

단계보고서 (위탁과제용)

보고서번호: BSPN21070-009-12

양식A101-4

① 부처사업명(대)	과학기술국제화사업	④ 보안등급(보안, 일반)	일반	
② 사업명(중)	글로벌 R&D 기반구축사업	⑤ 과제성격(기초, 응용, 개발)	기초	
③ 세부사업명(소)	전략형 국제공동연구사업[유럽]			
⑥ 위탁과제명	국 문	무인기 획득 영상 기반 빙하 모니터링 기술 연구		
	영 문	Research on glacier monitoring techniques using images from unmanned vehicle		
⑦ 위탁과제연구기관명	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	⑧ 사업자 등록번호	134-82-06870	
⑨ 주관연구책임자	성 명	김현철	국가연구자번호	1016 5077
	전 공	원격탐사	직급(직위)	책임연구원(센터장)
	소속부서	원격탐사빙권정보센터	전자우편	kimhc@kopri.re.kr
	전 화	032-760-5335	휴대전화	010-8938-2675

⑩ 연구개발비 현황(단위: 천원)

년 도	정부출연금(A)	기업체부담금			정부외출연금(B)	합계 G=(A+B+E)	상대국 부담금(F)
		현금(C)	현물(D)	소계 E=(C+D)			
1차년도	161,500			0		161,500	
2차년도	76,500			0		76,500	
3차년도				0		0	
4차년도				0		0	
5차년도				0		0	
합계	238,000	0	0	0	0	238,000	0

⑪ 총연구기간	2019.10.01 ~ 2023.12.31. (51개월)						
⑫ 다년도연구기간	2022.08.01. ~ 2023.12.31. (17개월)						
⑬ 당해연도연구기간	2022.08.01. ~ 2023.05.31. (10개월)						
⑭ 참여기업 수	중소기업		중견기업		대기업		계
⑮ 국제공동연구	국가명		상대국 연구기관수	상대국 연구개발비	상대국연구책임자수		
⑯ 실무담당자	성 명	정용식	휴대전화	010-3474-1611	전자우편	yongsik@kopri.re.kr	

관계법령 및 규정과 모든 지시사항을 준수하면서 이 국가연구개발사업에 따라 수행 중인 단계보고서를 아래와 같이 제출합니다. 아울러 이 보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 협약 해약 등 어떠한 불이익도 감수하겠습니다.

주관연구책임자 : 김현철 (직인생략)

주관연구기관장 : 강성호 (직인생략)

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀 하

〈 요약 문 〉

양식A201

① 연구개발 목표	극지역에서 효율적인 관측이 가능한 무인이동체로부터 획득된 고해상도 영상과 인공위성 원격탐사 데이터를 복합 활용하여 그린란드 빙하를 정밀 모니터링하고 표면 구조와 시계열 고도 변화를 탐지할 수 있는 기술 개발																												
② 연구개발 내용	<p>[1단계: 2019.10-2022.07]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 무인이동체 기반 그린란드 빙하 지역 고해상도 영상 획득 요구 조건 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 변화 탐지를 위한 고해상도 빙하 영상 획득 대상 지역 선정 - 고품질 영상 획득을 위한 무인이동체 및 센서 최적 운용법 상세 정의 • 그린란드 현장 영상 획득 계획 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 그린란드 현장 고려 하계 및 동계 무인이동체 운용 환경 특성 조사 및 분석 - 무인이동체 획득 영상과 복합 분석 및 비교를 위한 인공위성 데이터 획득 계획 수립 • 그린란드 하계 현장 영상 및 실측 자료 획득 <ul style="list-style-type: none"> - 기수립된 빙하 지역 현장 영상 획득 요구 조건에 따른 영상 및 실측 자료 획득 수행 • 그린란드 동계 현장 영상 및 실측 자료 획득 <ul style="list-style-type: none"> - 기수립된 빙하 지역 현장 영상 획득 요구 조건에 따른 영상 및 실측 자료 획득 수행 • 무인이동체 획득과 동시기에 인공위성 데이터 획득 <ul style="list-style-type: none"> - 무인이동체 획득 영상 모자이크와 획득된 인공위성 데이터의 정밀 위치 정합 수행 • 무인이동체 획득 영상 기반 고해상도 빙하 영상 및 지형 모델 제작 기술 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 무인이동체 획득 빙하 지역 영상 전처리 기법 연구 - 다중 시점 빙하 지역 영상 정합 및 모자이크 제작 기법 연구 - 빙하 지역 고해상도 지형 모델 제작 기법 연구 <p>[2단계: 2022.08-2023.12]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 무인이동체 획득 영상 기반 고해상도 빙하 지형 변동 모니터링 기술 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 시계열 빙하 지형 모델 비교를 통한 변화 탐지 기법 연구 - 고해상도 모자이크 영상을 이용한 빙하 흐름 속도 산출 기법 연구 • 고해상도 빙하 지형 모델과 인공위성 데이터 기반의 빙하 지형 모델 비교 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 무인이동체 획득과 동시기에 인공위성 데이터 추가 획득 - 무인이동체 기반 고해상도 지형 및 인공위성 데이터 기반 빙하 지형 정합 기법 연구 - 고해상도 지형 모델 활용 인공위성 데이터 기반 빙하 정보 검증 기법 연구 																												
③ 연구개발 성과	<ul style="list-style-type: none"> • 무인이동체 획득 영상을 이용한 그린란드 지역 고해상도·고정밀 빙하 정보 생산 기술 확보 • 무인이동체 획득 정보 및 인공위성 데이터의 융복합 빙하 모니터링 결과로부터 SCI/SCIE 연구 논문 출판 <p style="text-align: center;">〈예상되는 연구개발성과 유형〉</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th rowspan="2">논문</th> <th rowspan="2">특허</th> <th rowspan="2">보고서 원문</th> <th rowspan="2">연구 시설·장비</th> <th rowspan="2">기술 요약 정보</th> <th rowspan="2">소프트웨어</th> <th rowspan="2">화합물</th> <th colspan="2">생명자원</th> <th colspan="2">신품종</th> </tr> <tr> <th>생명 정보</th> <th>생물 자원</th> <th>정보</th> <th>실물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>예상성과 (Y/N)</td> <td>Y</td> <td>N</td> <td>Y</td> <td>N</td> <td>N</td> <td>N</td> <td>N</td> <td>N</td> <td>N</td> <td>N</td> <td>N</td> </tr> </tbody> </table>	구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종		생명 정보	생물 자원	정보	실물	예상성과 (Y/N)	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N
구분	논문									특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종											
		생명 정보	생물 자원	정보	실물																								
예상성과 (Y/N)	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N																		
④ 활용계획 및 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> • 무인이동체 획득 영상 기반 빙하 정보와 인공위성 데이터 기반 빙하 정보를 복합 활용하여 극지역 변화 모니터링 기술의 정밀화 및 효율화 달성 • 무인이동체 활용 빙하 모니터링 기술 확보로부터 향후 동토, 해빙 등 다양한 극지 환경 모니터링으로의 연구 지역 및 분석 대상의 확대 가능 																												

⑤ 중심어_국문 (3개 이상)	무인이동체	그린란드	고해상도 영상	시계열 분석
	변화 탐지	빙하 모니터링	표면 구조	원격 탐사
⑥ 중심어_영문 (3개 이상)	Unmanned vehicle	Greenland	High-resolution image	Time series analysis
	Change detection	Glacier monitoring	Surface structure	Remote sensing

※ 영문 핵심어 외의 사항은 국문으로 작성

〈 연구 분야 〉

양식A103

코드구분	중심분야		관련분야1		관련분야2		관련분야3		관련분야4	
	코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중
국가과학기술 표준분류	ND1103	70 %	ND1101	30 %		%		%		%
국가과학기술 표준분류 (적용분야)	X07	100 %		%		%		%		%
과학기술 분야분류	G13199	100 %		%		%		%		%
6T 기술분류	050116	100 %		%		%		%		%
NTRM 분류	B030308	70 %	B030309	30 %		%		%		%
원천기술 개발분야	0711	100 %		%		%		%		%

< 목 차 >

I . 1단계 연구개발 실적	
1. 연구개발 목표 및 평가항목 별 성과	
2. 추진내용 및 연구개발결과	
II . 2단계 연구개발 계획	
1. 국내외 관련 분야 환경변화	
2. 2단계 연구개발의 필요성	
3. 연구개발 목표 및 평가항목	
4. 연구개발 내용, 방법 및 추진체계	
5. 추진일정 계획	
6. 연구개발 성과의 활용방안 및 기대효과	
7. 연구진 구성	
8. 연구개발비 사용계획	
첨부1. 세부 정량적 연구개발성과	
첨부2. 평가항목 별 성과 증빙(자유 양식)	

〈 1단계 연구개발 실적 〉

1. 연구개발 목표 및 평가항목 별 성과

1-1. 연구개발 목표

최종목표	o 극지역에서 효율적인 관측이 가능한 무인이동체로부터 획득된 고해상도 영상과 인공위성 원격탐사 데이터를 복합 활용하여 그린란드 빙하를 정밀 모니터링하고 표면 구조와 시계열 고도 변화를 탐지할 수 있는 기술 개발
1단계 세부목표	1. 무인이동체 기반 그린란드 빙하 지역 고해상도 영상 획득 요구 조건 정립 2. 그린란드 현장 영상 획득 계획 수립 3. 그린란드 하계 현장 영상 및 실측 자료 획득 4. 그린란드 동계 현장 영상 및 실측 자료 획득 5. 무인이동체 획득 영상 기반 고해상도 빙하 영상 및 지형 모델 제작 기술 연구
1단계 연차별 목표	o 1차년도 : 무인기 활용 그린란드 빙하 관측과 정보 획득 계획 수립 o 2차년도 : 그린란드 현장 방문을 통한 무인기 영상 데이터 확보 o 3차년도 : 그린란드 빙하 정밀모니터링 및 표면 구조와 시계열 고도 변화 탐지 기술 개발

1-2. 평가항목별 성과

평가항목	가중치 (%)	관련 1단계목표	연차	연차별 목표 (조건/환경)	실적 요약	달성도(%)	관련 증빙
(정성) 극지 환경요구도 조사·분석	5	1, 2	1차년도	극지 환경요구서 작성	· 그린란드 지동상만 측정 3개 프로그램 데이터 확보 및 현장조사 지역 기상 현황 분석	100	1. 극지 환경요구서 작성
(정성) 극지연구 임무 정의	10	1, 2	1차년도	극지연구 유형별 임무 정의	· 빙하 정밀 모니터링을 위한 고해상도 영상 및 수치고도모 델의 지분별 임무 정의	100	2. 극지 임무 정의서 작성
(정성) 극지연구 대표임무 선정 및 우선도 도출	10	1, 2	1차년도	극지연구 대표임무 선정 및 우선도 도출	· 무인기 활용 그린란드 빙하 모니터링	100	

					연구를 위한 대표임무 선정 · 대표임무 중 우선 수행임무 도출		
(정성) 극지 하계 실증시연 시행 계획 수립	10	3, 4, 5	1차년도	극지 하계 실증시연 시행 계획 수립	· 국제공동 워크숍을 통해 연차별 계획 및 1차년도 현장 조사 계획 수립	90	
(정성) 극지 하계 실증시연 수행	5	3, 4, 5	1차년도	극지 하계 실증시연 수행	· COVID-19로 인한 일정 조율 변경	0	
(정성) 그린란드 현지 하계 조건 현장 조사 공동 수행	10	3, 4, 5	2차년도	그린란드 현지 하계 조건 현장 조사 공동 수행	· Kangerlussuaq 현장 방문하여 DTU와 JAC 합력을 통한 빙하 표면 관측 공동 수행	100	
(정성) 극지 실증시연 취득 데이터 분석·활용 및 기존 위성 데이터와 비교 연구	10	3, 4, 5	2차년도	무인기 영상 데이터 처리 및 기존 위성 데이터와 비교	· 무인기 영상 처리 및 인공위성 영상과 비교 분석을 통하여 Russell 빙하 끝단 위치 및 고도변화 확인	100	GeoAI 학회 발표 2건
(정성) 국내 극지 환경 모사시험	5	3, 4, 5	2차년도	국내 극지 환경 모사시험	· 빙하 지형 특성과 비슷한 국내 광산 지역의 무인기 촬영 및 수치고도모델 제작 수행	100	
(정량) 연구 논문 게재	10	3, 4, 5	2차년도	SCIE 논문 1편	· 당해 확보된 무인기 영상 자료 활용하여 2차년도	0	

					후반기 논문 제출 예정		
(정성) 그린란드 현장 조사	10	3, 4, 5	3차년도	그린란드 현지 하계 조건 현장 조사 수행	· 그린란드 Russell 빙하 표면 무인기 영상 획득 · 전년도 촬영 동일 지역 방문 및 재촬영	100	
(정성) 무인기 영상 처리	5	3, 4, 5	3차년도	무인기 영상 기반 고해상도 수치고도모델 제작	· 무인기 영상에서 식별 가능한 지표기준점 확보	100	
(정성) 시계열 분석	10	3, 4, 5	3차년도	무인기 자료 기반 그린란드 빙하 지역 시계열 변화 연구	· 표면 구조와 시계열 고도 변화 탐지	100	
합계	100						

1-3. 연구개발 목표 및 주요내용 변경사항 (해당 시 작성)

구분	변경 전	변경 후	변경사유 및 조치사항	협약변경 승인일
연구목표 및 주요내용				

1-4. 목표 미달 시 원인 분석 (해당 시 작성)

(1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

코로나19 출입국 통제로 인한 현장 조사 일정 변경/조율에 따른 전체 일정 지연 발생하였으며, 이에 따라 SCIE 논문 게재 연기가 불가피함

(2) 자체 보완활동

‘22년도 하반기 논문 제출 예정

2. 추진내용 및 연구개발결과

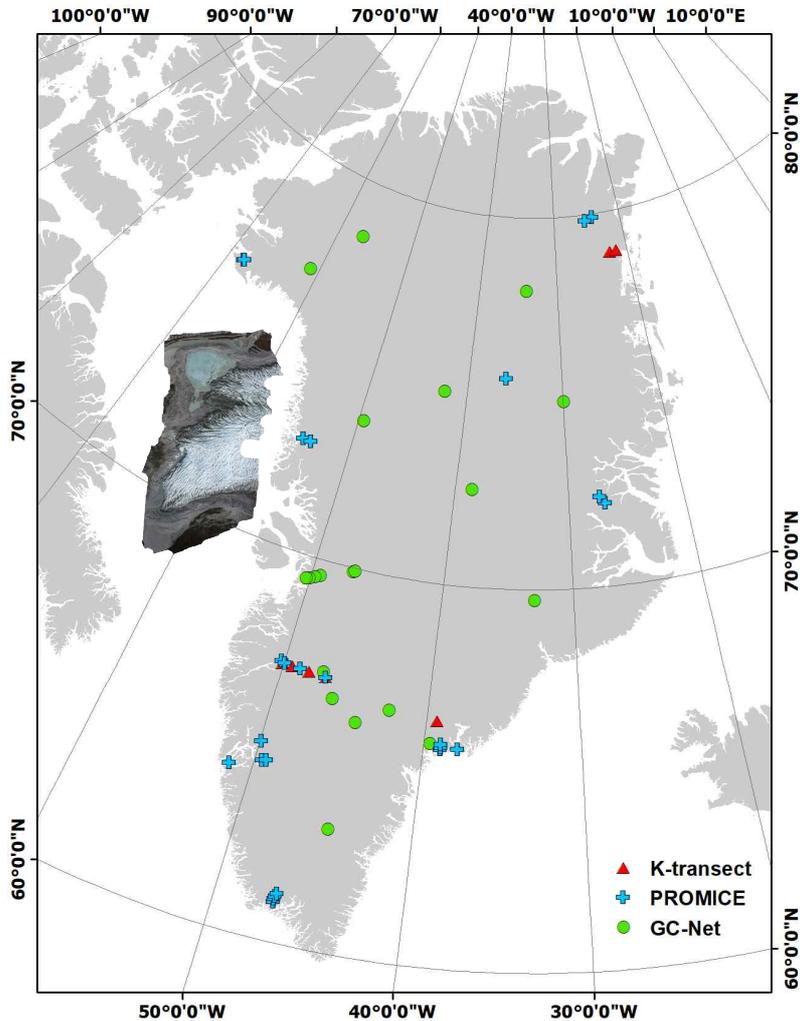
2-1. 추진내용 및 연구개발결과

I. 1단계 1차년도 연구수행내용 및 결과

1. 극지 환경요구서 작성

가. 그린란드 자동기상관측장비 (AWS) 관측 사례

그린란드에서 무인기 활용 전 운용 환경 파악을 위해 자동기상관측장비 (automatic weather station, AWS)을 통해 획득된 기상관측 자료를 확보하였다. 기상관측 자료는 GC-Net, K-transect, PROMICE의 세 국제 관측 프로젝트들을 통해 그린란드 전역에 걸쳐 수집이 이루어졌다. 관측 자료 중 그린란드 현장 무인기 활용 지역 인근의 자료를 선별 후 현장 조사 시기의 기상 환경에 대한 사전 분석과 무인기 운용 계획 수립에 활용할 수 있다.



< K-transect, PROMICE, GC-NET 자동기상관측망의
그린란드 자동 기상관측 지점 분포 지도 >

1) GC-Net

GC-Net (Greenland Climate Network)은 미국항공우주국 (NASA)과 미국국립과학재단 (NSF)의 지원으로 1999년 그린란드 빙상 (ice sheet)에 설치된 18개의 자동기상관측장비로 구성된 관측망이다 (Steffen et al., 1996). 미국 콜로라도 대학 (University of Colorado Boulder)의 Konrad Steffen 교수가 프로젝트 책임자이며, 관측된 기상자료는 시간 평균 전처리 후 위성 통신망을 통해 전송된다. 현재 6개 지점의 관측 장비는 현장에서 제거된 상태이다.

CIRES
Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences

Steffen Research Group

Steffen Home | People | Projects | Publications | Classes | Contact

Greenland Climate Network (GC-Net)

A Project Sponsored by NASA and NSF

Map of Weather Stations

Automatic Weather Stations (AWS)

As of the 1999 field season, 18 automatic weather stations (AWS) are collecting climate information on Greenland's ice sheet. Each AWS is equipped with a number of instruments to sample the following:

- air temperature, wind speed, wind direction, humidity, pressure
- accumulation rate at high temporal resolution to identify and resolve individual storms
- surface radiation balance in visible and infrared wavelengths
- sensible and latent heat flux fluxes
- snowpack conductive heat fluxes

Hourly average data are transmitted via a satellite link (GOES or ARD25) throughout the year; in addition, measurements are stored in solid state memory. The system is powered with two 100 Ah batteries, charged by a 10 or 20 W solar panel. The satellite data-link is powered by two separate 100 Ah batteries connected to a 20 W solar panel. This setup guarantees continuous data recordings and storage, even in the case of satellite transmission failure. The expected lifetime of the instrumentation is 5 years.

Current GC-Net Transmissions

PARCA GC-Net Automatic Weather Stations (AWS) are equipped with communication satellite transmitters that enable near-real time monitoring of weather conditions on the Greenland ice sheet. Transmission latency is as short as 4 minutes, typically 1-2 hours, and occasionally as long as 48 hours. See graphs of the most recent transmissions in the links listed on the right side of this page.

For more information on the GC-NET visit:

Steffen, K., J. E. Box, and W. Abdalati, 1996 "Greenland Climate Network: GC-Net", in: Colbeck, S. C. Ed. CIRREL 96-27 Special Report on Glaciers, Ice Sheets and Volcanoes, trib. to M. Meier, pp. 98-103.

You can request data via the Web or download data from Humboldt and TUNU-N sites from our FTP Server:

Dr. Konrad Steffen is the principal investigator of this project.

Notes

- There is no transmission from NMSA-SE, Kulu, JAF3, or KAR.
- Kulu, Kulu, and Aurora stations have been removed.
- Click here to learn about the cloud amount estimates.
- Times are in UTC.
- For conversion of Julian day (Day of year) to calendar date, use ASCII data link.
- On the plots, observations are represented by square crosses.
- The plots are updated at 50 minutes into each hour.
- You may need to clear the memory cache when reloading updated files.

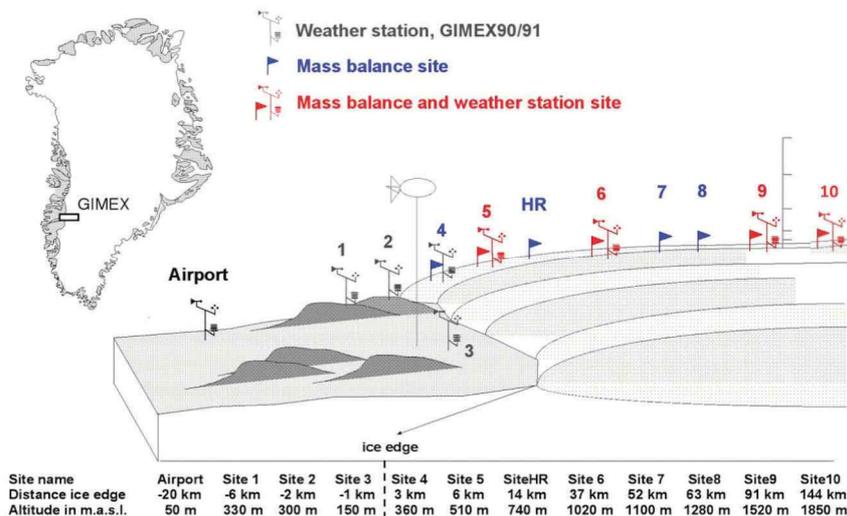
See Also

- publications
- Greenland Weather Links

< GC-Net 웹사이트: <http://cires1.colorado.edu/steffen/gcnet> >

2) K-transect

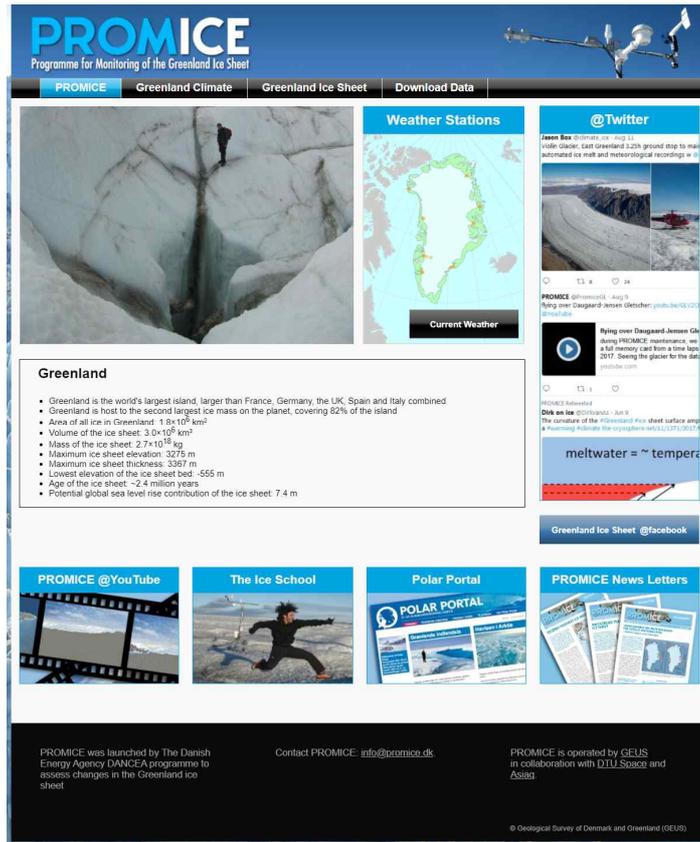
K-transect는 서그린란드 Kangerlussuaq 지역 인근 지점에서 네덜란드 위트레흐트 대학 (Utrecht University) 해양 및 대기 연구소 (Institute for Marine and Atmospheric Research)에서 Greenland Ice Margin Experiment (GIMEX) 프로젝트를 통해 1993년 8월부터 구축 및 운용이 시작된 관측망이다 (Smeets et al., 2018). K-transect는 러셀 빙하 (Russel Glacier) 전방 지역 동토부터 해발 1,500 m 지점까지 횡단하는 지점들에서 기상관측을 시작하였다.



< GIMEX91 프로젝트의 K-transect 기상관측망 분포 예 (Smeets et al., 2018) >

3) PROMICE

PROMICE (Programme for Monitoring of the Greenland Ice Sheet)는 다수의 프로젝트가 결합된 기상관측망으로 덴마크 및 그린란드 지질조사소 (Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS))에 의해 2007년부터 관측을 시작하였다 (van As et al., 2011). PROMICE 관측망을 구성하는 관측지점 중 KAN 관측지점은 Greenland Analogue Project (GAP)에 의해, KAN_B 관측지점은 Greenland Analogue Surface Project (GRASP)에 의해, NUK 관측지점은 Greenland Climate Research Centre (GCRC)에 의해, MIT 관측지점은 SEDIMICE 프로젝트에 의해 설치되었다.

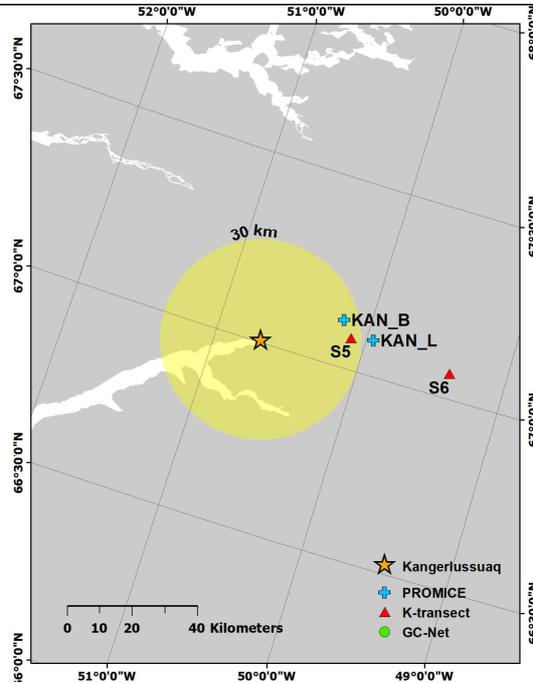


< PROMICE 웹사이트: <http://www.promice.dk> >

나. 하계 실증 대상 Kangerlussuaq 지역 기상 현황

하계 실증 지역인 Kangerlussuaq의 기상 현황 분석을 위해 지리정보시스템 기반 거리분석 수행 후 30 km 이내의 근거리에서 설치된 자동기상관측 장비를 선정하였다. 선정된 관측 지점은 PROMICE의 KAN_B 지점과 K-transect의 S5 관측지점이다. 두 관측지점은 인접해 있지만 KAN_B는 동토 위에 설치된 반면 S5는 빙상 위에 위치한다. 하계 실증 시기에 대한 기상관측 자료 분석은 초기 계획인 8월에서 1차 수정된 9월과 2차 수정된 계획인 5월에 대해 각각 수행하였다.

