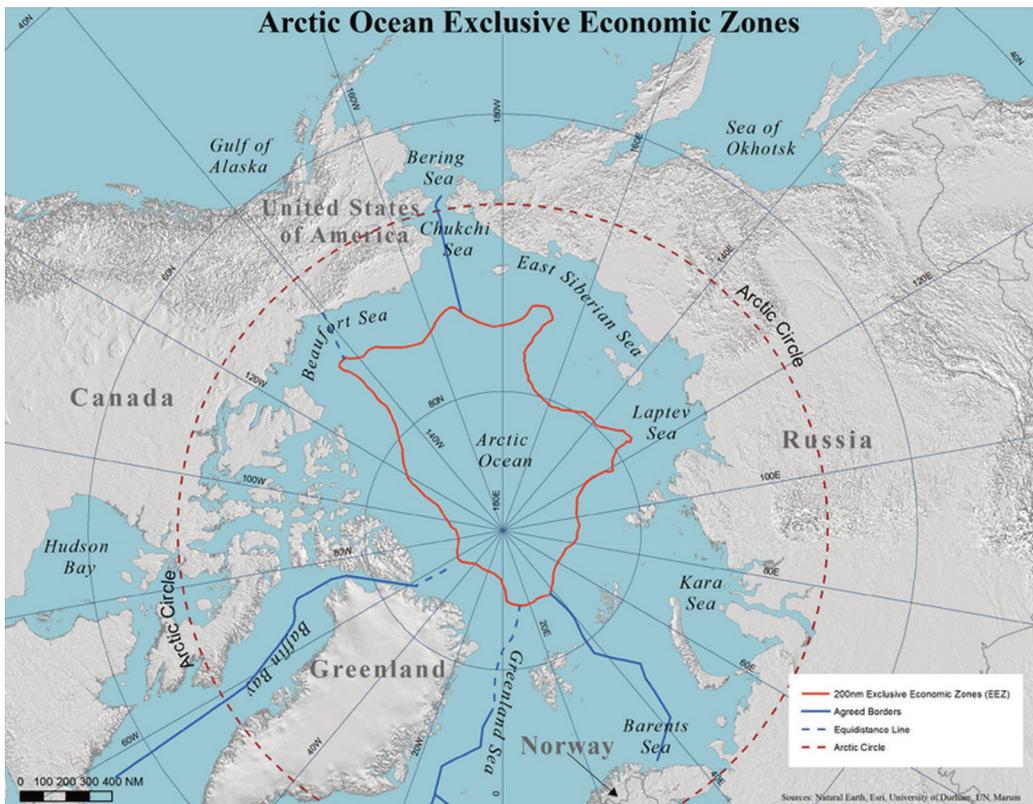


Fig. 1. Arctic Ocean Exclusive Economic Zones (Law of the Sea, <https://sites.tufts.edu/lawofthesea/chapter-eight>).

해당되며, 다양한 위성을 이용한 국제협력과 이를 통한 북극권 관측 기술 개발을 목표로 하고 있다. 광역의 북극해를 관측하기 위해서는 세계 각국에서 운용하고 있는 다양한 인공위성 자료를 수집 관리해야 하고, 수집된 자료를 이용하여 북극해 해빙과 빙권정보 추출이 가능한 과학적 기술이 개발되어야 한다. 과제 수행을 통해 개발된 연구 결과들은 북극 환경 변화를 이해하기 위한 과학적인 탐구와 해빙의 변화 정보를 이용한 북극해 항로 개발에 활용이 될 수 있다.

