

그린란드 지표 지질 매핑을 위한 다중분광 위성 영상과
반사분광학 기반 분석 기법 연구

Research on techniques for surface geological mapping in Greenland
using multi-spectral satellite imagery and reflectance spectroscopy



한국해양과학기술원
부설극지연구소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “그린란드 지표 지질 매핑을 위한 다중분광 위성 영상과 반사분광학 기반 분석 기법 연구”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 12. 31.



보고서 초록

과제관리번호	PE19430	해당단계 연구기간	2019.04.01. -2019.12.31	단계 구분	1 / 1
연구사업명	중 사업 명	기관목적사업			
	세부사업명	연구·정책지원사업			
연구과제명	중 과 제 명	신진연구원 지원과제			
	세부(단위)과제명	그린란드 지표 지질 매핑을 위한 다중분광 위성 영상과 반사분광학 기반 분석 기법 연구			
연구책임자	현 창 욱	해당단계 참여연구원수	총 : 1 명 내부 : 1 명 외부 : 0 명	해당단계 연구비	정부: 3,000 천원 기업: 천원 계: 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 부설 극지연구소 북극해빙예측사업단		참여기업명	해당사항 없음	
국제공동연구	해당사항 없음				
위 탁 연 구	해당사항 없음				
요약					보고서 면수
29					
<p>○ 연구목적 및 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 그린란드 지표 지질을 대상으로 다중분광 위성 영상 및 반사분광학 기반 분석 기법을 적용한 매핑 기술을 개발하고자 함 - 지질 매체의 분광반사특성을 기반으로 지표 지질 분포를 정밀 탐지할 수 있는 위성 탑재 센서와 매핑 기법들이 제안되고 있으나, 극지에서의 활용 사례는 제한적임 - 과제 수행으로부터 향후 미국, 유럽 및 일본 등에서 운용을 추진 중인 지질 매핑에 적합한 신규 위성 센서들의 활용 기반을 마련하고 극지 대상 연구를 선도할 수 있음 <p>○ 주요 연구내용 및 연구개발 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - ASTER, Sentinel-2, Landsat-8, WorldView-3 센서에 대한 다중분광 위성 영상 구축 및 대기 보정 전처리 수행 - 미국지질조사소 분광 라이브러리 기반 지질 매체별 분광반사도 데이터 구축 및 위성 센서별 분광반응특성 적용 - 북그린란드 Citronen Fjord 지역을 대상으로 괴상 황화광물 광상(massive sulphide deposit) 탐지 목적의 분광반사특성 기반 지표 지질 매핑 수행 - 위성 센서의 공간/분광해상도 및 잠재지수(potential index)와 분광혼합분석(spectral mixture analysis) 기반 매핑 결과 비교 <p>○ 연구개발결과의 활용계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 광역의 남북극권에 대한 기존 소축척 지질 정보 개선 - 그린란드 및 남극 내 미답지와 용빙으로 인한 신규 지질 노출지 탐사 - 세종과학기지와 장보고과학기지 등 남북극 과학기지 주변 지질 정보 고해상도화 - 극지 현장 샘플 및 무인기 초다분광(hyperspectral) 영상과 결합하여 광역 탐사 알고리즘 검증과 고정밀화 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	그린란드, 원격탐사, 위성 영상, 반사분광학, 지질도			
	영 어	Greenland, remote sensing, satellite imagery, reflectance spectroscopy, geological map			

요 약 문

I. 제 목

- 그린란드 지표 지질 매핑을 위한 다중분광 위성 영상과 반사분광학 기반 분석 기법 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 목적

- 그린란드 지표 지질을 대상으로 다중분광 위성 영상과 반사분광학 기반 분석 기법을 적용한 매핑 기술 개발

○ 필요성

- 다중분광 위성 영상 원격탐사는 현장 연구가 제한적이며 광역인 극지역에서의 지표 지질 탐사에 효율적으로 적용 가능한 기법임
- 지질 매체의 분광반사특성을 기반으로 위성 영상으로부터 분포를 정밀 탐지할 수 있는 기법들이 제안되고 있으나 극지역에서의 활용성 및 매핑 결과에 대한 평가 사례는 극히 제한적임
- 최근 지질 매핑에 효과적인 과장 영역의 영상 밴드를 포함하는 위성 센서들이 운용되고 있으며 그린란드 지표에 대해서도 광역 매핑 수행을 기대할 수 있음
- 향후 미국, 유럽 및 일본 등에서 운용을 추진 중인 지질 매핑에 적합한 신규 위성 센서들의 활용 기반을 마련하고 극지 대상 연구를 선도할 수 있음

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 그린란드 지표 지질 매핑에 적합한 다중분광 위성 영상 구축 및 전처리 수행
- 지질 매체별 분광반사도 데이터 구축 및 위성 센서 분광반응특성 변환
- 분광반사특성 기반 지표 지질 매핑 수행
- 위성 센서 및 분석 기법별 매핑 성능 평가

IV. 연구개발결과

- WorldView-3, Landsat-8, Sentinel-2A/2B, ASTER 위성 영상 획득 및 구축
- 위성 영상의 방사 보정 및 반사도 변환을 위한 대기 보정 수행
- 분광 라이브러리로부터 연구 대상 지역에 분포하는 암석과 광물의 분광반사도 데이터 확보 및 구축
- 분광 라이브러리 자료와 위성 영상과의 비교 분석을 위해 각각의 위성 센서의 밴드별 분광반응특성을 기반으로 하는 분광반사도 변환 수행
- 연구 지역에 분포하는 지질 매체에 특화된 밴드 비율 기반 잠재 지수 개발
- 연구 지역 지질 분포를 고려한 선형 분광 혼합 분석 기반 지질 매핑 수행
- 위성 센서 및 기법별 지표 지질매핑 결과를 비교 분석

V. 연구개발결과의 활용계획

- 개발 기술을 활용하여 세종과학기지와 장보고과학기지 등 남북극 과학기지 주변 지질 정보 고해상도화
- 남북극 현장 조사 자료 및 무인기 초다분광 영상과 결합하여 향후 광역 탐사 알고리즘 검증과 고정밀화 추진
- 북극권 신규 지질 자원 분포 탐사 수행



S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

I. Title

Research on techniques for surface geological mapping in Greenland using multi-spectral satellite imagery and reflectance spectroscopy

II. Purpose and Necessity of R&D

- Purpose of R&D
 - Development of geological mapping techniques using multi-spectral satellite imagery and reflectance spectroscopy applicable to Greenland
- Necessity of R&D
 - Multi-spectral remote sensing technique is effective for polar regions where area is vast and fieldwork is very limited.
 - Applications of geological mapping using multi-spectral satellite remote sensing and spectral reflectance of geomaterials are rare in polar regions.
 - Recently, satellites with multi-spectral sensors which are suitable to geological mapping were launched, and these sensors can be applied to geological studies in Greenland.
 - The results from this study can be applicable to new hyperspectral satellite sensors planned to be launched in near future, and are helpful to take the lead of geological remote sensing field in polar regions.

III. Contents and Extent of R&D

- Collecting multi-spectral satellite imagery for geological mapping in Greenland and preprocessing of the imagery
- Collecting spectral reflectance data of minerals and converting mineral spectra using spectral reflectance function of satellite sensors
- Reflectance spectroscopy based geological mapping in Greenland
- Assessment on applicability of satellite sensors for geological mapping

IV. R&D Results

- Collecting multi-spectral imagery from WorldView-3, Landsat-8, Sentinel-2A/2B and ASTER satellite sensors
- Applying radiometric and atmospheric corrections to satellite imageries
- Collecting reflectance spectra of geomaterials in study area from spectral library
- Converting raw reflectance spectra to the reflectance spectra convolved into satellite sensor bands using spectral response functions
- Development of band ratio based mineral potential index specialized for target geomaterial in study area
- Geological mapping using linear spectral unmixing technique with a consideration of geology in study area
- Comparison of geological mapping results between applied mapping methods and used satellite sensor imageries

V. Application Plans of R&D Results

- Enhancing spatial resolution of geological information around arctic and antarctic science stations, e.g., King Sejong Station and Jang Bogo Station
- Validating and improving geological mapping techniques by combining with field investigation and hyperspectral UAV imagery
- Exploration of new mineral deposits in arctic area

C O N T E N T S

(영 문 목 차)

Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Current R&D status in Korea and other nations	7
Chapter 3 R&D Implementation Contents and Results	8
Section 1 Collecting multi-spectral satellite imagery for geological mapping in Greenland and preprocessing of the imagery	8
Section 2 Collecting spectral reflectance data of minerals and converting mineral spectra using spectral reflectance function of satellite sensors	14
Section 3 Reflectance spectroscopy based geological mapping in Greenland	18
Section 4 Assessment on applicability of satellite sensors for geological mapping	22
Chapter 4 Application plans of R&D results	23
Chapter 5 References	25
Chapter 6 Responses for evaluation comments	28

KOPRI
극지연구소

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황	7
제 3 장 연구개발 내용 및 결과	8
제 1 절 그린란드 지표 지질 매핑에 적합한 다중분광 위성 영상 구축 및 전처리 수행	8
제 2 절 지질 매체별 분광반사도 데이터 구축 및 위성 센서 분광반응특성 변환	14
제 3 절 분광반사특성 기반 지표 지질 매핑 수행	18
제 4 절 위성 센서 및 분석 기법별 매핑 성능 평가	22
제 4 장 기대성과 및 활용방안	23
제 5 장 참고문헌	25
제 6 장 평가의견 반영사항	28



제 1 장 서론

제 1 절 연구개발의 배경

- 그린란드의 경우 영토의 약 20% 면적에 대해 지질이 해안을 따라 광역으로 노출되어 있으며, 남극의 경우 전체 대륙의 약 0.2%만 지질이 노출되어 있기 때문에(그림 1) 효율적 지질 탐사 방법이 필요한 실정임

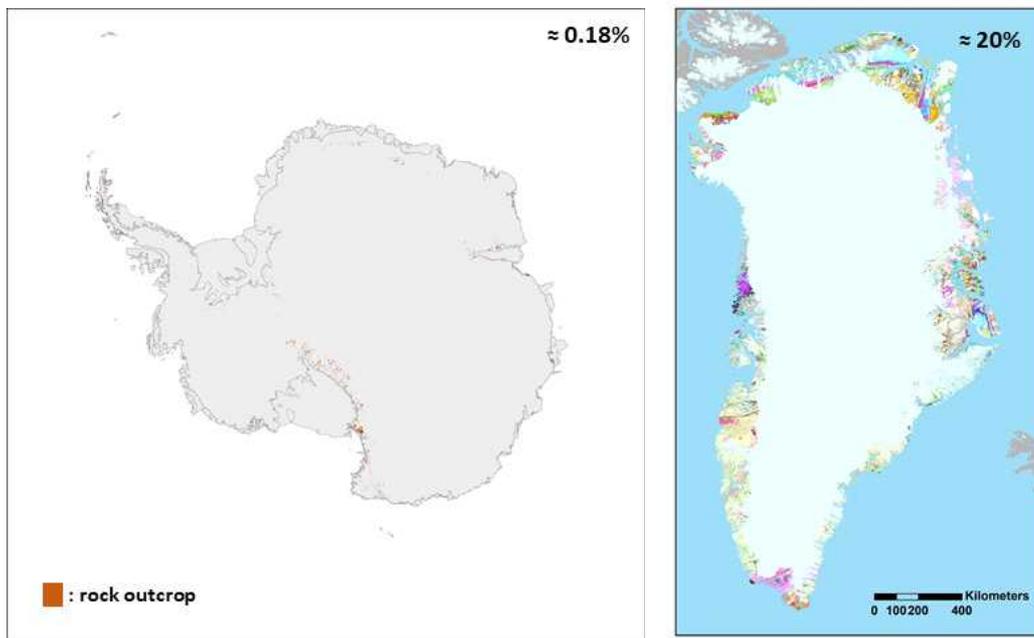


그림 1 남극 대륙 지표 지질 노출지 분포(Burton-Johnson et al., 2016)와 그린란드 지표 지질 노출지 분포(<http://www.geus.dk>)