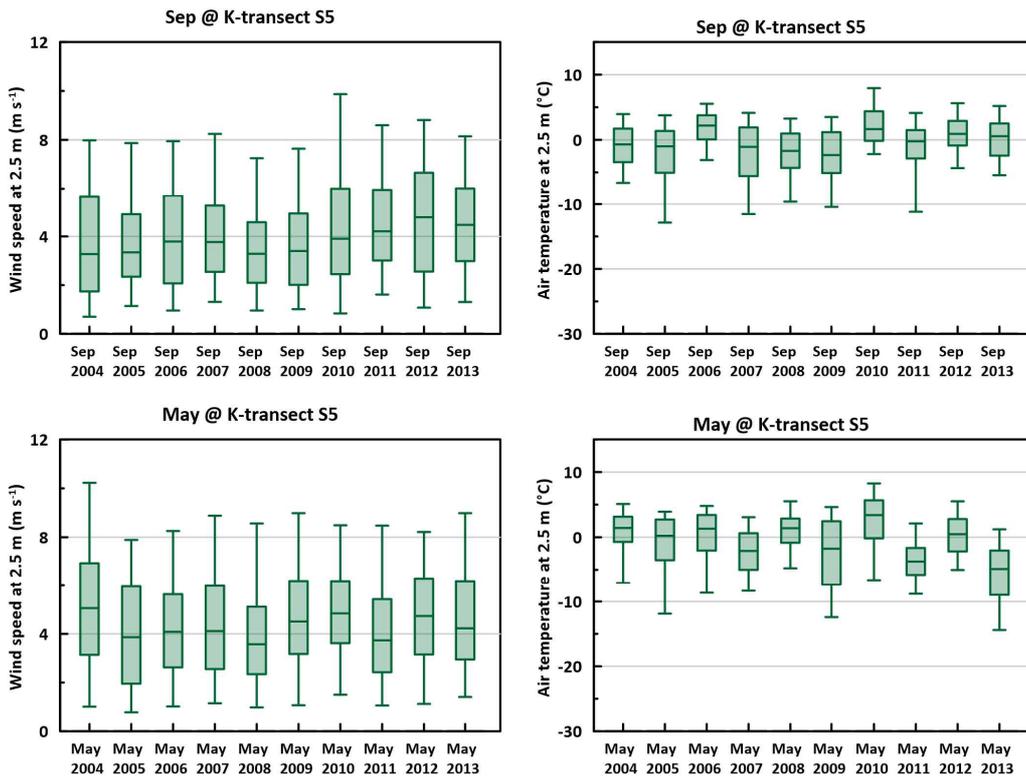
1) 촬영조건 : 30 cm GSD, 바람 등 외부요인 없음, 기온 18C, 배터리 충전 완료, 비행고도 1,000m



< 하계 무인기 실증 지역인 Kangerlussuaq 인근의 자동기상관측 지점 >

1) K-transect S5 기상관측지점 데이터 분석

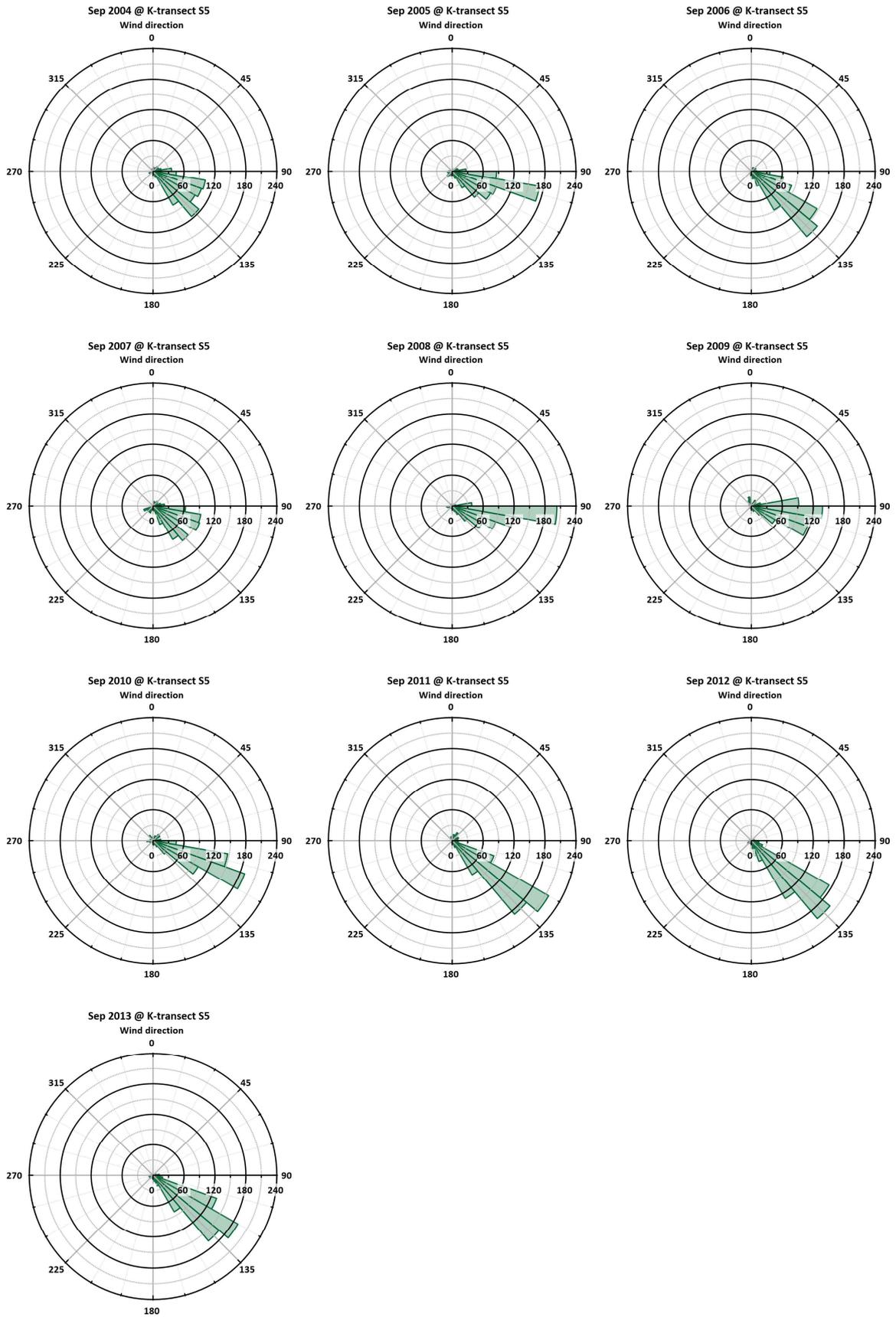
K-transect의 S5 지점에 대해 2004년부터 2013년까지 10년 동안의 1차 수정된 현장 조사 시기인 9월의 풍속과 기온에 대한 분석을 수행하였다. 평균 풍속은 약 $4.11 \pm 0.03 \text{ m s}^{-1}$ 이며, 평균 기온은 $-0.53 \pm 0.05^\circ\text{C}$ 이다. 2차 수정된 현장 조사 시기인 5월의 평균 풍속은 약 $4.40 \pm 0.03 \text{ m s}^{-1}$ 이며, 평균 기온은 $-1.20 \pm 0.05^\circ\text{C}$ 이다. 9월보다 5월의 평균 풍속이 높으며, 평균 기온은 낮은 것으로 산정되었다.



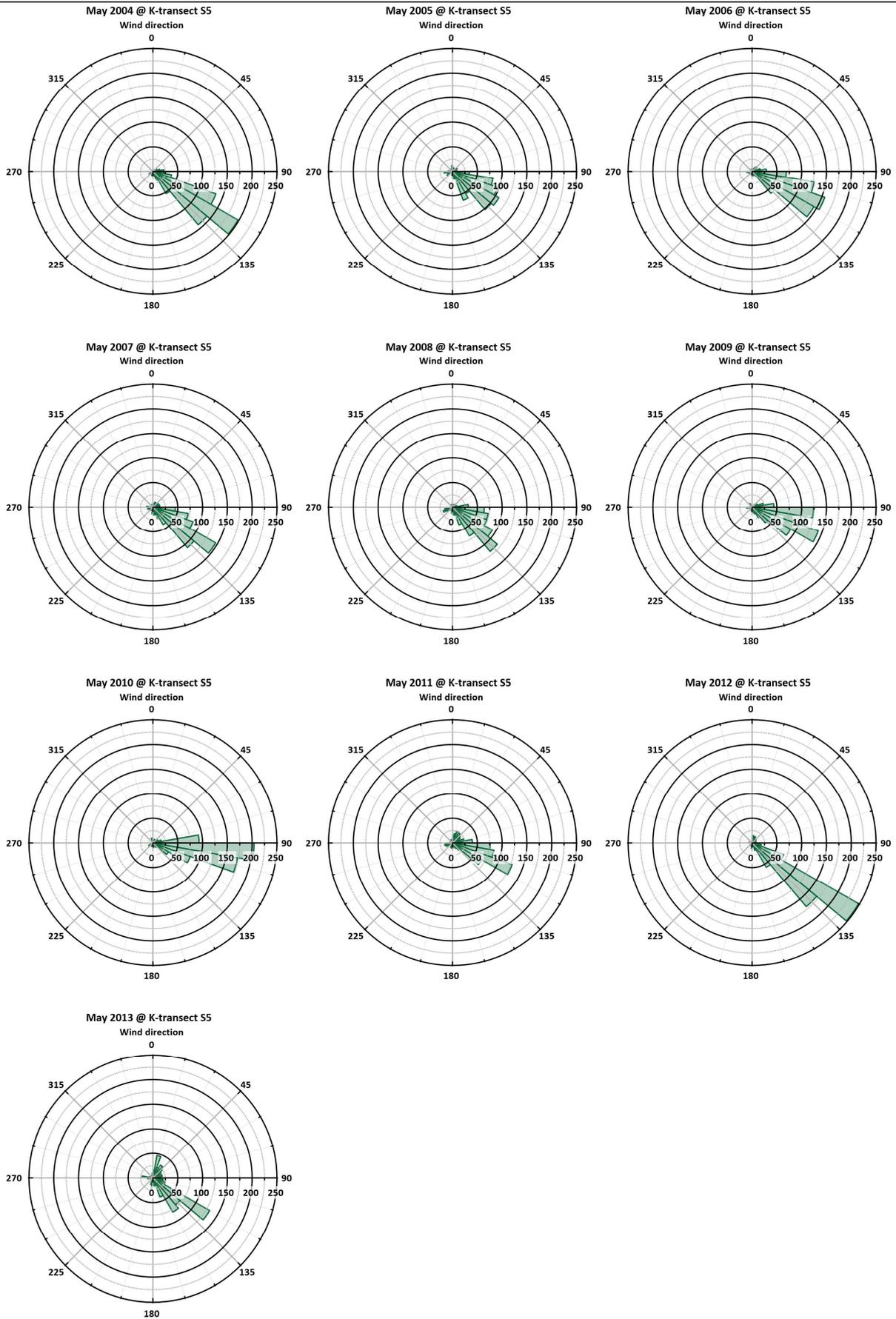
< K-transect S5 지점의 2004-2013년 9월과 5월의 풍속(좌)과 온(우) >

풍향의 경우 9월과 5월 모두 남동풍 계열이 우세한 것으로 관측되었고 일부 동풍 계열이 우수한 시

기가 나타나기도 한다.



< K-transect S5 지점의 2004-2013년 9월 풍향 >

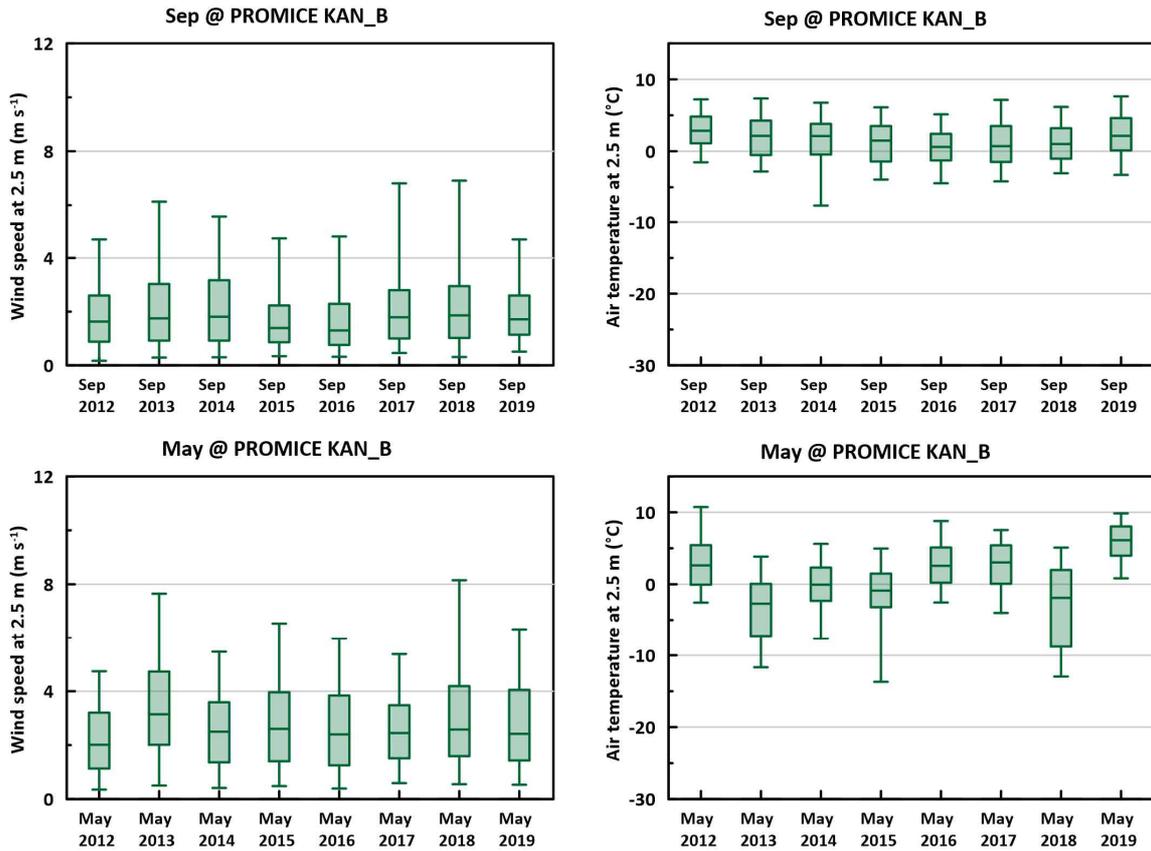


< K-transect S5 지점의 2004-2013년 5월 풍향 >

2) PROMICE KAN_B 기상관측지점 데이터 분석

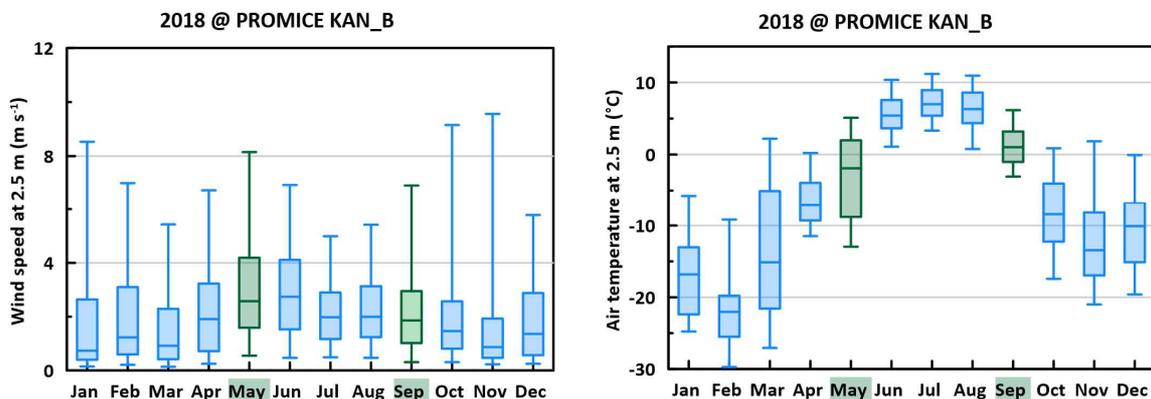
PROMICE의 KAN_B 지점에 대해 K-transect의 S5 관측 기간보다 최근인 2012년부터 2019년까지

1차 수정된 현장 조사 시기인 9월의 풍속과 기온에 대한 분석을 수행하였다. 평균 풍속은 약 $1.89 \pm 0.18 \text{ m s}^{-1}$ 이며, 평균 기온은 $1.36 \pm 0.18^\circ\text{C}$ 이다. 2차 수정된 현장 조사 시기인 5월의 평균 풍속은 약 $2.38 \pm 0.02 \text{ m s}^{-1}$ 이며, 평균 기온은 $0.72 \pm 0.07^\circ\text{C}$ 이다. K-transect의 S5 관측과 마찬가지로 9월보다 5월의 평균 풍속이 높으며, 평균 기온은 낮은 것으로 산정되었다.



< PROMICE KAN_B 지점의 2012-2019년 9월과 5월의 풍속(좌)과 기온(우) >

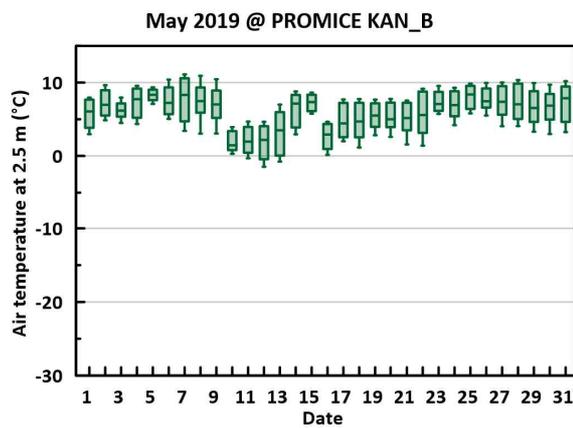
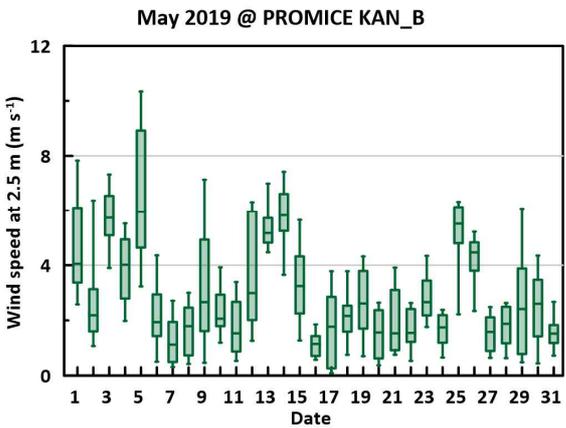
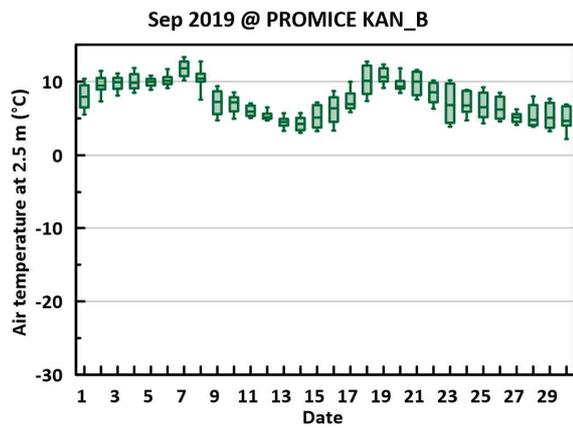
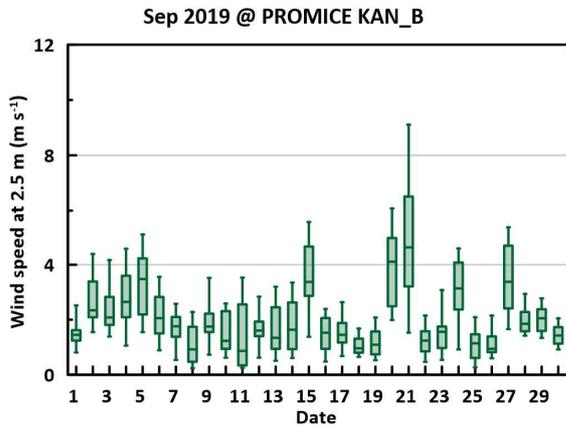
연중 풍속과 기온 변화를 살펴보기 위해 1년 동안의 관측이 모두 이루어진 2018년 자료를 분석하였다. 월평균 풍속은 동계 시기보다 하계 시기에 더 높은 것으로 관측되었으며 월평균 기온은 6월부터 9월까지 영상인 것으로 관측되었다.



< PROMICE KAN_B 지점의 2018년 월간 풍속(좌)과 기온(우) >

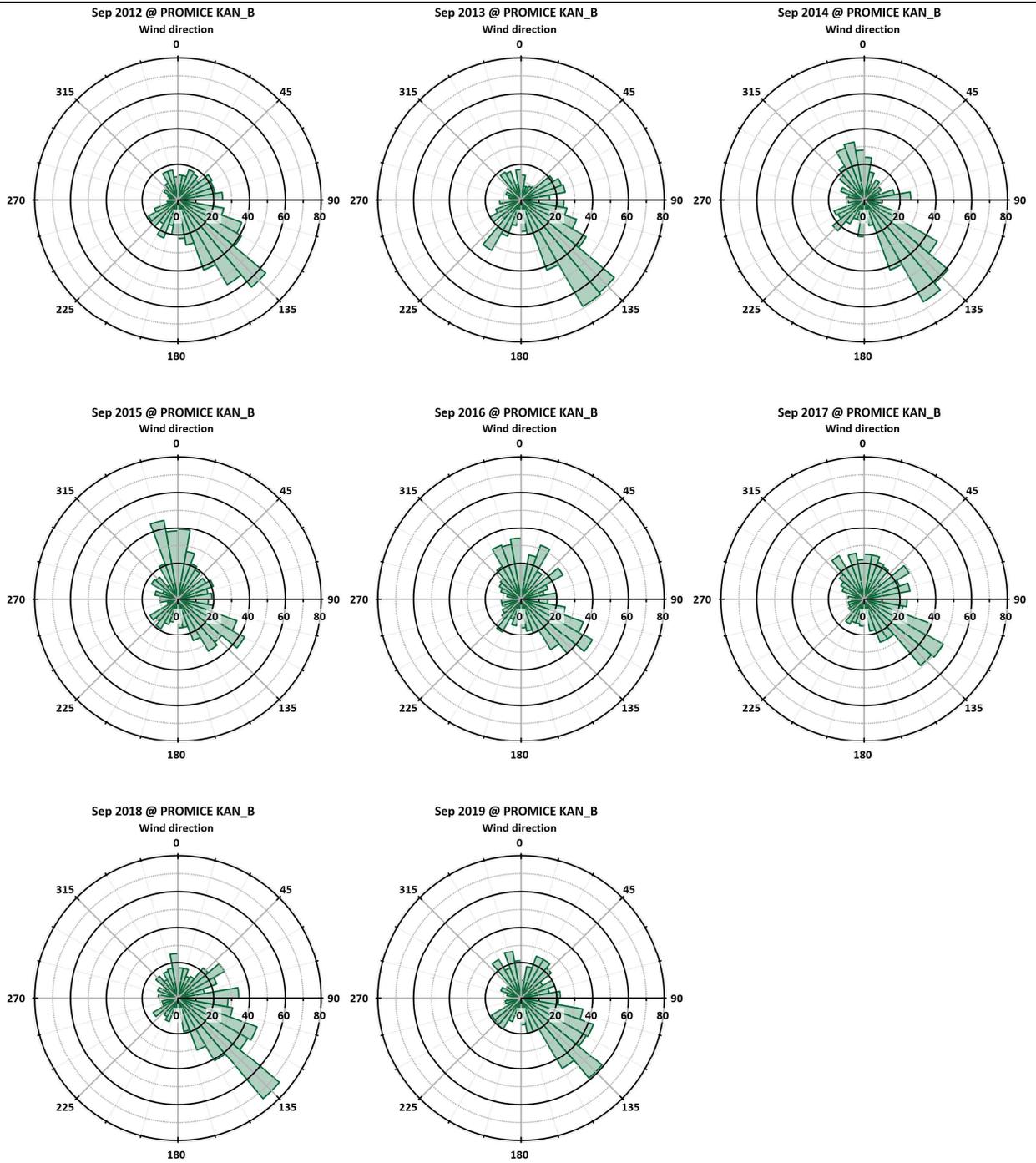
세밀한 기상 변화를 알아보기 위해 가장 최근의 관측 시기인 2019년 9월과 5월에 대해 일간 온도와 기온을 분석하였다. 풍속은 간헐적으로 5 m s^{-1} 을 넘는 경우가 관측되어 이때를 제외하고 대부분의 시기에 무인기 운용이 가능할 것으로 판단된다. 일평균 기온은 모두 영상으로 관측되어 일출 이후 기

온이 오르면 부인기 운용이 가능할 것으로 판단된다.

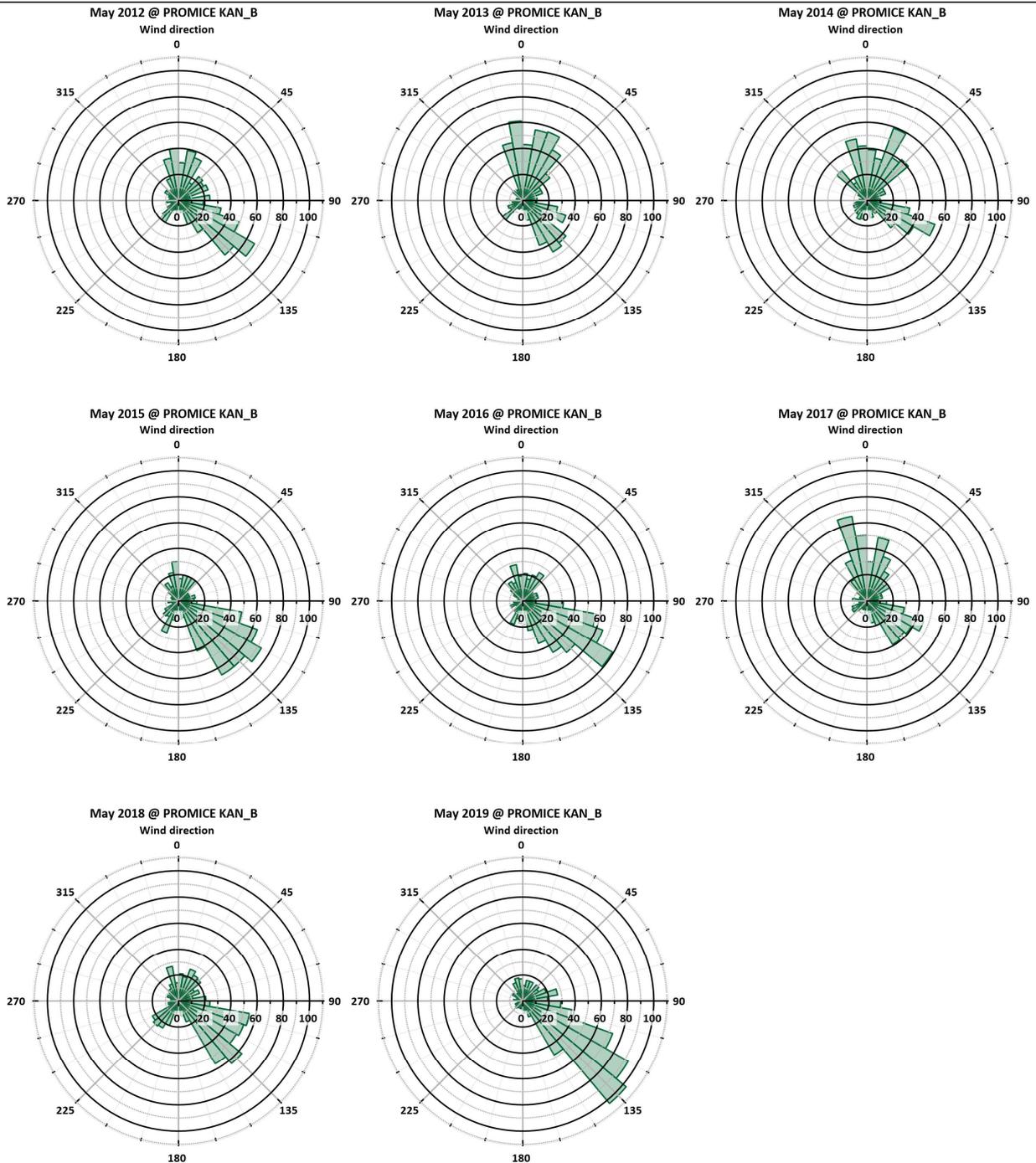


< PROMICE KAN_B 지점의 2019년 9월과 5월 일간 풍속(좌)과 기온(우) >

풍향의 경우 K-transect의 S5와 마찬가지로 대부분의 시기에 9월과 5월 모두 남동풍 계열이 우세하지만 일부 북풍 계열이 우세한 시기가 나타나기도 한다.



