

SAR자료 및 현장관측을 통한 북극해 해빙 면적 및 이동궤적 산출 알고리즘 개발

Development algorithm of the Arctic Ocean sea ice
area and track calculation using SAR and in-situ data



서울대학교

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발” 과제의 위탁연구 “SAR 자료 및 현장관측을 통한 북극해 해빙 면적 및 이동궤적 산출 알고리즘 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



2020. 01. 31

(본과제)	총괄연구책임자	: 김 현 철
	위탁연구기관명	: 서울대학교
	위탁연구책임자	: 김 덕 진
	위탁참여연구원	: 강 기 목
	“	: 전 현 균
	“	: Suresh P.V.
	“	: 이 승 철
	“	: 송 주 영
	“	: 황 지 환
	“	: 김 경 미

보고서 초록

위탁연구과제명	SAR자료 및 현장관측을 통한 북극해 해빙 면적 및 이동궤적 산출 알고리즘 개발				
위탁연구책임자	김덕진	해당단계 참여연구원 수	11	해당단계 연구비	170,000,000
연구기관명 및 소속부서명	서울대학교		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고 서면 수	
<p>본 연구에서는 1. SAR자료(Sentinel-1A,B)를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구 2. 해빙 종류(FYI/MYI) 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전 영역 모자이크 3. SAR자료 간 해빙 이동궤적 추출 알고리즘 연구를 수행하였음.</p> <p>1. SAR자료를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구는 가. Sentinel-1 HV 영상 보정 알고리즘 개발 및 나. 대용량 Sentinel-1A/B 자료다운 및 처리방안을 구현 하였음.</p> <p>2. 해빙 종류 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전 영역 모자이크는 가. 북극해 전 영역에 대한 SAR자료 획득 및 모자이크 및 나. 기계학습 기법을 활용한 해빙의 종류 구분 알고리즘 연구 등을 수행하였음.</p> <p>3. SAR자료 간 해빙 이동궤적 추출 알고리즘 연구는 가. 근접 시기에 촬영된 동/이종 SAR자료 간 상관계수 분석 및 합성기법을 통한 해빙의 이동궤적 추출 핵심 알고리즘 연구 및 나. 해빙 이동지도 산출 및 결과 검증으로 수행 되었음.</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	SAR 자료, Sentinel-1 위성, 위성 영상 보정, 해빙 종류 구분, 해빙 이동지도			
	영어	SAR data, Sentinel-1 satellites, Satellite image correction, Sea ice type classification, Sea ice movement map			

요 약 문

I. 제 목

SAR자료 및 현장관측을 통한 북극해 해빙 면적 및 이동궤적 산출 알고리즘 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 기후변화에 따른 북극해 해빙 정보의 수요가 증가 되었고, 북극해 신항로 개발과 관련하여 고해상도 해빙 정보의 중요성이 부각되어, 현업에 사용할 만한 고해상도 준-실시간 해빙정보 공급이 필요
- Sentinel-1 A/B 위성과 같은 자료의 접근이 수월하고 가용성이 뛰어난 SAR 자료로부터 북극해 해빙의 면적, 종류, 이동궤적 등을 탐지할 수 있는 알고리즘 개발

III. 연구개발의 내용 및 범위

- SAR자료를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구
- 해빙 종류 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전 영역 모자이크
- SAR자료 간 해빙 이동궤적 추출 알고리즘 연구

IV. 연구개발결과

- Sentinel-1 HV 영상 보정 알고리즘 개발
- 대용량 Sentinel-1A/B 자료다운 및 처리방안 구현
- 북극해 전 영역에 대한 SAR자료 획득 및 모자이크
- 기계학습 기법을 활용한 해빙의 종류 구분 알고리즘 구현
- 근접 시기에 촬영된 동/이종 SAR자료 간 상관계수 분석 및 합성기법을 통한 해빙의 이동궤적 추출 핵심 알고리즘 구현
- 해빙 이동지도 산출 및 결과 검증

V. 연구개발결과의 활용계획

- 극지 환경변화 연구, 공공적 활용, 기후변화협약 관련 등의 학술적 활용
- 북극항로 개척, 현장조사 대비 비용 절감, 위성 수요 창출 등의 경제적 활용

S U M M A R Y

I. Title

Development algorithm of the Arctic Ocean sea ice area and track calculation using SAR and in-situ data

II. Purpose and Necessity of R&D

- The demand for Arctic sea ice information increased due to climate change, and the importance of high-resolution sea ice information related to the development of new sea routes in the Arctic Sea has been highlighted.
- The purpose of this study is the development of algorithms that can detect areas, types, and trajectories of Arctic sea ice from SAR data that are easy to access and highly available, such as Sentinel-1 A/B satellites.

III. Contents and Extent of R&D

- Study of pre-processing algorithm for sea ice area calculation using SAR
- Research on the algorithm for the classification of sea ice types and mosaic of the entire Arctic Ocean area
- A study on the extraction algorithm of sea ice trace using successive SAR images

IV. R&D Results

- Development of Sentinel-1 HV image correction algorithm
- Implementation and downloading of large-volume Sentinel-1 A/B data
- Acquisition of SAR data for all areas of the Arctic Ocean and mosaic
- Algorithm implementation for classifying sea ice using machine learning technique
- Analysis of the correlation coefficient between the same and different type of SAR images acquired at successive time and implementation of core algorithms for extracting trajectories of sea ice
- Calculation of sea ice map and verification of the results

V. Application Plans of R&D Results

- Academic use in monitoring polar environmental changes
- Economic use in developing new North Pole Routes

목 차

제 1 장 서론	6
1 절 연구개발의 목적	6
2 절 연구개발의 필요성	6
3 절 연구개발의 범위	6
제 2 장 국내외 기술개발 현황	7
1 절 국내외 관련분야에 대한 기술개발현황	7
2 절 국내외 관련분야에서 연구분야가 차지하는 위치.....	8
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	9
1 절 이론적, 실험적 접근방법	10
2 절 연구내용	10
3 절 연구결과	18
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	29
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	30
1 절 학술적 활용계획	30
2 절 경제적 활용계획	30
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	32
제 7 장 참고문헌	33

1장 서론

1절 연구개발의 목적

Sentinel-1 A/B와 같은 자료의 접근이 수월하고 가용성이 뛰어난 SAR 자료로부터 북극해 해빙의 면적, 종류, 이동궤적 등을 탐지할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것을 최종목표로 한다.

2절 연구개발의 필요성

최근 기후변화로 인해 북극해 해빙의 급격한 변화가 일어나고 있으며, 이로 인한 한반도의 기상변화(한파 및 폭설 등)에 영향을 끼치고 있다. 또한 북극해를 통한 물류 수송에 대한 관심이 폭발적으로 증가하여 상세한 해빙지도에 대한 필요성이 대두하게 되었다. 현재 해외의 경우 수동마이크로파를 이용한 북극해 해빙지도가 생성되어 인터넷을 통해 서비스되고 있으나, 해빙의 변화가 급격하게 발생하고 있는 해빙의 가장자리 부분에 대한 상세한 변화특성이나, 특히 북극항로를 위해 필요한 상세한 해빙지도로 활용하기에는 한계가 있다. 최근에 ESA에서 Sentinel-1A와 1B SAR인공위성을 발사하여 전 세계적으로 촬영하고 있으며, 이 자료를 무상으로 제공해주고 있다. 이 자료는 공간해상도가 극지방의 경우 약 40m정도로 수동마이크로파 영상(>6km)에 비해 훨씬 우수하기에, 이로부터 고해상도 해빙지도를 제작할 수 있는 기술개발이 필요하다.

3절 연구개발의 범위

본 위탁과제를 통하여 연구 개발될 해빙의 면적 및 이동궤적 산출 알고리즘은 SAR 자료(Sentinel-1 A/B)를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구, 해빙 종류(FYI/MYI) 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전 영역 모자이크, SAR 자료간 해빙 이동궤적 추출 알고리즘 연구를 그 범위로 한다.

2장 국내외 기술개발 현황

1절 국내외 관련분야에 대한 기술개발현황

미국에서는 크게 NSIDC(National Snow and Ice Data Center), NASA, ONR-MIZ 3가지 기관에서 극지 연구를 수행하고 있다. 첫째로 NSIDC에서는 위성자료 기반 전지구 규모 해빙분포 (25 km 격자)와 지역규모 빙권 변화 관측자료 서비스 및 분석을 수행하고 있다. NSIDC는 미국 NOAA에 의해 1976년에 설립되었으며, 빙권과 관계된 모든 요소에 대한 연구를 수행하고 있다. 또한 NASA는 NSIDC와 연계하여 북극에 대한 관측과 정보에 대한 수집, 보전, 교환 촉진 그리고 빙권 공공 교육을 실시하고 있다. 마지막으로 ONR-MIZ에서는 태평양색터 북극해빙 관측을 통한 고해상도 해빙 예측성향상 연구를 수행하고 있다. 이를 위해 보퍼트해 여름철 해빙후 퇴과정 이해를 위한 관측장비를 설치하였으며, 측지해, 보퍼트해의 고해상도 MIZ(Marginal Ice Zone)모델을 구축하였고, 위성영상을 이용한 해빙 모니터링을 실시하고 있다.