한국의 극지 원격탐사는 선진국에 비해 비록 늦게 시작되었지만, 한국의 독자적인 북극 빙권 관측 기술 개발과 극지 빙권에 대한 국내 원격탐사전문가들의 고조된 관심으로 짧은 역사에도 불구하고 선진국의 수준으로 발전하고 있다. 본 특별호는 극지연구소에서 수행하고 있는 “북극해빙 위성관측 분석기술 개발”과제를 포함한 국내 극지 연구 수행의 결과를 정리하여, 국내 극지원격탐사의 관심과 수준을 한 단계 높이기 위해 준비되었다. 또한 한국항공우주연구원에서 운용 중인 아리랑위성(2, 3, 3A, 5호)을 활용한 극지원격탐사의 새로운 도전 결과를 확인할 수 있다. 한국항공우주연구원과 극지연구소간의 상호협력 공동연구를 통한 극지 원격탐사의 개척은 효율적인 다부처 협력 과학 연구의 좋은 사례가 될 수 있을 것이다.

2. 극지연구소 위성탐사·빙권정보센터 소개

국내에서 극지 원격탐사는 극지연구소의 “위성탐사·빙권정보센터(Satellite Remote Sensing and Cryosphere Information Center)”가 주도로 진행되고 있다. 센터는 2017년 4월 극지연구소 북극해빙예측사업단에 조직되었다(Fig. 2(a)). 미국빙설자료센터(NSIDC, National Snow and Ice Data Center)와 공동 연구를 위한 상호 협약을 2017년 맺고 수동마이크로파로부터 관측된 해빙 농도(Sea Ice Concentration), 해빙 두께(Sea Ice Thickness) 등 북극과 남극 전역의 해빙을 상시 모니터링하고 있다. 1년이라는 짧은 기간 동안 센터의 역할이 내 외부에서 인정을 받아 2018년 “위성탐사·빙권정보 센터”의 기능 확대와 시설 개선을 시행하여 Fig. 2(b)와 같은 현재의 모습으로 발전하였다.

극지연구소 “위성탐사·빙권정보 센터”는 국내의 극지 분야 원격탐사를 대표하는 센터로서 역할을 충실히 하고 있으며, 2017년 아이슬란드 대통령의 방문을 비롯한 극지 관련 주요국 인사들이 방문하였다. 국내에서는 2018년에는 해양수산부장관 등 주요 정책 결정자들이 방문하였다. “위성탐사·빙권정보 센터”는 다음과 같은 주요 기능을 가지고 있다. 1) 북극권 중합 위성 정보망 구축을 위해 북극권 개발 및 활용을 위한 위성 자료 확



Fig. 2. (a) Opening Ceremony of Satellite Remote Sensing and Cryosphere Information Center of Korea Polar Research Institute (KOPRI) at April 2017, (b) Remodeled Center at Aug 2018.

보와 국제협력을 통한 해외 위성 자료 수집, 그리고 고품질의 위성정보 고속 처리 및 서비스, 2) 변화하는 극지 빙권 상시 모니터링을 수행하며, 북극항로 개발 및 활용을 위한 해빙정보 생산과 해수면 변화 파악을 위한 극지 빙권 변동 상시 모니터링 수행, 3) 극지 연구를 수행하는 연구자의 안전한 연구 수행 지원을 위해 쇄빙 연구선이 극지해역에서 현장조사를 수행 할 때 주변 해빙 등에 대한 정보 준 실시간 제공 및 기상 정보를 제공하고, 극지 과학기지 주변에서 수행되는 연구 지원 및 연구자 안전을 위한 위성 정보 제공, 4) 온난화에 의한 기후변화의 현주소를 일반 국민에게 전달하기 위해 극지 위성 관측 자료를 이용하여 빙권 변화 정보를 가시화하여 전달하는 대국민 홍보, 그리고 5) 범부처 협력 융복합 연구 수행을 위한 중심 역할을 수행하여 한국항공우주연구원에서 운용 중인 한국의 아리랑위성들을 이용한 해빙 정보 생산과 국내외 다학제간 융합 협동 연구 개발 및 지원을 수행하고 있다.