< PROMICE KAN_B 지점의 2012-2019년 9월 풍향 >



< PROMICE KAN_B 지점의 2012-2019년 5월 풍향 >

2. 극지연구 유형별 임무 정의서 작성

가. 무인기 기반 극지역 빙하 연구 사례

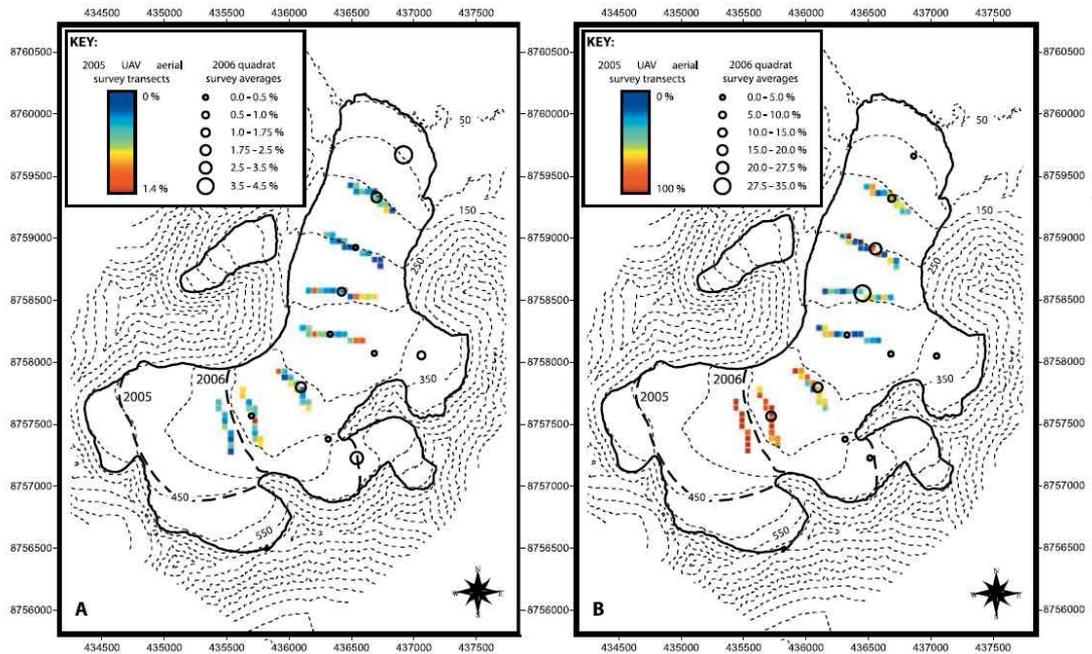
빙하 연구를 위해 다양한 원격탐사 플랫폼과 센서 기술이 활용되어 왔다. 최근에는 무인기를 활용하여 빙하를 관측하는 사례들이 늘어나고 있다. 전통적으로 전지구 빙하에 대한 광역 관측을 위해 인공위성 데이터가 사용되었으나, 무인기는 인공위성 대비 저궤도에서 운용되기 때문에 공간해상도가 우수한 고정밀 데이터를 확보할 수 있고 궤도 특성에 따라 데이터 획득 주기가 결정되는 인공위성과는 달리 기상 조건이 허락할 경우 원하는 시기에 데이터 획득이 가능한 장점이 있다. 점차 무인기 운용 비용도 저렴해지고 있으므로 향후 빙하 연구에 대한 활용성이 더욱 커질 것으로 기대된다.

무인기에는 가시광 (visible) 센서, 다중분광 (multispectral) 센서, 초분광 (hyperspectral) 센서, 열적외선 (thermal infrared) 센서, 영상 레이더 (radar) 센서, 라이다 (light detection and ranging, LiDAR) 센서 등 다양한 센서의 탑재가 가능하며, 기본적으로 획득되는 데이터로는 고해상도 영상과

이를 기반으로 structure-from-motion (SfM) 기술을 적용하여 획득되는 수치고도모델 (digital elevation model, DEM)이 있다. 이러한 데이터셋을 활용하여 빙하 및 빙하 후퇴지역 (glacier foreland)에 대한 분석과 변화 탐지가 가능하다.

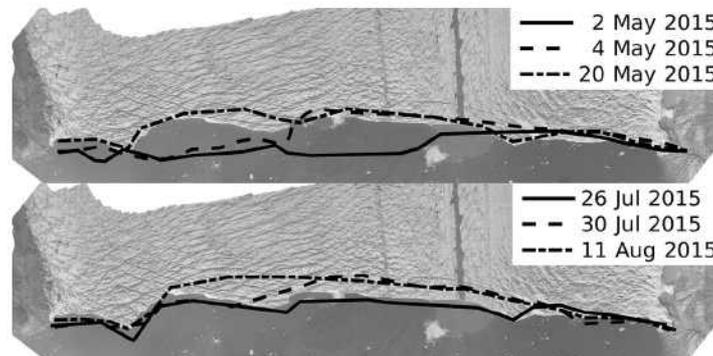
1) 고해상도 무인기 영상 활용 빙하 연구 사례

스발바르 (Svalbard)의 Midtre Lovénbreen 빙하를 대상으로 빙하 표면에 분포하는 유기물 덩어리인 cryoconite 탐지를 위해 무인기 획득 고해상도 영상을 활용한 바 있다 (Hudson et al., 2007).



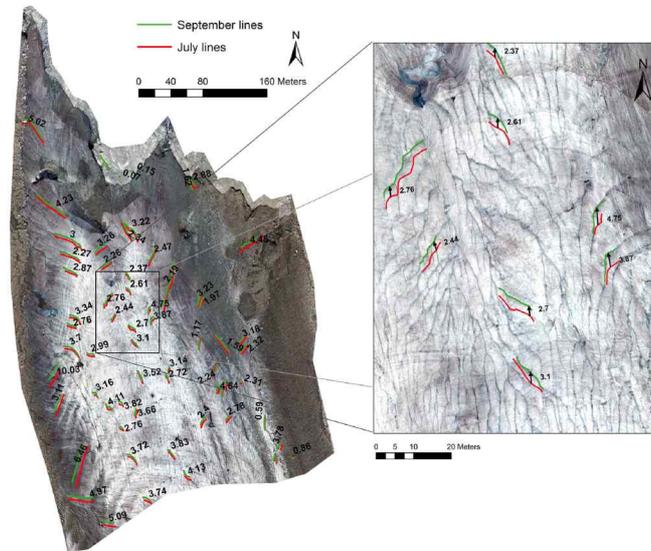
< 무인기 영상 기반 빙하 표면 cryoconite 탐지 사례 (Hudson et al., 2007) >

무인기 획득 영상은 빙하 끝 경계 관측에도 활용되었다. Ryan et al. (2015)과 Jouvét et al. (2017)은 빙하 경계에서 발생하는 분리 (calving) 현상을 고해상도 시계열 영상을 이용하여 정밀 관측하였다.



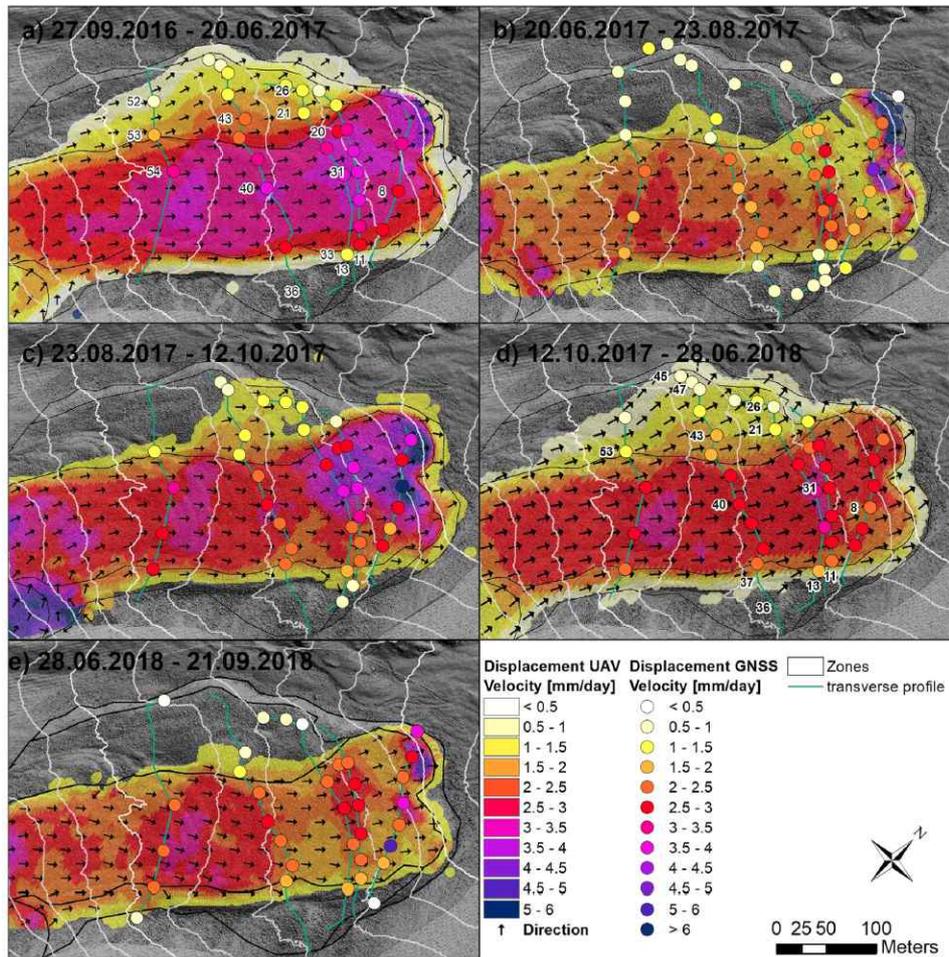
<Bowdoin 빙하 경계 분리 현상의 시계열 정밀 관측 (Jouvét et al., 2017)>

육상 빙하의 경우에도 두 시기에 획득된 영상을 이용하여 경계 변화를 탐지하였다. 또한 빙하 표면의 균열 등 특징을 추적하면 이동 거리와 흐름 속도를 산정할 수 있다 (Rossini et al., 2018).



< 알프스 Morteratsch 빙하 시계열 경계 변화와 흐름 관측 (Rossini et al., 2018) >

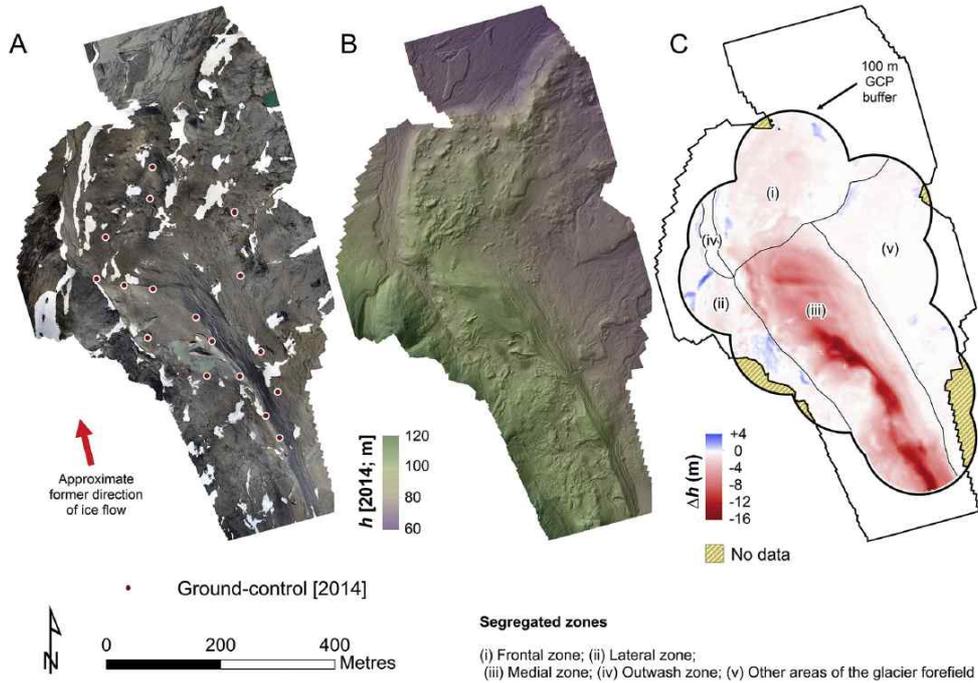
빙하 이동 속도 관측은 빙하에 설치된 범지구 위성 항법 시스템 (GNSS) 기반으로 소수의 지점 또는 선형으로 배열된 지점들에 대해 측정된다. 무인기 영상 기반으로 빙하 이동 속도를 관측할 경우 영상 내 모든 지점에 대해 속도 산정할 수 있으므로 빙하 주변 지형 또는 하부 지형에 대한 영향을 보다 세밀하게 파악할 수 있다 (Fey and Krainer, 2020).



< 두 시기에 획득된 무인기 영상으로부터 빙하 흐름 속도 산정 (Fey and Krainer, 2020) >

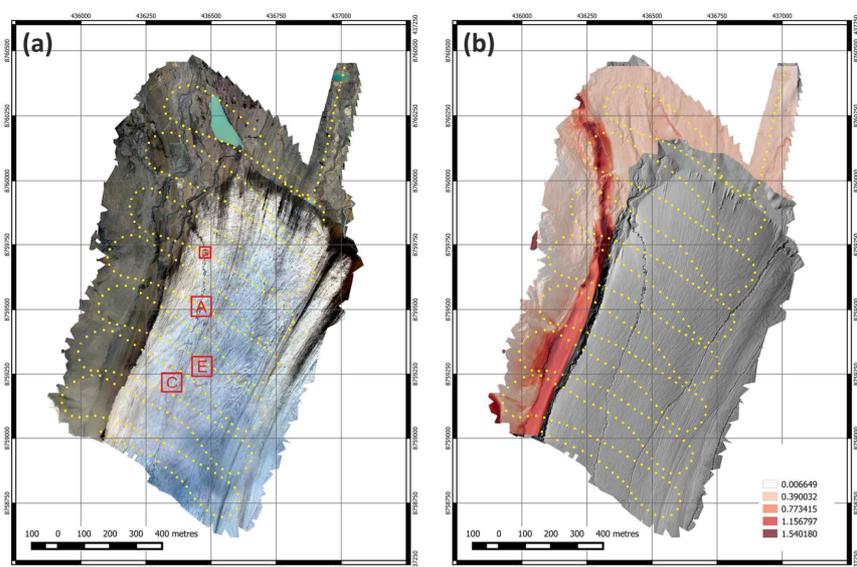
2) 고해상도 영상 기반의 수치고도모델 활용 빙하 연구 사례

무인기 획득 영상을 기반으로 제작된 수치고도모델은 다양한 종류의 원격탐사 기반 지형 데이터와 복합 활용이 가능하다. Midgley et al. (2018)은 LiDAR 기반 수치고도모델과 무인기 획득 영상 기반 수치고도모델을 비교하여 Svalbard의 Midtre Lovenbreen 빙하 후퇴 지역의 지형 변화에 대해 분석하였다.



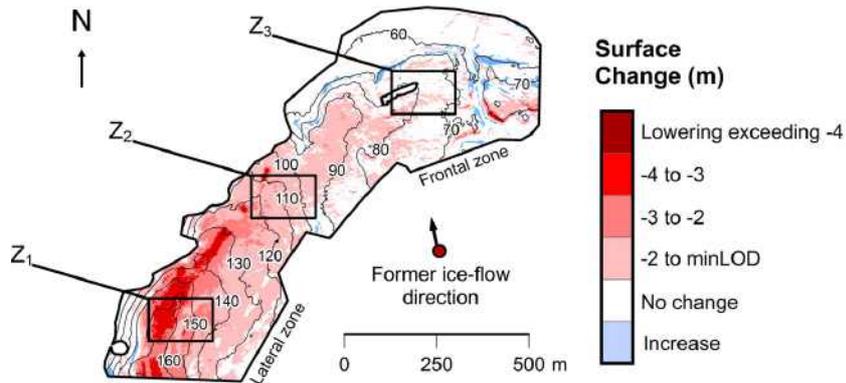
< Midtre Lovenbreen 빙하 후퇴 지역의 2003년 획득 LiDAR 기반 수치고도모델과 2014년 획득 무인기 영상 기반 수치고도모델 비교 (Midgley et al., 2018) >

영국 York 대학교 Rippin et al. (2015)는 Svalbard의 Midtre Lovenbreen 빙하의 정사 모자이크 영상과 수치고도모델을 제작하여 빙하의 미세 배수로 밀도, 표면 거칠기 및 반사도 사이의 연관성을 분석하였다. 모자이크 영상과 수치고도모델은 423장의 무인기 영상으로부터 각각 공간해상도 5 cm, 10 cm 급으로 제작되었다.



< Midtre Lovenbreen 빙하 하류의 정사 모자이크 영상과 수치고도모델 생성 (Rippin et al., 2015) >

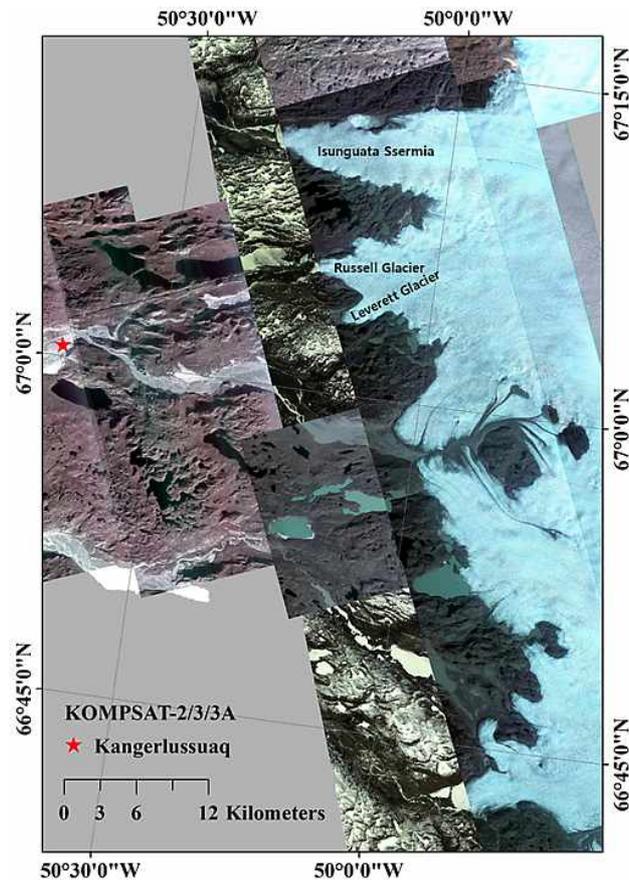
Tonkin et al. (2016)과 Ely et al. (2017)은 빙하 후퇴로 인한 노출 지형의 소규모 지형 구조와 변화에 대한 분석을 수행하였다. 점진적인 빙하 후퇴로 인한 노출지가 증가할 경우 주기적인 정밀 모니터링이 가능함을 보고하였다.



<빙하 후퇴지 고도 변화 분석 (Tonkin et al., 2016)>

나. 극지연구 대표임무 선정 및 우선도 도출

하계 실증 지역인 그린란드 Kangerlussuaq 인근에는 Isunguata Ssermia, Russell, Leverett의 세 육상 빙하 (land-terminating glacier)가 위치하고 있다. 선행된 극지역 무인기 활용 빙하 연구들에 대한 검토 결과 이들 빙하 및 후퇴지역에 대해 기본 임무장비인 고해상도 가시광 영상 센서를 활용하는 다음과 같은 데이터 획득 임무가 최우선 대표 임무로 선정 가능하다.



<아리랑 (KOMPSAT) 위성 영상 기반 Kangerlussuaq 인근 빙하 분포도 >

- 고해상도 가시광 무인기 시계열 영상 획득

- 시기별 고해상도 가시광 영상 모자이크 작성
- 시기별 고해상도 가시광 영상과 현장 지상기준점 (ground control point, GCP) 측량 기반 빙하 수치고도모델 제작

가장 우선적으로 기본 임무장비로부터 획득될 고해상도 무인기 영상 모자이크와 수치고도모델을 활용하여 그린란드 빙하에 대해 다음과 같은 주제의 연구 수행이 가능하다.

< 그린란드 빙하 연구를 위한 무인기 임무 선정 >

임무 횟수	획득 데이터	활용안
단일 시기	고해상도 영상	• 빙하/후퇴지역 표면 구성요소 분석 • 빙하 경계 매핑
	수치표고모델	• 빙하 표면 수계 탐지 • 빙하/후퇴지역 표면 고도 산정
다중 시기	고해상도 영상	• 빙하 표면 구성요소 변화 탐지 • 빙하 경계 변화 탐지
		• 빙하 흐름 속도 산정
	수치표고모델	• 빙하 표면 수계 변화 분석 • 빙하 질량 변화 분석
		• 빙하 후퇴지역 지형 변화 분석

다중 시기에 획득된 영상을 활용할 경우 빙하 표면 구성, 빙하 표면 수계, 빙하 고도에 대한 시계열 변화 탐지뿐만 아니라 빙하 흐름 속도와 질량 변화도 산정이 가능하다. 또한 빙하 표면 구성과 빙하 고도에 대한 정보는 고해상도 특성으로부터 인공위성 데이터 기반 분석 결과를 검보정하는 정밀 기준 자료로도 활용이 가능하다.

3. 극지 하계 실증시연 시행 계획 수립

가. 국제공동워크샵 수행

- 일정: 2019.11.12.~2019. 11.14.
- 장소: Technical University of Denmark (DTU) (덴마크 코펜하겐)
- 참석인원 : 한국 3개 기관 11명, 덴마크 3개 기관 9명

한국	덴마크
(KARI) 강왕구, 정용운, 황인성, 석효정, 임병욱, 이돈구, 김도윤 (KOPRI) 김현철, 현창욱 (KETI) 신영수, 최성찬	(DTU Space) Kristian Pedersen, Niels Andersen, Michael Linden-Vørnle, René Forsberg, Hanne Thomasen, Per Lundahl Thomsen, Susanne Hanson (Aarhus Univ.) Ulrich Gosewinkel (Min. Higher Education & JAC) Frej S. Dichmann

- 종합 현장조사 계획 수립
 - (1차년도) Kangerlussuaq 현장조사
 - (2차년도) Ilulissat, Kangerlussuaq 현장조사
 - (3차년도) Villum Research Station (VRS), Ilulissat 현장조사
 - (4~5차년도) 하계/동계 종합비행시험 (3개 지역)
- 1차년도 하계 실증 계획 (2021년 5월 2주간으로 연기)
 - 날짜 : 2020년 8월 2주간
 - 장소 : 그린란드 Kangerlussuaq 인근 지역
 - 임무장비 : 고해상도 광학카메라 기본 활용 및 필요시 추가 (IR, 분광카메라 등)

4. 참고문헌

- 1) Ely, J. C., Graham, C., Barr, I. D., Rea, B. R., Spagnolo, M., & Evans, J. (2017). Using UAV acquired photography and structure from motion techniques for studying glacier landforms: application to the glacial flutes at Isfallsglaciären. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(6), 877-888.
- 2) Fey, C., & Krainer, K. (2020). Analyses of UAV and GNSS based flow velocity variations of the rock glacier Lazaun (Oetztal Alps, South Tyrol, Italy). *Geomorphology*, 107261.
- 3) Hodson, A., Anesio, A. M., Ng, F., Watson, R., Quirk, J., Irvine-Fynn, T., Dye, A., Clark, C., McCloy, P., Kohler, J., & Sattler, B. (2007). A glacier respire: quantifying the distribution and respiration CO₂ flux of cryoconite across an entire Arctic supraglacial ecosystem. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(G4).
- 4) Jouvét, G., Weidmann, Y., Seguinot, J., Funk, M., Abe, T., Sakakibara, D., Seddik, H., & Sugiyama, S. (2017). Initiation of a major calving event on the Bowdoin Glacier captured by UAV photogrammetry. *Cryosphere*, 11(2), 911-921.
- 5) Midgley, N. G., Tonkin, T. N., Graham, D. J., & Cook, S. J. (2018). Evolution of high-Arctic glacial landforms during deglaciation. *Geomorphology*, 311, 63-75.
- 6) Rippin, D. M., Pomfret, A., & King, N. (2015). High resolution mapping of supra-glacial drainage pathways reveals link between micro-channel drainage density, surface roughness and surface reflectance. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(10), 1279-1290.
- 7) Rossini, M., Di Mauro, B., Garzonio, R., Baccolo, G., Cavallini, G., Mattavelli, M., Amicis, M. D., & Colombo, R. (2018). Rapid melting dynamics of an alpine glacier with repeated UAV photogrammetry. *Geomorphology*, 304, 159-172.
- 8) Ryan, J. C., Hubbard, A. L., Box, J. E., Todd, J., Christoffersen, P., Carr, J. R., Holt, T. O., & Snooke, N. (2015). UAV photogrammetry and structure from motion to assess calving dynamics at Store Glacier, a large outlet draining the Greenland ice sheet. *Cryosphere*, 9(1), 1-11.
- 9) Smeets, P. C., Kuipers Munneke, P., Van As, D., van den Broeke, M. R., Boot, W., Oerlemans, H., Snellen, H., Reijmer, C.H., & van de Wal, R. S. (2018). The K-transect in west Greenland: Automatic weather station data (1993-2016). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 50(1), S100002.
- 10) Steffen, K., Box, J. E., & Abdalati, W. (1996). Greenland climate network: GC-Net. US Army Cold Regions Reattach and Engineering (CRREL), CRREL Special Report, 98-103.
- 11) Tonkin, T. N., Midgley, N. G., Cook, S. J., & Graham, D. J. (2016). Ice-cored moraine degradation mapped and quantified using an unmanned aerial vehicle: a case study from a polythermal glacier in Svalbard. *Geomorphology*, 258, 1-10.
- 12) van As, D., Fausto, R. S., Ahlstrøm, A. P., Andersen, S. B., Andersen, M. L., Citterio, M., Edolvang, K., Gravesen, P., Machguth, H., Nick, F. M., & Nielsen, S. (2011). Programme for Monitoring of the Greenland Ice Sheet (PROMICE): first temperature and ablation records. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 23, 73-76.

II. 1단계 2차년도 연구수행내용 및 결과

1. 그린란드 현지 하계 조건 현장 조사 공동 수행

가. 그린란드 Kangerlussuaq 인근 빙하 지역에 대한 하계 무인기 영상 획득 계획 수립

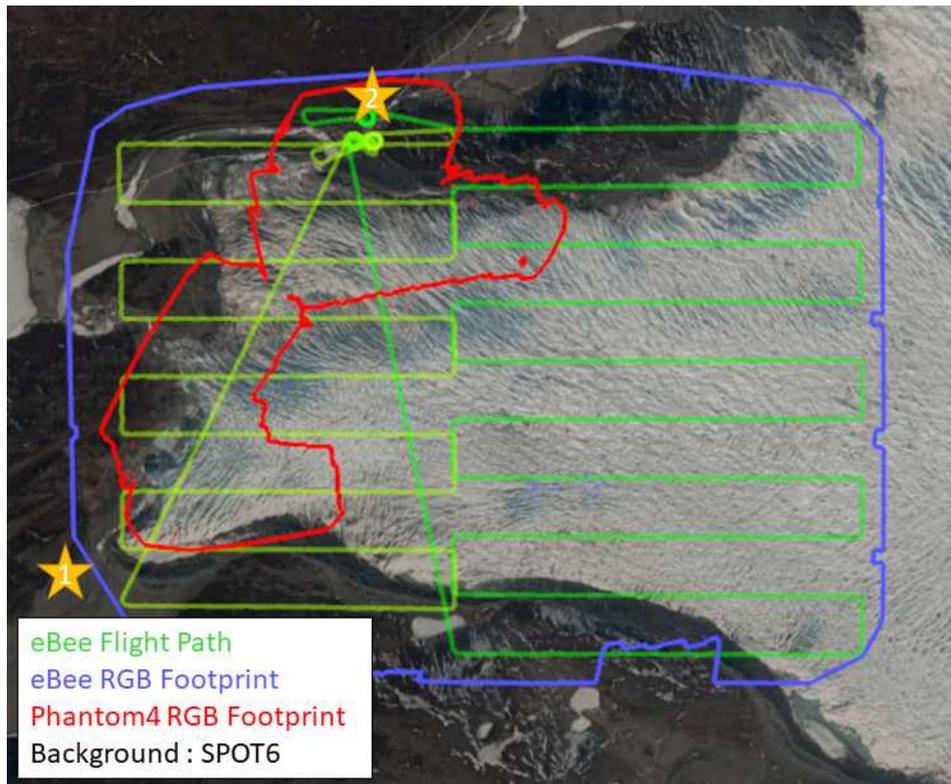
- Kangerlussuaq 인근 대표적인 빙하는 Isunnguata Sermia, Russell, Leverett 등 3개이며, 이중 접근이 가장 용이한 빙하는 Kangerlussuaq 시내로부터 약 25 km 떨어진 Russell 빙하로서 공동

현장 조사 지역으로 적합하다고 판단하였다.