유럽연합과 캐나다는 POLAR VIEW, ESA, DLR, CSA, ICE-ARC-EU, N-ICE2015 등의 기관에서 빙권에 대한 공동/개별 연구를 수행하고 있다. POLAR VIEW는 빙권과 관계된 모든 다양한 지구 관측 결과물을 제공하는 컨소시엄 형태의 조직 (9개국: 연구소, 대학, 기업, 정부: 유럽, 캐나다 주도)이면서 원스톱형 서비스 조직이고, 위성기반 정보를 제공한다. 이를 통해 해빙 모니터링, 빙하 유출, 적설, 빙하, 강/호수 얼음과 같은 결과물을 제공한다. ESA, DLR 및 CSA는 원격탐사관련 해빙/빙권 연구를 수백 건 진행하였으며, ICE-ARC-EU는 북극해빙 모니터링 및 예측 시스템 개발 연구를 진행하고 있다. 이를 위해 북극해 해양, 해빙, 대기분야 통합관측 및 동시베리아해 자료를 확충하고 있으며, 관측자료와 원격탐사자료 분석을 통한 모델링 성능 향상 및 ICE-ARC Data Portal을 통한 자료공유를 수행하고 있다. 마지막으로 N-ICE2015에서는 스발바드제도 북부 해빙상 관측을 통한 모델개선 및 기후환경 변화연구를 진행하고 있다. 이를 위해 생태계, 지역적, 세계적 기후측면에서 북극 초년해빙의 영향을 이해하고 있으며, 해양에서 해빙으로의 열이동 이해와 태양복사에너지가 대기, 눈, 해빙, 해양에 미치는 작용을 연구 및 북극해 해빙질량 및 적설지역 변화를 조사하고 있다.

2절 국내외 관련분야에서 연구결과가 차지하는 위치

본 연구에서는 SAR자료(Sentinel-1A,B)를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구, 해빙 종류(FYI/MYI) 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전 영역 모자이크, SAR 자료간 해빙 이동계적 추출 알고리즘 연구를 수행하였다. 현재 국내에서는 극지연구소를 제외하면 체계적으로 빙권에 대한 연구를 수행하는 기관이 없기 때문에, 본 연구는 극지연구소의 위탁을 받아 국내 기술로 최초로 SAR 자료 및 현장관측을 통한 북극해 해빙 면적 및 이동계적 산출 알고리즘 개발을 수행한 연구라고 할 수 있다. 또한 국외에서도 빙권에 관한 원격탐사 방식의 연구가 활발하게 이루어지고 있기 때문에, 본 연구는 지구온난화에 의한 이상 기후 현상과 관련된 북극 지역의 과학 경제적 관심이 증가하고 있으며 관련 연구 개발이 심화 되고 있는 국제적 상황에 발맞추었다고 할 수 있다.



3장 연구개발수행 내용 및 결과

1절 이론적, 실험적 접근방법

1. SAR자료(Sentinel-1A,B)를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구
SAR 자료(Sentinel-1 A/B)를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구에 대해서는, Sentinel-1 A/B 위성의 HV 영상에 대한 보정 알고리즘 개발과 대용량 Sentinel-1 A/B 자료 다운 및 처리방안의 2가지에 대해 접근하였다. Sentinel-1 A/B 위성의 HV 영상에 대한 보정 알고리즘 개발은 Calm sea를 촬영한 HV 영상에는 noise만 있다고 가정한 후, Noise LUT 정보와 sub swath별 각각 다른 coefficient를 적용하여 thermal noise 및 scalloping noise 보정방안을 연구하였다. 대용량 Sentinel-1 A/B 자료 다운 및 처리방안에 대해서는 Sentinel-1 A/B 위성이 유럽우주국(European Space Agency, ESA)의 Copernicus Program의 위성들 중 일부이기 때문에 획득된 자료가 SciHub 및 ASF를 통해 공개배포가 되고 있다는 점에 착안, API를 통해 대용량 Sentinel-1 A/B 위성 자료를 다운받을 수 있는 Python 스크립트 개발을 연구하였다.

2. 해빙 종류(FYI/MYI) 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전 영역 모자이크
해빙 종류(FYI/MYI) 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전 영역 모자이크에 대해서는, 전처리된 Sentinel-1 A/B 자료에 전통적인 머신러닝 방법과 새로운 딥러닝 방식을 모두 적용하여 해빙 종류를 구분하는 알고리즘을 만들고, 결과에 대해 ESA에서 제공하는 SNAP 프로그램을 이용하여 구글 어스 kml 파일로 만들어 가시화하는 방식을 채택하였다.

3. SAR 자료간 해빙 이동계적 추출 알고리즘 연구

SAR 자료간 해빙 이동계적 추출 알고리즘 연구에 대해서는, Normalized Cross Correlation(NCC)를 프로세싱의 간편함으로 인해 채택하였다. 첫 번째 영상을 기준 영상(reference image)으로 두고 일정한 시간을 두고 연속적으로 촬영된 두 번째 영상(search image)에서 기준 영상과의 cross-correlation을 다음과 같은 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$NCC(i,j) = \frac{\sum_{k,l} (s(i+k, j+l) - \mu_s)(r(k,l) - \mu_r)}{\sqrt{\sum_{k,l} (s(i+k, j+l) - \mu_s)^2 \sum_{k,l} (r(k,l) - \mu_r)^2}}$$

여기서 (i,j) 는 search area 안의 위치를 뜻하며, (k,l) 은 reference area 안의 위치를 뜻한다 Reference area는 기준 영상에서 뽑은 블록(block)을 뜻하며, search area는 두 번째 영상안의 블록(block)을 뜻한다. s 는 search chip의 픽셀 값을 의미하며 r 은 reference chip의 픽셀 값을 의미한다. μ_r 과 μ_s 는 각각 reference chip 과 search chip의 픽셀 값의 평균이다.

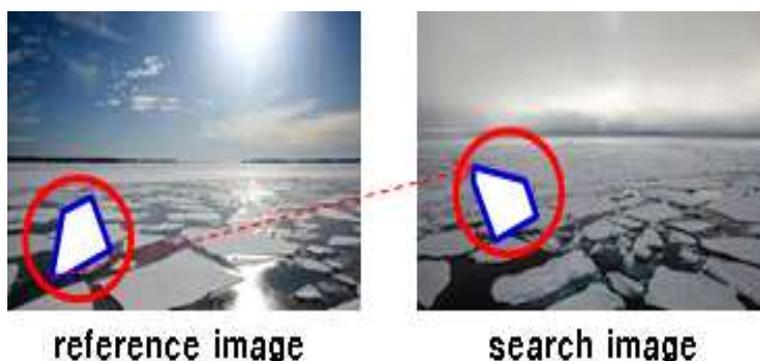


그림 1 reference image와 search image

구해진 NCC 값 중 제일 높은 값을 가지고 있는 픽셀이 두 영상에서 발생한 이동 거리를 의미한다. 위 수식을 이용한 NCC 값은 정규화(normalized)가 되어있는데 이는 두 영상 사이에 밝기 차이가 많이 나는 경우에도 비교가 용이하다는 장점을 지니고 있다. 하지만, 이 방법은 공간 영역에서 계산을 진행하기 때문에 주파수 영역에서 진행하는 계산(convolution)보다는 처리 속도가 느리다는 단점이 있다.

NCC 를 이용하는 기법은 해빙의 병진운동(translational motion)에 대해서는 탐지가 가능하지만 일정한 시간 동안 해빙이 회전을 할 경우 위의 기법을 적용하기 어려울 수 있다.

2절 연구내용

1. SAR자료(Sentinel-1A,B)를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구가. Sentinel-1A HV 영상 보정 알고리즘 개발

Sentinel-1A/B의 HV영상에는 range방향으로는 thermal noise가 azimuth방향으로는 scalloping 효과가 나타나는데 이 효과를 제거해주기 위해 경험식과 이론식을 이용하였다.