- 기후 변화로 인한 육상 빙하 후퇴 등 지표 지질이 새롭게 노출되는 사례가 관측되고 있으며 (그림 2), 이러한 경우 소규모로 산재하는 신규 노출지의 공간 분포 특성 및 극지역 환경을 고려한 지질 정보 획득법의 적용이 필요함

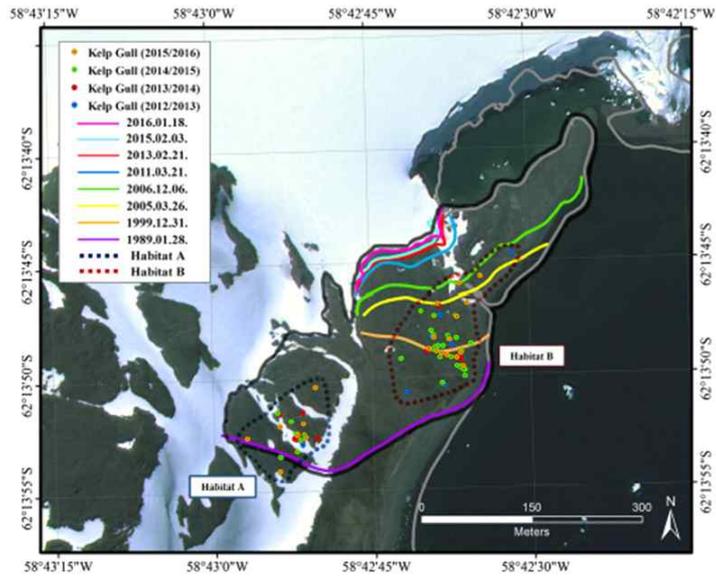


그림 2 남극 킹조지섬 바톤반도에서의 육상 빙하 후퇴 및 신규 노출지 확장 예(Lee et al., 2017)

- 다중분광 위성 영상 기반의 원격탐사는 현장 연구가 제한적이며 소규모의 노두(outcrop) 노출이 광역 분포하는 극지 환경에서의 지표 지질 탐사에 효과적인 기법임
- 지질 매체의 분광반사특성을 기반으로 위성 영상으로부터 분포를 정밀 탐지할 수 있는 원격탐사 기법들이 제안되고 있으나 극지에서의 활용성 및 매핑 결과에 대한 평가 사례는 극히 제한적임
- 최근 지질 매핑에 효과적인 과장 영역의 영상 밴드를 포함하는 위성 센서들이 운용되고 있으며(그림 3) 그린란드 지표에 대해서도 광역 매핑 수행을 기대할 수 있음

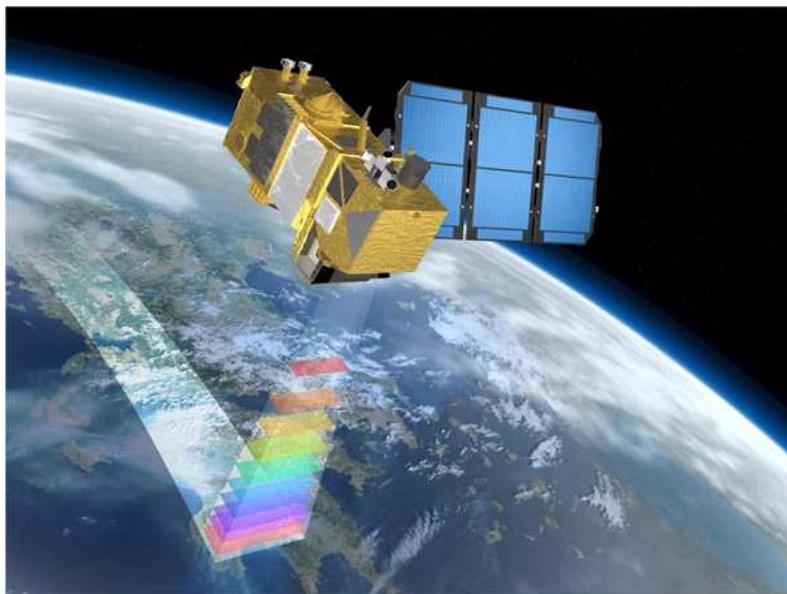


그림 3 다중분광 영상 센서를 탑재하고 있는 유럽항공우주국 (European Space Agency, ESA)의 Sentinel-2 위성의 영상 획득 개요(<http://www.esa.int>)

- 향후 미국, 유럽 및 일본 등에서 운용을 추진 중인 지질 매핑에 적합한 신규 위성 센서들의 활용 기반을 마련하고 극지 대상 연구를 선도할 수 있음

제 2 절 연구개발의 목적

- 본 과제에서는 그린란드 지표 지질 매핑을 위해 다중분광 위성 영상과 반사분광학 기반 분석 기법 적용 및 분포도 작성을 목표로 함

제 3 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 인공위성 원격탐사는 환경 특성상 현장 연구 지역에 대한 접근과 조사 시기가 제한적이며 광역인 극지역에서의 지표 지질 조사에 효율적인 기법임
- 반사분광학(reflectance spectroscopy)은 지질 구성 물질별 고유의 전자기과 에너지 흡수 특성(또는 흡광 특성)을 기반으로 물질 구분과 탐지를 가능하게 함(그림 4)

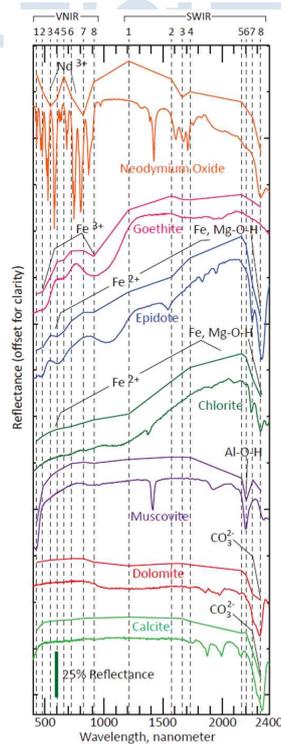


그림 4 광물 분광반사 특성 예(Mars, 2018)

- 광물과 암석의 흡광 특성이 다수 존재하는 단파장적외선(shortwave infrared; SWIR) 영역을 탐지할 수 있는 ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), Landsat-8, Sentinel-2A/2B 등의 위성 센서들이 운용되고 있어 지표 지질 매핑에 활용이 가능함
- 최근 고해상도(가시광/근적외선 영역에서 1.24 m, 단파장적외선 영역에서 3.7 m 공간해상도)이며 단파장적외선 영역에서 8개 밴드의 영상을 획득할 수 있는 WorldView-3 위성이 운용되기 시작하였으나(그림 5) 극지역 지질 매핑을 위한 활용성 평가가 이루어지지 않음

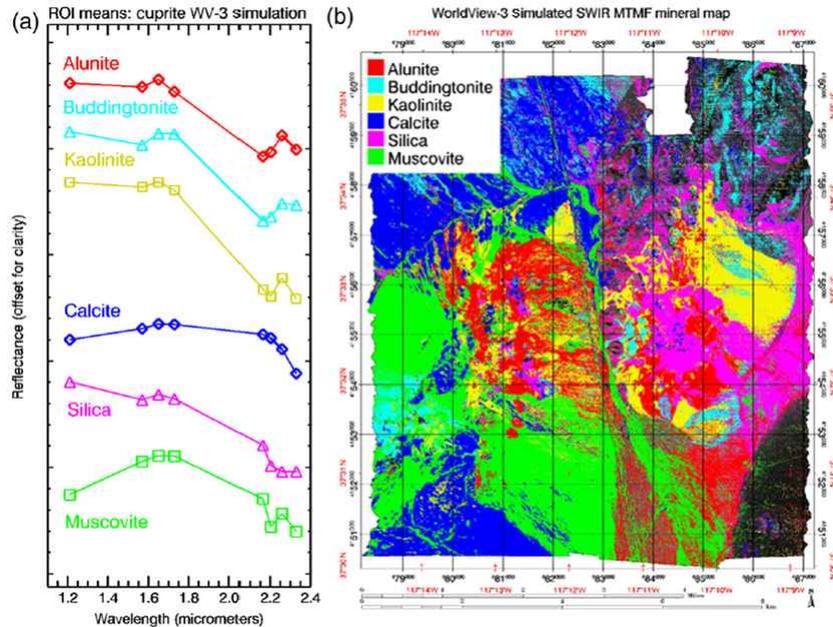


그림 5 WorldView-3 위성 센서 기반 지표 지질 분포도 작성(Kruse et al., 2015)

- 향후 미국, 유럽 및 일본 등에서 수백여 개의 영상 밴드로 구성된 초다분광(hyperspectral) 위성 센서의 운용이 예정되었으며 다중분광 위성 영상 이용 극지역 지질 매핑에 대한 연구를 통해 선제적 대응이 가능함

2. 경제·산업적 측면

- 고비용의 극지역 현장 조사 수행 전 광역 지질 정보를 제공함으로써 현장 조사 과정의 효율화와 탐사 지역 선정에 의사 결정에 핵심 정보의 제공이 가능함
- 북극 항로 이용의 가능성이 높아짐에 따라 이를 활용할 수 있는 북극권 지질자원 개발에 대한 국제적 관심이 고조되고 있으며, 북극권 지질 정밀 현장 조사 전 광역 분포에 대한 효과적인 정보 제공 기법이 될 수 있음

3. 과학적 측면

- 지표 지질 매핑 결과는 환경적 제약으로 인해 현장 조사가 이루어지지 않은 극지역 미답지에 대한 지질 분포 정보를 제공할 수 있음

- 빙하 후퇴 등 빙권 변화로부터 새롭게 드러나는 지표에 대한 탐지와 지질 분포 분석이 가능함
- 다양한 분광 및 영상 분석기법의 적용 결과를 평가하여 눈과 소규모 식생이 혼재하는 극지 육상 피복 특성에 최적화된 분석기법의 제안이 가능함

4. 사회·문화적 측면

- 광역의 극지역 지표 지질 매핑에 대한 연구 활성화 및 향후 해외 선진 연구 그룹과의 협력을 위한 기반 마련에 기여할 수 있음

5. 현 기술상태의 취약성

가. 최신 다중분광 위성 센서 활용 연구 필요

- Sentinel-2A/2B 및 WorldView-3 탑재 센서로부터 획득된 다중분광 영상은 지질 매핑 성능이 우수한 것으로 평가되고 있으나 아직 극지역의 지질 매핑에 적용되지 않아 이에 대한 활용성 평가가 필요함

나. 소규모 노출 지질 매핑을 위한 고해상도 자료 활용성 평가 필요

- 극지역의 경우 눈과 얼음 피복 분포로 인해 지표에 지질이 제한적으로 노출되기 때문에 고해상도 위성 영상은 작은 면적 단위로 분산 분포하는 노두 탐지에 활용도가 더 클 것으로 기대됨

다. 그린란드 지표 환경에 대한 평가 필요

- 그린란드 지표는 눈과 소규모 식생이 혼재하기 때문에 높은 정확도의 지질 매핑을 위해서는 다양한 분광 및 영상 분석기법의 적용에 대한 평가가 필요하고, 이로부터 극지역에 특화된 최적의 분석 기법 제시가 가능함