- 그린란드 현지 현장 조사 공동 수행
- 일정 : 2021.09.09.~2021.09.17.
- 장소 : Russell 빙하
- 참석기관 : KOPRI, KARI, DTU-space, JAC
- 참조 : JAC에서 기체 준비 및 현장 방문 준비를 위한 장소 제공
- 촬영계획: 멀티콥터와 고정익 무인기 각각 특성에 따라서 촬영 가능한 면적이 달라지며 이를 고려하여 빙하 표면 촬영을 계획하였다. 멀티콥터(Phantom4 Pro)는 비행 가능 속도가 낮기 때문에 촬영 가능 면적이 작다. 따라서 Russell 빙하 가장자리 지역을 촬영할 수 있도록 영상 획득을 계획하였다. 고정익 무인기(eBee)는 비교적 높은 고도에서 촬영이 가능하고, 이동 속도가 빠르며 긴 비행시간이 가능하여 넓은 영역의 촬영이 용이하다. 따라서 멀티콥터가 촬영하는 지역을 포함한 Russell 빙하 전역이 촬영될 수 있도록 비행을 계획하였다. 촬영 지역의 합이 최소 1 km² 이상 되도록 비행 경로를 계획하였다.

<촬영에 사용된 무인기의 기본 특성>

	Phantom4 Pro	eBee ¹⁾
최대 비행 시간 [분]	30	50
비행 가능 속도 [m/s]	14	11-25
촬영 가능 면적 [km ²]	1 (예상)	12



<무인기 촬영 면적 (빨강: Phantom4 Pro, 파랑: eBee) 과 비행 경로 (녹색: eBee)>

나. 그린란드 연구 대상 지역에 대한 하계 무인기 영상 획득 수행

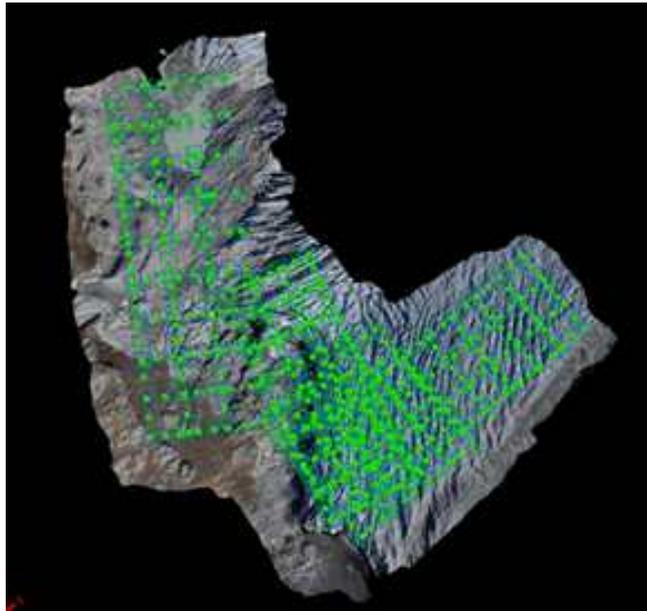
• Russell 빙하까지의 접근은 최소 왕복 2시간이 소요되었기 때문에 최적으로 무인기를 날릴 수 있는 지점을 선정하였다. 멀티콥터를 사용하여 9월 10일과 11일에는 Russell 빙하 끝단 지역에서, 14일에는 내륙 지역을 촬영하였다. 비교적 넓은 지역의 촬영이 가능한 고정익 무인기는 9월 11일에 Russell 빙하 전체를 촬영하였다.

• 멀티콥터 무인기 촬영 비행고도는 지상으로부터 150-250 m 까지 변화를 주었으며 빙하 표면의 크레바스 및 빙벽의 촬영을 위해 카메라 앵글은 65도로 고정하였다. 고도와 각도에 따른 지상해상도는 약 3-7 cm 정도 확보 가능하였다. 영상 중첩도는 가로/세로 80/70% 로 설정하여 높은 많은 영상에서 매칭포인트를 찾을 수 있도록 하였으며 짧은 비행시간 (15-20분) 으로 인하여 촬영 범위가 매우 제한되었다.

• 9월 10일 : 총 4번의 비행을 통해 552장의 영상을 확보하였으며 촬영 환경은 아래와 같다.

<9월 10일 촬영 환경>

비행 번호	1	2	3	4
비행 시간	16분 55초	19분 53초	17분 27초	20분 56초
카메라 앵글 [도]	65	65	65	65
고도 [m]	150	150	150	180
비행 거리 [m]	4047	4304	4304	5793
촬영 범위 [m x m]	292 x 306	502 x 194	502 x 194	687 x 228
영상 오버랩 [%, 가로/세로]	80/70	80/70	80/70	80/70



<무인기 비행 경로 및 카메라 촬영 위치 (녹색)>

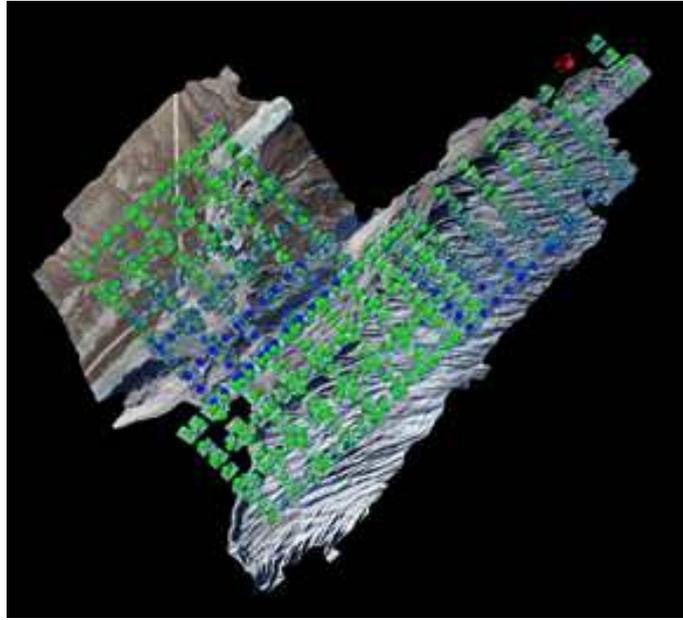


<무인기 촬영 영상 모자이크>

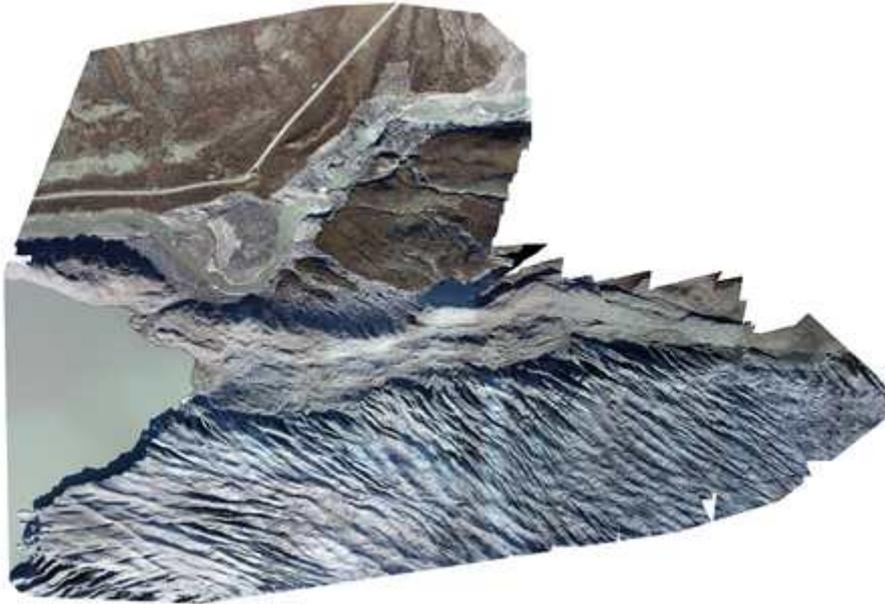
- 9월 11일 : 총 3번의 비행을 통해 358장의 영상을 확보하였으며 촬영 환경은 아래와 같다.

<9월 11일 촬영 환경>

비행 번호	1	2	3	-
비행 시간	16분 21초	18분 11초	16분 16초	-
카메라 앵글 [도]	65	65	65	-
고도 [m]	180	180	180	-
비행 거리 [m]	5267	5267	5337	-
촬영 범위 [m x m]	592 x 245	592 x 245	391 x 390	-
영상 오버랩 [%, 가로/세로]	80/70	80/70	80/70	-



<무인기 비행 경로 및 카메라 촬영 위치 (녹색)>



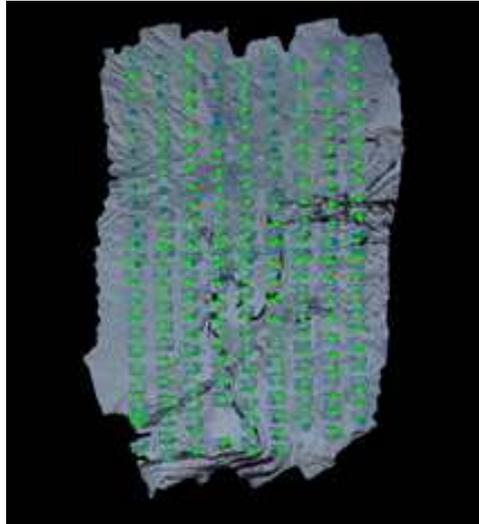
<무인기 촬영 영상 모자이크>

- 9월 14일 : 총 2번의 비행을 통해 212장의 영상을 확보하였으며 촬영 환경은 아래와 같다.

<9월 14일 촬영 환경>

비행 번호	1	2	-	-
비행 시간	34분 39초 (오류)	18분 55초	-	-
카메라 앵글 [도]	65	65	-	-
고도 [m]	250	250	-	-
비행 거리 [m]	7909	7909	-	-
촬영 범위 [m x m]	858 x 794	858 x 794	-	-
영상 오버랩 [%]	70/70	70/70	-	-

가로/세로]



<무인기 비행 경로 및 카메라 촬영 위치 (녹색)>



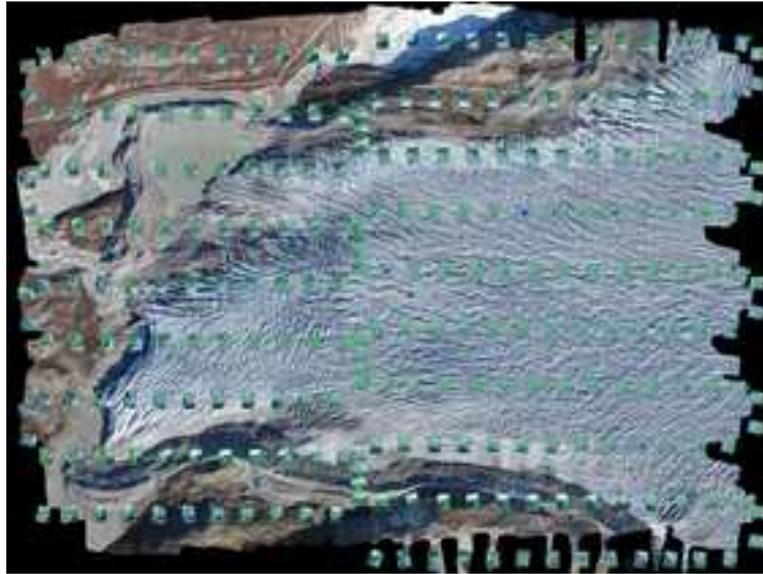
<무인기 촬영 영상 모자이크>

- 고정의 무인기는 해수면으로부터 680m 높이로 비행하였으며 촬영된 영상은 약 11cm 해상도를 확보했다. 중첩도는 60~75%로 설정하였으며 총 71분 비행을 통해 총 6.8 km² 면적을 촬영하였다.
- 9월 11일 : 총 2번의 비행을 통해 273장의 영상을 확보하였으며 촬영 환경은 아래 표와 같다.

<9월 11일 촬영 환경>

비행 번호	1	2	-	-
비행 시간	36분	36분	-	-
카메라 앵글 [도]	90	90	-	-
고도 [m]	680 AMSL	680 AMSL	-	-

비행 거리 [m]	-	-	-	-
촬영 범위 [m x m]	1,750 x 1,300	2,200 x 1,600	-	-
영상 오버랩 [%, 가로/세로]	60/75	60/75	-	-



<고정의 무인기 비행 경로 및 카메라 촬영 위치 (녹색)>



<무인기 촬영 영상 모자이크>

다. 무인기 획득 자료의 검보정 자료로 활용을 위해 무인기 영상 획득과 동시기에 현장 관측 수행

- 수십~수백장의 무인기 영상의 위치 정합 및 Digital Surface Model (DSM)의 절대높이 보정을 위해 Ground Control Point (GCP)를 활용한 검보정은 필수다. 영상 정합에 사용될 GCP의 재료로 30 cm x 30 cm 크기의 타겟을 사용하였다. 빙하 표면의 접근은 물리적으로 불가능하기 때문에 촬영 시작점 주위에 설치하였으며 설치된 GCP 위치와 고도는 Handheld GPS (Garmin)을 사용하여 기록하였다.

<GCP 위치와 고도>

GCP#	Latitude [deg]	Longitude [deg]	Elevation [m]
1	67.1051067	-50.2156467	307
2	67.1048517	-50.2148267	308
3	67.1054117	-50.2148783	319
4	67.1051050	-50.2140367	308
5	67.1052017	-50.2138050	311
6	67.1055167	-50.2133433	310
7	67.12020333	50.17426333	310
8	67.11865667	50.17224667	292
9	67.11905167	50.16996167	291
10	67.118885	50.17495833	308
11	67.11888	50.17495667	307
12	67.11916667	50.17572167	313
13	67.12028167	50.17547167	316
14	67.11962333	50.17408167	308
15	67.11969333	50.17409833	308
16	67.11965333	50.174165	308
17	67.11963833	50.17417167	305
18	67.11925	50.17531333	313
19	67.11953667	50.175515	316
20	67.12030833	50.17649333	321

2. 극지 실증시연 취득 데이터 분석·활용 및 기존 위성 데이터와 비교 연구

가. 현장 획득 무인기 영상 전처리 수행

- 그린란드 현장에서 확보된 무인항공기 기반 고해상도 영상들은 Pix4Dmapper를 사용하여 1) 카메라 렌즈 보정, 2) 영상 기반 표적 매칭 포인트 추출, 3) 영상 정합 및 point cloud 구성, 4) 수치고도모델 추출, 5) 정사영상 제작 순으로 처리 하였다.

- 사진측량은 공선조건식을 기반하나 카메라 렌즈의 왜곡으로 인하여 실제로 공선조건을 만족하지 못하는 경우가 발생한다. Pix4Dmapper는 자동으로 영상 내 식별이 가능한 표적 특이점들을 자동으로 추출하여 근처 영상들 간의 상호비교를 통해 각 영상에서 추출된 특이점들을 서로 연계한다. 연계된 특이점들은 자동항공삼각법(automatic aerial triangulation), 번들블럭조정(bundle block adjustment) 그리고 카메라 자체보정 단계를 반복하여 수행한다. 위 단계를 통해 최적화된 내부표정 요소는 아래 표와 같다.

<최적화된 내부표정요소 (Phantom4D Pro)>

Internal Camera Parameters	Initial Value	Optimized 9/10	Optimized 9/11	Optimized 9/14
----------------------------	---------------	----------------	----------------	----------------

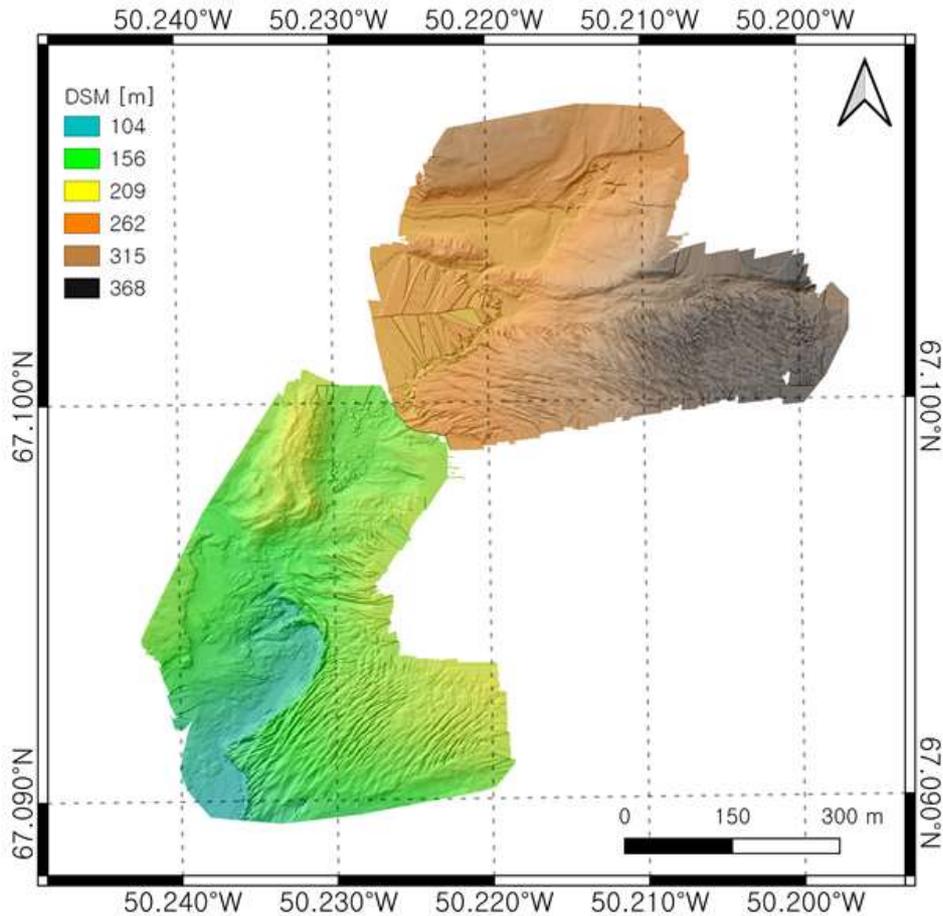
Focal Length [mm]	8.604	8.663	8.660	8.666
Principal Point X [mm]	6.417	6.434	6.435	6.435
Principal Point Y [mm]	4.278	4.242	4.246	4.243
R1	0.003	-0.014	-0.014	-0.014
R2	-0.008	0.001	0.002	0.001
R3	0.008	0.008	0.007	0.008
T1	-0.000	-0.002	-0.002	-0.002
T2	0.000	0.000	-0.000	-0.000

<최적화된 내부표정요소 (eBee)>

Internal Camera Parameters	Initial Value	Optimized 9/10
Focal Length [mm]	4.371	2.396
Principal Point X [mm]	3.113	3.081
Principal Point Y [mm]	2.402	2.482
R1	-0.049	-0.047
R2	0.056	0.048
R3	-0.034	-0.027
T1	0.005	0.008
T2	0.002	-0.000

나. 다중시점 무인기 획득 영상 분석을 통한 빙하 지역 수치고도모델 추출

• 모든영상의 기하보정 완료 후 연속하는 영상들 내에서 중복되는 동일한 지점을 결정하고, 기하학적 해석 및 비교를 통해 3차원 좌표를 추정하여 3D point cloud가 구성된다. Point cloud의 보간을 통해 수치고도모델을 추출할 수 있다. 본 연구에서는 역거리가중법(inverse distance weighting)을 사용하였으며 노이즈 필터링과 Sharpening 필터링을 적용하였다.



<9월10일과 11일에 촬영된 영상을 활용하여 추출한 수치고도모델>

- 제작된 수치고도모델은 촬영된 날짜에 따라 큰 차이를 보였다. 이는 무인기의 비행정보와 기기 특성만을 이용하여 자동으로 계산된 결과이며 GCP를 사용하여 절대고도를 보정해주어야 한다. 하지만 3D point cloud 구성 시 현장에서 설치 및 GPS를 사용하여 위치를 측정된 GCP는 무인기 영상에서 식별이 불가하였다. 특히 적설로 인하여 지표색과 GCP표면색이 동일하여 식별이 힘들었으며 비교적 높은 고도 (200m 이상)로 비행하여 자동으로 특이점으로 식별되지 않았다. 따라서 수치고도모델의 절대고도는 눈이나 얼음이 없는 지형의 고도와 GCP 고도의 차이를 보정해 계산하였다. 추후 GCP의 크기를 늘리고 표면 색의 변화가 필요할 것으로 예상된다.

다. 현장 조사와 동시기에 인공위성 데이터 획득

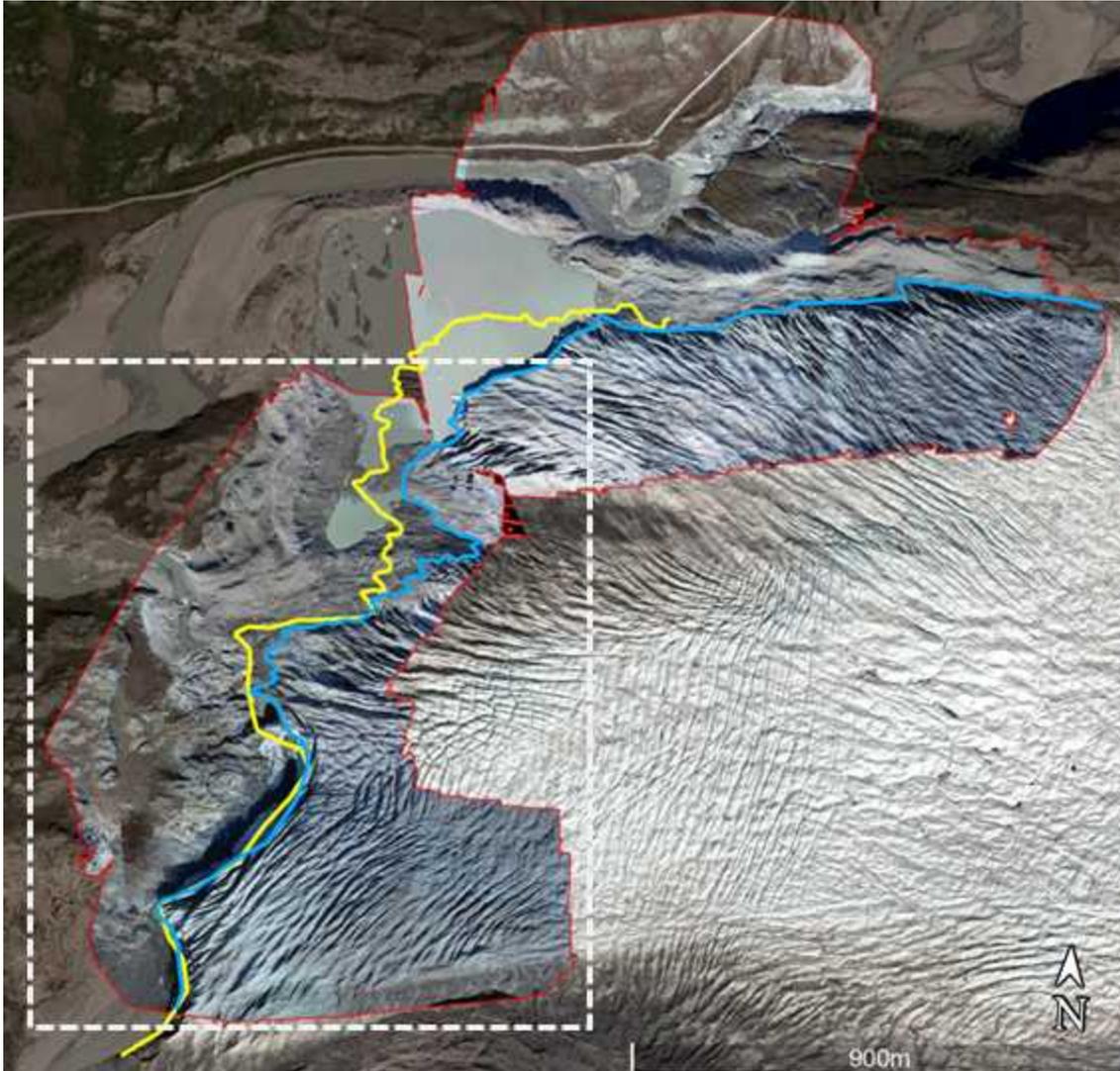
- 무인기 영상과 비교 분석을 위해 고해상도 인공위성 데이터를 확보하였다. SPOT6 위성은 2012년 9월 9일에 발사되었으며 최대 1.5m 해상도 (panchromatic)를 갖고 있다. Tri-Stereo 모드로 촬영시 Fore, nadir, Aft (전, 아래, 후) 방향의 자료를 확보할 수 있기 때문에 추후 스테레오 영상 처리를 통해 수치고도모델을 제작할 수 있다. 본 연구에서는 2017년 7월 21에 촬영된 영상을 확보하였다.

- 현장 조사와 동시기에 확보된 자료가 아니지만, 무인기 영상의 위치정확도 비교를 위해 변화가 적을 것으로 예상되는 도로 위치를 비교하였다. 9월 11일에 획득된 무인기 영상의 좌측 하단과 우측 상단에 위치하는 도로의 위치와 SPOT6 영상의 도로 위치를 비교하였다. 좌측은 약 3m, 우측은 약 8m 오차가 발생하는 것을 확인하였다. 추후 식별 가능한 GCP를 사용하여 위치 정확도를 높일 수 있을 것으로 예상된다.

- 위치정확도의 오차를 염두에 두고 2017년부터 2021년까지 약 4년 동안의 빙하 위치 변화를 도

출하였다 (그림). 노란색 선이 SPOT6 영상에서 추출한 2017년 7월 빙하 끝단 위치이며, 파란색 선이 2021년 9월에 획득한 무인기 영상에서 추출한 빙하 끝단 위치를 나타낸다.

• 빙하의 남쪽 끝단보다 북쪽 끝단에서 큰 변화가 있었으며 최대 130~140m 정도 후퇴한 것을 확인하였다. 가장 변화가 큰 지역에는 빙벽으로 막혀있는 호수가 위치하며, 매년 35m 정도 후퇴중임을 확인하였다.