현재까지 국내외에서는 대학과 연구소 및 기업 등 7개의 기관과 공동연구를 수행하고 있으며, 해외에서 미국, 일본, 노르웨이 등과 6개의 기관 공동연구를 수행하고 있다. 이러한 센터의 노력은 빙권 위성 정보 확보를 통한 한국 주도의 북극권 진출 기반을 마련하고, 북극이사회 영구 옵저버 국가로서의 충실한 역할 수행에 필요한 빙권 정보 제공 및 해빙 정보 고도화를 통한 북극 항로의 국제 허브 역할을 강화하는데 활용될 수 있을 것이다.

3. 극지 원격탐사 연구동향

국내에서 극지 원격탐사 연구는 해빙과 빙하 및 극지 해색에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 해빙 연구에 있어서는 Kim(1987)과 Kim(1988)에 발표된 해빙의 후방산란 연구를 시작으로 하여 최근까지 매우 활발한 연구활동이 진행되고 있다(Han and Lee, 2007; Yang and Na, 2009; Han and Lee, 2011b; Hwang *et al.*, 2013; Ahn *et al.*, 2014; Han *et al.*, 2015; Seo *et al.*, 2015; Jin *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2017). 또한 빙하나 빙상의 유동과 물성에 대한 연구 또한 지속적으로 꾸준히 증가하고 있는 추세이다(Kwon *et al.*, 2005; Han and Lee, 2011a; Kim

et al., 2012; Han *et al.*, 2013a; Han *et al.*, 2013b; Han *et al.*, 2014; Baek *et al.*, 2018; Han *et al.*, 2018b; Kim *et al.*, 2018c).

국내 극지원격탐사는 특히 아리랑위성을 이용한 해빙연구를 국내 최초로 수행하여 괄목할 만한 성과를 이루었다. 아리랑 5호 위성과 해외 위성을 이용한 국내 최초 해빙 연구(Han *et al.*, 2017; Han and Kim, 2018) 및 아리랑 2호와 3호를 활용한 해빙의 정밀 이동 연구(Hyun and Kim, 2017) 등이 대표적이다. 이외에도 CryoSat-2를 이용한 북극 해빙 두께 추정 연구(Lee *et al.*, 2016), 북극해 여름철과 가을철 해빙이 시작되는 시기에 해빙 표면의 레이더 후방산란 변화 추적 연구(Park *et al.*, 2016), CryoSat-2를 이용한 해빙의 Lead(해빙의 갈라짐) 감지 연구(Lee *et al.*, 2018), 그리고, 남극에서의 중장기 알베도 변화와 기후변화 변수와의 상관관계 연구(Seo *et al.*, 2016), 기계학습을 이용한 남극해 해빙 변동 및 예측 연구(Chi and Kim, 2017; Chi *et al.*, 2016), 고해상도 수치 고도 모델을 이용한 남극 빙붕 변동 연구(Kim *et al.*, 2018b) 및 광학영상을 이용한 정밀 해빙표면 온도 산출 연구(Son *et al.*, 2018), 그리고 해빙변화에 의한 북극해 해양생태계 변동 관측을 위한 북극 해색 원격탐사 알고리즘 검증 연구(Son and Kim, 2018; Kim *et al.*, 2014) 등 다양한 연구를 수행하였다(Fig. 3).

본 특별호에서는 기존 연구와 함께 수행되었던 추가적인 다양한 연구들을 국내 극지 원격 탐사를 수행하는 연구자들과 공동 발간하여 극지원격탐사의 다양한 적용을 제시하고자 하였다. 북극 원격탐사를 국내 원격탐사의 한 분야로 안착하게 한 극지연구소의 기관고유 사업인 “북극 해빙 위성 관측을 위한 분석 기술 개발(Kim *et al.*, 2018a)”이라는 연구를 소개하면서, 국내외 북극권 원격탐사 연구에 대한 필요성을 소개하고, 국내외 북극 원격탐사분야 연구 동향에 대한 설명을 통해 국내에서 극지 원격탐사의 저변 확대를 기대하였다.