6. 앞으로의 전망

가. 미답지의 지표 지질 탐사에 대한 연구 기반 마련

- 현장 조사가 이루어지지 않은 미답지에 대한 지질 분포 정보를 획득할 수 있으며 이 결과는 향후 현장 조사 수행 시 참고 자료로 활용이 가능함

나. 향후 운용 예정인 신규 위성 센서의 활용을 위한 대응 필요

- EnMap (독일, 2020년 발사 예정), PRISMA (이태리, 2019년 발사), HISUI (일본, 2020년 발사 예정) 및 HypSIRI (미국, 2022년 이후 발사 예정) 등 다수의 초다분광 위성 센서의 운용이 예정된 상황에서 다중분광 위성 영상 이용 극지역 지질 매핑에 대한 연구를 통해 신규 위성 센서 활용에 대한 선제적 대응이 가능함

제 4 절 연구개발 내용 및 범위

1. 그린란드 지표 지질 매핑에 적합한 다중분광 위성 영상 구축 및 전처리 수행

가. 그린란드 지역 다중분광 위성 영상 구축

- WorldView-3, Landsat-8, Sentinel-2A/2B, ASTER 등 위성 영상 획득 및 구축

나. 다중분광 위성 영상 전처리 수행

- 영상을 구성하는 DN (digital number)의 방사 보정 및 반사도 변환을 위한 대기 보정

2. 지질 매체별 분광반사도 데이터 구축 및 위성 센서 분광반응특성 변환

가. 연구 지역 분포 지질 매체 조사 및 분광반사도 데이터 구축

- 기존 지질도 및 문헌 연구를 통한 지표 지질 분포 정보 수집
- 국내외의 다양한 분광 라이브러리로부터 연구 대상 지역에 분포하는 암석과 광물의 분광 반사도 데이터 확보 및 구축

나. 인공위성 센서별 분광반응특성 변환

- 분광 라이브러리 자료와 위성 영상과의 비교 분석을 위해 위성 센서의 밴드별 분광반응 특성을 기반으로 하는 분광반사도 변환

3. 분광반사특성 기반 지표 지질 매핑 수행

가. 지표 지질 매핑 기법 선정

- 연구 지역에 분포하는 지질 매체에 특화된 밴드 비율(band ratio) 기반 잠재 지수(potential index) 개발 및 분광 혼합 분석(spectral mixture analysis) 기법 선정

나. 지표 지질 매핑 수행

- 다양한 지질 매체에 대해 지표 지질 탐지(detection) 및 분포(abundance) 분석을 수행하고 결과 매핑
- 지질 매체 매핑 결과를 이용하여 연구 지역 광물/지질 분포도 작성

4. 위성 센서 및 분석 기법별 매핑 성능 평가

- 위성 센서 및 기법별 지표 지질매핑 성능 비교 분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 연구개발 현황

1. 반사분광학 기반 지질 매체 고유 흡광특성 분석
 - 암석 구성 광물의 풍화산물인 철산화물의 근적외선 영역 흡광특성과 점토 광물의 단파장적외선 영역 흡광특성 탐지 및 매핑을 수행함(Hyun and Park, 2011)
 - 사문석계(serpentine)와 각섬석계(amphibole) 석면(asbestos) 광물들의 단파장적외선 영역 흡광특성 탐지를 수행함
 - 건조/습윤 상태 석회암의 가시광/근적외선/단파장적외선 영역 분광반사곡선으로부터 부분최소 제곱 회귀분석 기법을 이용하여 산화칼슘(CaO) 함량을 정량 추정함(Oh et al., 2017)
2. 원격탐사 영상 기반 지질 매핑 수행
 - 미국 NASA의 Earth Observing-1 Hyperion 초다분광 위성 영상을 기반으로 탄산염암 노출 지역 탐지를 위한 잠재 지수(potential index)를 제안하고 부분 분광 혼합 분석(partial spectral unmixing) 기법을 적용한 매핑을 수행함(Hyun and Park, 2013)
 - 아북극권에서 항공기 탑재 센서인 AISA Eagle/Hawk 및 SEBASS (Spatially Enhanced Broadband Array Spectrograph System)로부터 획득된 가시광/근적외선/단파장적외선과 장파장적외선 초다분광 영상을 이용하여 초고철질(ultramafic) 암석과 고철질(mafic) 암석을 구분할 수 있는 잠재 지수를 제안함

극지연구소

제 2 절 국외 연구개발 현황

1. 다중분광 위성 영상 활용 극지역 지표 지질 매핑 수행
 - 남극과 그린란드 일부 지역에 대해 ASTER 및 Landsat 다중분광 위성 영상을 이용한 소수의 지표 지질 매핑 사례가 보고됨(Bedini, 2011; Hasselwimmer et al., 2011; Pour et al., 2018)
 - 최신 센서인 Sentinel-2A/2B (각각 2015년과 2017년 발사) 및 WorldView-3 (2014년 발사) 다중분광 위성 영상의 활용 사례나 활용성은 아직 평가되지 않음
2. 고해상도 다중분광 위성 센서 기반 연구
 - WorldView-3 위성 영상은 8개의 가시광/근적외선 밴드(공간해상도 1.24 m)와 8개의 단파장적외선 밴드(공간해상도 7.5 m)로 구성되며 통상적으로 30 m인 다른 위성 영상 대비 우수한 공간해상도와 증대된 SWIR 밴드 수로부터 사막 등 일부 지역에서 정밀도가 개선된 지표 지질 매핑 가능한 것으로 보고됨(Ye et al., 2017)

제 3 장 연구개발 내용 및 결과

제 1 절 그린란드 지표 지질 매핑에 적합한 다중분광 위성 영상 구축 및 전처리 수행

1. 그린란드 지표 지질 매핑을 위한 다중분광 위성 영상 최적 구축 시기 결정

- 그린란드 지표 지질 매핑은 최대 융설 시기에 수행되는 것이 가장 효과적이며, 이를 위해 MODIS/Terra Snow Cover Monthly L3 Global 0.05Deg CMG, Version 6 데이터(Hall and Riggs, 2015)를 활용하여 하계기간(6월-9월) 중 월별 지표 노출 정도를 평가함(그림 6)

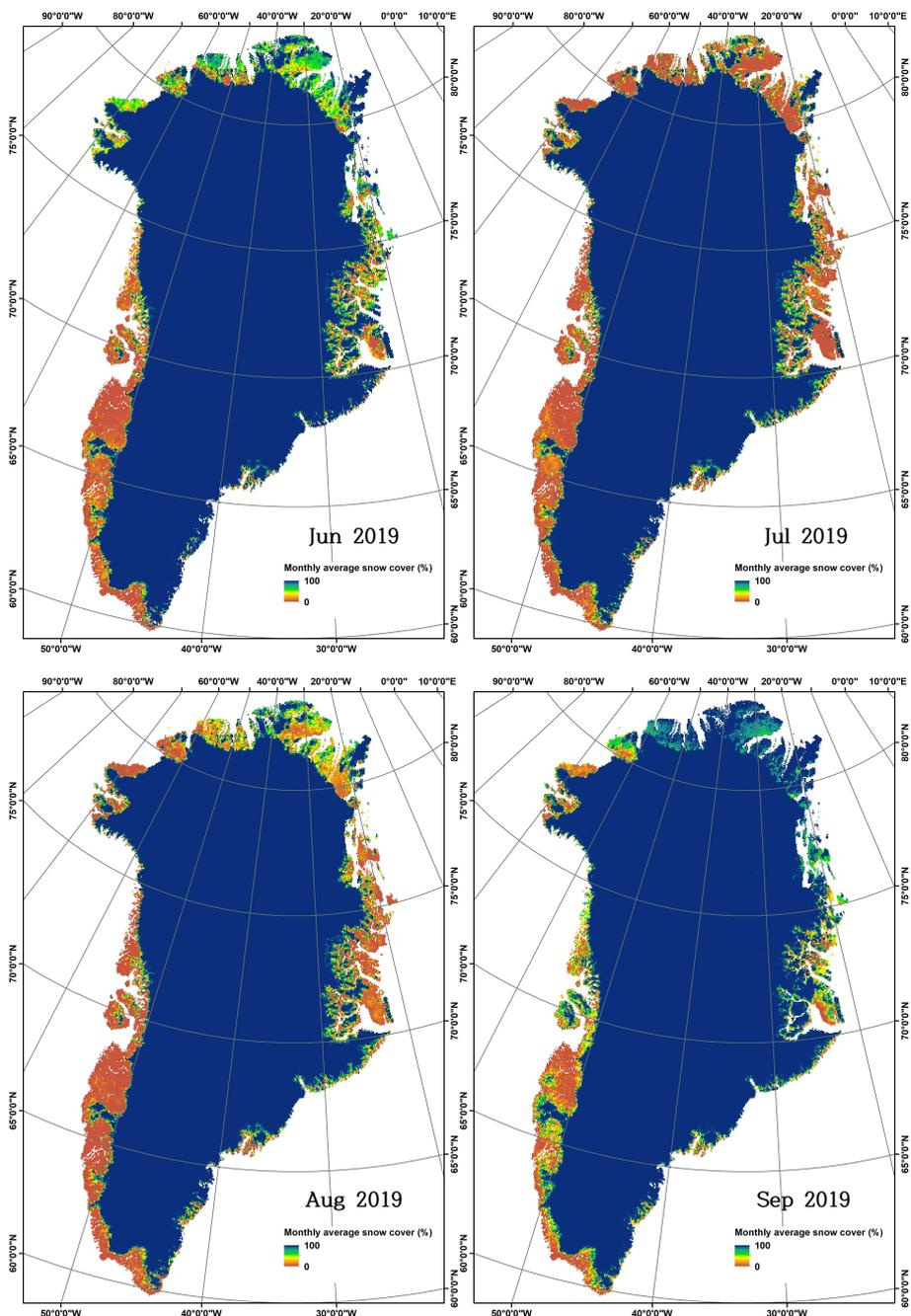


그림 6 월별 지표 노출 지역 분포 정보 예: 2019년 6월-9월

- 그린란드에서의 하계기간(6월-9월) 중 월별 지표 노출 정도는 7-8월이 가장 크며 다음으로 6, 9월인 것으로 평가되었으며(그림 7), 원격탐사 데이터 구축 시에도 7-8월 획득 데이터를 우선하여 구축하고 구름이나 위성 궤도 특성 등의 이유로 적합한 데이터가 없거나 데이터 누락 지역에 대해서는 6, 9월 획득 데이터를 차선으로 선택 필요