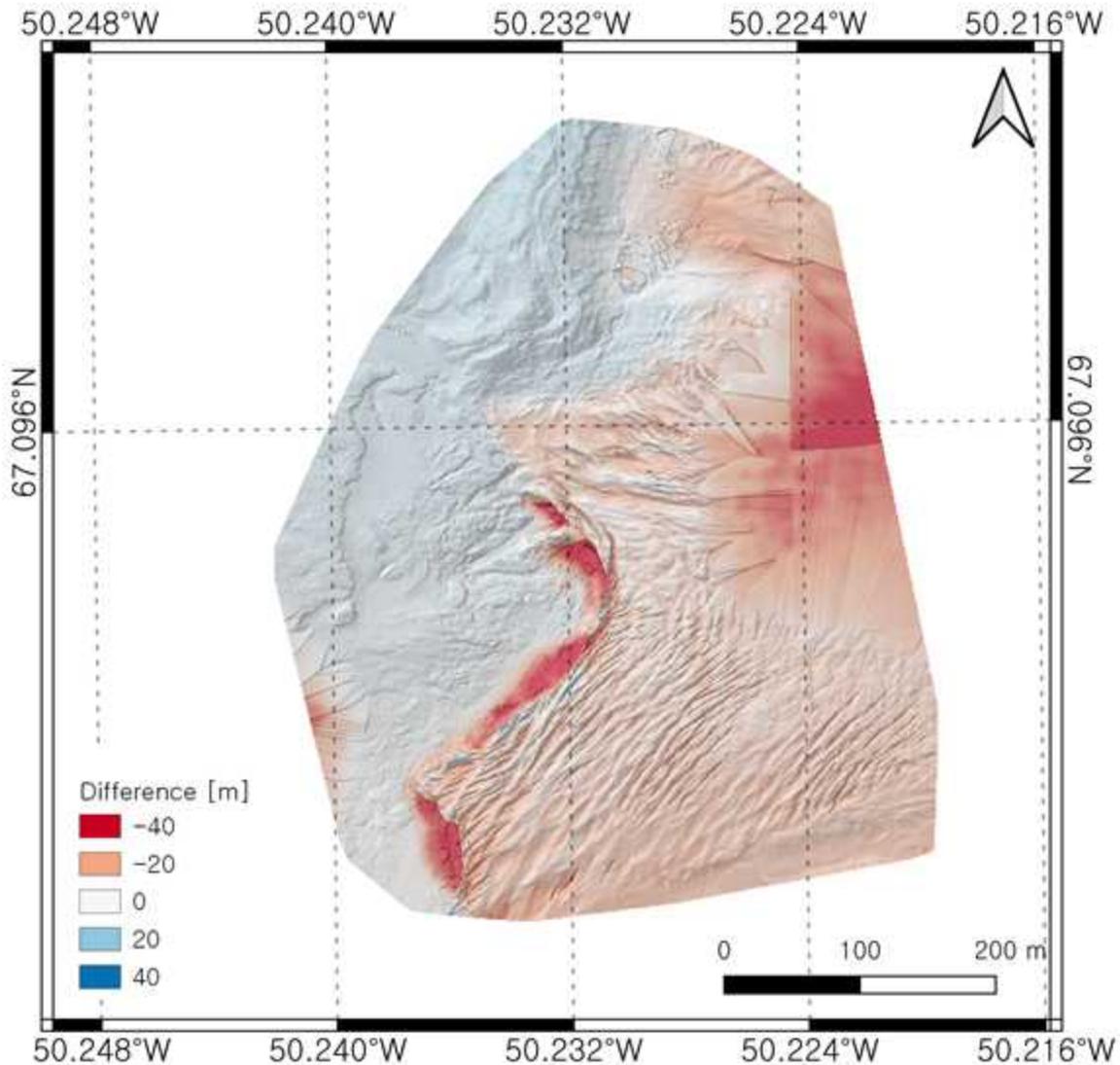


<2017년 7월 21일에 촬영된 SPOT6 영상(배경)과 그 당시 러셀빙하 끝단 위치(노란선). 2021년 9월 10-11일에 촬영된 무인기 정합영상(오버레이, 빨간색 경계)과 현재 러셀빙하 끝단 위치(파란선)>

라. 인공위성 기반 빙하 지역 수치고도모델과 무인기 기반 빙하 수치고도모델의 비교 분석

• WorldView-1,2,3 고해상도 스테레오 위성영상을 이용하여 제작된 그린란드지역 수치고도모델인 ArcticDEM을 사용하여 무인기 기반 빙하 수치고도모델을 비교 분석하였다. ArcticDEM의 공간해상도는 2m 이며 2018년 7월에 획득한 위성영상을 활용하여 제작되었다. 고도의 기준은 EGM96 geoid을 사용하였다.

• 앞서 무인기 영상 기반 수치고도모델은 GCP를 사용하지 못하여 절대고도를 나타내지 못하는 것을 확인하였다. ArcticDEM과 비교를 위해 빙하가 아닌 지표면은 변화가 적을 것으로 가정하여 해당 지역의 자료간 고도차이를 계산하여 무인기 영상 기반 수치고도모델의 절대고도를 수정하였다. 수정된 수치고도모델과 ArcticDEM의 비교를 통하여 변화량을 계산하였다.



<무인기 기반 수치고도모델 (2021년 9월 제작) 과 인공위성기반 수치고도모델 (2018년 7월 제작) 차이>

- 9월 10일에 획득한 DSM을 사용하였으며 (그림11, 회색 점선) 다른 시기에 확보된 자료들은 GCP 부재로 인한 오차를 보정하지 못하여 정확한 비교가 불가하였다.
- 가장 큰 변화는 빙하 끝단인 빙벽에서 발생하였으며 최대 40m 변화하였다. 고도 변화가 큰 지역은 빙벽이 무너져 발생한 지역으로 예상된다. 무인기 기반 수치고도모델과 인공위성기반 수치고도모델의 비교를 통하여 빙하 고도 변화 계산이 가능한 것을 확인하였으며, 추후 반복적인 자료 확보 및 비교를 통해 빙하 유실량을 계산 및 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 극지환경 모사시험

가. 국내 겨울철 강설환경에서의 극지환경 모사시험을 통해 획득된 무인기 영상 자료를 활용하여 지표면 특성 및 지형 분석 연구 수행

- 그린란드 빙하 표면은 크레바스와 빙하의 붕괴로 인하여 급격한 경사로 이뤄진 표면이 많다. 특히 빙하 끝단은 주로 절벽의 특성을 갖으며 태양고도에 따라서 끝단 및 크레바스 내부에 그림자가 발생할 수 있다. 경우에 따라 nadir 방향으로 촬영한 영상만을 활용하여 수치고도모델을 제작할 경우 해당 지역 및 주위 값이 부정확할 수 있다.
- 시멘트 재료인 석회 광산은 채굴로 인하여 급격한 경사인 절벽이 많으며 바닥은 암석들로 이뤄져 거칠기가 매우 높다. 이러한 환경은 빙하 표면, 빙하 끝단 그리고 크레바스의 환경과 비슷하다. 경사

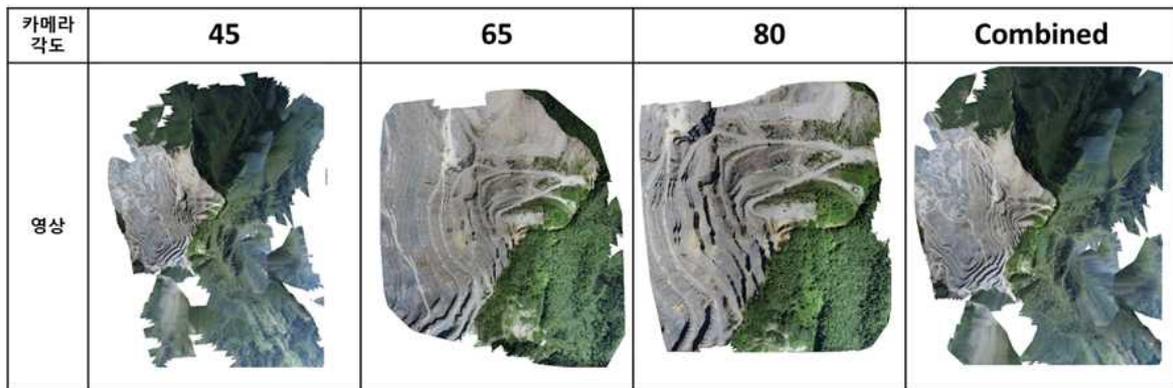
도가 높은 표면의 지역의 촬영을 위해 고정된 무인기 경로를 따라 incidence angle (camera angle) 을 45, 65, 80도로 변화하여 영상 자료를 획득하고 수치고도모델을 제작하였다.

- 각 카메라 각도에 따른 영상 특성은 아래에 정리하였다.

<다양한 카메라 각도에 따라 촬영된 영상 특성>

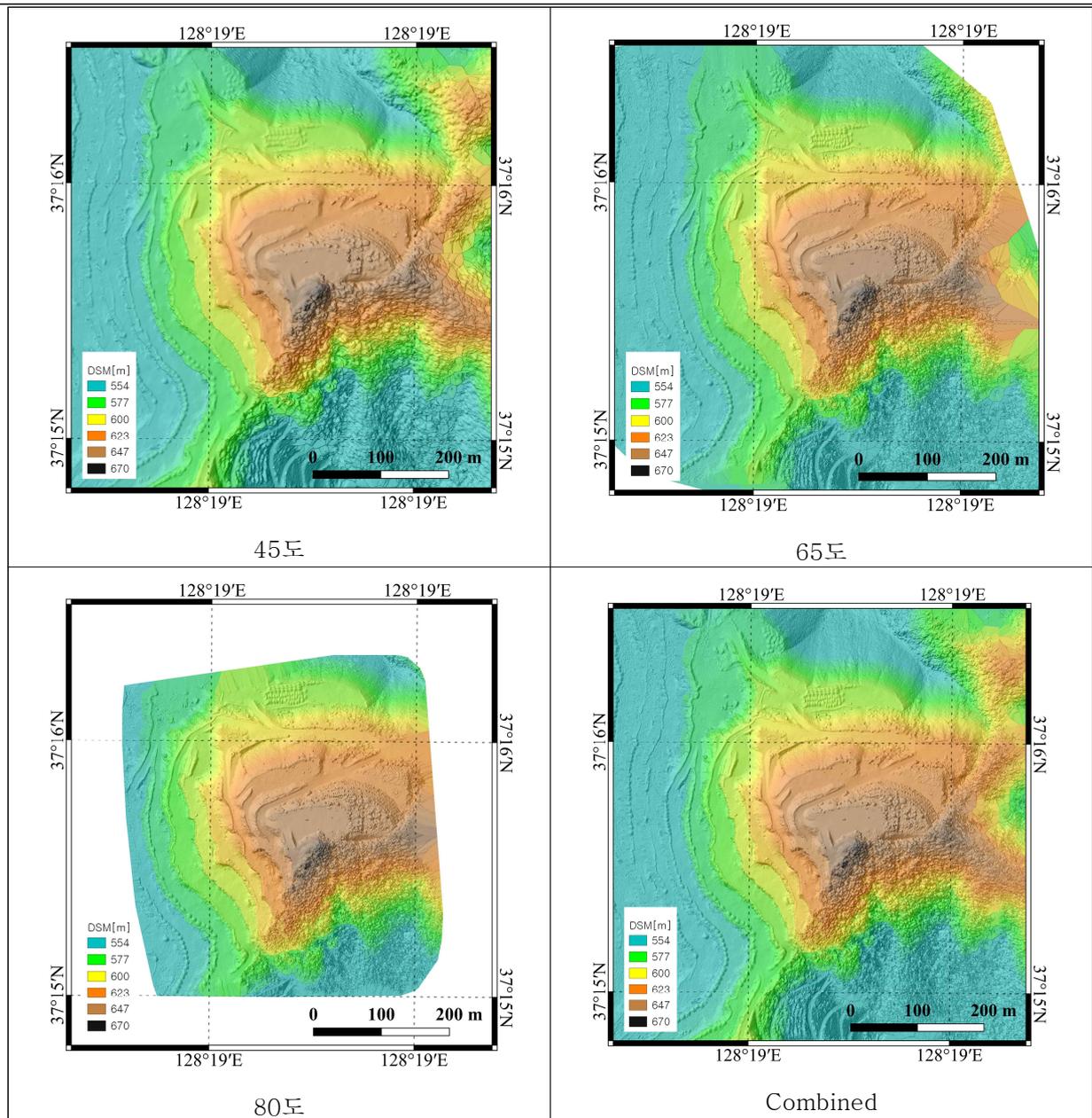
Camera Angle [deg]	45	65	80	Combined
Average Ground Sampling Distance (GSD) [cm]	13.02	4.55	3.45	4.87
Area Covered [km ²]	3.772	0.433	0.211	2.858
Number of Images	131	131	131	393
Median matching number per image	27,652.9	23,038.3	28,172.7	25,247.1
Average Density (per m ³)	2.24	27.46	59.2	18.62
Resolution [cm]	13	4.55	3.45	4.87

- 고도변화가 매우 큰 장소의 특성상 카메라 각도에 따라 촬영 면적, GSD 그리고 해상도가 가장 큰 변화를 보였다. 무인기의 제한된 고도로 인한 작은 촬영 면적의 단점을 보완할 수 있으나 GSD와 해상도가 낮아지는 단점이 있었다.



<카메라 각도에 따른 촬영 면적 변화>

- 카메라 앵글에 따라 제작된 수치고도 모델은 아래와 같다.



<카메라 앵글에 따른 수치표고모델 차이 비교>

- 카메라 각도를 낮출수록 넓은 지역의 수치고도모델의 제작이 가능하였으나 촬영 위치에서 멀어질수록 자료의 품질이 급격하게 떨어지는 것을 확인하였다. 품질, 해상도, 촬영 가능 면적 등을 고려하였을 때 65도일 때 최적의 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

- 국내 광산에서 진행된 실험 결과를 바탕으로 그린란드 빙하 표면 촬영을 위해 카메라 각도를 65도로 세팅하였다.

Ⅲ. 1단계 3차년도 연구수행내용 및 결과

1. 그린란드 현지 하계 조건 현장 조사 수행

가. Russell 빙하 일대 무인기 영상자료 획득

- 현장조사 및 비행 수행 기간

- 2022년 6월 24일~2022년 6월 25일 (그린란드 현지 시간 기준)

- 특이사항: 비행기 착륙 불가로 인한 도착일자 지연 및 그린란드 현지 조사 환경의 불가피한 사정에 따라 당초 약 7일간의 조사 계획에서 2일 현장 조사 일정으로 변경됨

- 무인기 및 센서 정보

◦ 금번 그린란드 현장조사에서는 DJI사의 Matrice 300 RTK(M300) 회전익 기체를 지역적 LiDAR 및 광학영상자료 획득에 이용하였으며, SensFly사의 Ebee 고정익 기체를 준광역의 광학영상자료 획득에 이용함

<DJI M300 무인기 사양>

Type	Dimensions (mm, (L×W×H))	Max Weight	Operating Frequency	Positioning Accuracy	Max Speed	Max Wind Resistance	Max Flight Time	GNSS	Obstacle Sensing Range	Image of aircraft
Quad-copter	Unfolded 810×670×430	9 kg	2.4 GHz 5.7-5.9 GHz	1 cm+ 1 ppm (Hori.) 1.5 cm + 1 ppm (Verti.)	17~23 m/s	15 m/s	55 min	GPS+ GLONASS + BeiDou + Galileo	0.7-40m	

<DJI M300 장착 L1 센서(라이다+ RGB카메라) 사양>

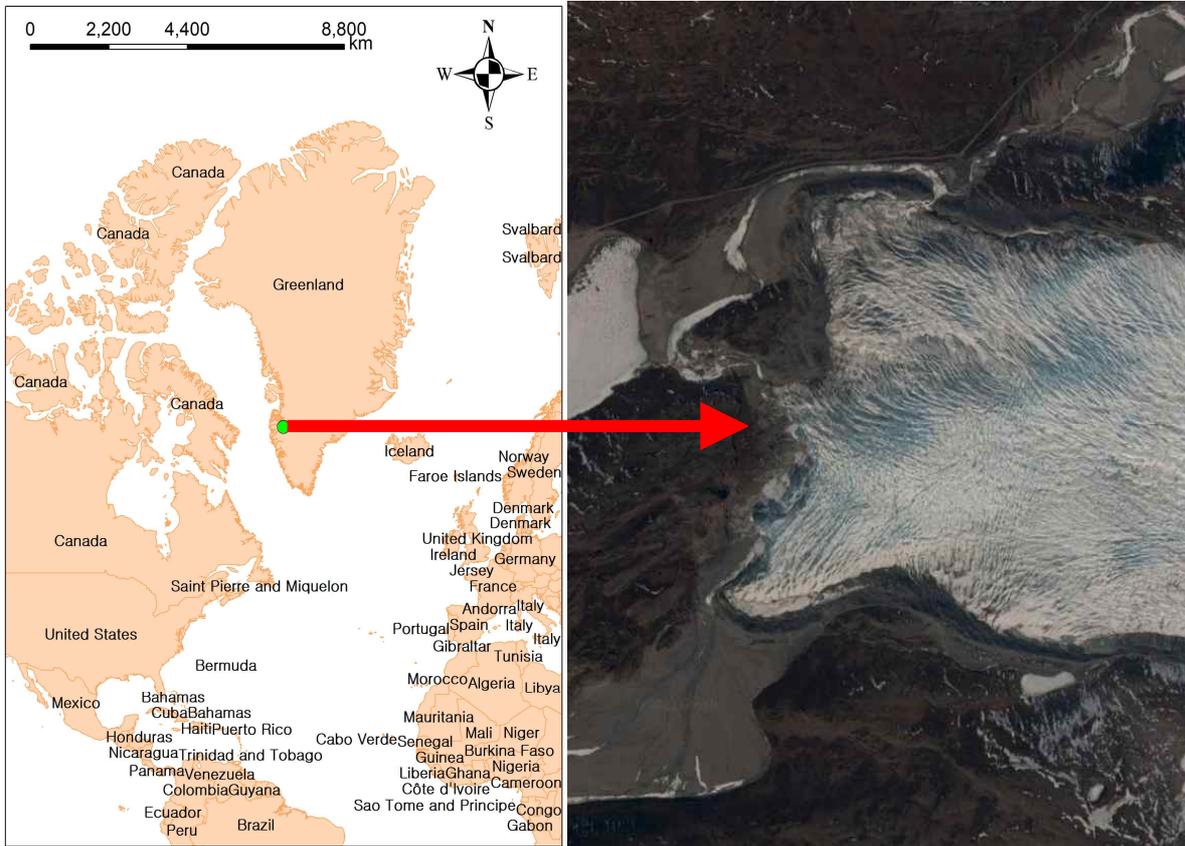
Name	Dimensions (mm (L×W×H))	Weight	Detection Range	System Accuracy	LiDAR Accuracy	IMU update Frequency	RGB camera size	Image of L1 sensor
Zenmuse L1	152×110×169	930±10 g	190-450 m	10 cm @ 50 m (Hori.) 5 cm @ 50 m (Verti.)	3 cm @ 100 m	200 Hz	5472×3078 (16:9)	

<SensFly Ebee 사양>

Type	Wingspan	Weight (incl. camera & battery)	Radio link range	Cruise speed	Wind resistance	Max flight time	Sensor	Image of aircraft
Fixed-wing	96cm	0.69	3 km (up to 8km)	11-25 m/s	12 m/s	50 min	Sequoia, thermo M A P , S110 RGB/NIR /RedEdge	

• 촬영 지역 및 촬영 조건

◦ 본 현장조사 및 무인기 촬영은 그린란드 남서쪽 일대에 위치한 Russell 빙하를 대상으로 수행함



<연구지역 위치도 및 위성영상 Russell 빙하 위성영상 모습>

◦ 빙하 말단 부분의 변이관측을 위해 해당 지역을 대상으로 회전익 및 고정익 무인기의 촬영을 수행하였으며, 촬영 및 환경 조건은 아래와 같음

<회전익(M300) 및 고정익(Ebee) 무인기 비행 촬영/환경조건>

촬영 날짜	센서	비행시간	고도	태양 고도각	태양 천정각	태양 방위각	구름 (광량)	중첩도 (side%)	셔터속도 (초)	라이다 스캔방식
06/24	L1	약 25 분/1회, 총 3회	150 ~ 200 m	46.08°	43.92°	191.62°	약간	20%	1/3200	단일
	Sequoia	약 30-34 분/회 총 2회	300 m					70%	Auto	-
06/25	L1	약 25 분/1회, 총 2회	150 ~ 200 m	46.06°	43.94°	191.55°	없음	20%	1/4000	삼중
	Sequoia	약 30-34 분/회 총 2회	300 m					70%	Auto	-

◦ 현장 상황에 맞는 최적화된 무인기 촬영 결과 도출을 위해 태양 기하학적 조건의 통일성을 고려하였으며, 광역 촬영이 가능한 고정익의 경우 높은 고도에서 1회 비행 임무 수행으로 영상을 취득하였고, L1의 경우 상대적으로 저고도 조건에서 2~3회 비행 임무를 수행하여 각각의 결과를 통합하여 자료를 획득하고자 하였음

◦ 무인기 촬영 영상자료의 품질은 태양의 기하학적 조건의 변화와 구름의 양에 따라 변이가 크게

나타날 수 있으며, 본 비행의 고려 조건을 통해 최대한 촬영환경 조건의 일관성이 유지되는 범위 내에서 비행을 수행하고자 하였음

- LiDAR 센서의 경우 스캔방식을 단일, 이중, 삼중 모드로 설정이 가능한데, 이는 레이저의 지표 투과율과 밀접한 관련이 있음
- 본 현장 조사에서는 빙하를 대상으로 해당 스캔방식의 차이에 따른 결과 도출 차이에 관해서도 확인하기 위해 총 2가지 스캔방식(단일, 삼중)을 모두 적용하였음
- 현장특이사항: 1일차 현장 조사 비행 당시, 타 무인기체와의 신호 중복 및 교란으로 인해 회전익 비행(M300기체) 중 조종기-기체 간의 송수신호가 2회 끊기는 상황이 발생함 (사용 조종기 주파수: 2.4 GHz)
- 수행한 고정익 및 회전익의 비행경로는 아래와 같음



<Ebee 고정익 무인기 비행경로>



<M300 무인기 비행경로(위 6.24, 아래 6.25)>

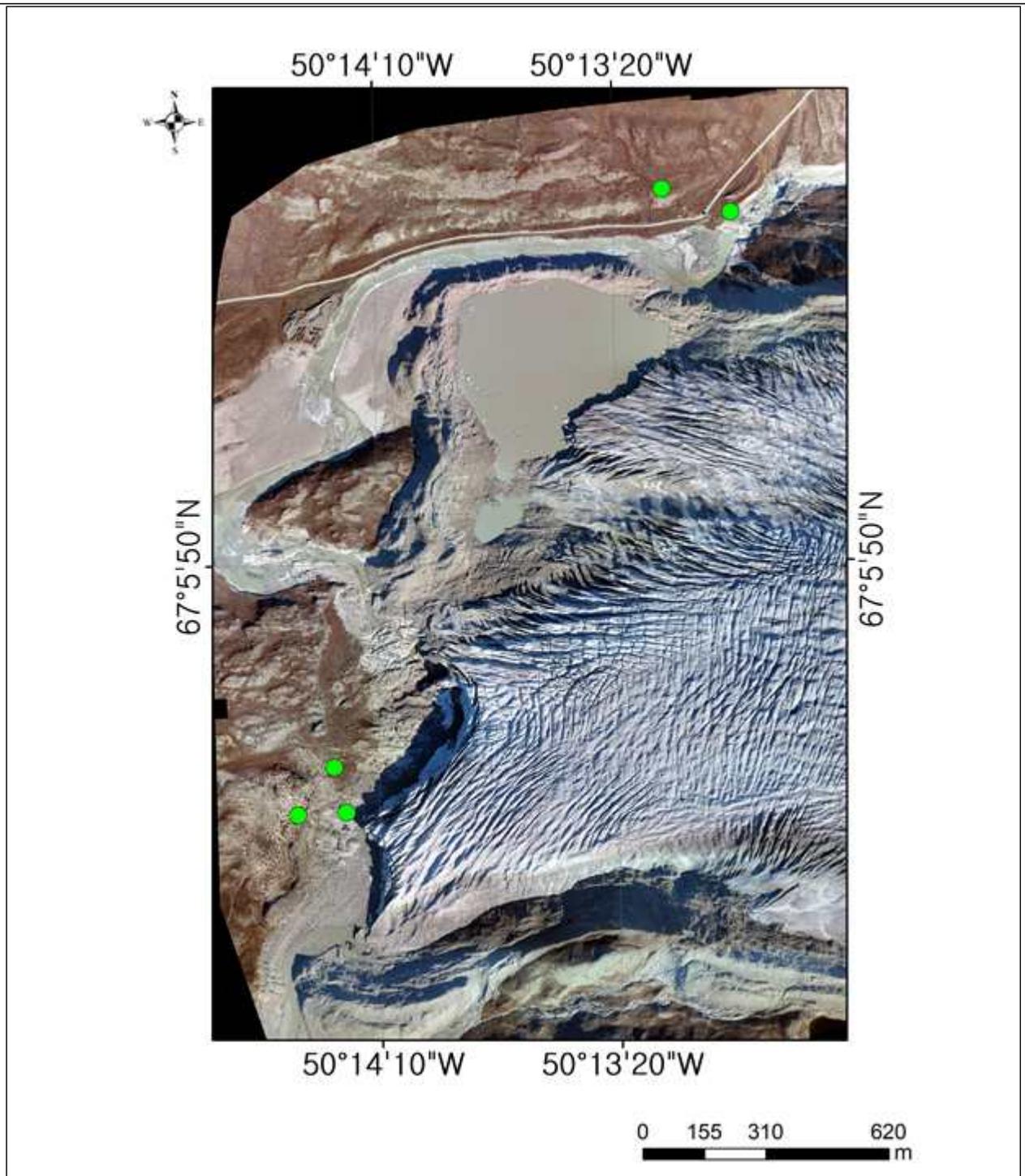
- 무인기 촬영 영상 기반의 정사영상제작을 위해 기준이 될 수 있는 지상 기준점(Ground Control Point, GCP)을 설치하고, 고정형 GNSS 수신기를 통해 위치 정보를 측량함

GCP 설치 및 측량 모습	무인기 영상 내 GCP 모습
----------------	-----------------



조사 지역 내 GCP 분포 모습





2. 무인기 영상처리

가. 회전익(M300, L1센서) 영상 처리 결과

- 본 과제에서 회전익 촬영 결과는 DJI Terra, Pix4D, Metashape Pro 3가지 소프트웨어를 활용하여 영상을 처리함
- LiDAR 획득 정보는 포인트 클라우드를 구성하여 .las 형태의 파일로 추출하였으며, 이를 활용하여 수치표고모형을 구축함
- 사진측량자료는 촬영 사진을 배열하여, 포인트 클라우드를 구성하였으며, 이를 기반으로 정사영상 및 수치표고모형을 구축함 (위치보정: GCP 측량 기준점 정보 활용)
- 현장 조사에서 취득한 회전익 무인기 촬영 영상자료는 GNSS 정보 기반의 수집된 위치정보를 기록하고 있으며, 영상 처리에도 함께 반영됨
- LiDAR 및 사진측량자료의 수치표고모형은 egm96 지오이드 모델의 고도 정보를 기초로 함
- 좌표계 및 투영방식은 WGS84 UTM 22N을 기본으로 하였음

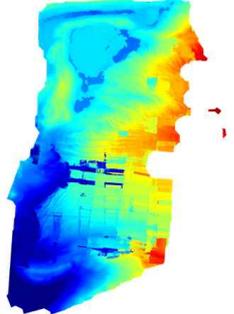
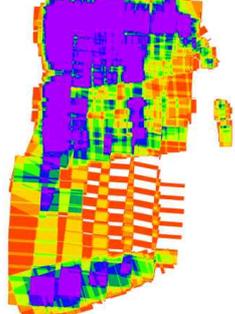
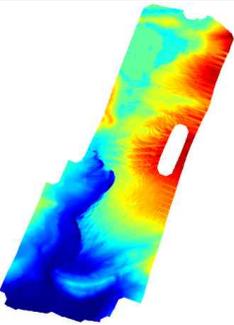
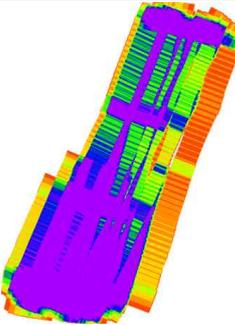
◦ 정사영상 및 수치표고모델 구축 결과 보고는 아래와 같음

<회전의 RGB 영상 기반 정사영상 및 라이다 수치표고모델 구축 결과 품질 보고 요약>

촬영 날짜	POS 데이터 수집 시간	클라우드 블록 수	총 포인트 클라우드 데이터 수집 시간	이미지 수	위치 RMSE	GSD	적용 지역	평균 비행고도
6/24	1시간 15분	3	1시간	502	0.66 m	005m	2.43 km ²	170 m
6/25	47분	2	41분	696	0.35 m	004m	1.70 km ²	145 m