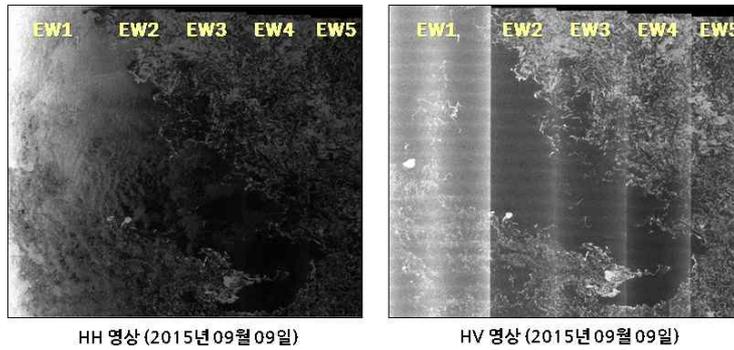


그림 2 HH 영상과 HV 영상

이에 따라 Calm sea를 촬영한 HV 영상에는 noise만 있다고 가정한 후, Noise LUT 정보와 sub swath별 각각 다른 coefficient를 적용하여 thermal noise 보정방안을 연구하였다.

이에 따라 Swath bounds 기반 image subset을 아래 그림과 같이 만들어 주었고,

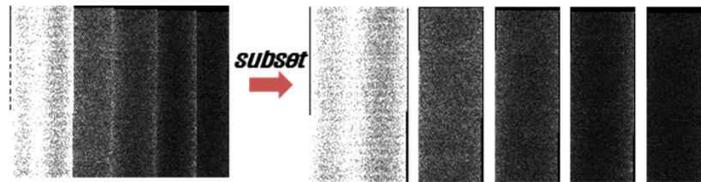


그림 3 Swath bounds 기반 image subset

Swath bounds 정보 기반 Noise LUT subset을 아래 그림과 같이 만들어 주었다.



그림 4 Swath bounds 기반 Noise Lut Subset

이에 따라 Thermal Noise Correction을 다음과 같이 수행해주었다.

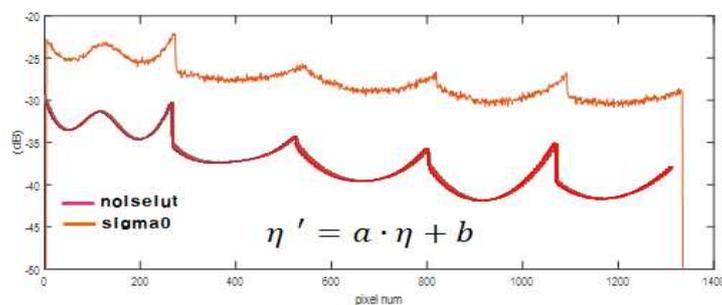


그림 5 Thermal Noise Correction을 해준 결과

TOPSAR 모드의 한 종류인 Sentinel-1A/B는 안테나 빔(antenna beam) 조향 (steering)으로 인해 azimuth 방향으로 scalloping 효과가 나타난다. Scalloping 효과 보정도 thermal noise 보정과 유사하게 calm sea 영상을 사용하여 해당 영상에 noise만 있다고 가정한 후 zero doppler time을 이용하여 보정을 수행하였다.

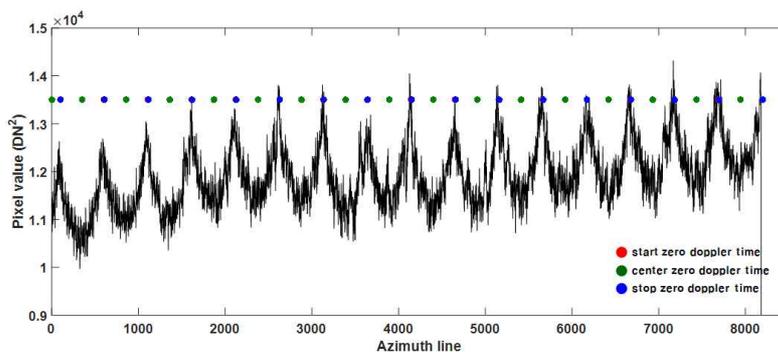


그림 6 Azimuth 방향 scalloping 효과

Scalloping 효과 보정을 위해 사용한 de-scalloping 함수는 아래의 식을 이용하였다(MDA, 2014).

$$G(\psi) = \text{sinc}^2\left(\frac{L/N_{az}}{\lambda} \sin(\psi)\right)$$

여기서, λ 는 레이더 파장, L 은 안테나 길이, N_{az} 안테나 열(column)의 개수로 Sentinel-1의 값은 14. ψ 은 steering angle로 다음 식)으로 계산하였다.

$$\psi(\eta_i) = \frac{\lambda}{2V_s} k_t \eta_i$$

여기서, V_s 는 위성 속도, k_t 는 azimuth frequency rate, 그리고 η_i 는 zero doppler time이다. 이때, range 방향으로 지연되는 시간으로 인해 동일 azimuth time에서도 range 방향으로 각각 다른 zero doppler time을 적용하였다. Zero doppler time 이외에 doppler slant range time, zero doppler minus acquisition time, internal time delay, 그리고 slant time을 이용하여 range 방향으로의 시간 지연을 보정하였다.

나. 대용량 Sentinel-1A/B 자료다운 및 처리방안 구현

SciHub 및 ASF 사이트로부터 대용량자료 다운방안 구축에 관해서는, API를 통해

대용량 Sentinel-1A/B 자료를 다운받을 수 있는 python script를 작성하였다.

```

# RUN SENTINELSAT.PY
# =====
# SEARCH SENTINEL DOWNLOAD DIRECTORY
# MAKE CSV DIRECTORY
sentinelDirectoryPath = './'
if (os.path.isdir(sentinelDirectoryPath) != True):
    os.mkdir(sentinelDirectoryPath)
# MAKE USER GEOJSON FILE
areaSetValue = 0.025
makeGeoJson(Toot(longitude), float(latitude), areaSetValue)
# RUN SENTINELSAT API
connectAPI = SentinelAPI(userName, userPasswd, api_url="https://scihub.copernicus.eu/dhus")
# MAKE DATALIST FILE
datalistFileName = "dl" + startTime + "_" + endTime + "_" + latitude + "_" + longitude + ".txt"
datalistFilePath = os.path.join(datalistFileName)
datalistFileOpen = open(datalistFilePath, "w")
# QUERY SETTINGS
SENTINEL_ID = 'SENTINEL-1'
products = connectAPI.query(get_coordinates('./userPoint.geojson'), \
                             startTime, endTime, \
                             platformName='Sentinel-1', \
                             productType='SLC', \
                             sensorOperationalMode='IW')
textHeader = "===== \n"
textHeader += "Searched Datalist \n"
textHeader += "===== \n"
textHeader += "Data File: " + str(len(products)) + ".txt \n"
textHeader += "NO | DATE | " + str(len(products)) + " | INSTRUMENT | MODE | SATELLITE | FILENAME | \n"
textHeader += "===== | FILESIZE \n"
print(textHeader)
datalistFileOpen.write(textHeader + "\n")
for data in range(len(products)):
    productID = (products[data])['id']
    productsSummary = (products[data])['summary'].split(',')
    productDate = productsSummary[0].split(' ')[1]
    productsInstrument = productsSummary[1].split(' ')[1]
    productsMode = productsSummary[2].split(' ')[1]
    appendBlank = " " * len(productsMode)
    productsSatellite = productsSummary[3].split(' ')[1]
    productsSize = productsSummary[4].split(' ')[1]
    textProducts = str(productDate) + " | " + productsInstrument + " | " + productsSatellite + " | " + productsSize
    print(textProducts)
    datalistFileOpen.write(textProducts + "\n")
    datalistFileOpen.close()
for data in range(len(products)):
    productTitle = (products[data])['title']
    productID = (products[data])['id']
    connectAPI.download(productID, sentinelDirectoryPath, checksum=True)
    
```

그림 7 Sentinel-1 A/B 자료를 다운받을 수 있는 Python 스크립트

SNAP을 이용한 전처리 및 배치 프로세싱 구현에 대해서는, Sentinel-1 A/B 각 위성의 경우 12일 주기를 가지며, 두 위성을 동시에 활용할 경우 6일 주기의 자료 획득이 가능하다. 북극해에 대해 EW모드만 고려했을 때 평균적으로 6일 동안 약 600장 이상의 자료가 획득된다. 따라서 대량의 대용량 자료를 신속히 처리하기 위해서는 배치 프로세싱이 필요하다.