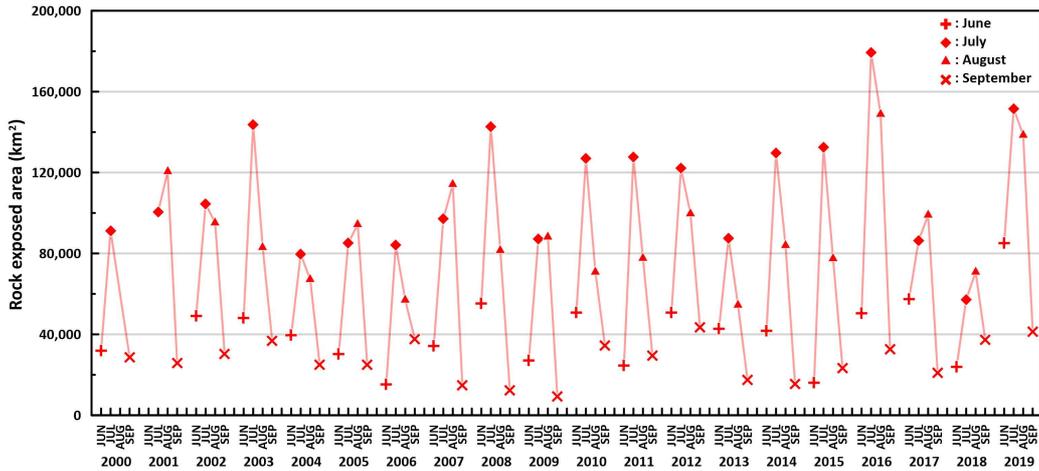


그림 7 그린란드 하계시기 중 월간 지표 노출 정도

2. 그린란드 지역 다중분광 위성 영상 구축

- WorldView-3, Landsat-8, Sentinel-2A/2B, ASTER 센서(표1-4)에서 획득된 위성 영상을 구축하였으며, Landsat-8, Sentinel-2A/2B, ASTER 센서 획득 영상과 같은 공개 데이터 확보를 위해 USGS EarthExplorer(그림 8)와 NASA Earthdata(그림 9) 시스템을 활용하였고 상용 데이터인 WorldView-3는 위성 운용사인 DigitalGlobe의 Search for imagery 기능을 통해 지구측된 데이터를 대상으로 분석 대상 지역 선정을 위한 검색 수행(그림 10)

표 1 WorldView-3 센서 제원 상세(modified from Asadzadeh and de Souza Filho, 2016)

Subsystem	Band No.	Spectral Range (μm)	Spatial resolution (m)
VNIR	1	0.400-0.450	1.24
	2	0.450-0.510	
	3	0.510-0.580	
	4	0.585-0.625	
	5	0.630-0.690	
	6	0.705-0.745	
	7	0.770-0.895	
	8	0.860-1.040	
SWIR	9	1.195-1.225	3.7
	10	1.550-1.590	
	11	1.640-1.680	
	12	1.710-1.750	
	13	2.145-2.185	
	14	2.185-2.225	
	15	2.235-2.285	
	16	2.295-2.365	

표 2 Landsat-8 센서 제원 상세(modified from Zanter, 2016)

Subsystem	Band No.	Spectral Range (μm)	Spatial resolution (m)
VNIR	1	0.435-0.451	30
	2	0.452-0.512	
	3	0.533-0.590	
	4	0.636-0.673	
	5	0.851-0.879	
SWIR	6	1.566-1.651	30
	7	2.107-2.294	
	9	1.363-1.384	
Panchromatic	8	0.503-0.676	15
TIR	10	10.60-11.19	100
	11	11.50-12.51	

표 3 Sentinel-2A/2B 센서 제원 상세(modified from European Space Agency, 2015)

Subsystem	Band No.	Center wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Spatial resolution (m)
VNIR	1	443	20	60
	2	490	65	10
	3	560	35	
	4	665	30	
	5	705	15	20
	6	740	15	
	7	783	20	
	8	842	115	10
	8a	865	20	20
9	945	20	60	
SWIR	10	1375	30	60
	11	1610	90	20
	12	2190	180	

표 4 ASTER 센서 제원 상세(modified from Abrams et al., 2002)

Subsystem	Band No.	Spectral Range (μm)	Spatial resolution (m)
VNIR	1	0.520-0.600	15
	2	0.630-0.690	
	3N	0.780-0.860	
	3B	0.780-0.860	
SWIR	4	1.600-1.700	30
	5	2.145-2.185	
	6	2.185-2.225	
	7	2.235-2.285	
	8	2.295-2.365	
	9	2.360-2.430	
TIR	10	8.125-8.475	90
	11	8.475-8.825	
	12	8.925-9.275	
	13	10.25-10.95	
	14	10.95-11.65	

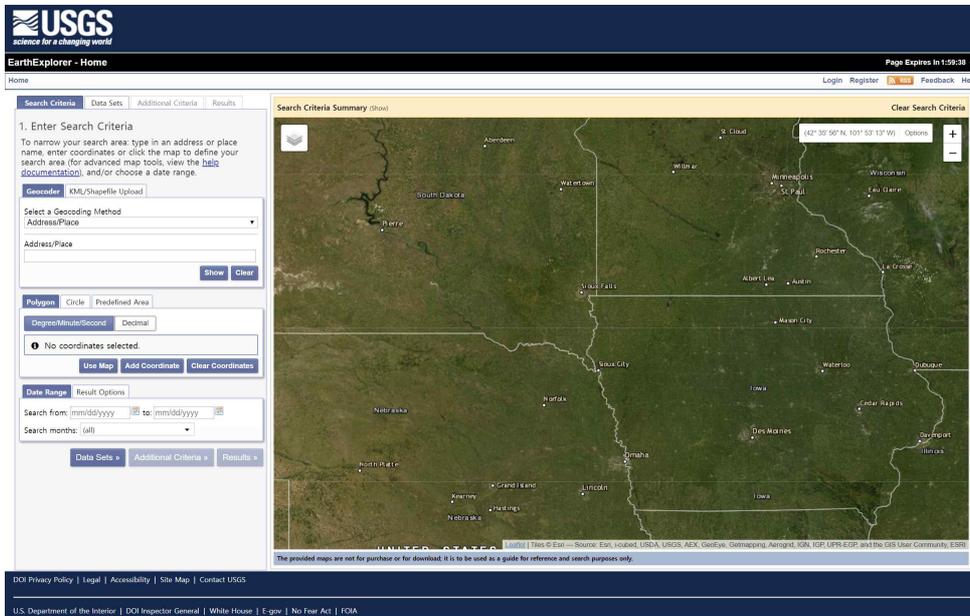


그림 8 USGS EarthExplorer 웹사이트(<https://earthexplorer.usgs.gov>)

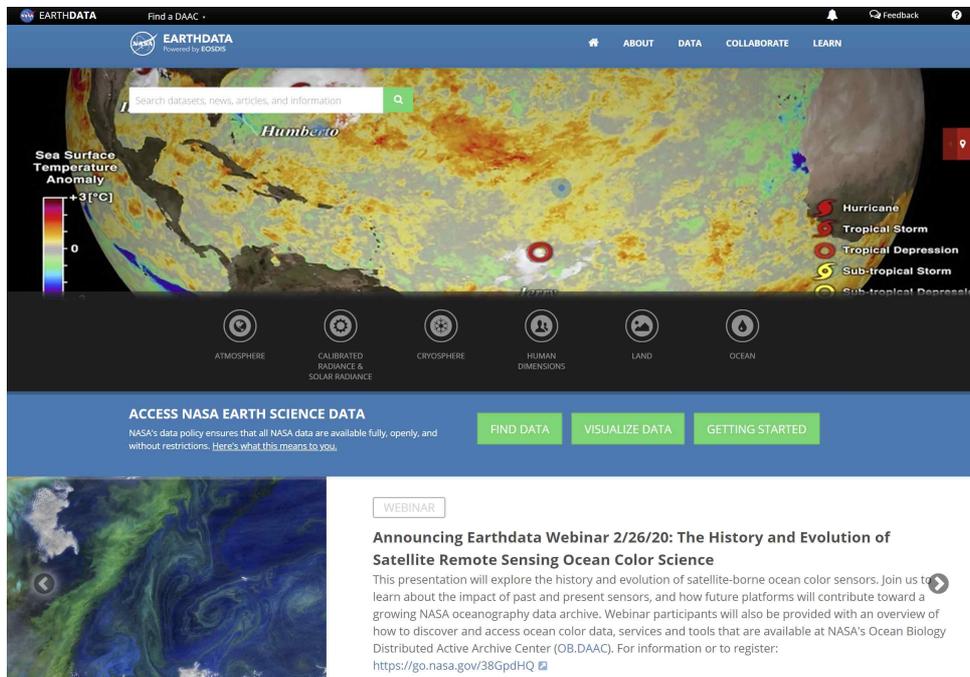


그림 9 NASA Earthdata 웹사이트(<https://earthdata.nasa.gov>)

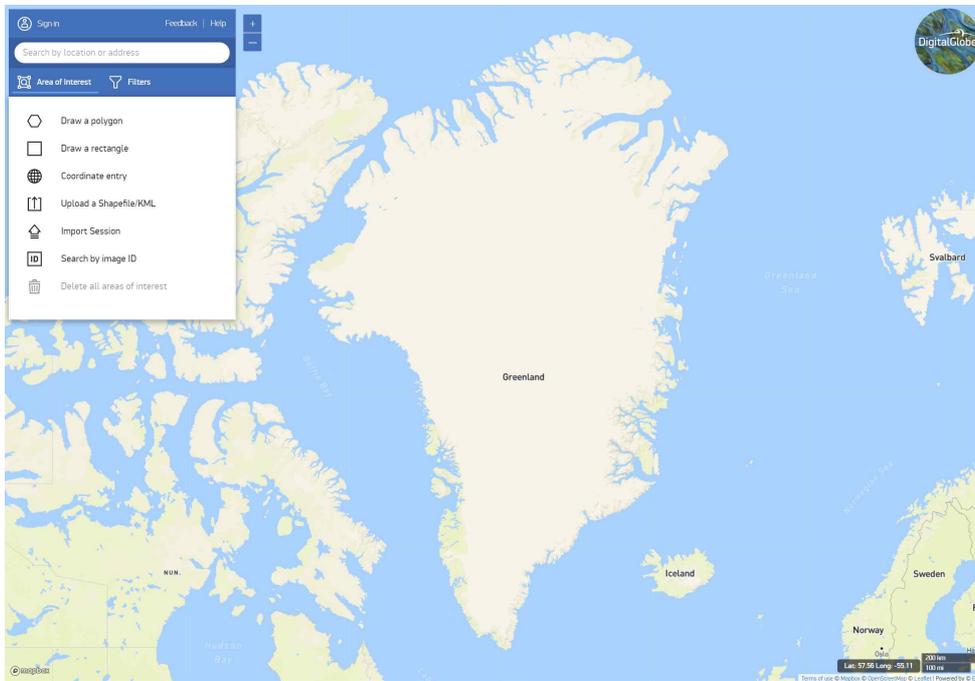


그림 10 DigitalGlobe사 웹사이트의 Search for imagery 기능 (<https://discover.digitalglobe.com/>)

- Landsat-8과 Sentinel-2A/2B는 각각의 데이터 획득 시작 이후인 2013년과 2015년 이후 시기에 대하여 그린란드 전역의 영상 데이터셋을 구축할 수 있었으며, 단위 영상 획득 영역이 타 위성 데이터에 비해 상대적으로 작은 면적인 60 km × 60 km의 ASTER 센서의 경우 빙상(ice sheet) 지역을 제외한 지질 노출 지역을 대상으로 SWIR 센서 이상 발생 이전인 2000년부터 2007년 기간에 한정하여 데이터셋을 구축하였을 때 약 북위 83° 이상 고위도에서의 소규모 누락 지역을 제외하고 그린란드 전역에 대한 영상 구축이 가능하였음(그림 11)