- 현장조사 1일 차에서 약 평균 170 m 고도로부터 취득한 총 502장의 사진을 통해 구축한 정사영상은 5 cm GSD를 가지며, 2일 차의 경우 4 cm GSD의 초고해상도 공간정보를 제공함
- 1일 차 LiDAR 자료 기반 구축 결과(조건: 단일 스캔 방식(170 m 평균고도), 전반적으로 반사되어 돌아와 기록된 포인트가 대상 지역을 잘 표현하였으나, 기록되지 못한 지역도 존재함
- 2일 차 LiDAR 자료 기반 구축 결과(조건: 삼중 스캔 방식(145 m 평균고도), 1일 차와 비교하여 전반의 지역이 비교적 잘 표현된 것을 확인할 수 있으며, 촬영지역 서부지역에서 누락된 지역 존재함
- 이는 크게 세 가지 이유에 의해 발생된 결과로 사료 됨
 - 하계 빙하의 물성특성: 촬영 당시의 그린란드는 하계 시기로 기온이 높고 가속화된 온난화 현상으로 인해 과거에 비해 높은 용융 속도를 보이고 있었으며, 레이저가 지표에 맞고 다시 센서로 돌아오지 못하고 흡수되는 반사율의 용융상태(물에 가까운)인 영향이 존재하는 것으로 판단
 - 장착된 LiDAR 센서의 한계: 본 현장조사에서 활용한 LiDAR 센서는 드론 전용 센서로 개발되었기 때문에 정확성을 동반하는 고가의 민감한 센서에 비해 센서의 감도 반응 민감성 능력이 상대적으로 저하될 수 있음. 따라서 본 연구에서 수행한 고도 레벨보다 더 낮은 고도에서의 비행이 자료의 획득에 효과적일 수 있을 것으로 판단하며, 2단계 현장조사 시 100 m 고도 레벨의 비행계획을 수행할 예정임
 - LiDAR 촬영 중첩도: 현장조사에서 설정된 LiDAR 중첩도는 20%에 해당하며, 낮은 중첩으로 인해 길게 배열된 자료 유실의 흔적을 아래 그림에서 확인할 수 있음. 이를 통해 2단계 현장조사 시 LiDAR 중첩도를 40%로 설정한다면, 지표 물성특성에 따른 데이터 유실 외의 손실은 없을 것으로 추정함
- LiDAR 포인트 클라우드 자료를 이용하여, 초고해상도의 DSM(수치표고모델)을 각각 일차에 따라 생성하였으며, Gaussian filter 5x5, Bining 보간 기법을 활용하였음(resampled cell size: 1 m)

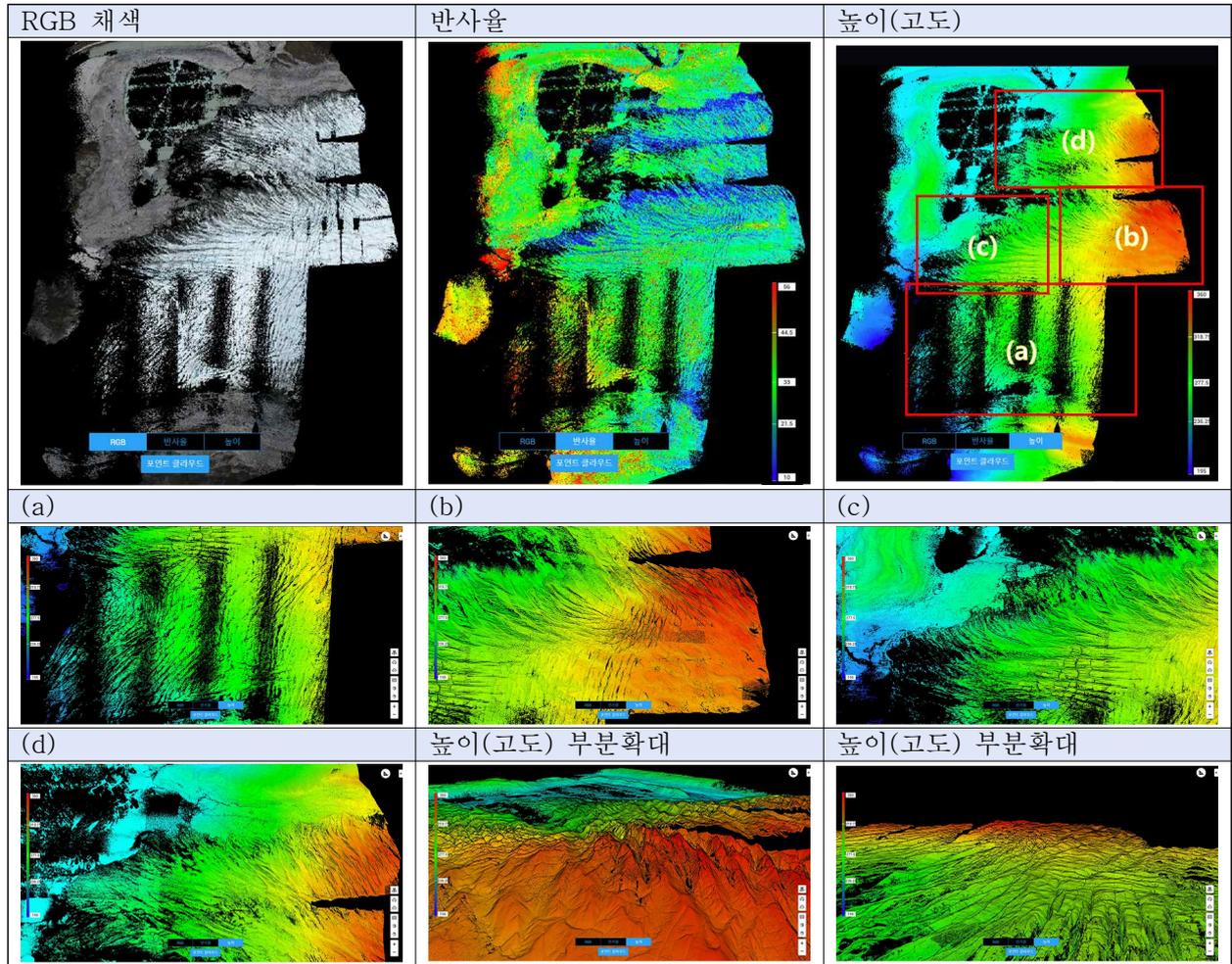
<회전의 RGB 영상 기반 정사영상 및 수치표고모델 구축 결과 품질 보고 요약 그림>

촬영 날짜	정사영상	DSM	사진 장면 오버랩(중첩)
6/24			
6/25			

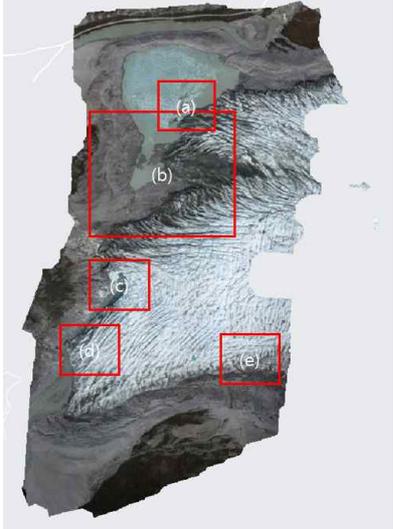
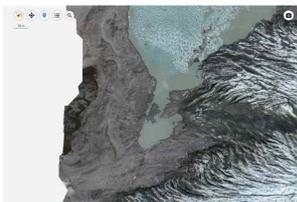
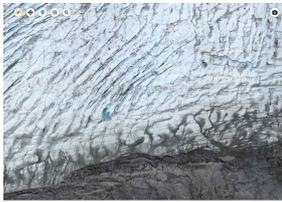


극지연구소

<1일차 현장조사 회전의 LiDAR 자료 기반 포인트 클라우드 구축 결과>

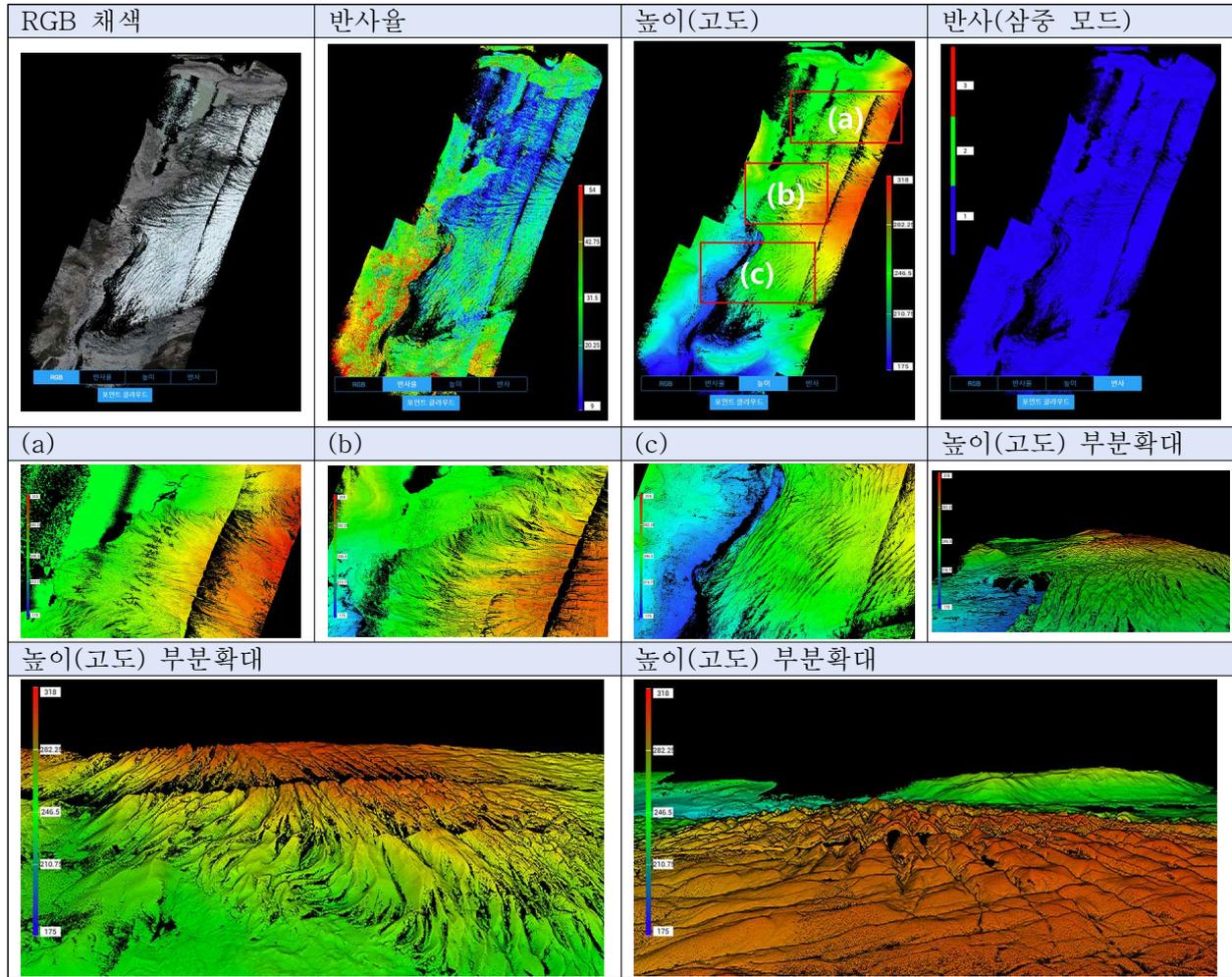


<1일차 현장조사 회전의 RGB 사진 자료 기반 정사영상 구축 결과>

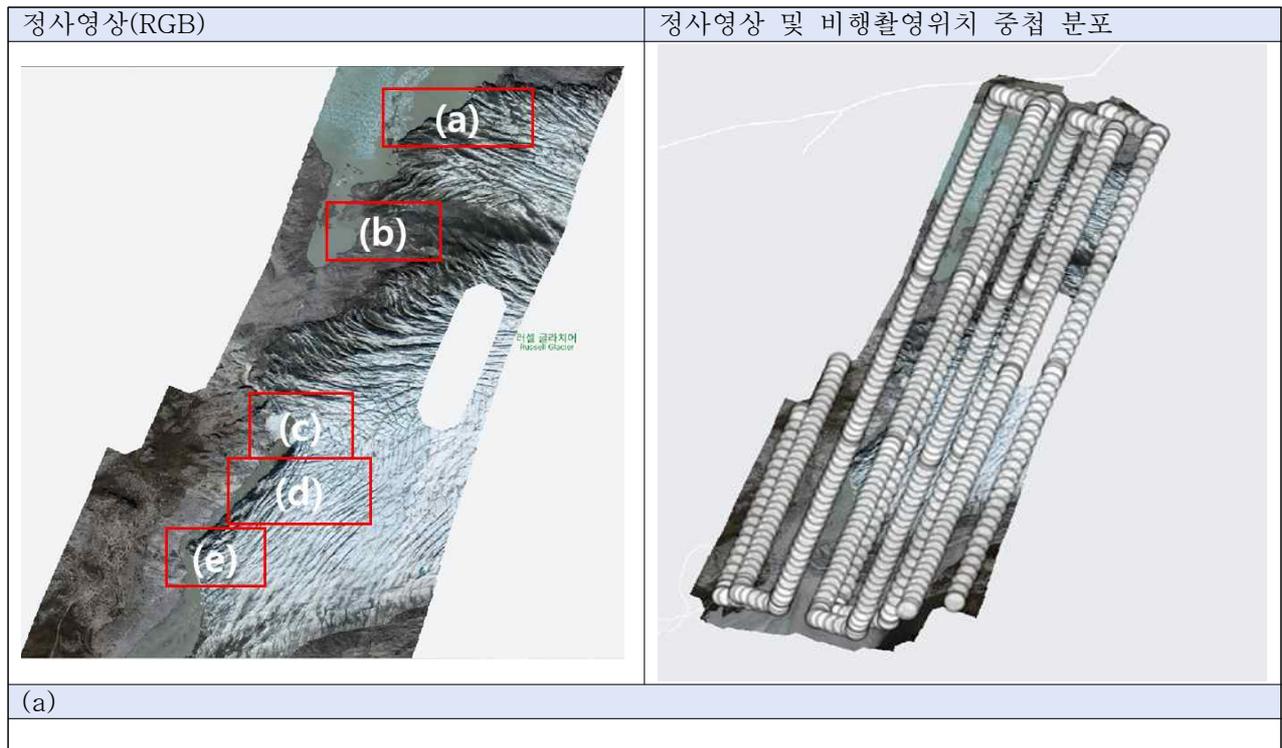
정사영상(RGB)	정사영상 및 비행촬영위치 중첩 분포	(a)	
			
(b)	(c)	(d)	(e)
			

극지연구소

<2일차 현장조사 회전의 LiDAR 자료 기반 포인트 클라우드 구축 결과>



<2일차 현장조사 회전의 RGB 사진 자료 기반 정사영상 구축 결과>





(b)

(c)



(d)

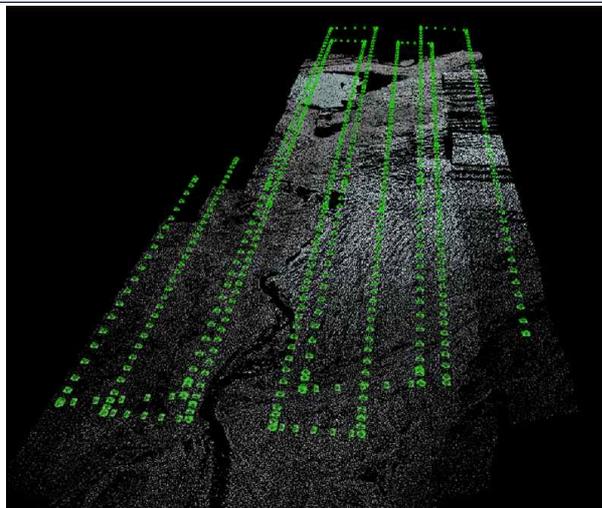
(e)



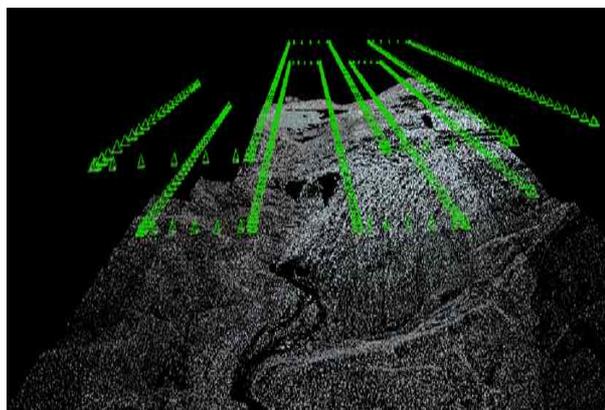
<1일, 2일차 회전의 사진 촬영 분포 차이 비교>

1일차 사진 촬영 위치 분포(Top view)	1일차 사진 촬영 위치 분포(Side view)

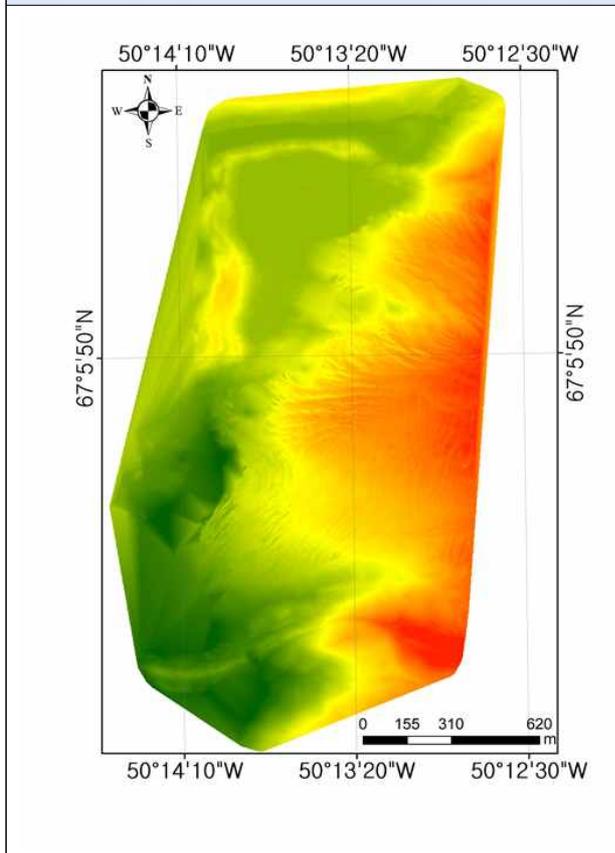
2일차 사진 촬영 위치 분포(Top view)



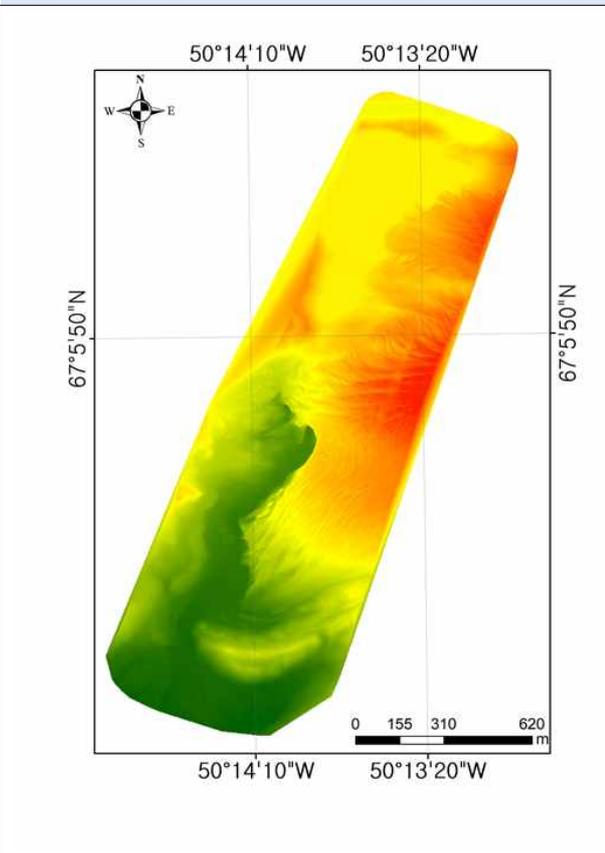
2일차 사진 촬영 위치 분포(Side view)



1일차 포인트클라우드 수치표고모델(DSM) 구축 결과



2일차 포인트클라우드 수치표고모델(DSM) 구축 결과



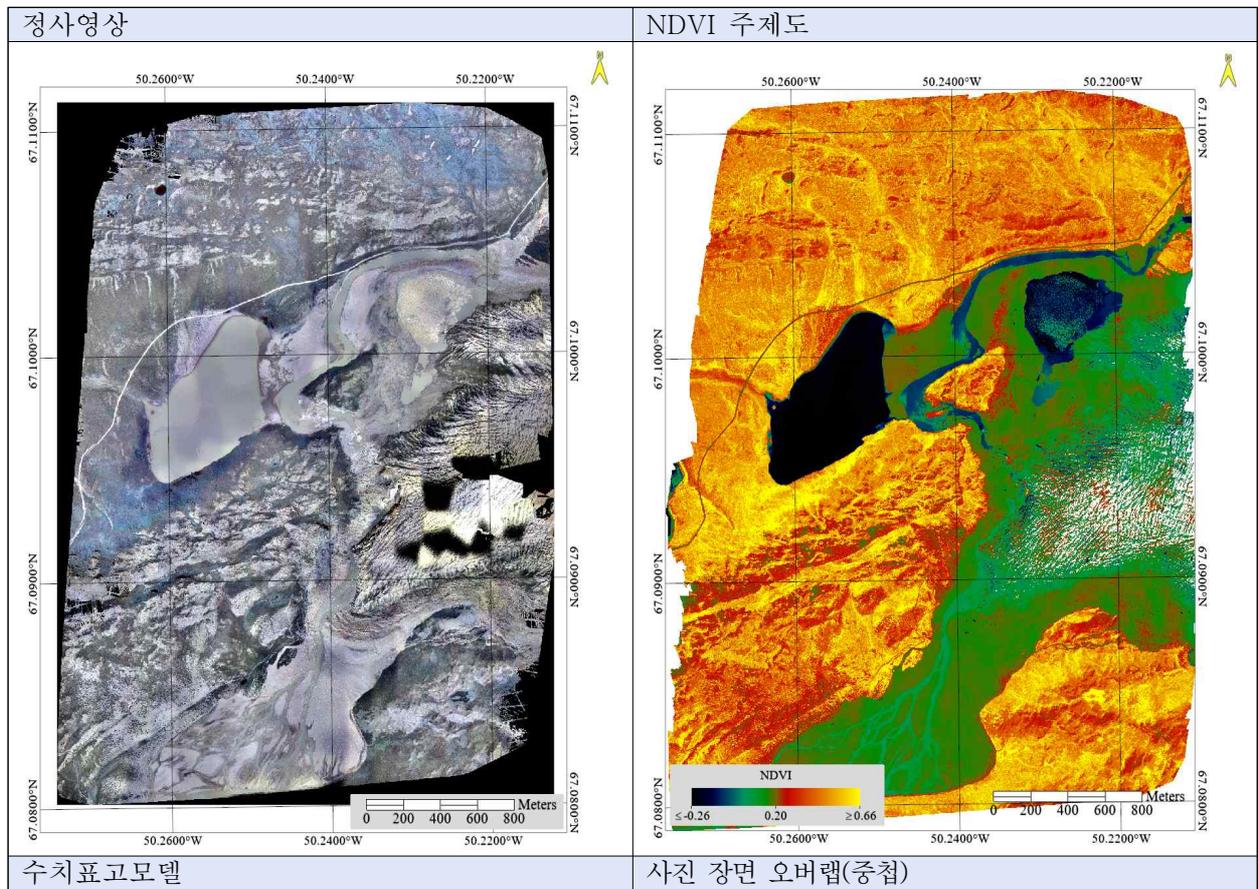
나. 고정익(Ebee, Sequoia 센서) 영상 처리 결과

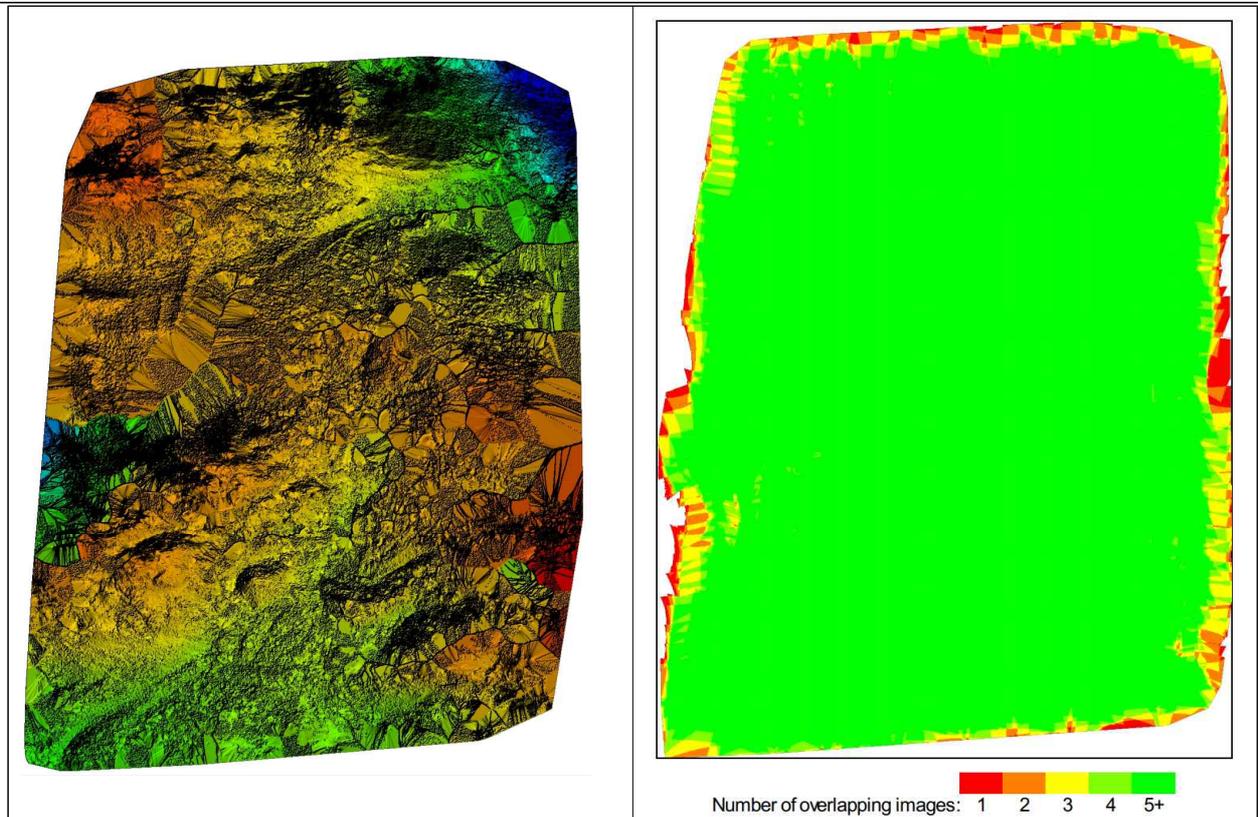
- 고정익 촬영 영상의 경우 준광역적으로 가시화하기 위해 고정익 영상의 경우 1일차, 2일차 영상 획득 자료를 모두 한꺼번에 처리하였음
- Sequoia 센서의 경우 한번의 촬영 위치에서 가시광선-근적외선 파장영역대의 정보를 총 5개 채널로 나누어 획득 할 수 있는 장점을 가짐
- 특히 근적외선 채널 영역의 영상정보를 획득 할 수 있다는 장점을 이용하여, True Color 정사영상 외에 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 결과를 추가적으로 산출하였음
- NDVI는 식생분포 및 식생의 상태를 연구하는데 이용되는 일반적인 원격탐사 기법의 하나로 알려져 있으며, 그린란드 온난화에 따른 빙하 용융 현상과 더불어 쟁점이 되는 그린란드 녹지화 모니터링 활용을 시도할 수 있는 연구적 확정성을 가짐
- 고정익 촬영영상 기반, 정사영상, NDVI 및 수치표고모델 제작 결과는 아래와 같음