극지 원격탐사에서 구름이 많이 끼는 극지 기상과 장시간 해가 뜨지 않는 극야로 인해 활용 면에서 제약이 많이 받는 광학 영상의 시계열 자료를 이용하여 “고해상도 시계열 광학 위성 영상과 특징점 추적 기법을 이용한 북극해 해빙 이동 탐지(Hyun and Kim, 2018)” 연구를 수행하였다. 또한 “광학영상에서의 해빙 종류 분류 연구(Chi and Kim, 2018)”를 소개하여 극지에서 해빙의 형태 분류가 직관적으로 가능한 광학 영상 기반 연구 결

과를 제시하여 광학 영상의 활용도를 높였다. 북극 해빙의 위치 추적은 해빙 연구에 중요한 분야이다, 위성 자료와 함께 입자 추적 모델을 사용하여 해빙의 위치를 추적한 “북극해에서의 입자 추적 방법을 이용한 유빙 추적 연구(Park *et al.*, 2018a)”를 소개하여 위성 원격탐사와 수치 모델을 결합한 연구 분야를 소개하였다.

북극 해빙 탐지에 다양한 방법이 고려되고 있지만, 해빙의 다양한 특성으로 인해 일괄적인 정보 획득이 쉽지 않다. 전세계적으로 북극 해빙 연구에 가장 많이 활용되고 있는 Sentinel-1자료를 이용하여 해빙탐지기술을 발전시키기 위한 “북극해 해빙 탐지를 위한 Sentinel-1 HV 자료의 방사보정 및 분류 정확도 향상 방안 연구(Kim *et al.*, 2018c)” 논문을 소개한다. 북극에서 일어나는 해빙의 변화는 지역적 변화의 특이성을 가지고 있다. 북극해 전체의 복사에너지는 이러한 지역적 특이성 및 중장기 변화 연구에 중요한 기여를 한다. “북극 지역의 위성기반 복사에너지 산출물의 비교 분석(Seo *et al.*, 2018)” 연구를 통해 이러한 에너지 변화가 어느 정도인지 정량화한 연구 내용을 소개한다. 해빙 변동에 대한 요인으로 에너지 수치가 고려되는 연구와 함께, 해빙의 공간

변동 간의 상호 연관 파악하는 연구가 “베링해 해빙 상태와 적치해 해빙 변화 간의 연관성 분석: 정보엔트로피 접근(Oh and Kim, 2018)”이라는 연구에서 다루어지고 있다. 극지 빙권의 변화는 결국 해양생태계에 대한 영향으로 연구가 확대된다. 하지만, 광역 해역에서 해양생태계를 파악할 수 있는 해색원격탐사는 자료의 정밀도가 함께 고려되어야 한다. “극지 해양 환경 관측 및 고위도 해색 검보정을 위한 초분광 HyperSAS 자료 구축(Lee and Kim, 2018)”이라는 논문을 통해 고위도권에서 발생하는 광학적 특징을 이해하여 해색의 정밀도를 높이는 방법을 소개하고 있다.

북극과 함께 남극에서 일어나는 환경 변화도 중요한 이슈가 되고 있으며, 특히 남극 빙봉의 변화는 기후 환경 변화에 많은 영향을 준다. 다양한 위성을 이용한 빙봉의 변동 추적 연구가 “Landsat 다중 분광 영상 접합을 이용한 동남극 난센 빙봉의 2000-2017년 흐름속도 변화 분석(Han and Lee, 2018)”에 소개되어 있다. 남극해는 남극대륙과 대양을 연결해 주는 통로로서 여러 기후 신호의 전달 매개로 고려되고 있다. 특히 남극 극전선(Antarctic Polar Front)은 이러한 기후변화 양상을 잘 설