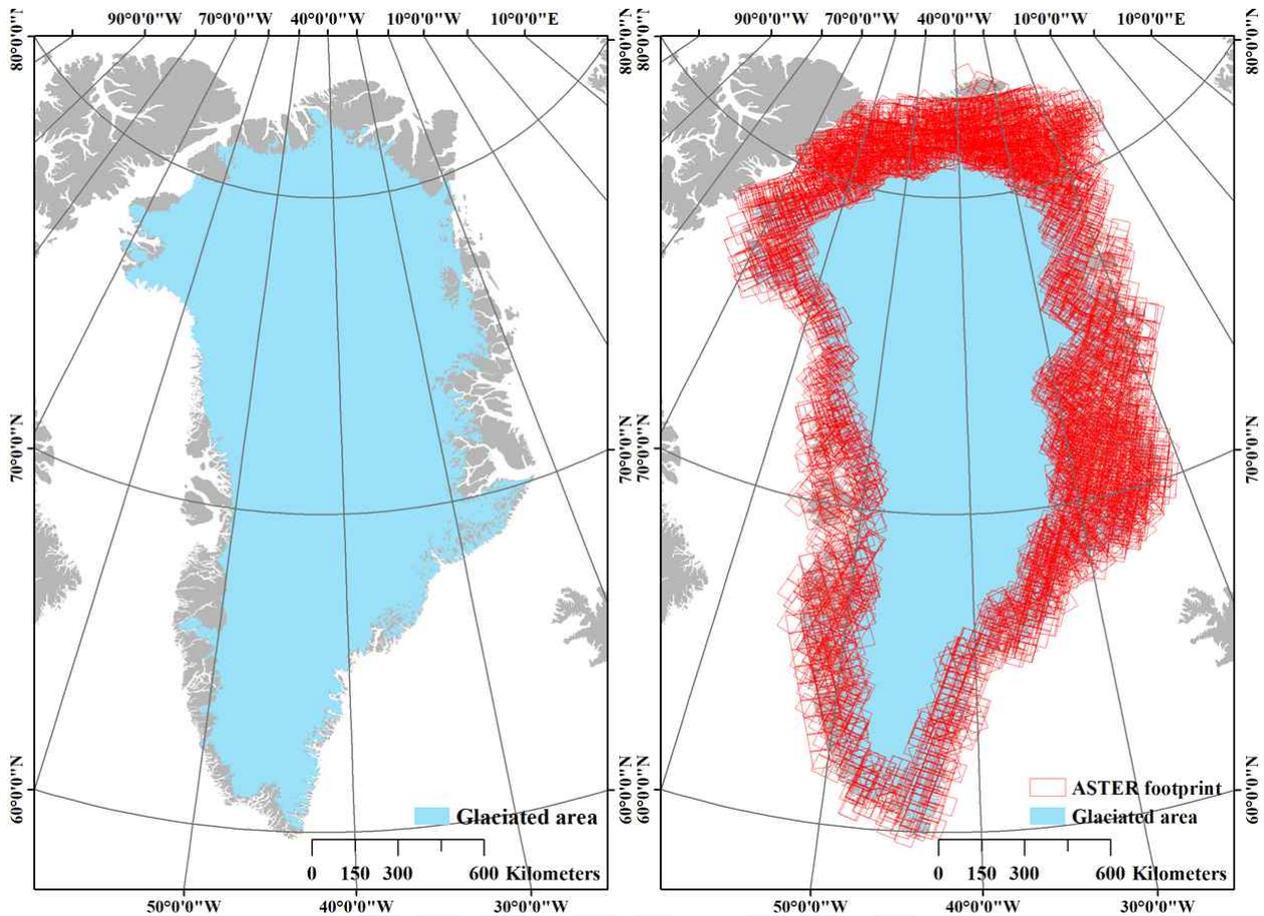


그림 11 ASTER 영상 데이터 구축 영역(좌) 및 구축 결과(우)

- 동일 지역 내에 중복된 위성 영상 데이터셋 존재 시 다음의 세 기준을 적용하여 선별함
 - 영상 내 구름 피복 정도
 - 영상 획득 시 태양 고도각
 - 그린란드 최대 용빙 시기를 고려한 영상 획득 날짜

3. 다중분광 위성 영상 전처리 수행

- 영상을 구성하는 DN (digital number)에 대해 위성 센서별 고유의 offset과 gain 수치를 이용하여 방사 보정(radiometric correction)을 수행
- 방사 보정 결과로 획득된 방사도(radiance) 데이터를 ENVI 소프트웨어의 Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) 대기 보정 모듈 입력 데이터로 지정(Perkins et al., 2012)하여 지질 매핑에 활용 가능한 반사도(reflectance) 데이터로 변환 수행

제 2 절 지질 매체별 분광반사도 데이터 구축 및 위성 센서 분광반응 특성 변환

1. 연구 지역 분포 지질 매체 조사 및 분광반사도 데이터 구축

- 그린란드 지질 매핑 연구 지역으로 북그린란드 Citronen Fjord (83°0'N/29°55'W)를 택하였으며, 이 지역에는 1993년 아연 광상이 발견됨(그림 12, 13)

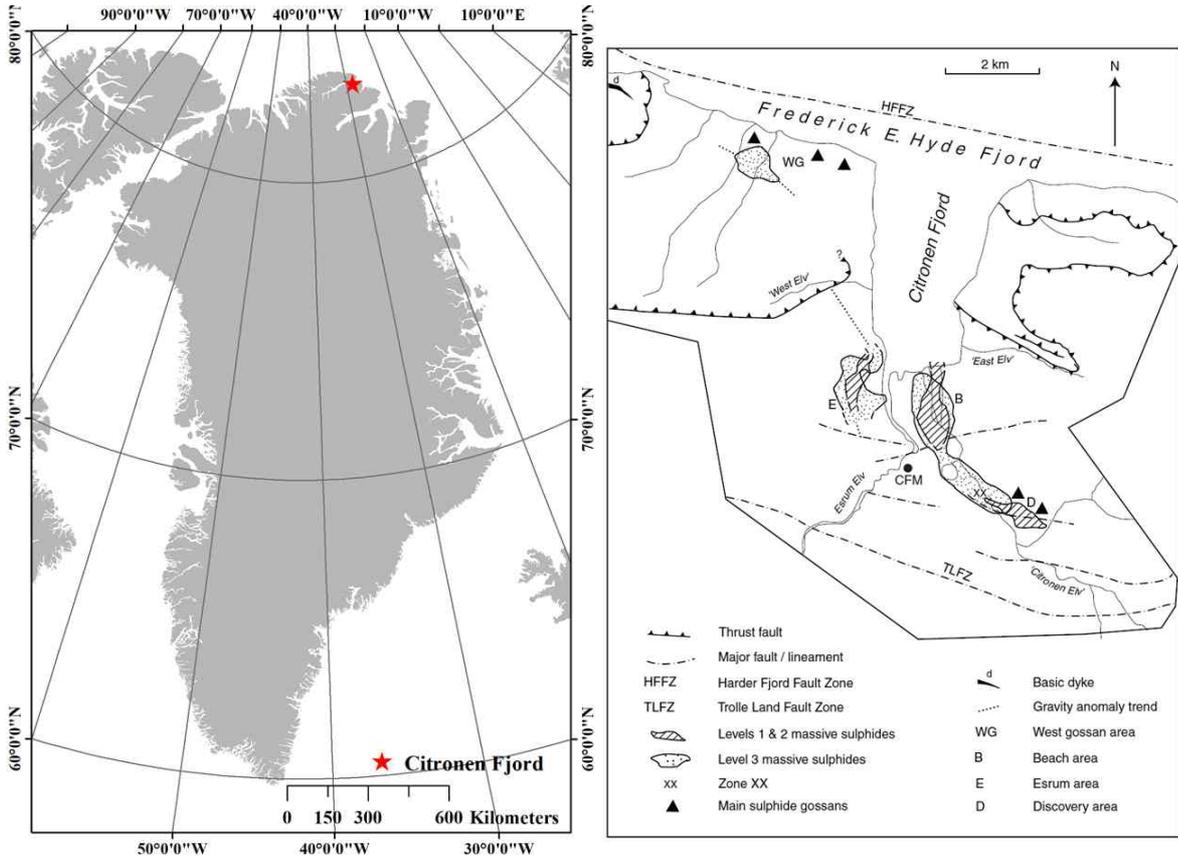


그림 12 연구 대상 지역인 Citronen Fjord 위치(좌) 및 괴상 황화광물에 동반된 아연 광상 분포 지역(Van der Stijl and Mosher, 1998) (우)

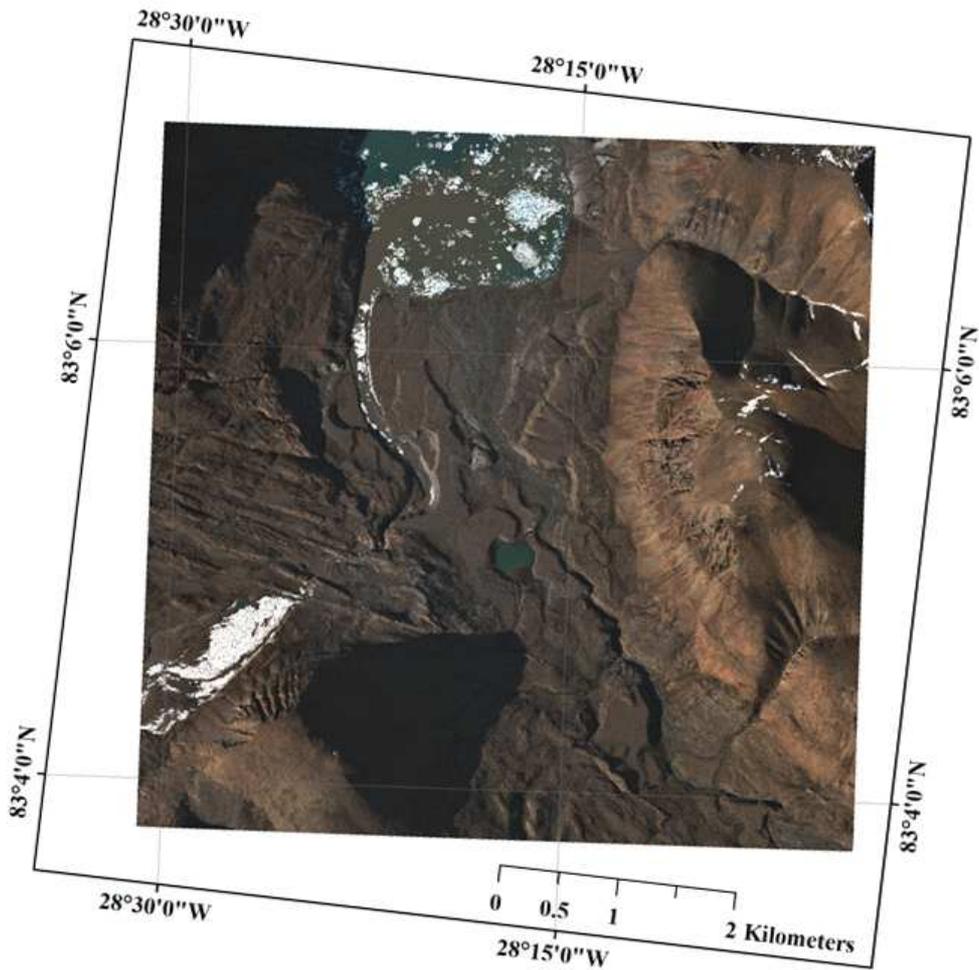


그림 13 Citronen Fjord 지역 WorldView-3 위성 영상

- Citronen Fjord에서 아연 광상은 괴상 황화광물 형태로 황철석(pyrite) 내에 섬아연석(sphalerite)과 방연석(galena)이 함께 산출되는 것으로 조사됨(Van der Stijl and Mosher, 1998)
2. 연구 지역 분포 지질 매체 조사 및 분광반사도 데이터 구축
- Citronen Fjord에 분포하는 지질(Van der Stijl and Mosher, 1998) 파악 후 분포 암종에 대한 분광반사특성은 미국지질조사소(U.S. Geological Survey, USGS)의 분광학연구실(Spectroscopy Lab)에서 개발한 분광 라이브러리 중 가장 최신 버전인 USGS Spectral Library Version 7 (Kokaly et al., 2017)을 활용함(그림 14)