<고정의 영상 기반 정사영상, NDVI 및 수치표고모델 구축 결과 품질 보고 요약>

구축결과종류	GSD	위치오차 (m)	영역	활용 사진 수
정사영상 & DSM	7.52 cm	x: 1.06 y: 1.17 z: 1.52	8.17 km ²	922
NDVI 주제도	30.49 cm	-	9.59 km ²	3780

<고정의 영상 기반 정사영상, NDVI 및 수치표고모델 구축 결과 그림>





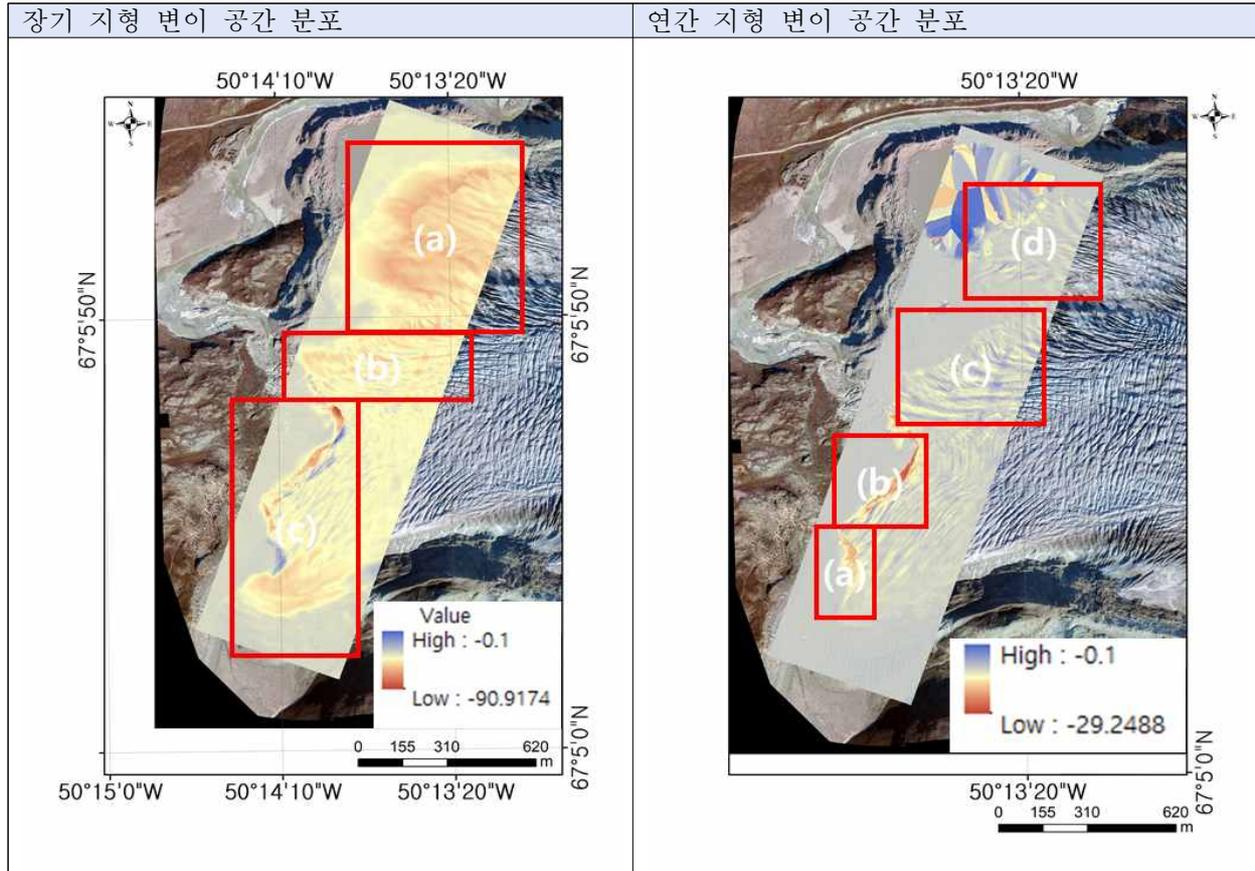
3. 변화 탐지 및 시계열 영상 분석

가. 무인기 영상 기반 변화 탐지 분석

- ArcticDEM 자료(2018년 7월 제작)와의 직관적 비교를 통해 현재와 과거 사이의 공간적 변동성 지역 분포에 관해서 분석함
- 변화 탐지 분석 및 비교를 위해 영상결과물들의 Cell Size는 2 m으로 통일되어 진행되었으며, 지오이드 EGM96 모델 기준 고도로 통일되었음
- 시계열 지형 변이 공간 분포를 파악한 결과 2018년과 2022년 사이 최대 90 m의 지형 변이를 보였으며, 공통으로 미세지형 변이 (a) 지역과 시계열 지형 변이 (c) 지역에서 급격한 변이 차이를 보였음
- 해당 지역은 빙하 말단 부분 중 계속해서 붕괴 및 후퇴가 일어나 뒤로 밀려나고 있는 현상을 보이는 지역으로 변이 발생이 예상되는 지역에 해당하며, 준 광역적으로 5년 전과 비교하여, 전체적인 빙하의 지형 고도가 낮아진 것으로 판단됨
- 이와 같은 지형 하강을 통해 실제 빙하가 해당 시간 동안 어느 속도로 줄어들었는지 계산이 가능할 것으로 판단됨
- 더불어 온난화에 따른 북극권 빙하 후퇴에 대한 근거로써 중요하게 활용될 수 있을 것으로 판단됨
- 향후 위 지역을 더 조밀하고 장기적으로 감시한다면, 5년 단위의 급격한 빙하 용융 이벤트가 불러일으키는 큰 환경적 경각심과 이슈를 조명할 수 있을 것으로 판단됨
- (b) 지역은 (c)와 (a) 지역 사이에 존재하는 지역으로 췌기형의 모습을 띠고 있으며, 이미 빙하가 녹고 Bed Rock(기반암, 기저암)이 노두로 드러난 지역으로 현장에서 확인됨
- 2018년 2022년까지 빙하가 녹음으로써 그 변이 차이가 더욱 드러나는 지역으로 판단됨
- 해당 지역이 완전히 노두로 드러나게 되고 난 후, 추후 계속해서 이 지역의 모니터링을 수행한다면, 노두 상태 그대로 큰 변이가 발생 되지 않게 될 지역으로 여겨짐
- 이와 같은 지역은 온난화로 인해 과거와 미래 사이 빙하 용융에 따른 지형 변화에 있어 실험 및 모니터링 통제 점(Control Point)으로 활용될 수 있는 제한 지역으로 활용될 수 있음
- 2021년 현장조사에서 획득한 무인기 영상의 수치표고모델과의 비교를 통해 연간 지형 변이 공간 분포를 확인한 결과 (a)와 (b) 지역에서 가장 큰 변이가 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 해당

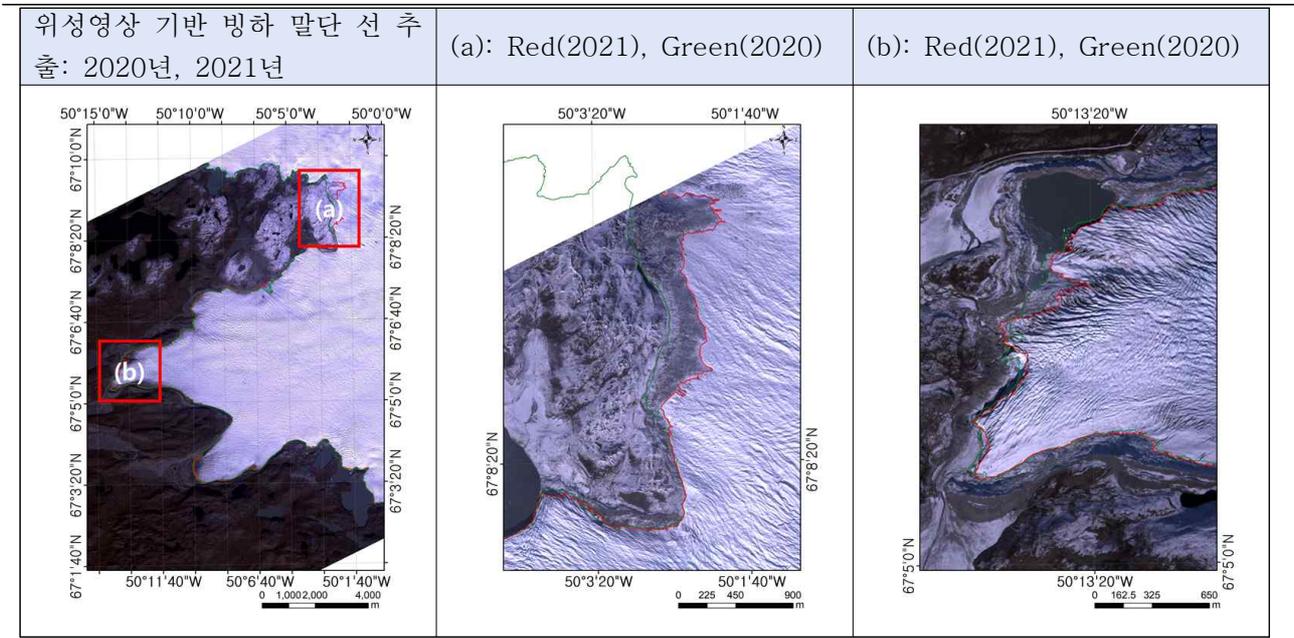
지역은 빙하 붕괴지역 및 유속이 빠른 하천이 함께 존재하는 지역임을 현장에서 확인하였으며, 큰 변이 발생이 예상될 수 있는 지역임

- 전체적으로 연간 약 30 m의 고도 변화가 존재하는 것으로 확인되었음
- (c)와 (d) 지역에서의 변이 분포는 장기 지형 변이 공간 분포와 마찬가지로 빙하 표면에서 많은 빙하 용융이 발생 되는 지역으로 연간 약 평균 15 m의 지형 변이가 존재하는 것으로 분석되었음
- 5년간의 변이 비교에서 약 평균 60~70 m 정도의 지형 변이가 존재한 것으로 미루어 보아, 연간 15 m의 빙하 용융 규모가 발생했을 것으로 예상됨



나. 위성영상 정보 기반 변화 탐지 분석

- 국내 고해상도 광학 위성 아리랑(K3)의 영상자료를 활용하여, 2020년과 2021년 사이 빙하 말단 선의 변화를 탐지하는 분석을 수행하였으며, 이를 무인기 영상자료로부터 획득한 빙하 말단 선 자료와 비교 분석 수행함
- 위성영상 비교 분석 결과, 2020년과 비교하여 2021년에 전반적으로 큰 편차를 보이지 않았지만, 본 현장조사일대를 중심으로 북동쪽 부근의 빙하선이 후퇴하는 차이를 보였음
- 현장조사 일대의 경우 빙하가 붕괴하는 급격한 변동 지역에서 마찬가지로 빙하선이 후퇴하는 양상을 보였음
- 본 결과를 기반으로 2단계 연구에서 현재까지 획득한 무인기 영상기반의 세부 빙하선 정보와의 융합을 통해 결년 없이 최대한 조밀한 빙하 말단 선 변이를 시계열로 분석할 수 있을 것으로 예상됨



2-2. 추진일정 실적

1차년도 (1단계 1차년도)														
추진내용	추진일정 (월)												비고 (변경사유 등)	
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
극지 환경요구도 조사·분석														
극지연구 임무 정의														
극지연구 대표임무 선정 및 우선도 도출														
극지 하계 실증시연 시행 계획 수립														
극지 하계 실증시연 수행														COVID-19로 인한 일정 연기

2차년도 (1단계 2차년도)														
추진내용	추진일정 (월)												비고 (변경사유 등)	
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
극지 하계 현장조사 준비														
극지 하계 현장조사 수행														COVID-19로 인한 일정 연기
무인기 영상처리														COVID-19로 인한 일정 연기
인공위성 데이터 분석														
무인기/위성 분석결과 비교														

3차년도 (1단계 3차년도)												
추진내용	추진일정 (월)										비고 (변경사유 등)	
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7		
그린란드 현장 조사												COVID-19로 인한 일정 연기
무인기 영상 처리												
시계열 분석												

2-3. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

1) 연구개발성과 기여

- 무인기를 활용한 그린란드 빙하 정밀 모니터링 관련 기술개발은 국내외적으로 최초의 시도에 해당함
- 기존 무인기 활용 빙하 모니터링 연구의 경우, 그린란드 외 지역에서의 빙하를 대상으로 정사 영상제작 및 수치표고모델생성을 통한 분석을 수행하여 무인기 활용 가능성과 오차 개선에 대한 고찰을 수행한 바 있음
- 그린란드 지역의 빙하 용융의 가속화는 전 세계적으로 가장 큰 환경 문제에 해당하며, 그린란드 빙하가 대규모 범지구적 해류 및 생태계 순환의 중심 위치에 해당하는 점을 미루어, 이를 정밀 모니터링하고 변이량을 도출해내고자 하는 본 과제의 기술연구개발 시도의 국내외 당위적 기여도는 매우 큼
- 기존 인공위성자료(광학, Radar, LiDAR)기반, 빙하 모니터링 연구는 많이 수행된 바 있으며, 이들 연구 및 기술들이 가지는 오차 및 오류에 대한 검증 자료로써 초고해상도 무인기 자료 기반 결과 도출 자료가 매우 유용하게 이용될 수 있음을 많은 연구자가 전망 및 보고한 바 있음
- 본 과제 1단계에서 수행한 내용 및 결과는 극지환경에서 무인기 운용부터 활용-연구까지의 단계도를 구축할 수 있는 유의미한 성과에 해당함
- 무인기 기반 빙하 모니터링을 수행함으로써 기존 인공위성 영상자료 기반의 모니터링이 보고자 했던 변이 감지 대상의 스케일 대비 약 100배 이상 확장 시켜 빙하 미세 변이 특성 감지에 해당하는 연구수행 및 성과 창출의 기회를 제공함
- 극지의 급격한 용빙에 따라 해수면 상승, 환경 파괴 및 변화가 발생하는 등의 치명적인 범지구적 문제가 발생함으로, 이를 미세 단위의 변위로 미리 예보할 수 있는 기술개발 시도으로써 기여 가치를 발생시킬 수 있음
- 무인기 기반의 극지의 정밀 빙하 모니터링 수행 기술은 지역적/준광역적 공간에서 발생한 변이량에 대해 매우 직관적이면서도 세부적인 정보 제공에 탁월한 기능을 제공함
- 무인기 기반의 연구기술개발 고도화는 인공위성 및 항공 탐사 기술력 분야의 향상 및 확장 가능성을 의미함
- 본 과제에서 무인기 자료 기반으로 도출된 연구결과는 인공위성 영상의 검증에 유용하게 이용될 수 있는 기초자료로써 기여될 수 있으며, 국내 아리랑 위성영상의 극지역 보정 시 매우 유용하게 이용될 수 있는 가치를 지님
- 기존 인공위성 자료 기반의 용빙 관측 자료와 무인기 영상자료의 융복합 시도를 통해 구축한 기술 개발은 온난화에 따른 용빙 현상 가속화에 대응할 유일한 모니터링 대응책으로 여겨질 수 있음

2-4. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

1) 연구성과 활용분야 및 활용방안

- 무인기를 활용한 그린란드 빙하 정밀 모니터링 관련 기술개발은 변화 탐지, 객체 탐지 등과 관련된 농업, 식생, 지질, 생태계 등 원격탐사 전반의 분야에서 필수적으로 요구되는 기술에 해당함
- 무인기 기반 정밀 모니터링 기술은 민감한 변이 상태 추출에 있어 가장 정확하게 대응하는 방법에 해당하며, 미세 지형 변이량 측정을 통해 빙하의 변동성 정량화 활용 수행이 가능함
- 무인기 영상 기반 빙하 정보와 인공위성 영상 기반 빙하 정보의 융복합 활용을 통하여, 극지역 빙하 모니터링의 정밀화 및 효율성 개선을 위한 활용 계획
- 무인기 활용 빙하 모니터링 기술 확보로부터 향후 동토 및 해빙 등 다양한 극지 환경 요인들을 대상으로 하는 연구 지역 및 분석 대상을 확대하여 적용할 계획
- 무인기를 활용하여 획득한 초고해상도의 지형 변이 측정 결과는 기온, 해수면 고도, 강수 등 많은 자연과학 요소들과의 연관성을 지닐 가능성이 매우 크며, 이들과 정량적 연관성 정의를 통해 질 높은 성과 창출의 잠재성과 활용 가능성을 지님
- 연구 수행 결과 및 축적된 현장 연구 경험은, 향후 극지 대상의 타 국외 연구 기관 및 북극권의 국가들과 공동 연구를 추진하는데 중요한 근거로 활용될 수 있음

2) 추가 및 후속 연구 필요성

- 그린란드의 빙하 용융 현상은 지구온난화와 밀접한 연관성을 가지는 것으로 알려졌으며, 평균 기온 및 해수면 온도의 상승률과 경향성은 과거 10년, 5년 전과 비교하여 매우 급격한 변화 폭을 보이고 있음
- 빙하의 전진과 후퇴는 극지방의 주기적인 연 기온변화에 따라 발생하는데 지구온난화로 인해 후퇴의 폭이 갈수록 커지는 경향을 보이고 있음

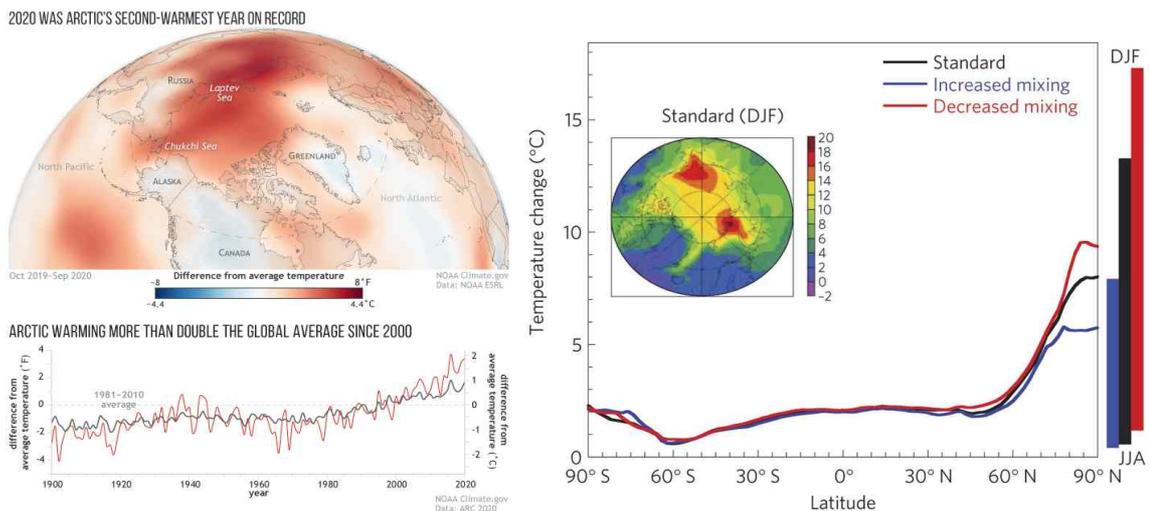


그림 104. 북극 위도에 따른 기온 증가 경향 및 북극 기온 시계열 변화

- 그린란드 서남부 지역의 빙하 용융 속도가 급격하게 증가하고 있으며, 이는 그린란드 전역에 분포하는 빙하 대상의 모니터링 시급성을 요구하는 환경 이슈로 대두됨
- 이와 같은 이슈를 대상으로 주기적 지역-준광역 빙하 모니터링의 수행 시도는 필수적으로 요구되는 상황이며, 단기간 대상 감지가 아닌 향후 계속 지속되어야 하는 모니터링 기술연구개발로써 필수적응기술에 해당함
- 국내외 독보적인 국가적 위상을 제고한 극지 과학 분야 전문 연구기관인 극지연구소는 지속적

으로 그린란드 방문 및 현장조사를 수행할 수 있는 인프라가 구축되어 있으며, 지속 연구와 관련된 연구역량을 지님

- 국내의 인공위성영상 기반 남북극 전반의 빙권 모니터링 수행 기술은 이미 안정화 단계에 돌입한 상태에 있으며, 나아가 선진적 기술에 해당하는 무인기 활용 연구 기술 개발의 선점을 통해 독보적 경쟁력과 국가 위상 제고를 위한 노력이 필요할 것으로 판단됨
-

2-5. 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 (해당 시 작성)



〈 2단계 연구개발 계획 〉

1. 국내외 관련 분야 환경변화

- 전세계적으로 유행중인 코로나19로 인해 덴마크 및 그린란드 출입이 통제되고 있어 국제 학술 대회 및 극지 비행시험 일정 변경이 불가피하게 됨
-

2. 2단계 연구개발의 필요성

1) 극지연구 분야의 빙하 변동 모니터링 및 무인기 기술 도입 필요성

(1) 그린란드 빙하 변동 모니터링의 필요성

- 지난 20년간 그린란드의 대륙 빙하는 산업혁명 이전보다 5배 빠른 속도로 사라지고 있음이 발표되었음(Trusel et al, 2018)
- 지구 평균온도 상승폭을 산업혁명 이전 대비 2°C 이하로 제한하지 않으면 북극 지역의 빙하가 모두 녹아내려 해수온도와 해수면을 상승시키고, 지구 전체의 기상이변으로 확대될 것이라고 전망하고 있음
- 2000년대 이후 그린란드 지표의 연간 질량변화는 큰 폭으로 변동하고 있으며, 2018년에는 1,500억 톤의 빙상(ice sheet)에 대해 순질량이 크게 증가하였으나, 주요 빙하의 용융은 이전보다 현저히 빠르게 진행되고 있어 빙상 전체의 질량변화에 대한 지속적 모니터링이 필요함(NSIDC, 2018)

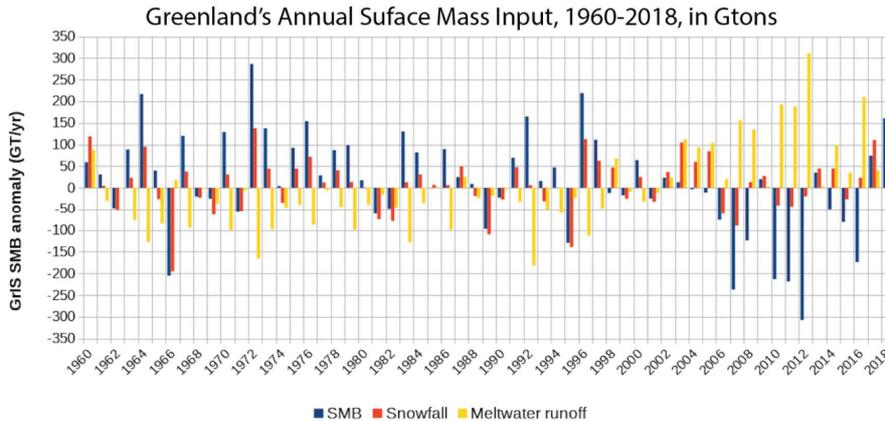


그림 105 그린란드 지표 질량 변동 양상(NSIDC, 2018)

- 2016년 이후 그린란드 최대 빙하인 Jakobshavn 빙하의 경우 질량과 두께가 증가하는 관측결과가 발표됨(Khazendar et al, 2019)
 - 온난화로 인한 지구 상층대기의 변화로 2018년 2월 그린란드 북부 완델해(Wandel Sea)에 약 5만km² 크기의 폴리냐가 최초로 관측-보고되었음(Moore et al, 2018)
-

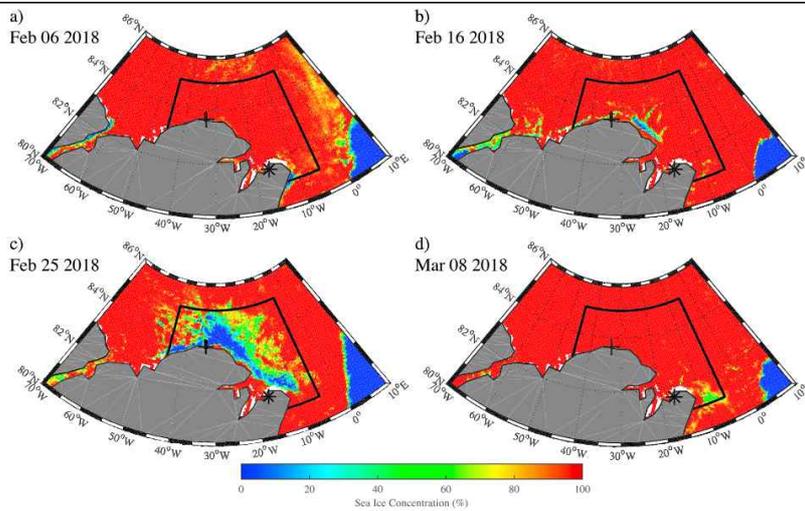


그림 106 2018년도 완델해의 해빙농도 분포(Moore et al, 2018)

- 기후변화로 인해 최근 그린란드 빙하가 크게 변화하고 있어 지속적이며 정밀한 관측의 필요성에 대해 대응하기 위해 인공위성 등 다양한 원격탐사 플랫폼을 이용한 기술이 개발되고 있으며, 나아가 무인시스템을 이용한 고정밀의 관측 연구의 필요성이 요구되고 있음

(2) 무인기 활용 빙하 정밀 모니터링의 필요성

- 일반적으로 빙하 변동 모니터링에는 짧은 주기로 넓은 지역에 대해 정보 수집이 가능한 중저해상도 인공위성 영상자료가 주로 사용되어 옴
- 중저해상도 위성영상 자료는 빙하에 대한 광역적 분석이 가능하지만, 빙하의 세밀한 특징들을 정밀하게 분석하고자 할 때 상당한 공간적 정확도 손실이 발생하는 단점을 지니고 있어, 지역적 규모에서의 정밀 분석이 필요한 빙하 연구에 있어 한계로써 지적되어옴
- 빙하 표면에서 크고 작은 거칠기의 차이는 용빙수의 이동 경로를 결정하는 데 지대한 영향을 미칠 수 있다고 알려져 있음
- 용빙수의 이동 경로, 즉 빙하 상부 배수로(supra-glacial drainage pathways)는 용빙수를 크레바스(crevasses)와 빙하구혈(moulins)을 통해 빙하 하부로 옮기기 때문에 빙하의 흐름, 퇴적물의 이동 등에 큰 영향을 주는 요소에 해당함
- 따라서 빙하의 표면 거칠기는 빙하의 용융 속도를 제어하는 에너지 밸런스(energy balance)에 중대한 역할을 한다고 할 수 있으며, 빙하의 매스 밸런스(mass balance)에도 큰 영향을 주는 요인임
- 빙하는 표면 거칠기가 커지게 되면 경계층에서 난류가 형성되어 용융 속도가 증가할 수 있는 것으로 알려져 있음
- 표면이 매끄러운 곳에서는 태양 에너지가 반사되어 대기 중으로 되돌아가는 비율이 높지만, 거친 표면에서는 반사된 에너지가 다른 얼음 표면에 흡수될 수 있으므로, 이를 통해서도 용융 속도가 증가할 수 있음
- 빙하의 거칠기와 형태는 음영(shade)과 알베도(albedo)를 변화시킴에 따라 에너지 밸런스에 추가적인 영향을 불러올 수 있다는 주장도 제기된 바 있음
- 지구온난화로 인한 빙하 용융 과정을 이해하기 위해서는 기존의 중저해상도 위성영상에 기반한 광역적 분석뿐만 아니라, 고해상도 무인기 영상을 이용한 정밀 분석이 반드시 동반되어야만 함

(3) 인공위성 자료 기반 빙하 정보 검증 및 복합 활용을 위한 고정밀 무인기 획득 정보의 필요성

- 인공위성 레이더 간섭기법을 활용하여 지속적으로 수평/수직 변화를 보이는 빙하의 수치표고모델을 m급 고해상도로 제작이 가능함
- 레이더 간섭기법을 활용하여 수치표고모델을 제작하기 위해서 추가로 외부 자료를 활용하여 절대고도 보정이 필요하며, 주로 동 시간대의 레이더 또는 레이저 고도계 자료를 활용함