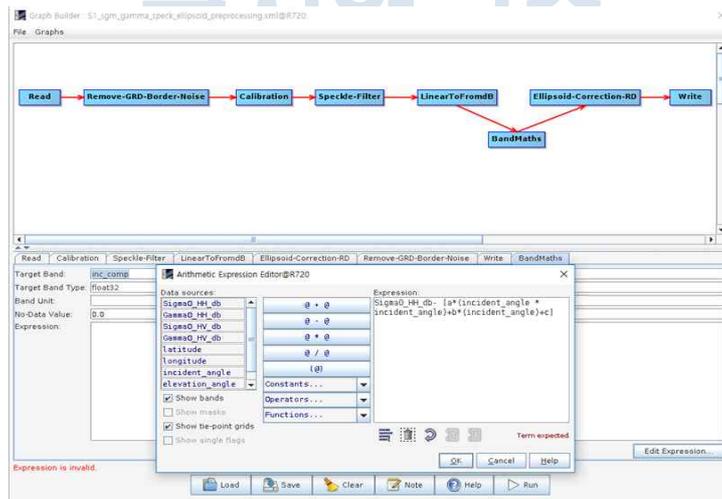


그림 8 SNAP graph를 이용한 batch processing

2. 해빙 종류(FYI/MYI) 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전영역 모자이크. 북극해 전 영역에 대한 SAR자료 획득 및 모자이크. 북극해 전 영역에 대한 여름철 6일(2017.07.01.~2017.07.06.) Sentinel-1A & B 자료

다운 및 모자익을 시행하였다. SciHub로부터 총 684개의 여름철 Sentinel-1 A/B 자료를 획득하였으며, 자료 불러오기 → 어두운 경계부분 제거(Remove GRD Border Noise) → thermal noise 제거 → 방사보정(calibration) → sigma naught → 기하보정(AUTO:42001 - WGS 84 / Auto UTM) → 구글어스아웃풋 의 파이썬 코드 작성(ESA SNAP의 파이썬 모듈 SNAPPY 이용)의 과정을 시행하였다. Geotiff파일로 생성된 여름철 Sentinel-1A/B EW mode를 구글어스에 overlay할 수 있도록 kmz 변환 프로그램 제작하였다. (영상영역 밖 어두운 부분 처리 포함)(GDAL 프로그램과 파이썬 이용)

북극해 전 영역에 대한 겨울철 6일(2018.01.01.~2018.01.06.) Sentinel-1 A/B 자료다운 및 모자익을 시행하였다. SciHub로부터 총 642 개의 여름철 Sentinel-1 A/B 자료를 획득하였으며, 자료 불러오기 → 어두운 경계부분 제거(Remove GRD Border Noise) → thermal noise 제거 → 방사보정(calibration) → sigma naught → 기하보정(AUTO:42001 - WGS 84 / Auto UTM) → 구글어스아웃풋 의 파이썬 코드 작성(ESA SNAP의 파이썬 모듈 SNAPPY 이용)의 과정을 시행하였다. Geotiff파일로 생성된 여름철 Sentinel-1A/B EW mode를 구글어스에 overlay할 수 있도록 kmz 변환 프로그램 제작하였다. (영상영역 밖 어두운 부분 처리 포함)(GDAL 프로그램과 파이썬 이용)

나. 기하 보정된 Sentinel-1 A/B자료의 모자익을 위한 기하 정확도 평가
Sentinel-1A/B의 xml파일에 포함되어있는 파라미터 값들만을 이용하여 기하보정 수행 시 보정된 영상의 기하정확도를 평가하였다. WGS84/ auto UTM로 기하보정을 수행하였다. 이에 따라 6일 이내 획득 시간차에 따른 해빙이동 효과를 분석하였다. (해빙의 이동속도에 따라 다르나 약 10km 이상의 차이 발생 가능)

다. 모자익 된 Sentinel-1A/B자료로부터 북극해 해빙의 분포 특성 파악
겨울철 MYI의 이동에 대한 분포 특성 파악 (북극점 근처에 존재하는 MYI가 캐나다 위로 남하한 후 서쪽으로 이동하는 현상이 파악됨)

라. Open Water, FYI, MYI를 구분하기 위한 다양한 분류 알고리즘 조사 및 적용
싱글/이중편파, 후방산란계수, Multi-looking, 표준편차, 국소프랙탈(LFD), depolarization, GLCM 파라미터들을 계산하여 분리도 평가 및 최적의 파라미터 탐구를 진행하였다. 하나의 이중편파 SAR영상을 총 28가지 기법을 적용하여

분류를 수행하였다. (무감독 분류 2가지, 감독분류 5가지, speckle filtering의 window size를 각각 7과 11, 그리고 단일편과 자료만 또는 이중편과 자료를 함께 사용했을 경우 등)

추가적으로 Local Fractal Dimension(LFD)을 계산한 후 Markov Random Field(MRF)를 적용한 분류도 수행하였다. (LFD는 다음 식을 이용하여 구하였다.)

$$H = \lim_{a \rightarrow 0} \{\log(\Delta V) / \log(a)\} = \lim_{r \rightarrow 0} \{\log(\Delta V) / \log(r^2)\} \\ = \frac{1}{2} \lim_{r \rightarrow 0} \{\log(\Delta V) / \log(r)\}$$

또한 딥러닝 알고리즘 중 이미지 Classification에 널리 사용되는 Convolutional Neural Network들(CNN과 Resnet)에 대해 조사하였다. CNN은 입력받은 값 x 에 대해 weight layer를 거쳐 출력 $H(x)$ 를 내고, 이 $H(x)$ 가 올바른 타겟 값인 y 를 x 와 연결할 수 있도록 weight layer의 값을 조정한다. 그에 반해 Resnet은 weight layer를 거쳐서 나온 값인 $F(x)$ 에 대해 입력값 x 를 더해주고, 그것을 $H(x)$ 로 정의하고, 그 후 $H(x) - x = F(x)$ 가 0에 수렴하도록 weight layer의 값을 조정한다.

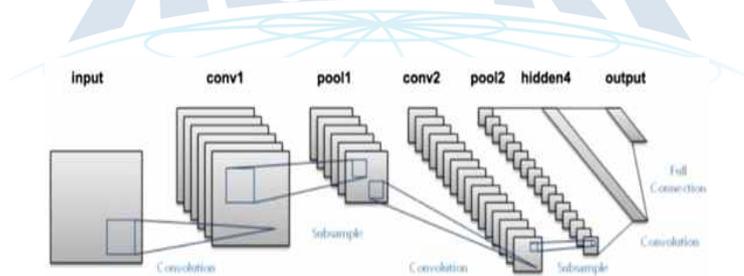


그림 9 본 연구에서 사용된 simple cnn의 구조

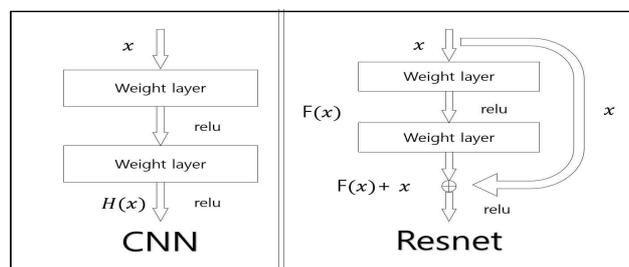


그림 10 일반적인 CNN과 Resnet의 차이

그 후 딥러닝 알고리즘을 위해 Sentinel-1A/B자료로부터 Open Water, FYI, MYI에 해당하는 학습자료를 경험적 영상판독을 기반으로 생성하였다. 지정된 영역에 대해 subset 파일로 자동 저장되는 matlab 코드 작성 Open Water, FYI, MYI 각 클래스

에 대해 각각 500개의 subset을 만들고, 딥러닝 코드 내에서 32x32로 잘라지게 하여 총 80,000개의 학습자료를 생성하였다.