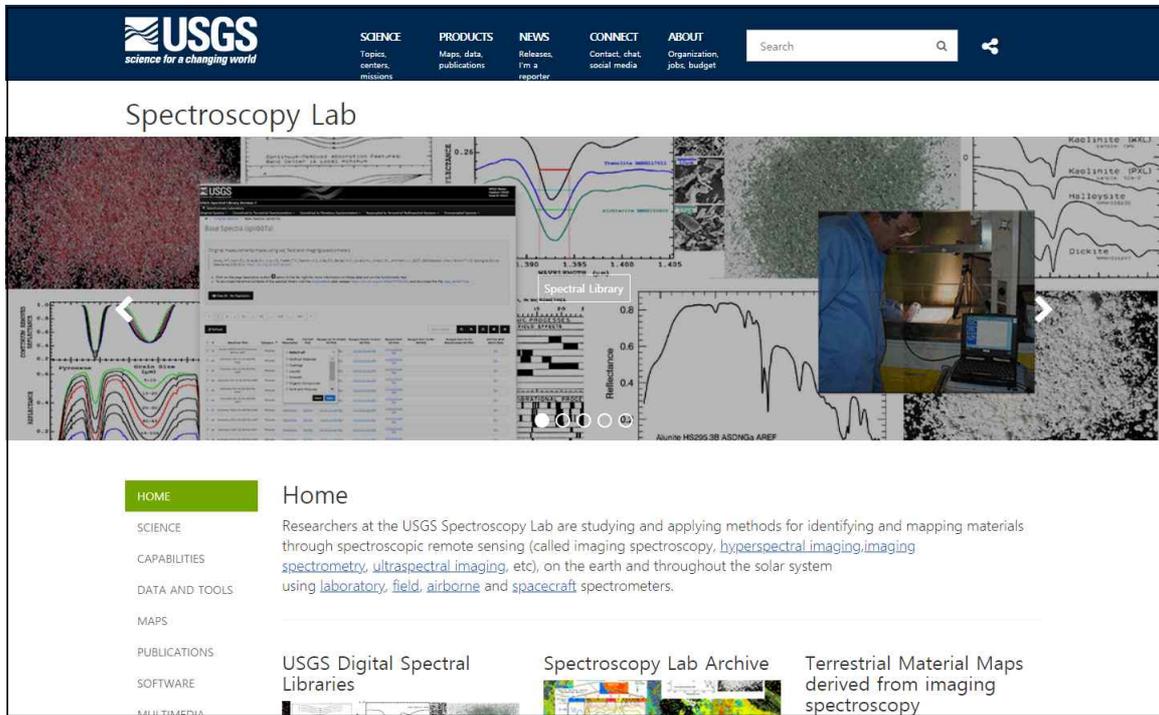


그림 14 광물 분광 라이브러리를 제작 및 배포하는 미국지질조사소 분광학연구실 (<https://www.usgs.gov/labs/spec-lab>)

3. 인공위성 센서별 분광반응특성 변환

- 위성 센서별 영상 획득 밴드의 파장 위치 및 폭이 상이하기 때문에 실험실 내에서 좁은 파장 폭으로 연속 측정된 분광 라이브러리 내 분광반사곡선은 위성 센서별로 정의된 분광반응함수(spectral response function)를 이용한 변환이 필요(그림 15)

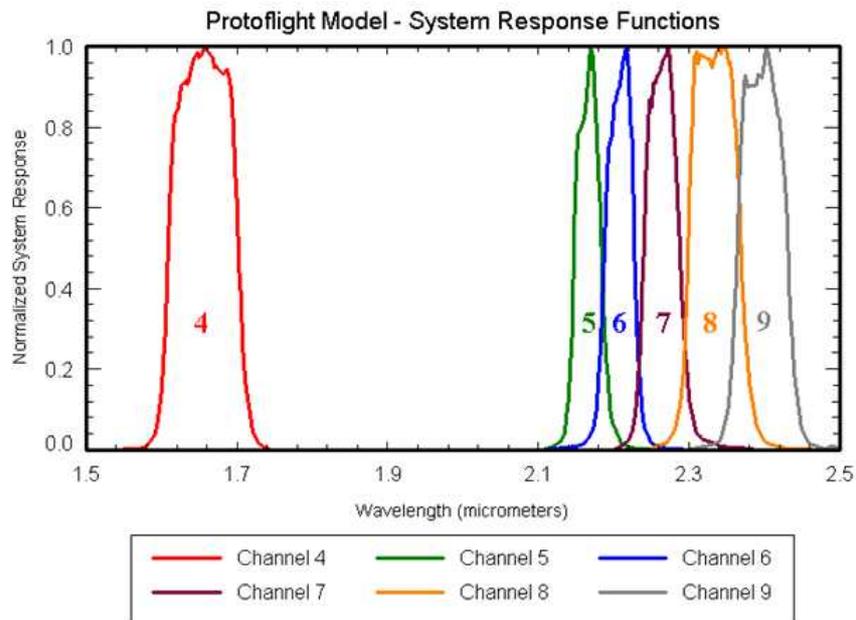


그림 15 ASTER 센서의 분광반응함수(spectral response function) (<http://asterweb.jpl.nasa.gov>)

- 예로, 분광 라이브러리에서 획득된 방해석(calcite) 분광반사곡선에 ASTER 분광반응함수를 적용한 결과 ASTER 위성 영상과 동일한 수의 밴드 및 파장 폭으로 변환된 분광반사도 정보 획득 가능(그림 16)

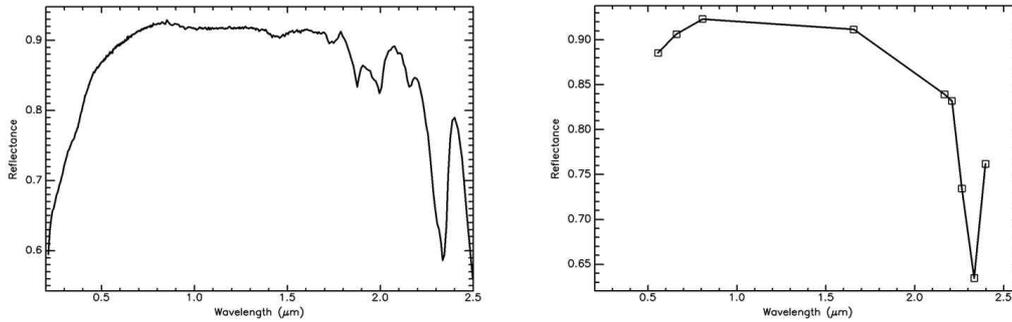


그림 16 분광 라이브러리 내 방해석(calcite)의 분광반사곡선(좌) 및 ASTER 분광반응곡선을 이용하여 변환된 분광반사곡선(우)



제 3 절 분광반사특성 기반 지표 지질 매핑 수행

1. 지표 지질 매핑 기법 선정

- 연구 지역으로 선정된 Citronen Fjord 지역의 유용 광물인 섬아연석(sphalerite)과 방연석(galena)을 포함하여 산출되는 황철석(pyrite)을 대상으로 지정 후 탐지 수행
- 황철석의 분광반사특성을 분석 대상인 WorldView-3 VNIR (visible and near-infrared) 파장 영역의 8개 밴드로 변환 및 분광 특성 파악(그림 17)

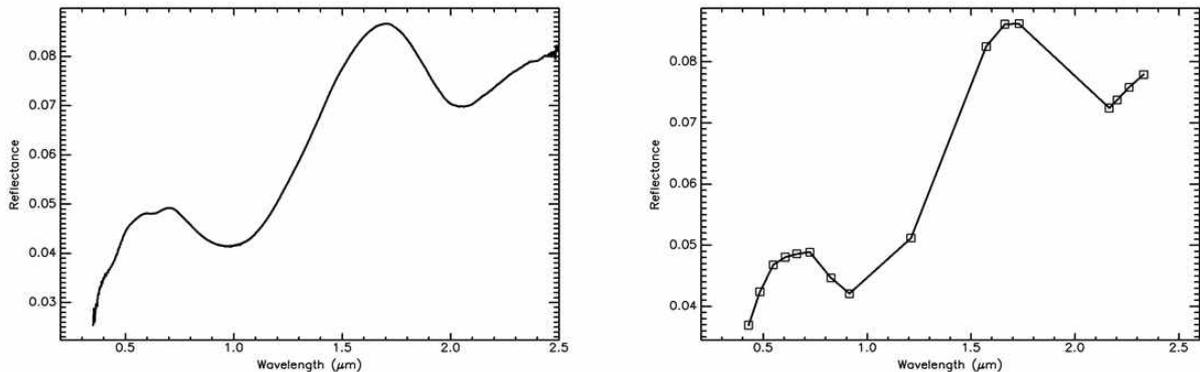


그림 17 황철석(pyrite)의 분광 라이브러리 분광반사곡선(좌) 및 WorldView-3 센서 밴드 대응 분광반사곡선

- 연구지역 내 황철석 주변에는 실트암(siltstone)과 셰일(shale)이 분포하고 있으며(Van der Stijl and Mosher, 1998), 이들 암석 구성 광물 중 점토류 광물인 일라이트(illite)와 카올리나이트(kaolinite)를 황철석 외 탐지 대상으로 선정

2. 밴드 비율(band ratio) 기반 지표 지질 탐지(detection)

- 밴드 비율(band ratio)은 탐지 대상의 고유한 분광 특성을 이용하여 탐지 대상을 강조하기 위해 사용되어 왔고(Van Ruitenbeek et al., 2006), 그림자에 의한 영향을 저감시킬 수 있기 때문에 극지와 같이 태양 고도각이 낮은 경우에 활용 가능
- 황철석의 분광반사특성(그림 17)을 고려하여 황철석 잠재 지수(pyrite potential index)를 개발

$$\text{pyrite potential index} = (\text{band 6} / \text{band 8}) \times (\text{band 7} / \text{band 8})$$

- 황철석 잠재 지수를 적용하여 도시하였을 때 현장조사 결과(그림 12)와 유사하게 수계 주변 지역에 황철석 분포가 노란색-붉은색 색상으로 강조되었으며(그림 18), 해안지역 및 일부 사면에서 강조되어 나타나는 영역은 수계를 따라 이동 및 퇴적된 암석이거나 사면을 따라 이동한 쇄석(clast)인 것으로 판단됨