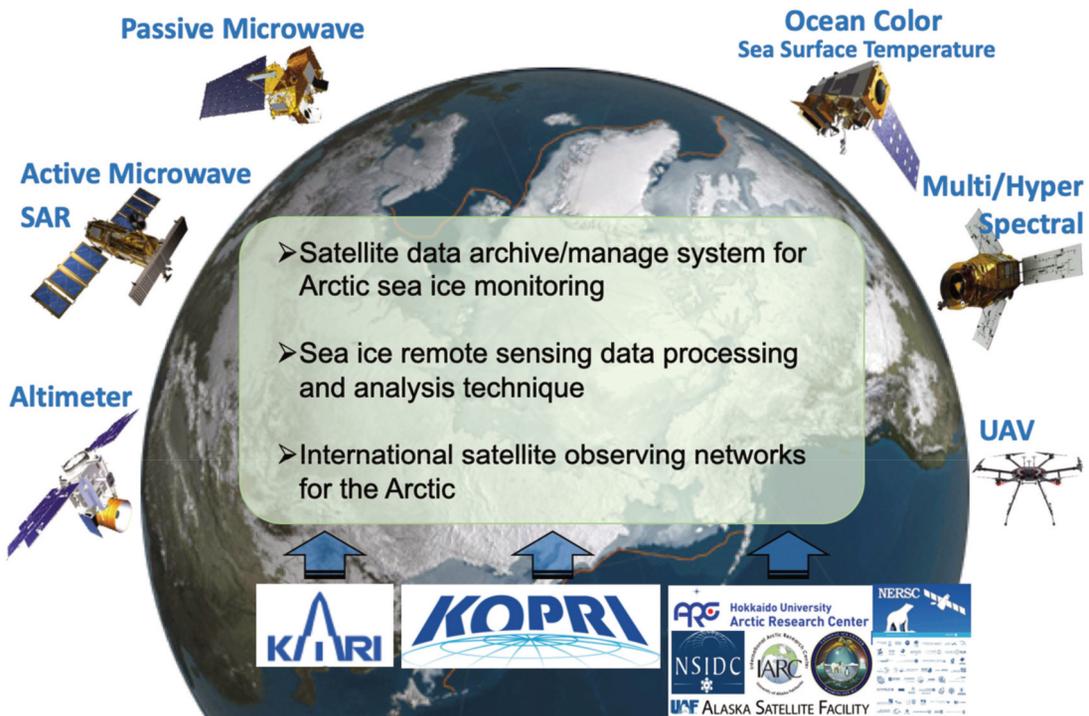


Fig. 3. Arctic remote sensing by using various satellites and UAV, and its aims and collaboration.

명할 수 있는 해양 시스템이다. 지구관측 위성 자료로 다양한 통계 방법을 이용한 기후 분석 연구가 “남극 극전선 탐지를 위한 접근법과 변동성에 대한 연구(Park *et al.*, 2018b)”에 소개되어 있다. 또한 Han *et al.*(2018a)은 Buoy 자료와 AMSR-2 위성영상을 이용하여 북극 지역 대기 온도를 추정된 결과를 보고하고 있다.

끝으로 인공위성 원격탐사와 함께 정밀 원격탐사 방법으로 많이 활용되고 있는 무인항공 영상을 이용한 연구를 소개한다. “고품질 해빙 표면 모델 생성을 위한 정합비용 함수 비교 분석(Kim and Kim, 2018)” 연구는 무인항공기로부터 수집된 해빙 영상들을 효과적이고 정확하게 재구성하는 연구를 소개하고 있다.