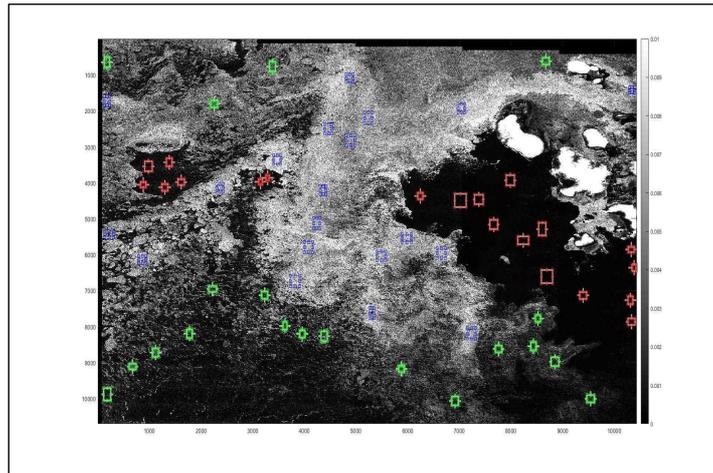


그림 11 학습자료 예시(1)

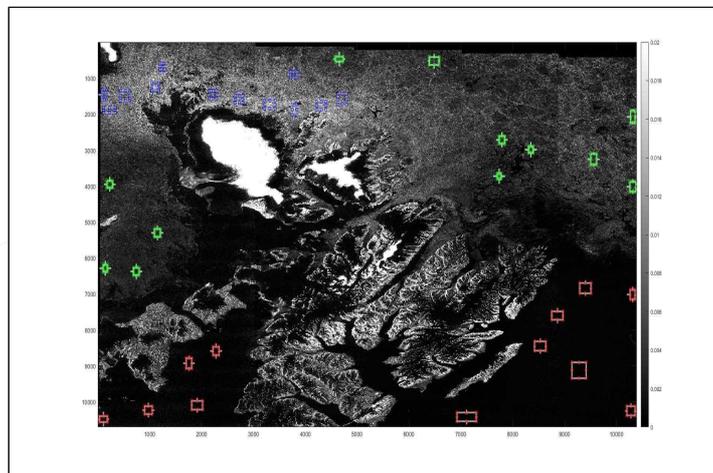


그림 12 학습자료 예시(2)

<HH, HV, HVC, Inc 레이어를 갖는 Sentinel-1 전처리 자료를 생산한 후 경험적 판독을 바탕으로 Open Water(red), FYI(Green), MYI(Blue)로 구분하여 지정>

파일명	날짜	크기	유형
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_1.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_2.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_3.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_4.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_5.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_6.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_7.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_8.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_9.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_10.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_11.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_12.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_13.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_14.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_15.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_16.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_17.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_18.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_19.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_20.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_21.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_22.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_23.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_24.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_25.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_26.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_27.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_28.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_29.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_30.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_31.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_32.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_33.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_34.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_35.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_36.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_37.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_38.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_39.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_40.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_41.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_42.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_43.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_44.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_45.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_46.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_47.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_48.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_49.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF
1.A_SV_GNDMA_150M_20170701100000_01170701100000_011727_01C032_7803_multityear_50.tif	2017-10-21 09:18	1.08 MB	TIFF

그림 13 생성된 학습자료의 모습

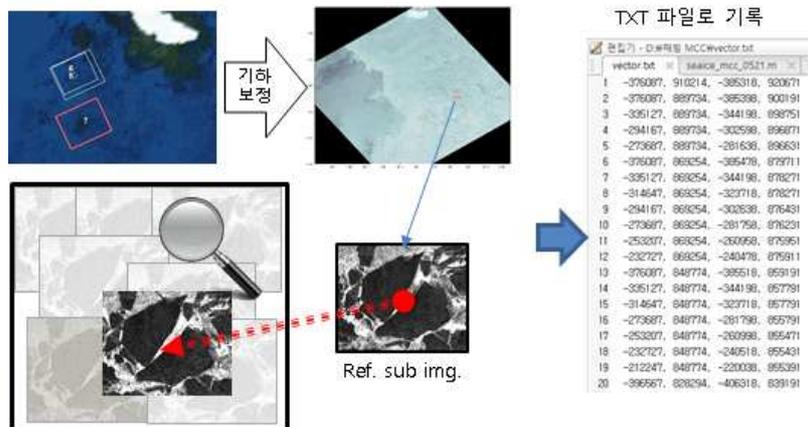


그림 17 해빙 이동궤적 탐지 알고리즘 개념도

나. 해빙 이동지도 산출 및 결과 검증(북극해 해빙의 이동궤적 실측자료 확보)
 2019년 북극해 아라온 조사 때 위성을 통한 GPS 신호 발신기 2기를 해빙에 설치하였으며, 그 모습은 아래와 같다.



그림 18 해빙에 설치한 GPS 신호기의 모습

3절 연구결과

1. SAR자료(Sentinel-1A,B)를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구
 가. Sentinel-1A HV 영상 보정 알고리즘 개발
 자체적인 보정식을 이용하여 HV 자료의 scalloping 효과를 보정한 후, thermal

noise를 보정한 결과는 다음과 같다.

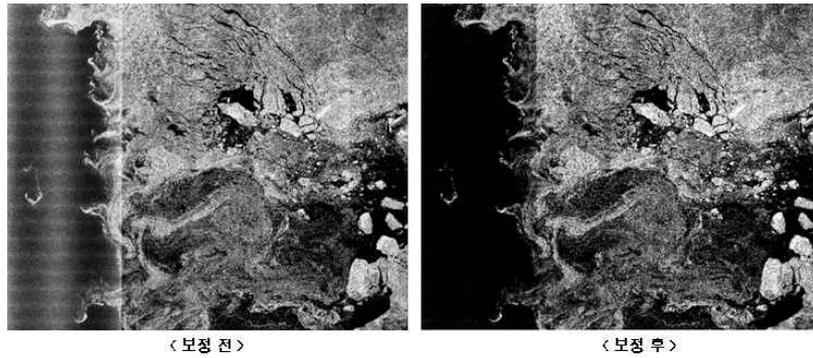


그림 19 Thermal, scalloping noise를 보정한 Sentinel-1 HV 영상의 모습

최근 Sentinel-1A/B의 HV자료를 보정하기 위한 논문이 출판된 바 있으며 (Park et al., 2017), 이 논문을 기반으로 알고리즘을 구현하였다(python code로 구현).



AZtimeList.py	Retry	4 months ago
Ka.py	no percentage	4 months ago
Kns_ssw.py	planet	4 months ago
Kpb_ssw.py	planet	4 months ago
Ks.py	Sunday	4 months ago
Relationship.py	planet	4 months ago
Sentinel_1_HV_Correction.py	Update Sentinel_1_HV_Correction.py	18 days ago
ShowSSW.py	planet	4 months ago
callInterpolation.py	planet	4 months ago
kalInterpolation.py	Retry	4 months ago
noiseInterpolation.py	planet	4 months ago
tiffFile.py	timelisting	4 months ago

그림 20 본 연구에서 개발된 알고리즘과 논문 알고리즘과의 비교

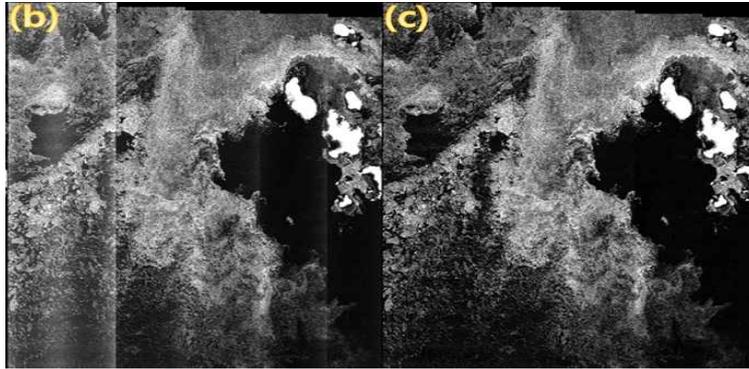


그림 21 Park et al., 2017을 기반으로 한 보정된 위성 영상. <2017년 7월 1일 촬영된 Sentinel-1A 위성영상. (b)는 HV 밴드이며, (c)는 HV 밴드에서 thermal noise/scalloping 등을 제거한 HVC 밴드(본 연구)>

2. 해빙 종류(FYI/MYI) 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전영역 모자이크

가. 북극해 전 영역에 대한 SAR자료 획득 및 모자이크

Scihub로부터 획득한 총 684개의 여름철 Sentinel-1 A/B 자료는 다음과 같다.