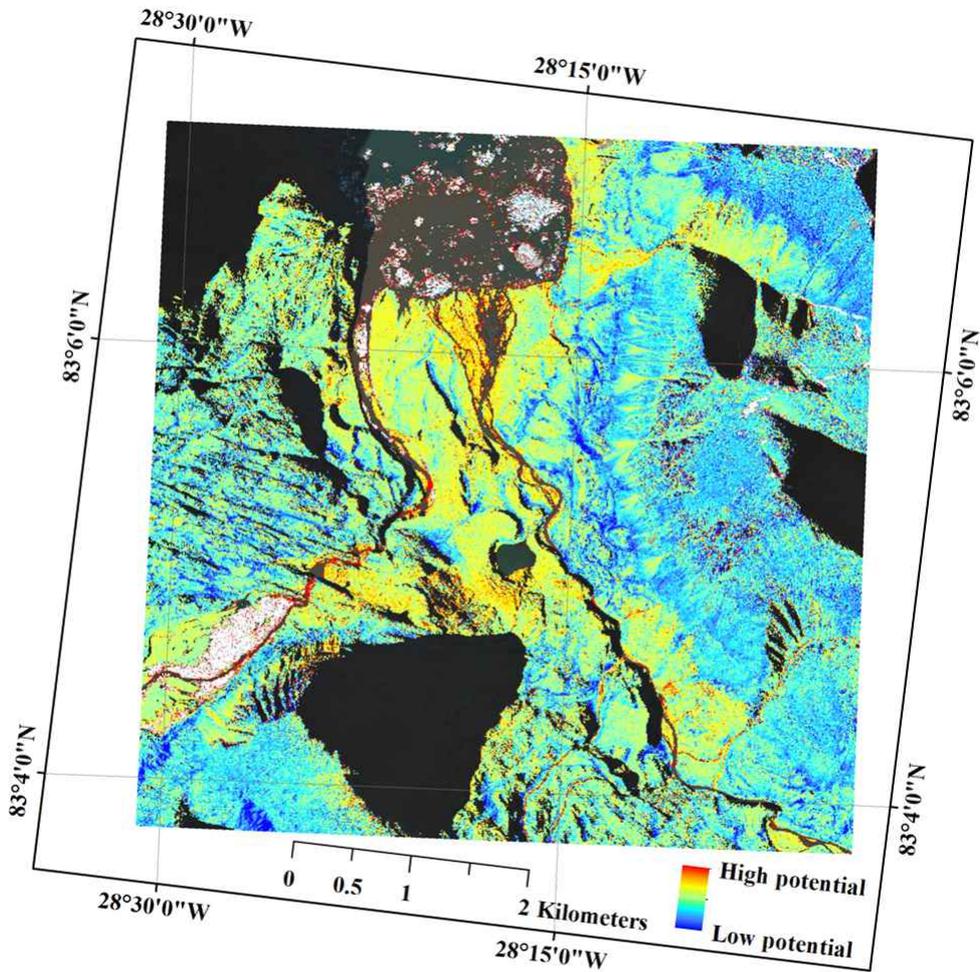


그림 18 황철석 잠재 지수 지도 작성 결과

3. 분광 혼합 분석(spectral mixture analysis) 기반 지표 지질 분포(abundance) 분석

- 분광 혼합 분석(spectral mixture analysis)은 개별 화소 내에 다수의 구성 물질(endmember)이 혼합되어 분포함을 가정하고 물질별 상대적 분포량(abundance)을 고려하여 매핑을 수행 (Somers et al., 2011)
- 분광 혼합 분석 기법 중 지질 매체 분석에 효과적으로 적용되어 온(Kruse et al., 1993) 선형 분광 혼합 분석(linear spectral unmixing)을 선정 후 황철석과 주변에 분포하는 실트암 및 셰일 구성 광물 중 일라이트(illite)와 카올리나이트(kaolinite)를 분포 분석 대상으로 입력하여 매핑 수행(그림 19)

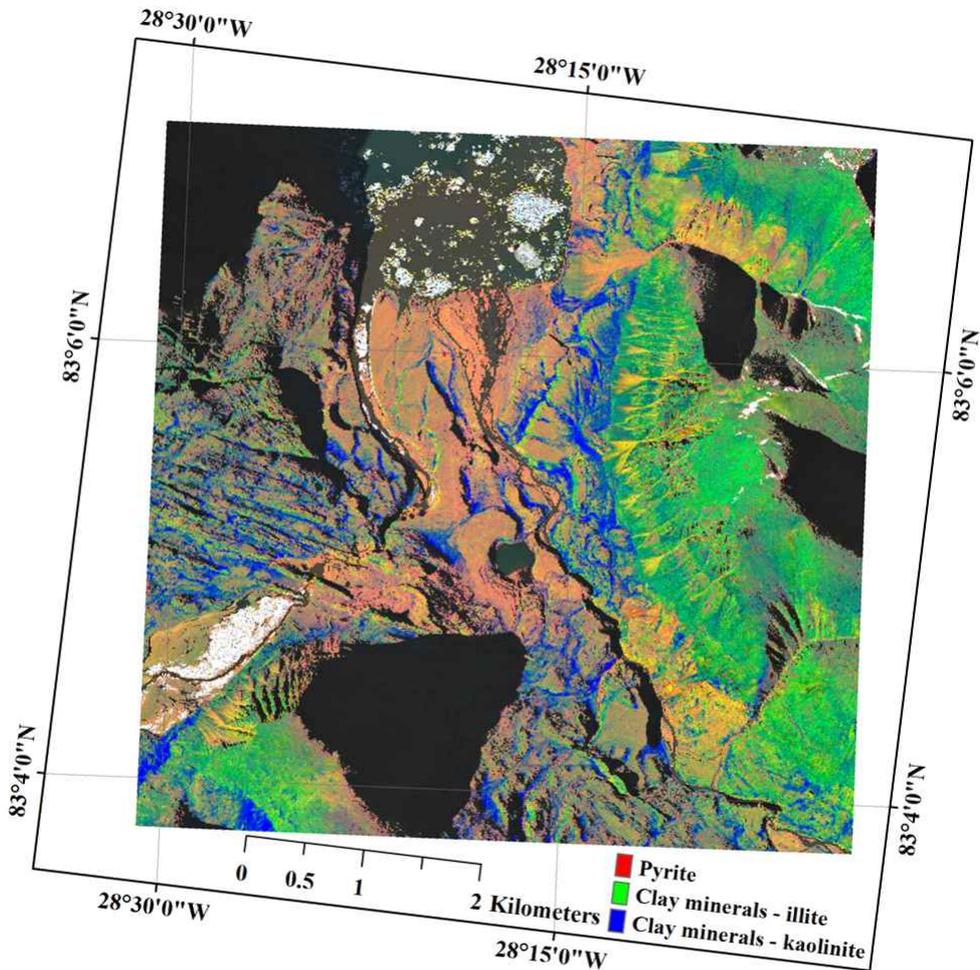


그림 19 선형 분광 혼합 분석 기반 황철석과 점토류 광물 분포 지도 작성 결과

- 선형 분광 혼합 분석 기반 광물 분포 지도 작성 결과는 황철석 잠재 지수 적용 사례와 마찬가지로 현장조사 결과(그림 12)와 유사한 수계 주변 지역에 황철석 분포가 붉은색 계열 색상으로 강조되었으며(그림 19), 해안지역 및 일부 사면에서 강조되어 나타나는 영역은 수계를 따라 이동 및 퇴적된 암석이거나 사면을 따라 이동한 쇄석(clast)인 것으로 판단됨

4. 밴드 비율 및 분광 혼합 분석 기반 지표 지질 매핑 결과 비교

- 밴드 비율 기반 황철석 탐지 결과와 선형 분광 혼합 분석 기반 황철석 매핑 결과는 유사한 공간 분포를 보여줌
- 밴드 비율 기반 광물 탐지법은 특정 타겟 광종이 있을 시 활용 가능하며, 선형 분광 혼합 분석법은 대상 지역에 대한 전반적인 지질 정보 확보가 가능할 경우 전통적인 지질도와 유사한 지질 매개 분포 지도의 작성이 가능한 것으로 판단됨

5. 지표 지질 매핑 결과 검증 방안

- 지표 지질 매핑 결과는 현장 조사 기반 정밀 지질도 존재 시 비교 평가가 가능함(Zhang et al., 2017)

- 매핑 정확도는 무작위 샘플링을 통한 분류오차표(error matrix) 작성으로부터 사용자 정확도 (user's accuracy), 제작자 정확도(producer's accuracy), 전체 정확도(overall accuracy) 및 kappa 계수(kappa coefficient)로 정량화 가능(Congalton, 1991)



제 4 절 위성 센서 및 분석 기법별 매핑 성능 평가

1. 위성 센서 및 기법별 지표 지질매핑 성능 비교 분석

- 분석에 사용된 WorldView-3, Landsat-8, Sentinel-2A/2B, ASTER 센서에는 공통적으로 철산화물 탐지가 가능(Thomas and Water, 2002)한 0.4-1.1 μm 파장의 VNIR 밴드가 포함됨(그림 20)

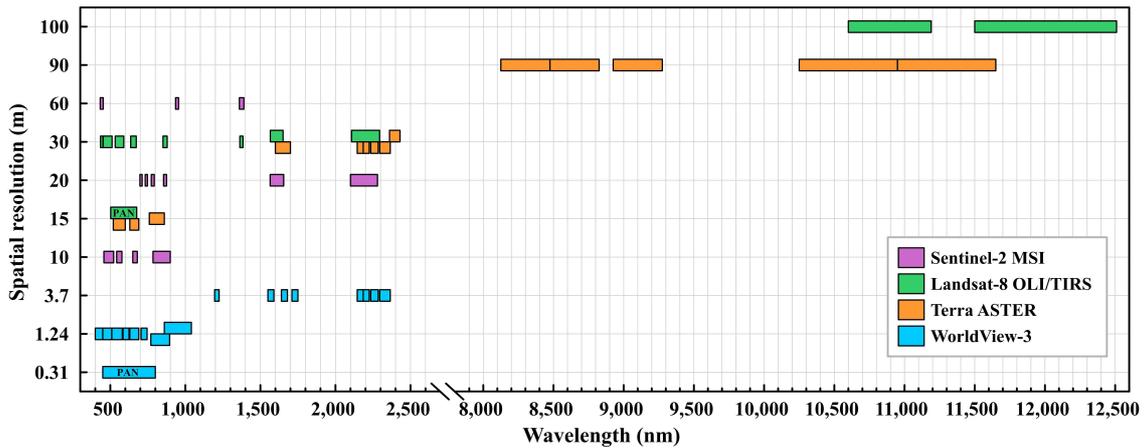


그림 20 WorldView-3, Landsat-8, Sentinel-2A/2B, ASTER 센서의 분광 및 공간 해상도 특성

- WorldView-3와 ASTER 센서에는 상대적으로 많은 수의 SWIR 파장 영역(1.1-2.5 μm) 밴드가 포함되어 있어서 수산기(hydroxyl) 포함 광물, 탄산염 광물(carbonates), 황산염 광물(sulfates), 각섬석류(amphiboles), 운모류(micas) 등의 광물 탐지에 적합(Thomas and Water, 2002)
- ASTER 센서에 포함된 LWIR (longwave infrared) 파장 영역(8.0-14.0 μm)의 4개 밴드는 VNIR과 SWIR 파장 영역에서 고유한 특성이 없는 규산염 광물 탐지에 적합(Kruse, 2015)
- 상대적으로 공간해상도가 우수한 WorldView-3 영상은 소규모 노두나 작은 영역에서의 VNIR과 SWIR 밴드로 탐지 가능한 지질 물질 대상의 정밀 탐사에 적합

제 4 장 기대성과 및 활용방안

제 1 절 기대성과

1. 기술적 측면

가. 극지역 지표 지질 매핑을 위한 최신 인공위성 원격탐사 기술 확보

- 최신 위성 센서를 활용하여 북그린란드를 포함하여 그린란드 전역에 대해 지질 매핑을 위한 활용성 평가 결과 제시
- 위성 다중분광 영상으로부터 그린란드 내 연구지역의 광물/지질 탐지 및 분포도 작성을 위한 기술 개발
- 최신 위성 센서의 분광 및 공간해상도별 지질 매체 탐지 성능 비교 및 최적 탐지 대상 제안

나. 미래 초다분광 위성 센서의 극지 활용 기반 마련

- 향후 미국, 유럽 및 일본 등에서 많은 수의 밴드로 구성된 초다분광 위성 센서의 운용이 예정됨에 따라 이에 선제적 대응을 할 경우 국제적 연구 주도권 선점 가능