4. 결론

극지 원격탐사는 환경변화에 의해 민감하게 반응하는 극지방을 가장 효과적으로 연구할 수 있는 분야이다. 극지가 한반도에서 접근하기 어려운 곳에 있고, 자료의 획득이 쉽지 않았기 때문에 그동안 극지 원격탐사가 활발하지 않았다. 국내외적인 환경 변화와 극지에 대한 국민의 관심이 깊어지면서 극지 원격탐사는 국내 원격탐사의 중요한 부분으로 자리 메김 할 것이다. 본 특별호를 통해 국내 연구자들에게 극지연구소의 위성탐사·빙권정보센터의 활동을 소개하고 자료를 활용할 수 있도록 촉진하고, 보다 많은 사람들이 극지 원격탐사 분야에 대해 익숙해질 수 있는 기회가 되었으면 하는 바램이다. 또한 향후 극지 관측 탑재체나 극지 전용 위성의 개발을 통해 극지 원격탐사 분야가 확대 될 것으로 전망된다. 앞으로 원격탐사 기술의 발전과 더불어 기후변화에 대한 구체적인 연구 수행을 통해 환경 모니터링과 환경 변화 이해에 극지원격탐사가 공헌하기를 기대한다.

사사

본 연구는 극지연구소의 북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발(PE18120) 연구과제의 지원으로 수행되었습니다. 본 사실에 소개된 연구자들과 극지연구소 원격탐사 연구팀에 다시 한번 감사를 전합니다. 특히 극

제사회의 관심을 가질 수 있는 우수한 연구 결과의 생산에 기여한 한국항공우주연구원의 협력에 감사드립니다.

References

- Ahn, J., S. Hong, J. Cho, and Y.-W. Lee, 2014. Downscaling of AMSR2 Sea Ice Concentration Using a Weighting Scheme Derived from MODIS Sea Ice Cover Product, *Korean Journal of Remote Sensing*, 30(5): 687-701 (in Korean with English abstract).
- Baek, W.-K., H.-S. Jung, S.-H. Chae, and W.-J. Lee, 2018. Two-dimensional Velocity Measurements of Uværsbreen Glacier in Svalbard Using TerraSAR-X Offset Tracking Approach, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(3): 495-506 (in Korean with English abstract).
- 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.
- Chi, J. and H.-C. Kim, 2018. Sea Ice Type Classification with Optical Remote Sensing Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1239-1249 (in Korean with English abstract).
- Chi, J., H.-C. Kim, and S.-H. Kang, 2016. Machine learning-based temporal mixture analysis of hypertemporal Antarctic sea ice data, *Remote Sensing Letters*, 7(2): 190-199.
- Han, D., J. Im, Y.J. Kim, S. Lee, Y. Lee, and H.-C. Kim, 2018a. The Estimation of Arctic Air Temperature in Summer Based on Machine Learning Approaches Using IABP Buoy and AMSR2 Satellite Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1261-1272 (in Korean with English abstract).
- 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.
- Han, H. and C.-K. Lee, 2018. Analysis of Ice Velocity Variations of Nansen Ice Shelf, East Antarctica, from 2000 to 2017 Using Landsat Multispectral Image Matching, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1165-1178 (in Korean with English abstract).
- Han, H. and H. Lee, 2007. Comparative Study of KOMPSAT-1 EOC Images and SSM/I NASA Team Sea Ice Concentration of the Arctic, *Korean Journal of Remote Sensing*, 23(6): 507-520 (in Korean with English abstract).
- Han, H. and H. Lee, 2011a. Analysis of Surface Displacement of Glaciers and Sea Ice Around Canisteo Peninsula, West Antarctica, by Using 4-pass DInSAR Technique, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(5): 535-542 (in Korean with English abstract).
- Han, H. and H. Lee, 2011b. Microwave Radiation Characteristics of Glacial Ice in the AMSR-E NASA Team2 Algorithm, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(5): 543-553 (in Korean with English abstract).
- Han, H., J. Lee, and H. Lee, 2013a. Accuracy Assessment of Tide Models in Terra Nova Bay, East Antarctica, for Glaciological Studies of DDInSAR Technique, *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(4): 375-387 (in Korean with English abstract).
- Han, H., Y. Ji, and H. Lee, 2013b. Estimation of Annual Variation of Ice Extent and Flow Velocity of Campbell Glacier in East Antarctica Using COSMO-SkyMed SAR Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(1): 45-55 (in Korean with English abstract).
- Han, H., Y. Ji, Y. Kim, and H. Lee, 2014. Development of Normalized Difference Blue-ice Index (NDBI) of Glaciers and Analysis of Its Variational Factors by using MODIS Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 30(4): 481-491 (in Korean with English abstract).
- Han, H., Y. Kim, H. Jin, and H. Lee, 2015. Analysis of Annual Variability of Landfast Sea Ice near Jangbogo Antarctic Station Using InSAR Coherence Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 31(6): 501-512 (in Korean with English abstract).
- Han, S., H. Han, and H. Lee, 2018b. Grounding Line Change of Ronne Ice Shelf, West Antarctica, from 1996 to 2015 Observed by using DDInSAR, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(1): 17-24.
- Hwang, D.-H., B. Hwang, and H.-J. Yoon, 2013. Classification for Landfast Ice Types in the Greenland of the Arctic by Using Multifrequency SAR Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(1): 1-9 (in Korean with English abstract).
- 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.
- Hyun, C.-U. and H.-C. Kim, 2018. Arctic Sea Ice Motion Measurement Using Time-Series High-Resolution Optical Satellite Images and Feature Tracking Techniques, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1215-1227 (in Korean with English abstract).
- Jin, D., K.-S. Lee, S. Choi, M. Seo, D. Lee, C. Kwon, H. Kim, E. Lee, and K.-S. Han, 2017. Determination of dynamic threshold for sea-ice detection through relationship between 11 μm brightness temperature and 11-12 μm brightness temperature difference, *Korean Journal of Remote Sensing*, 33(2): 243-248 (in Korean with English abstract).