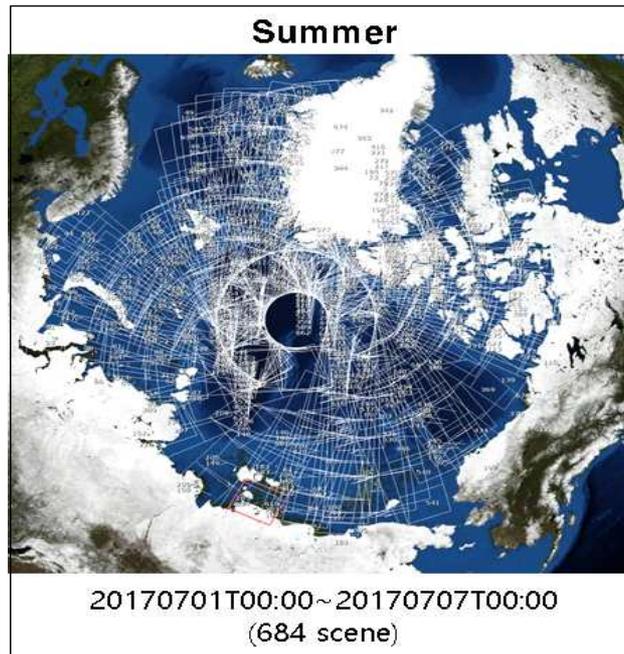


그림 24 Scihub로부터 획득한 총 684개의 여름철 Sentinel-1 A/B 자료의 모습

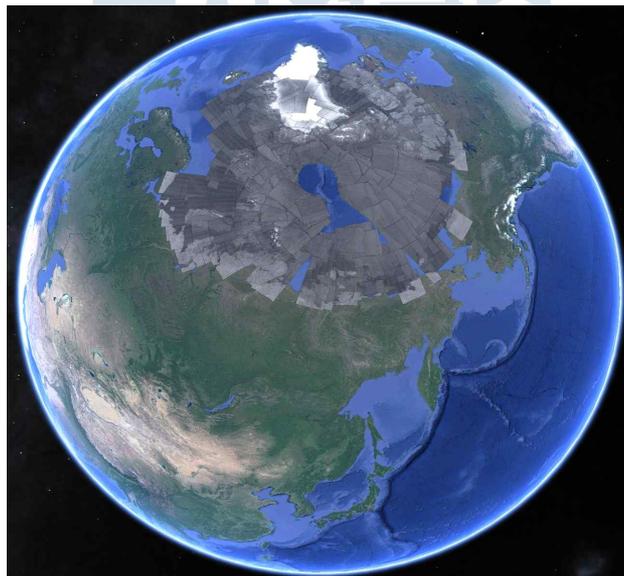


그림 25 생성된 684개의 kmz파일을 구글어스에 overlay 한 결과

Scihub로부터 획득한 총 642개의 겨울철 Sentinel-1 A/B 자료는 다음과 같다.

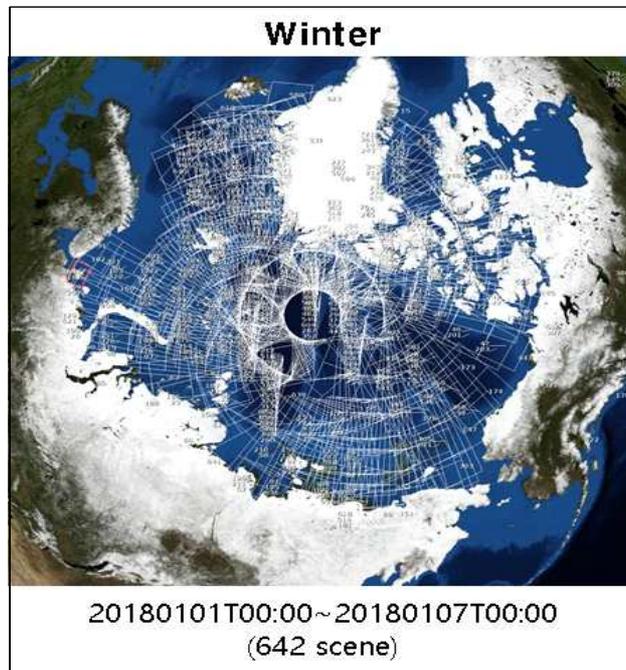


그림 26 Scihub로부터 획득한 총 642개의 겨울철 Sentinel-1 A/B 자료의 모습



그림 27 생성된 642개의 kmz파일을 구글어스에 overlay 한 결과

나. 기하 보정된 Sentinel-1 A/B자료의 모자이크을 위한 기하 정확도 평가

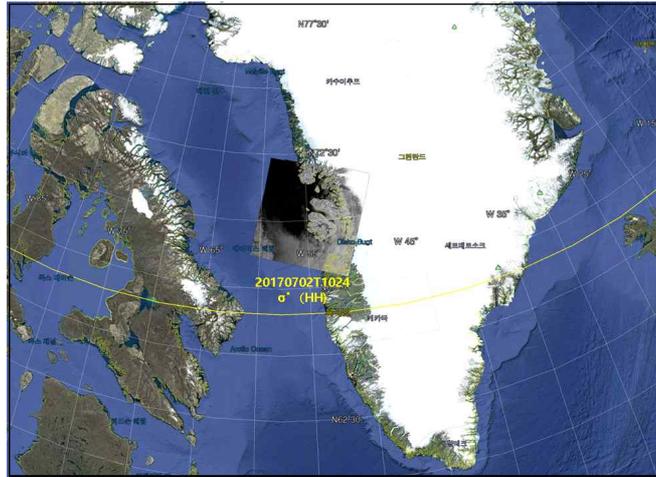


그림 28 좌: 기하보정 후 구글어스에 overlay, 우: 구글어스의 해안선(노란색선) 대비 영상의 해안선 차이

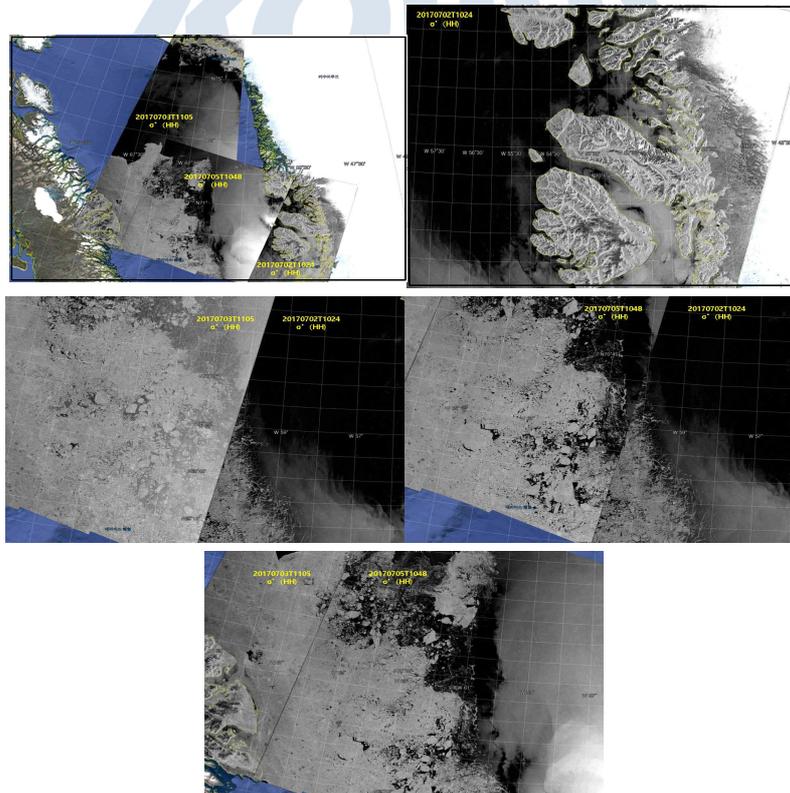


그림 29 6일 이내 획득 시간차에 따른 해빙이동 효과 분석 (해빙의 이동속도에 따라 다르나 약 10km 이상의 차이 발생 가능)