2. 경제 산업적 측면

가. 극지역 지질 현장조사 지원 기능 수행

- 고비용의 극지역 현장 조사 수행 전 광역 지질 정보를 제공함으로써 현장 조사 과정의 효율화와 탐사 비용 절감 기대

나. 북극권 지질 자원 탐사 지원 기술 확보

- 북극 항로의 이용 가능성 증대로부터 북극권 지질자원의 본격 개발이 이루어질 경우 정밀 현장 조사 전 광역 지질 분포에 대한 효과적인 정보 제공이 가능하고 국제 공동 탐사에도 기여 가능

제 2 절 활용방안

1. 극지역 미답지 지질 탐사에 활용

- 광역의 남북극권에 대한 지표 지질 분포의 고해상도화 가능
- 과거에 작성된 소축척 지질 정보와 비교 자료로 활용 가능

2. 북극권 에너지자원 탐사와 개발에 활용

- 북극권 신규 지질 자원 분포 탐사에 적용 가능
- 극지역 자연 환경 보존을 위하여 과거 또는 현재 가행중인 에너지자원 개발 지역의 환경 영

향 평가에 활용 가능

3. 극지연구소 수행 과제 확장 및 신규 연구 주제 제안

- 세종과학기지와 장보고과학기지 등 남북극 과학기지 모니터링과 연계한 기지 주변 지질 정보 고해상도화
- 극지 신규 과학기지 및 남극 내륙 진출 시 후보 지역 지질 정보 제공을 통한 사전 탐사 효율화
- 극지 현장 샘플 및 무인기 초다분광 영상과 결합하여 광역 탐사 알고리즘 검증과 고정밀화 및 기지 주변 지역 지질 매핑 수행



제 5 장 참고문헌

1. Abrams, M., Hook, S., & Ramachandran, B. (2002). ASTER user handbook. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, 45-54.
2. Asadzadeh, S., & de Souza Filho, C. R. (2016). Investigating the capability of WorldView-3 superspectral data for direct hydrocarbon detection. *Remote sensing of environment*, 173, 162-173.
3. Bedini, E. (2011). Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data. *Advances in Space Research*, 47(1), 60-73.
4. Burton-Johnson, A., Black, M., Fretwell, P., & Kaluza-Gilbert, J. (2016). An automated methodology for differentiating rock from snow, clouds and sea in Antarctica from Landsat 8 imagery: a new rock outcrop map and area estimation for the entire Antarctic continent. *The Cryosphere*, 10, 1665-1677.
5. Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.
6. European Space Agency, Sentinel-2 User Handbook (2015), ESA Standard Document, Issue 1 Rev 2.
7. Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2015). MODIS/Terra Snow Cover Monthly L3 Global 0.05Deg CMG, Version 6. [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD10CM.006>. [Date accessed on 4 May 2019].
8. Haselwimmer, C. E., Riley, T. R., & Liu, J. G. (2011). Lithologic mapping in the Oscar II Coast area, Graham Land, Antarctic Peninsula using ASTER data. *International Journal of Remote Sensing*, 32(7), 2013-2035.
9. Hyun, C. U., & Park, H. D. (2011). Assessment of chemical weathering of granite stone monuments using reflectance spectroscopy. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 70(1), 63-78.
10. Hyun, C. U., & Park, H. D. (2013). Limestone mapping in Gangwon area, South Korea using EO-1 Hyperion hyperspectral satellite imagery. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 50(1), 44-55.
11. Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., & Klein, A.J. (2017). USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035, 61 p., <https://doi.org/10.3133/ds1035>.
12. Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., & Dietz, J. B. (1993). Expert system-based mineral mapping in northern Death Valley, California/Nevada, using the airborne

- visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS). *Remote Sensing of Environment*, 44(2-3), 309-336.
13. Kruse, F. A. (2015). Integrated visible and near-infrared, shortwave infrared, and longwave infrared full-range hyperspectral data analysis for geologic mapping. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1), 096005.
 14. Kruse, F. A., Baugh, W. M., & Perry, S. L. (2015). Validation of DigitalGlobe WorldView-3 Earth imaging satellite shortwave infrared bands for mineral mapping. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1), 096044.
 15. Lee, W. Y., Kim, H. C., Han, Y. D., Hyun, C. U., Park, S., Jung, J. W., & Kim, J. H. (2017). Breeding records of kelp gulls in areas newly exposed by glacier retreat on King George Island, Antarctica. *Journal of Ethology*, 35(1), 131-135.
 16. Mars, J. C. (2018). Mineral and lithologic mapping capability of WorldView 3 data at Mountain Pass, California, using true-and false-color composite images, band ratios, and logical operator algorithms. *Economic Geology*, 113(7), 1587-1601.
 17. Oh, S., Hyun, C. U., & Park, H. D. (2017). Near-infrared spectroscopy of limestone ore for CaO estimation under dry and wet conditions. *Minerals*, 7(10), 193.
 18. Perkins, T., Adler-Golden, S. M., Matthew, M. W., Berk, A., Bernstein, L. S., Lee, J., & Fox, M. (2012). Speed and accuracy improvements in FLAASH atmospheric correction of hyperspectral imagery. *Optical Engineering*, 51(11), 111707.
 19. Pour, A. B., Hashim, M., Park, Y., & Hong, J. K. (2018). Mapping alteration mineral zones and lithological units in Antarctic regions using spectral bands of ASTER remote sensing data. *Geocarto international*, 33(12), 1281-1306.
 20. Somers, B., Asner, G. P., Tits, L., & Coppin, P. (2011). Endmember variability in spectral mixture analysis: A review. *Remote Sensing of Environment*, 115(7), 1603-1616.
 21. Thomas, M., & Walter, M. R. (2002). Application of hyperspectral infrared analysis of hydrothermal alteration on Earth and Mars. *Astrobiology*, 2(3), 335-351.
 22. Van der Stijl, F. W., & Mosher, G. Z. (1998). The Citronen Fjord Massive Sulphide Deposit, Peary Land, North Greenland: Discovery, Stratigraphy, Mineralization, and Structural Setting. Geological Survey of Denmark and Greenland, Ministry of Environment and Energy.
 23. Van Ruitenbeek, F. J., Debba, P., Van Der Meer, F. D., Cudahy, T., Van Der Meijde, M., & Hale, M. (2006). Mapping white micas and their absorption wavelengths using hyperspectral band ratios. *Remote Sensing of Environment*, 102(3-4), 211-222.
 24. Ye, B., Tian, S., Ge, J., & Sun, Y. (2017). Assessment of WorldView-3 data for

- lithological mapping. Remote Sensing, 9(11), 1132.
25. Zanter, K. (2016). Landsat 8 (L8) data users handbook. Landsat Science Official Website. Available online: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook> (accessed on 2 May 2019).
 26. Zhang, X., Pazner, M., & Duke, N. (2007). Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 62(4), 271-282.



2019년 12월 종료 연구·정책지원사업 최종평가(20-01회) 결과 안내

첨 부 1 평가 의견서

발표자	평가의견
현창욱	<p>과제명 : 그린란드 지표 지질 매핑을 위한 다중분광 위성 영상과 반사분광학 기반 분석 기법 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 최종 보고서에 반영할 내용 <ul style="list-style-type: none"> - 연구결과의 창의성을 자세하게 보고서에 기술 필요 - 창의성을 기반으로 향후 연구과제 개발 혹은 사업 추진에 도입될 수 있는 가능성 및 활용성 등을 보고서에 기술 필요 - 연구목표를 극지역 지질 맵핑 기술개발로 하는 것이 바람직하다고 생각됨 ○ 기타 종합의견 <ul style="list-style-type: none"> - 그린란드 지표 지질 매핑을 위한 인공위성 분석 연구 수행이 잘 이루어짐. 차후 남극권 영역으로 확대하여 소내 지질 연구와 협력이 가능할 것으로 예상 - 향후 이 기술을 그린란드 광역 지질도 작성에 적용하고 싶다고 했는데, 주요 소내과제들의 연구지역(바톤반도 등)에 먼저 적용해서 기여하는 것을 제안함 - 위성영상 결과를 User의 주관이 배제된 객관적/정량적으로 해석하는 기법을 개발할 수 있는 연구가 추진되었으면 좋겠음 - 향후 항공 무인기 기반의 Hyperspectral Sensor 결과와 함께 연구수행 기대

연구·정책지원사업 최종 결과보고서 평가의견 반영사항

창의연구사업 구분	신진연구원지원과제		
과제명	그린란드 지표 지질 매핑을 위한 다중분광 위성 영상과 반사분광학 기반 분석 기법 연구(계정번호: PE19430)	연구기간	2019.04.01. ~ 2019.12.31.
연구책임자	현창욱 선임기술원	연구비(직접비)	30백만원
과제개요, 연구성과 및 최종 결과보고서 평가의견 반영 사항			
<p>(1) 과제목적</p> <ul style="list-style-type: none"> 그린란드 지표 지질을 대상으로 다중분광 위성 영상 및 반사분광학 기반 분석 기법을 적용한 매핑 기술을 개발하고자 함 <p>(2) 최종성과</p> <ul style="list-style-type: none"> ASTER, Sentinel-2, Landsat-8, WorldView-3 센서 다중분광 위성 영상 구축 및 전처리 수행 미국지질조사소 분광 라이브러리 기반 지질 매체별 분광반사도 데이터 구축 및 위성 센서별 분광반응특성 적용 북그린란드 Citronen Fjord 지역을 대상으로 괴상 황화광물 광상(massive sulphide deposit) 탐지 목적의 분광반사특성 기반 지표 지질 매핑 수행 탐지 대상 광물 잠재지수(potential index) 개발 및 적용 결과와 분광혼합분석(spectral mixture analysis) 기반 매핑 결과 비교 <p>(3) 성과의 향후 연구소 활용방안 또는 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> 광역의 남북극권에 대한 기존 소축척 지질 정보 개선에 기여 그린란드 및 남극 내 미답지와 용빙으로 인한 신규 지질 노출지 탐사에 활용 세종과학기지와 장보고과학기지 등 남북극 과학기지 주변 지질 정보 고해상도화 달성 가능 극지역 샘플 및 무인기 초다분광 영상과 결합하여 광역 탐사 알고리즘 검증과 고정밀화 가능 <p>(4) 최종 결과보고서에 평가의견 반영 사항</p>			
평가의견	반영사항	비고	
<ul style="list-style-type: none"> 연구결과의 창의성을 자세하게 보고서에 기술 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 연구결과의 창의성에 대한 자세한 서술을 보고서 기대 성과에 기술하였습니다. 	연구보고서 p.23 참조	
<ul style="list-style-type: none"> 창의성을 기반으로 향후 연구과제 개발 혹은 사업 추진에 도입될 수 있는 가능성 및 활용성 등을 보고서에 기술 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 창의성을 기반으로 향후 연구과제 개발 혹은 사업 추진에 도입될 수 있는 가능성 및 활용성을 보고서 중 활용방안에 기술하였습니다. 	연구보고서 p.24 참조	
<ul style="list-style-type: none"> 연구목표를 극지역 지질 맵핑 기술 개발로 하는 것이 바람직하다고 생각됨 	<ul style="list-style-type: none"> 평가의견을 반영하여 연구 목표를 “그린란드 지표 지질을 대상으로 다중분광 위성 영상과 반사분광학 기반 분석 기법을 적용한 매핑 기술 개발”로 수정하였습니다. 	연구보고서 요약문 및 p.3 참조	



주 의

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