- Kim, H., J. Park, H.-C. Kim, and Y.B. Son, 2017. Climatological Variability of Multisatellite-derived Sea Surface Temperature, Sea Ice Concentration, Chlorophyll-a in the Arctic Ocean, *Korean Journal of Remote Sensing*, 33(6-1): 901-915 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.-C., H. Han, C.-U. Hyun, J. Chi, Y.-S. Son, and S. Lee, 2018a. Research on Analytical Technique for Satellite Observtion of the Arctic Sea Ice, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1283-1298 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.-I. and H.-C. Kim, 2018. Performance Comparison of Matching Cost Functions for High-Quality Sea-Ice Surface Model Generation, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1251-1260 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.-W., D.-J. Kim, S.-H. Kim, B. Hwang, and J. Yackel, 2012. Detection of Icebergs Using Full-Polarimetric RADARSAT-2 SAR Data in West Antarctica, *Korean Journal of Remote Sensing*, 28(1): 21-28 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.H., D.-J. Kim, and H.-C. Kim, 2018b. Progressive Degradation of an Ice Rumples in the Thwaites Ice Shelf, Antarctica, as Observed from High-Resolution Digital Elevation Models, *Remote Sensing*, 10(8): 1236.
- Kim, S.H., D.-J. Kim, and H.-C. Kim, 2018c. Grounding Line of Campbell Glacier in Ross Sea Derived from High-Resolution Digital Elevation Model, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(3): 545-552 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-I., H.-C. Kim, and C.-U. Hyun, 2014. High Resolution Ocean Color Products Estimation in Fjord of Svalbard, Arctic Sea using Landsat-8 OLI, *Korean Journal of Remote Sensing*, 30(6): 809-816 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y., 1987. 4 to 18 GHz Radar Backscatter Model of First-Year Sea Ice, *Korean Journal of Remote Sensing*, 3(2): 89-102.
- Kim, Y., 1988. Microwave Radar Backscatter Model of Multi-Year Sea Ice, *Korean Journal of Remote Sensing*, 4(1): 1-16.
- Kim, Y., D.-J. Kim, U. Kwon, and H.-C. Kim, 2018c. A Study on the Radiometric Correction of Sentinel-1 HV Data for Arctic Sea Ice Detection, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1273-1282 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.-O., 2012. Recent Trends and Implications of Arctic Sea Issues, *KIEP Regional Economic Focus*, 6(40): 1-14.
- Kwoun, O.-I., S. Baek, H. Lee, H.-G. Sohn, U. Han, and C.K. Shum, 2005. Topography, Vertical and Horizontal Deformation in the Sulzberger Ice Shelf, West Antarctica using InSAR, *Korean Journal of Remote Sensing*, 21(1): 73-81.
- Lee, E., M. Seo, K.-S. Lee, S. Choi, D. Lee, D. Jin, C. Kwon, H. Kim, M. Huh, and K.-S. Han, 2017. Quality Consistence Analysis of Satellite-based Sea Ice Concentration Products, *Korean Journal of Remote Sensing*, 33(3): 333-338 (in Korean with English abstract).
- Lee, S., J. Im, J. Kim, M. Kim, M. Shin, H.-C. Kim, and L. Quackenbush, 2016. Arctic Sea Ice Thickness Estimation from CryoSat-2 Satellite Data Using Machine Learning-Based Lead Detection, *Remote Sensing*, 8(9): 698.
- Lee, S. and H.-C. Kim, 2018. HyperSAS Data for Polar Ocean Environments Observation and Ocean Color Validation, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1203-1213 (in Korean with English abstract).
- Lee, S., H.-C. Kim, and J. Im, 2018. Arctic lead detection using a waveform mixture algorithm from CryoSat-2 data, *The Cryosphere*, 2018: 1665-1679.
- Oh, M. and H.-C. Kim, 2018. Coupling detection in sea ice of Bering Sea and Chukchi Sea: Information entropy approach, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1229-1238 (in Korean with