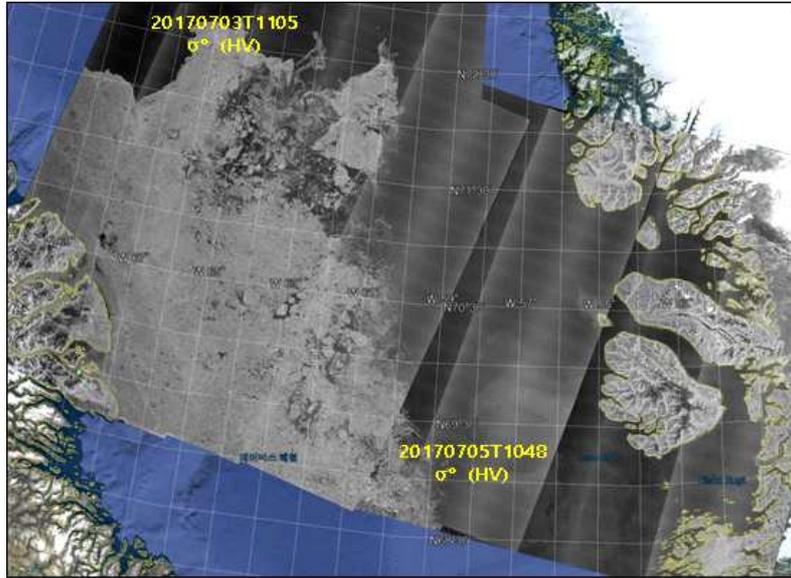


그림 30 6일 이내에 포함되는 Sentinel-1A/B자료의 획득 시간차에 의한 인접 영역 해빙의 위치변화 특성

다. 모자이크 된 Sentinel-1A/B자료로부터 북극해 해빙의 분포 특성 파악

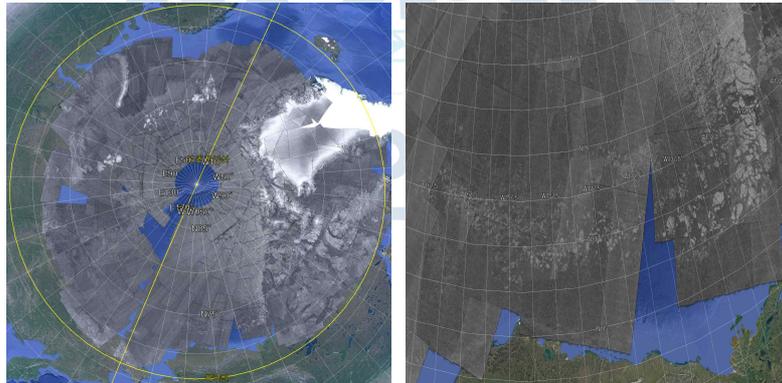


그림 31 좌: 북극해 전 영역에 대한 6일동안의 Sentinel-1A/B자료 overlay 영상, 우: 캐나다 북쪽 북극해에 나타난 MYI의 분포 및 이동 방향 영상

라. Open Water, FYI, MYI를 구분하기 위한 다양한 분류 알고리즘 조사 및 적용 Random Forest 기법을 적용할 경우 speckle filter의 window size가 클 때(즉, 11일 때) 더 좋은 분류결과를 보여 준다.

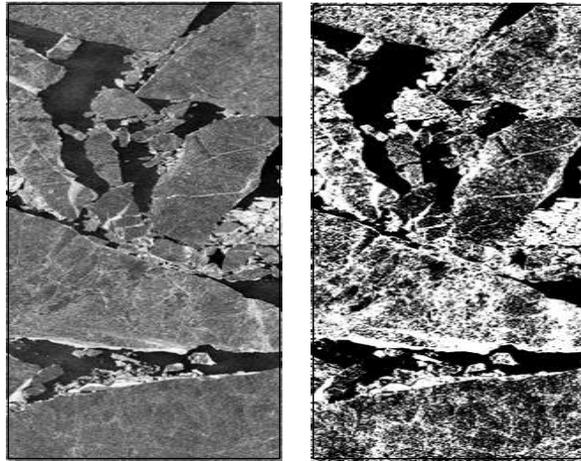


그림 32 좌: 원본 SAR 영상, 우: 분류기법 적용 후 영상

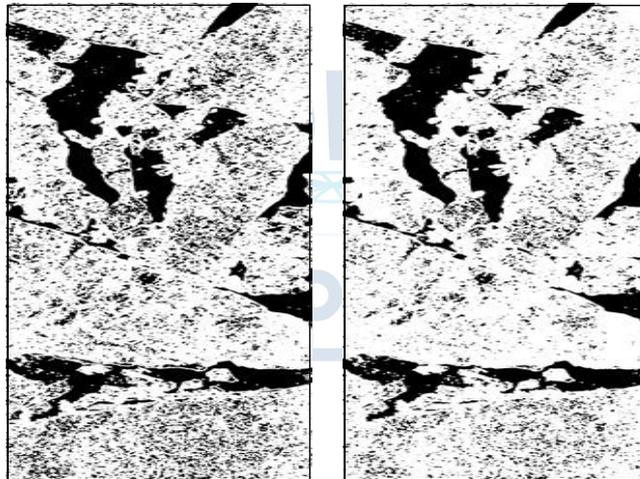


그림 33 좌: LFD 계산 결과만을 이용한 분류, 우: LFD 및 SAR intensity를 이용한 분류

Evaluation Criteria *		
SAR intensity	LFD	SAR+LFD
0.6410	0.6924	0.7221

현재 확보한 학습 자료만을 가지고 평가해 볼 때 Simple CNN + (HV & INC) 조합이 해빙 구분에 최적이다(Jeon et.al., 2019) 이 조합을 이용하여 2019년 9월 15일 16시부터 18:30분 까지 약 2시간 30분 동안 획득된 11개 영상에 대해 해빙 구분 알고리즘을 적용한 결과는 다음과 같다.

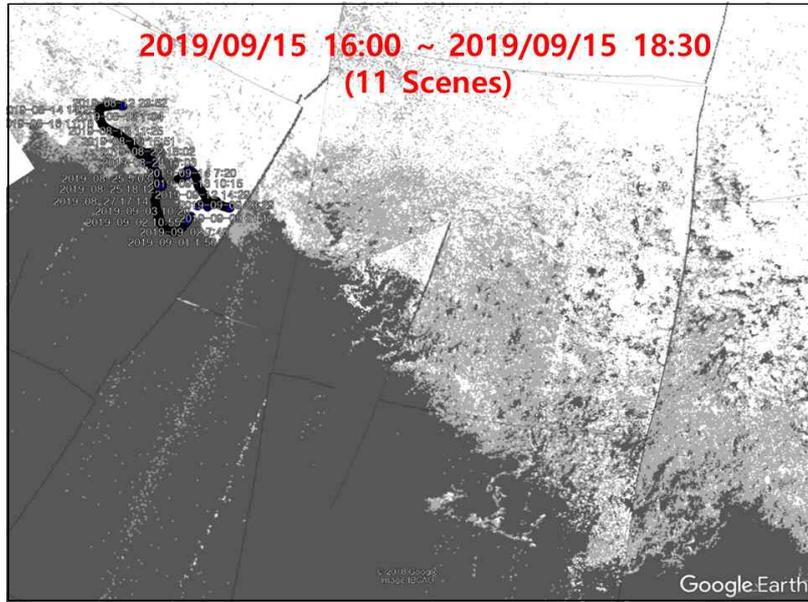


그림 34 2019년 9월 15일간 획득된 11개의 영상에 해빙 분류 알고리즘을 적용한 결과

3. SAR자료 간 해빙 이동궤적 추출 알고리즘 연구

가. 근접 시기에 촬영된 동/이종 SAR자료 간 상관계수 분석 및 합성기법을 통한 해빙의 이동궤적 추출 핵심 알고리즘 연구
 작성된 알고리즘을 적용하여 해빙의 이동궤적을 탐지한 결과는 아래와 같다.(Maximum Cross Correlation의 값이 0.3을 초과하는 경우에만 표시하였다)

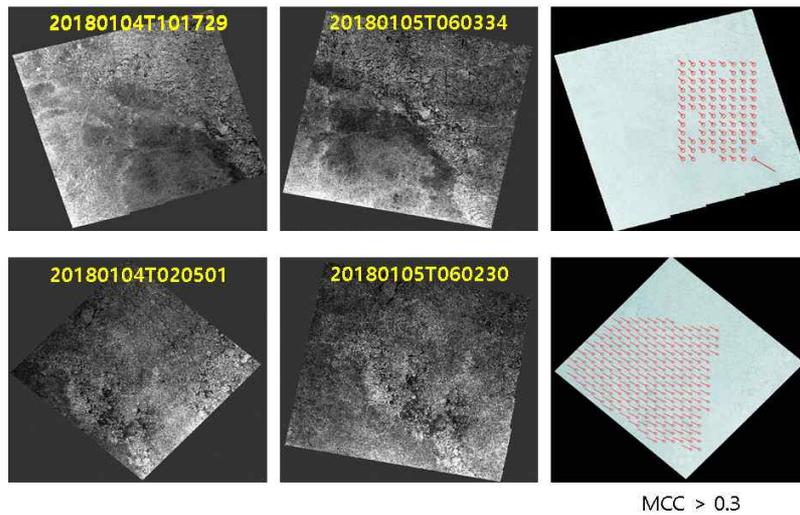


그림 35 본 연구의 알고리즘을 적용한 탐지된 해빙의 이동 궤적

나. 해빙 이동지도 산출 및 결과 검증(북극해 해빙의 이동궤적 실측자료 확보)
인터넷을 통해 해빙의 이동궤적을 실시간으로 모니터링 및 자료를 수집하였다.