- English abstract).
- Park, G., H.-C. Kim, T. Lee, and Y.B. Son, 2018a. Tracing the Drift Ice Using the Particle Tracking Method in the Arctic Ocean, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1299-1310 (in Korean with English abstract).
- Park, J., H.-C. Kim, J. Hwang, D. Bae, and Y.-H. Jo, 2018b. An Approach for the Antarctic Polar Front Detection and an Analysis for its Variability, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1179-1192 (in Korean with English abstract).
- Park, J.-W., H.-C. Kim, S.-H. Hong, S.-H. Kang, H.C. Graber, B. Hwang, and C.M. Craig, 2016. Radar backscattering changes in Arctic sea ice from late summer to early autumn observed by space-borne X-band HH-polarization SAR, *Remote Sensing Letters*, 7(6): 551-560.
- Seo, M., C.S. Lee, H. Kim, M. Huh, and K.-S. Han, 2015. Relationship between sea ice concentration and sea ice albedo over Antarctica, *Korean Journal of Remote Sensing*, 31(4): 347-351.
- Seo, M., H.-C. Kim, M. Huh, J.-M. Yeom, C. Lee, K.-S. Lee, S. Choi, and H.-S. Han, 2016. Long-Term Variability of Surface Albedo and Its Correlation with Climatic Variables over Antarctica, *Remote Sensing*, 8(12): 981.
- Seo, M., E. Lee, K.-S. Lee, S. Choi, D. Jin, N.-H. Seong, H.-G. Han, H.-C. Kim, and K.-S. Han., 2018. Comparative Analysis of Radiative Flux Based on Satellite over Arctic, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-2): 1193-1202 (in Korean with English abstract).
- 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.
- Yang, C.-S. and J.-H. Na, 2009. Seasonal and Inter-annual Variations of Sea Ice Distribution in the Arctic Using AMSR-E Data: July 2002 to May 2009, *Korean Journal of Remote Sensing*, 25(5): 423-434 (in Korean with English abstract).