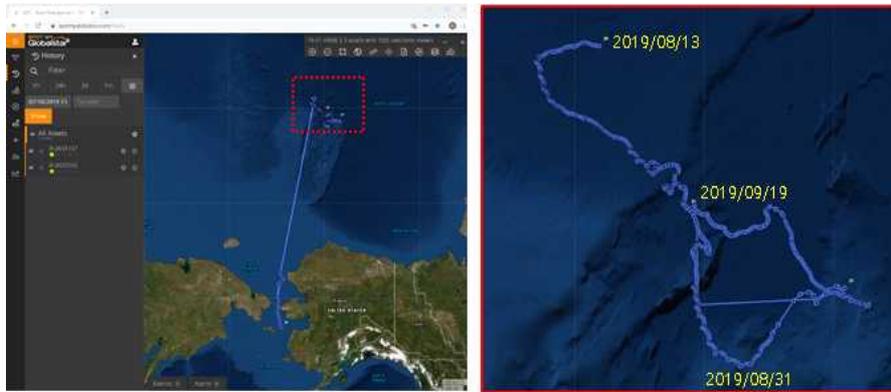


그림 36 2019년 8월 13일부터 2019년 10월 7일까지의 해빙 궤적

또한 Sentinel-1 SAR자료와 실측자료와의 비교 검증을 위해 Drifter이동경로 중 Sentinel-1A/B자료가 있는 위치 산정 및 정밀 검토를 하였다.



4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

년도	성과목표	세부목표	달성도	구체적인 내용
1차년도(2017)	SAR 자료 (Sentinel-1A, B)를 활용한 해빙 면적 산출을 위한 전처리 알고리즘 연구	Sentinel-1A HV 영상 보정 알고리즘 개발	100%	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sentinel-1 A/B 위성 시스템 이해 및 신호처리 방법 분석 ○ annotation 폴더 안의 xml 파일 자료로부터 range방향의 thermal noise 효과 및 azimuth 방향의 scalloping 효과 보정
		대용량 Sentinel-1A/B 자료다운 및 처리방안 구현	100%	<ul style="list-style-type: none"> ○ Python/SNAP/JAVA를 통한 자료 자동 다운로드 및 처리 코드 작성
2차년도(2018)	해빙 종류 (FYI/MYI) 구분 알고리즘 연구 및 북극해 전영역 모자이크	북극해 전 영역에 대한 SAR자료 획득 및 모자이크	100%	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기하학적인 모델을 기반으로 컴퓨터 프로그래밍 및 계산 결과의 영상화 ○ 북극해의 경우 일반적인 UTM투영법을 적용하기 어렵기에 북극해에 최적화된 투영법을 구현
		기계학습(딥러닝 등)기법을 활용한 해빙의 종류 구분 알고리즘 연구	100%	<ul style="list-style-type: none"> ○ 학습자료 확보를 위한 subset 추출 프로그램 구현 ○ 딥러닝 학습모델생성 및 추론을 위한 python 컴퓨터 코드 개발
3차년도(2019)	SAR자료 간 해빙 이동궤적 추출 알고리즘 연구	근접 시기에 촬영된 동/이종 SAR자료 간 상관관계 분석 및 합성기법을 통한 해빙의 이동궤적 추출 핵심 알고리즘 연구	100%	<ul style="list-style-type: none"> ○ Matlab 등을 활용하여 두 영상 간 동일지점 탐지 알고리즘 구현
		해빙 이동지도 산출 및 결과 검증	100%	<ul style="list-style-type: none"> ○ GPS가 탑재된 Drifter를 실제 북극해 해빙에 설치 및 실시간 모니터링 자료 획득 ○ SAR영상과 Drifter위치 비교 검증

5장 연구개발결과의 활용계획

1절 학술적 활용계획

본 연구의 학술적 활용 계획은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째는 지구온난화로 인한 기후변화를 모니터링하며 극지의 환경변화 연구에 기여하는 것이다. 둘째는 극지에 대한 시공간적 자료 축적으로 공공의 과학적 활용을 증대시키는 것이다. 셋째는 국제적 기후변화협약과 관련한 과학적 기초자료 제공 및 대응방안을 모색에 활용하는 것이다.

첫째에 대해서는, 빙권이 지구온난화로 인한 기후변화에 지대한 역할을 함에도 불구하고 현재까지 정밀한 해빙 분류 알고리즘의 부재로 정확한 북극해 해빙 면적을 산출하여 기후 모델링을 하지 못했다는 점이 있다. 그러나 본 연구에서 개발된 해빙 분류 알고리즘을 이용하면 이전에 비해 상대적으로 정확한 해빙 면적을 산출할 수 있으며, 이것은 기후 변화 모니터링 및 극지 환경변화 연구에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

둘째로 현재까지 극지에 대한 딥러닝 훈련자료 등이 공공의 과학적 활용을 위해 공유되지 않았는데, 본 연구에서 산출된 딥러닝 훈련자료, 해빙의 움직임 계산 자료 및 실측 자료 등은 공공의 과학적 활용을 위한 자료로서 널리 활용될 것으로 기대된다.

셋째로 본 연구의 결과물들은 지금까지 국내에서 연구되지 않은 극지 연구의 결과물들이므로 기후변화협약과 관련한 과학적 기초자료 제공 및 대응방안에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

2절 경제적 활용계획

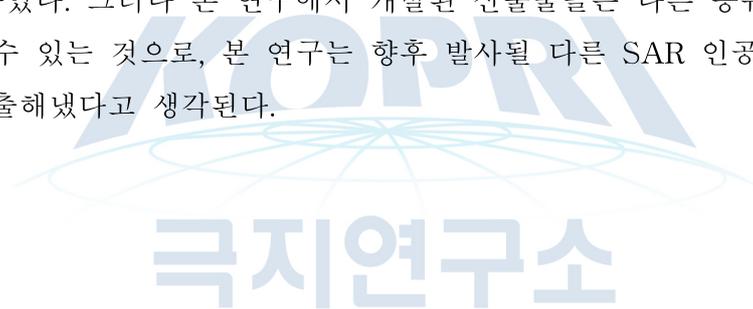
본 연구의 경제적 활용계획은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째는 해빙의 면적 및 이동궤적 정보는 북극해의 새로운 항로 및 자원 개발에 기여이며, 둘째는 현장조사보다 인공위성으로 정보를 획득한다면 많은 비용을 절감할 수 있는 것이고, 셋째는 향후 발사될 인공위성들의 잠재적 수요분야를 창출하는 것이다.

첫째 북극해의 새로운 항로에 대해서는, 기후변화로 인해 북극해의 얼음이 녹으면서 과거에는 불가능했던 북극항로의 개발 가능성이 높아지고 있다. 그런데 북극항

로는 해빙과 유빙들이 떠다니는 위험한 지역이기 때문에, 안전한 항해를 위해서는 북극해의 해빙을 정확히 분류하고 나아가 해빙의 움직임까지 예측하는 해빙 지도의 존재가 필수적이다. 본 연구에서는 북극해의 해빙 분류 알고리즘 및 이동 지도 산출을 연구하였는데, 이 연구의 결과물로서 안전한 북극항로 이용을 위한 해빙 지도 산출이 될 것이 기대된다.

둘째로 북극해의 영역이 광대하고 북극해가 위험한 지역이기 때문에 북극해를 직접 탐사하는 것은 비용이 많이 들고, 시간이 오래 걸리는 일이다. 그러므로 북극해를 원격탐사 방식으로 조사하는 것은 앞선 이유 때문에 필수적이며, 많은 비용을 절감할 수 있다고 생각된다.

셋째로 본 연구에서는 SAR자료 및 현장관측을 통한 북극해 해빙 면적 및 이동궤적 산출 알고리즘 개발을 연구하였는데, 본 연구에서는 주로 유럽우주국의 Sentinel-1 위성을 사용하였다. 그러나 본 연구에서 개발된 산출물들은 다른 종류의 SAR 위성에도 사용할 수 있는 것으로, 본 연구는 향후 발사될 다른 SAR 인공위성들의 잠재적 수요를 창출해냈다고 생각된다.



6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음



7장 참고 문헌

PARK, Jeong-Won, et al. Efficient thermal noise removal for Sentinel-1 TOPSAR cross-polarization channel. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2017, 56.3: 1555-1565.

KIM, Yunjee, et al. A Study on the Radiometric Correction of Sentinel-1 HV Data for Arctic Sea Ice Detection. Korean Journal of Remote Sensing, 2018, 34.6: 1273-1282.

JEON, Hyungyun, et al. A Study on Classifying Sea Ice of the Summer Arctic Ocean Using Sentinel-1 A/B SAR Data and Deep Learning Models. Korean Journal of Remote Sensing, 2019, 35.6: 999-1009.



뒷 면

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.