- 극지연구소에서는 레이더 간섭기법을 활용하여 서남극 Thwaites 빙하의 수치표고모델(digital elevation model)을 제작한 사례가 있으며, 제작된 수치표고모델을 미국 NASA에서 진행한 Operation IceBridge 의 Airborne Topographic Mapper 레이저 고도계 자료와 비교 분석한 바 있음
- 분석 정확도는 지역별로 상이하였으며 위성을 활용한 수치표고모델과 항공기 레이저 고도계 자료가 확보된 시기의 차이가 존재하기 때문의 결과로 판단함
- 따라서 Thwaites 빙하처럼 표면의 변화 속도가 빠른 지역에서는 위성 자료와 동 시간대에 확보 가능한 빙하 지형 정보 검증 자료가 필요하며, 무인기를 활용하여 최적 시기에 고해상도 지형 정보를 획득 및 제작하게 된다면 효과적인 대안이 될 것으로 전망함
- 더불어 Double-differential interferometry (DDInSAR) 기법을 활용하면 단 시간 동안 발생하는 cm급의 미세한 표면 고도 변화를 도출하여 조수에 따라 고도가 변화하는 지역과 변화하지 않는 지역의 경계인 지반접지선(grounding line)을 추출 및 모니터링이 가능함
- 광학 위성영상은 태양 빛의 방향과 그림자를 이용하여 표면의 기울기 및 고도를 추출할 수 있는 photogrammetry 기법 및 각각 다른 각도에서 촬영한 두 개 이상의 영상을 이용하여 고도를 추출할 수 있는 stereo-photogrammetry 기법이 존재함
- 하지만 날씨에 따른 제한으로 인하여 자료 확보가 쉽지 않은 광학 위성영상의 단점 때문에, 넓은 영역의 수치표고모델 제작은 매우 오랜 시간을 요구하며, 그 시간 동안 발생한 표면 고도 변화의 단계 및 관계를 해석하기 힘들다는 단점이 존재함
- 무인기의 경우 구름 고도보다 낮은 저고도에서 영상자료를 획득하기 때문에 기상 상황에 영향을 덜 받으며, 효율적으로 초고해상도의 지형 정보 확보가 가능한 기술에 해당함

(4) 그린란드 녹지화 모니터링의 필요성

- 그린란드는 온난화로 인한 빙하용융과 더불어 녹지화에 대한 환경적 이슈가 존재함
- 식생지수(NDVI) 산출은 식생 탐지에 매우 유용한 기법으로 알려져 있으며, 이를 무인기 영상자료로 산출한다면, 위성영상자료 대비 초고해상도 환경에서 극지 식생분포정보를 획득할 수 있음
- 초고해상도 식생분포정보의 획득은 식생 분포 및 밀도 파악에 있어 보다 정확한 정량적 정보제공이 가능함을 의미함
- 더불어 NDVI는 식생의 상태에 대한 추정이 가능한 방법으로, 시기별 계절별 혹은 기후변화 요인 등에 따른 극지 식생 상태에 대한 연관성을 밝혀낼 수 있는 단서와 기초자료를 제공할 수 있는 기회임

3. 연구개발 목표 및 평가항목

3-1. 연구개발 목표

최종목표	o 극지역에서 효율적인 관측이 가능한 무인이동체로부터 획득된 고해상도 영상과 인공위성 원격탐사 데이터를 복합 활용하여 그린란드 빙하를 정밀 모니터링하고 표면 구조와 시계열 고도 변화를 탐지할 수 있는 기술 개발
2단계 세부목표	1. 무인이동체 획득 영상 기반 고해상도 빙하 지형 변동 모니터링 기술 연구 2. 고해상도 빙하 지형 모델과 인공위성 데이터 기반의 빙하 지형 모델 비교 연구
2단계 연차별 목표	o 4차년도 : 빙하 지형 변동 모니터링 및 탐지 기법 연구 o 5차년도 : 무인이동체-인공위성 자료 기반 빙하 지형 정합 및 검증 기법 연구

3-2. 연구개발과제 평가항목 (정성, 정량적 평가항목을 합하여 5개 내외로 설정)

평가항목	가중치 (%)	관련 세부 목표	연차	연차별 목표 (조건/환경)
(정성) 초고해상도 무인기 영상 기반 수치표고모델 구축 및 3차원 모델링	10	1, 2	4차년도 (2단계 1차년도)	고해상도 무인기 영상 기반 수치표고모델 및 3차원 모델 구축 (1단계 획득자료 기반)
			5차년도(최종) (2단계 2차년도)	고해상도 무인기 영상 기반 수치표고모델 및 3차원 모델 구축 (2단계 획득자료 기반)
(정성) 무인기-인공 위성 동시기 데이터 셋 구축 및 선별	10	1, 2	4차년도 (2단계 1차년도)	무인기-인공위성 동시기 데이터셋 구축 (~4차년도)
			5차년도(최종) (2단계 2차년도)	무인기-인공위성 동시기 데이터셋 구축 (~5차년도)
(정성) 시계열 빙하 지형 모델 구축 및 변화 탐지 기법 연구	10	1, 2	4차년도 (2단계 1차년도)	시계열 빙하 지형 변동 모니터링 기법 개발 (수치표고 모델 구축 및 영상화, 1단계 획득자료 기반)
			5차년도(최종) (2단계 2차년도)	시계열 빙하 지형 변동 모니터링 기법 개발 (수치표고 모델 구축 및 영상화, 1, 2단계 획득자료 기반)
(정성) 빙하 흐름 속도 산출 기법 연구	10	1, 2	4차년도 (2단계 1차년도)	빙하 말단 변이차 기반 흐름 속도 산출 기법 개발 (수치표고모델 구축 및 영상화, 1단계 획득자료 기반)
			5차년도(최종) (2단계 2차년도)	빙하 말단 변이차 기반 흐름 속도 산출 기법 개발 (수치표고모델 구축 및 영상화, 1, 2단계 획득자료 기반)
(정성) 무인기-인공 위성 빙하 정보 기반 융합 및 검증 적용 가능성 평가	20	1, 2	4차년도 (2단계 1차년도)	무인기-인공위성 정보 기반 빙하 지형 정보 융합 시도 가능성 평가
			5차년도(최종) (2단계 2차년도)	무인기 정보 기반 산출 빙하 지형 정보의 인공위성영상 검증 활용 가능성 평가
(정성) 그린란드 현장 조사	20	1, 2	5차년도(최종) (2단계 2차년도)	그린란드 현지 방문 및 모니터링 지역 현장 조사 수행
(정성) SCIE 연구 논문 게재	20	1, 2	4차년도 (2단계 1차년도)	SCIE 저널 논문 1편 게재
합계	100	-	-	-

3-3. 평가주안점의 설정근거

평가항목	목표 설정근거
(정성) 초고해상도 무인기 영상 기반 수치표고모델 구축 및 3차원 모델링	본 과제에서 시도하고자 하는 극지 빙하 지형 수치표고모델 구축 및 3차원 모델링 관련 연구는 국제적으로 드문 시도에 해당하며, 빙하 용융 가속화에 따른 범지구적 환경 이슈를 가지는 그린란드 러셀 빙하의 경우 최초의 시도에 해당됨. 현장 조사를 통해 저고도 영상자료를 획득하여, 수 cm~mm 이하의 공간해상도 정보 제공이 가능한 정사영상을 제작하고, 수치표고모델과 융합 가시화하는 일련의 과정은 3차원 공간에서 미세 변이 범위까지 해당하는 빙권 정보 제공 환경 조건을 구축하는 시도에 해당됨.
(정성) 무인기-인공 위성 동시기 데이터셋 구축 및 선별	초고해상도 무인기 영상 기반 산출물의 인공위성 영상 자료 적용 및 확장을 위한 기초 자료 구축에 해당하며, 이를 위해 동시기 뿐만 아니라 구름 등의 비교 저해 요인의 효과를 최소화할 수 있는 인공위성 데이터셋 선별이 필수적으로 요구됨.

평가항목	목표 설정근거
(정성) 시계열 빙하 지형 변동 모니터링	본 과제에서 시도하고자 하는 시계열 러셀 빙하 표면 지형 변동 모니터링 기술은 지역적 뿐만 아니라 준광역 스케일의 변동까지 정의 내릴 가능성을 가지고 있는 도전적 과제에 해당하며, 최초의 시도으로써 국가적-선진적 연구성과확보를 위한 파일럿 연구가 될 수 있을 것으로 판단됨.
(정성) 빙하 흐름 속도 산출 기법 연구	정량적 빙하 변이량을 바탕으로 인공위성 자료를 활용한 변화 탐지 연구는 수행된 바가 있으나, 미세 변이량 측정이 가능한 무인기 기반의 빙하 흐름 속도 산출을 위한 시도는 이루어진 바가 없으며, 말단 빙하구조의 준광역적 변이량 제공뿐만 아니라 더불어 빙하 표면 미세 구조의 변화에 대한 모니터링 및 기후변화와의 연관성을 이해하는데 활용될 수 있는 기술 개발이 될 것으로 판단됨.
(정성) 무인기-인공위성 정보 융합 및 검증 적용 가능성 평가	무인기-인공위성 정보 융합은 전 세계적으로 크게 주목받는 연구 이슈로 여겨지는 추세에 있으며, 현재까지 성공적이고 체계적인 연구결과를 제시한 연구팀은 매우 드물. 두 이종 영상정보 간 공간해상도의 큰 갭이 존재하기 때문에 이를 어떻게 적용할 것이며, 얼마만큼의 활용 가능성이 있는지와 관련된 정성적 연구결과 도출은 향후 아리랑 영상과 같은 고해상도 인공위성 영상 자료의 활용 확장성을 넓힐 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 판단됨.
(정성) 그린란드 현장 조사	본 과제의 3번째 그린란드 현장 조사에 해당하며, 이전 기간에 획득한 무인기 영상 기반분석 결과와의 비교를 통해, 시계열적 미세 지형 변이 감지 결과 도출 및 식생 분포 확인을 위한 필수적 요구 항목에 해당함.
(정량) SCIE 연구 논문 게재	SCIE 연구 논문 게재의 필요성이 요구됨.

3-4. 연구개발 목표 및 내용 변경사항 (해당 시 작성)

구분	변경 전	변경 후	변경 사유 및 조치사항
연구목표 및 주요내용			

작성 요령 (제출 시 삭제)

- 당초 목표 조기 달성, 연구 환경 변화에 따른 내용 변경 등으로 선정 당시 대비 연구목표 및 주요내용을 변경하여 차기단계를 계획한 경우 작성. 비교표 등을 활용하여 기술(사유 포함)

4. 연구개발 내용 · 방법 및 추진체계

가. 무인이동체 획득 영상 기반 고해상도 빙하 지형 변동 모니터링 기술 연구

1. 무인이동체 시계열 자료 확보

1-1. 그린란드 현장조사 진행, 2023년 9월 예상

1-2. 무인이동체 LiDAR 및 광학 센서 영상기반 빙하 지형 모델 및 정사영상 제작

1-3. 위성영상기반 빙하 지형 모델 제작 및 변이 탐지를 위한 자료 수집

2. 변이 탐지 및 시계열 분석

2-1. 1단계 확보된 자료와 비교 및 변이 지역 정의

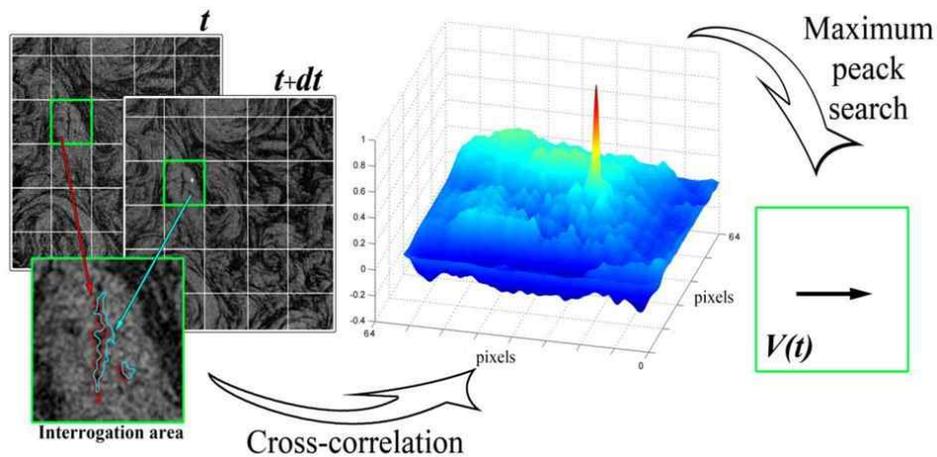
- 영상 분류 기법을 통한 빙하 객체 분류 및 Segmentation

- 동일 기준 시계열 영상 내 변이 관찰 지역 선정

2-2. 빙하 이동 및 변이 속도 추정

- Lagrangian 고도 변화 계산 기반 빙하 이동 속도 추정 수행

- 현장 방문을 통해 확보된 다중시기 빙하지형모델의 차이 계산을 통해 빙하지형변화 도출 가능
- 초고해상도 무인이동체 자료 특성상 빙하의 지속적인 수평/수직 이동으로 오일러 기준 프레임에서 계산 시 큰 오차가 발생할 수 있음 고려
- 오일러 기준 프레임에서 빙하의 이동으로 발생 가능한 오차는 크레바스와 균열과 같은 표면의 날카로운 특징들로부터 기인
- 다중시기 고해상도 무인이동체 자료로부터 빙하 이동속도 추출하여 Lagrangian 기준 프레임에서 빙하 표면 변화율 계산에 사용
- 빙하 이동속도는 영상 내 배치 간 상관계수를 계산하고 배치 중앙 픽셀과 최대 상관 계수 값의 유클리드 거리를 계산하여 도출



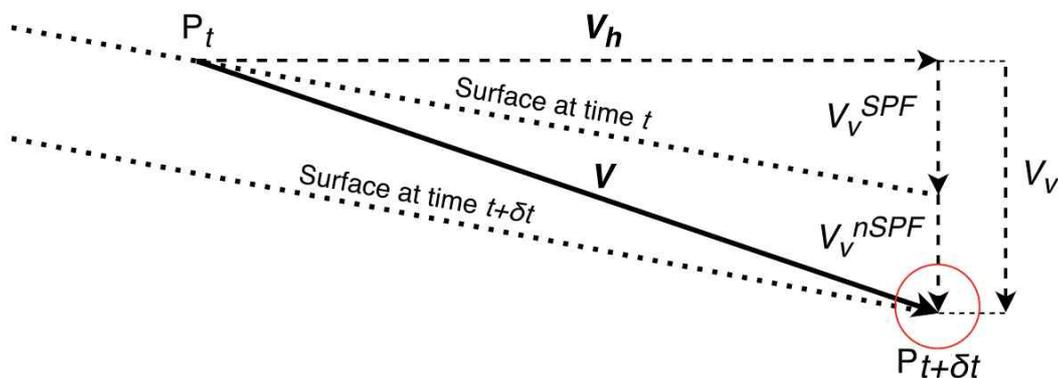
<빙하 이동속도 계산 예시>

- Lagrangian 빙하 지형 변화 도출

- 계산된 빙하 이동속도를 아래 식에 대입하여 빙하 지형 변화를 도출

$$\dot{s} = V_v + \dot{b} - V_h \nabla s$$

- 여기서 \dot{s} 는 동일한 표면의 고도 변화를 나타내며, $V_{v,h}$ 는 각각 수직, 수평 이동 속도를 의미
- \dot{b} 는 질량변화, ∇s 는 지형 경사도를 의미



<Lagrangian 프레임에서 지형 고도 변화 예시>

- 주요지역 대상 공간 변이량 산출

- x, y, z 변이량을 특정 기준선 및 기준점으로부터 정량적 평가 수행

◦ 3차원(TIN model) 모델 내에서 상승/같음/하강에 대한 지역적 변이 평가 수행

나. 고해상도 빙하 지형 모델과 인공위성 데이터 기반의 빙하 지형 모델 비교 연구

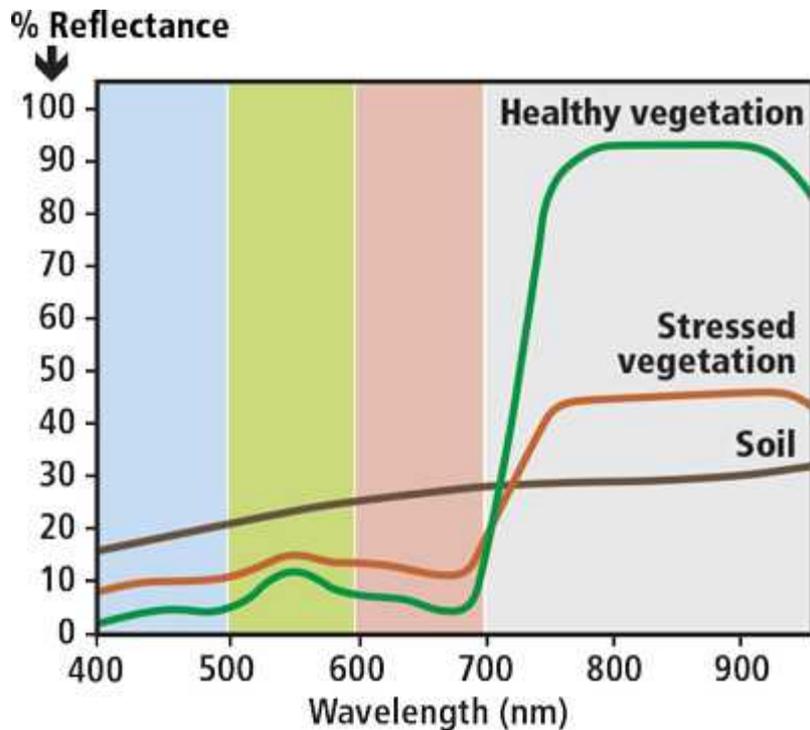
1. 현장조사 시기와 가까운 광학영상 및 스테레오 영상 확보 (예: SPOT6, K3A, K3)
 - 무인이동체 획득 자료와 비교 분석
 - 빙하 지역 일대 변이량 정보 융합 평가
2. 레이저 고도계 활용 빙하 지형모델 비교 (자료 예: CryoSat-2, ICESat-2)
 - 무인이동체 획득 자료와 비교 분석
 - 빙하 지역 일대 변이량 정보 융합 평가

다. 다분광(Multispectral) 센서 영상 기반 식생 모니터링

1. 고정익 무인기 기반 준광역 식생 분포 및 상태 주제도 작성
 - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI, 식생지수) 주제도 산출
 - NDVI는 가시광 및 근적외 파장대의 분광정보를 활용하여, 식생 탐지 혹은 식생의 상태 정보를 추출할 수 있는 기법으로 잘 알려져 있음
 - 다분광 채널을 활용한 NDVI 계산은 아래와 같음

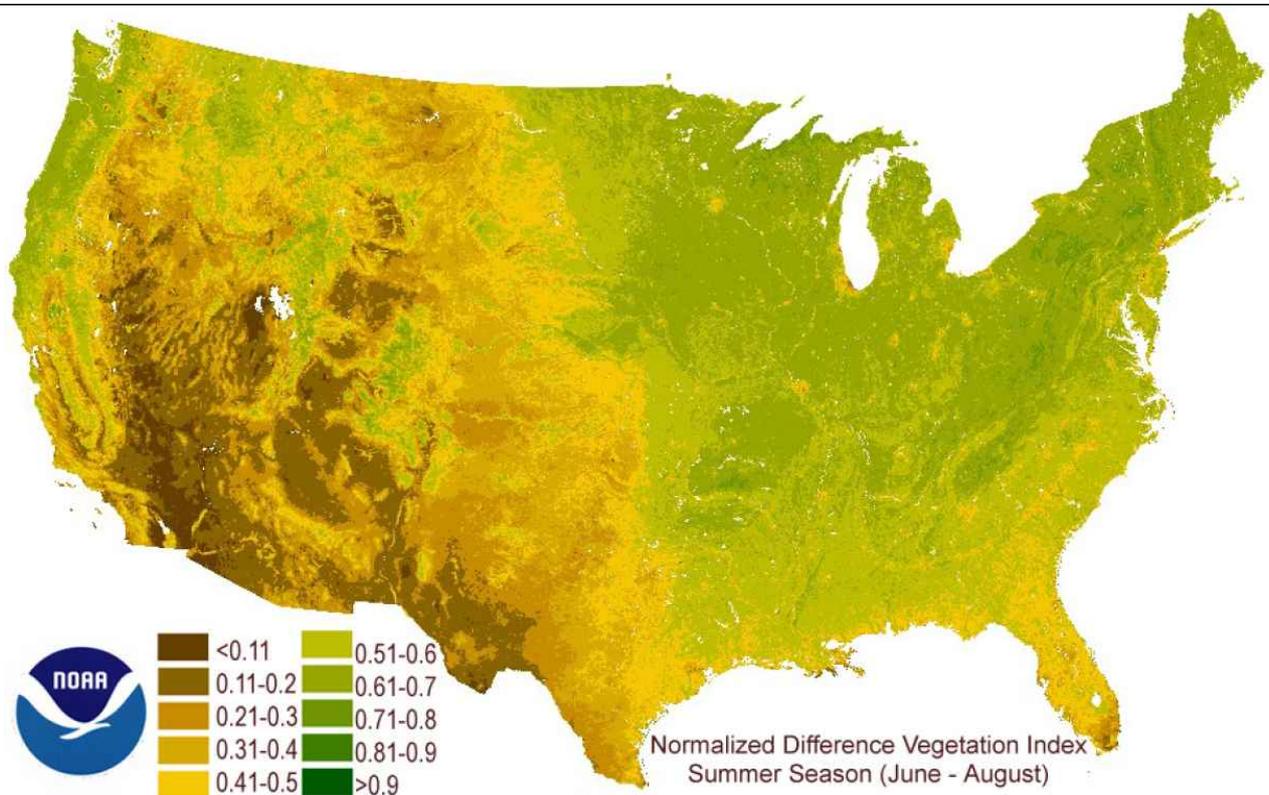
$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right)$$

◦ NIR = 근적외선 파장대역 밴드(약 900 nm), RED = 적색 가시광 파장대역 밴드(약 700 nm)

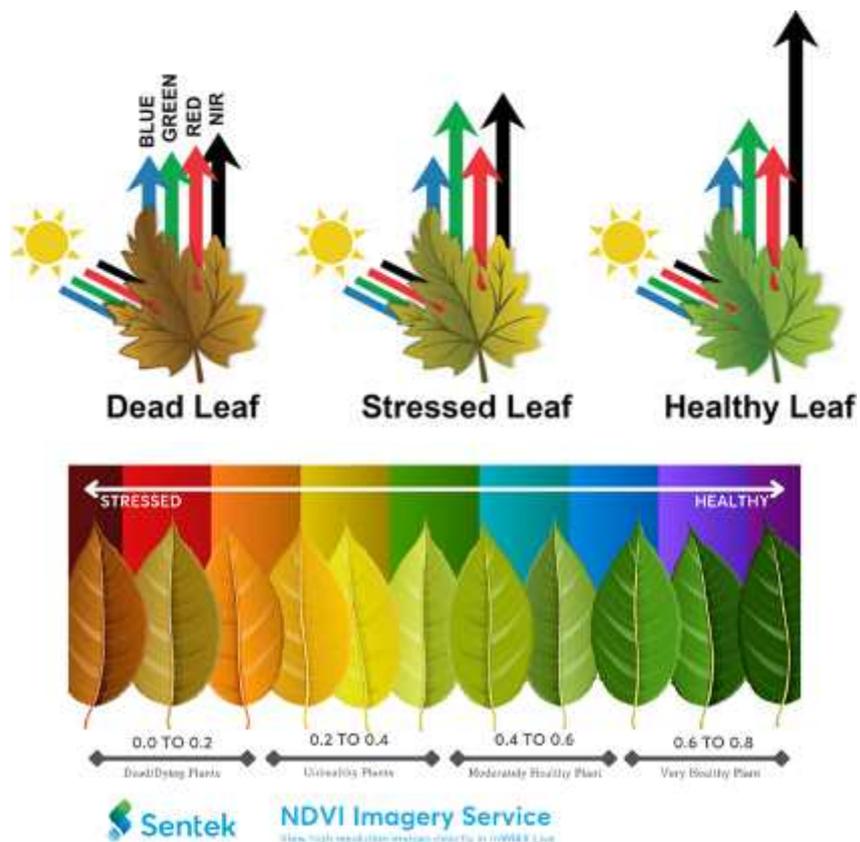


◦ NDVI는 위 그림과 같은 식생이 분광학적으로 근적외선 파장대역에서 급격하게 높은 반사도를 보이는 특징을 활용한 비연산(ratioing) 계산 방법으로 원격탐사 분야에서 널리 활용되어 오고 있으며, MODIS 등의 위성 영상 산출물로도 지속해서 생산되고 있음

◦ 따라서 분광학적으로 NDVI는 지표 구성 대상(land cover) 중 식생 지역에 대한 강조가 가능하며, 이를 이용하여 많은 국가에서 계절별, 시기별 식생 주제도를 작성함



- 더불어 NDVI는 분광학적으로 식생의 상태에 대한 추적이 가능한 원리를 가지고 있음
- 식생은 계절에 따라 잎의 상태가 갈변하게 되는데 이러한 변화 상태에 따라 분광 변이 특성이 함께 동반되므로, NDVI를 통해 식생 상태(condition) 추정이 가능함



- 위 그림에서와 같이 건강한 식생일수록 잎이 파랗고, 그렇지 않을수록 갈변화되므로, 지역적 NDVI 지수값의 수준 분포에 따른 식생 모니터링 수행이 가능함

- 일반적으로 NDVI는 다분광 위성영상을 기반으로 활용되어 옴
- 식생 모니터링 기법을 저고도 무인항공기 플랫폼에 적용함으로써, 초고해상도 환경의 식생 모니터링 수행이 가능하며, 그린란드 녹지화(Greening) 이슈에 대응하기 위한 연구 가치 제고 가능
- 고정익 전용 센서인 MicaSense사의 RedEdge-MX 듀얼 카메라를 이용하여, 총 10개 밴드로 구성되어있는 가시광-근적외선 파장대 영역의 영상정보를 취득하고자 함



<MicaSense, RedEdge-MX 듀얼 카메라 모습>

- 위 센서는 1280 x 960 해상도를 가지고 있으며, 약 120 m 고도에서 8 cm GSD 정보를 제공할 수 있는 능력을 갖추고 있음
 - 밴드 파장대는 순서대로 444, 475, 531, 560, 650, 668, 705, 717, 740, 842 nm 에 해당하며, 해당 파장 정보는 식생 지수를 계산 및 활용하기에 매우 이상적인 파장대역 해당함
2. NDVI 및 다분광 정보 기반의 식생 관련 분석 연구
- 온난화에 따라 식생 분포 및 밀도 요인과의 연관성 분석 평가 수행
 - 역적 지형 변이 특성 경향과 식생 분포 및 상태 연관성 분석 평가 수행
 - 현장 필드스펙트로미터 활용 가능 시, 그린란드 환경 맞춤형 식생 종별 탐지 알고리즘 개발 가능

5. 추진일정 계획

4차년도 (2단계 1차년도)											
추진내용	추진일정 (월)										비고
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
초고해상도 무인기 영상 기반 수처포고모델 구축 및 3차원 모델링											
무인기-인공위성 동시기 데이터셋 구축 및 선별											
시계열 빙하 지형 변동 모니터링											
빙하 흐름 속도 산출 기법 연구											
무인기-인공위성 빙하 정보 기반 융합 및 검증 적용 가능성 평가											
SCIE 연구 논문 게재											

5차년도 (2단계 2차년도)											
추진내용	추진일정 (월)								비고		
	6	7	8	9	10	11	12				
초고해상도 무인기 영상 기반 수처포고모델 구축 및 3차원 모델링											
무인기-인공위성 동시기 데이터셋 구축 및 선별											
시계열 빙하 지형 변동 모니터링											
빙하 흐름 속도 산출 기법 연구											
무인기-인공위성 빙하 정보 기반 융합 및 검증 적용 가능성 평가											
그린란드 현장 조사											

6. 연구개발 성과의 활용방안 및 기대효과

- 온난화에 의한 변화가 과거와 비교해 급격히 증가하고 있으며, 인공위성의 제한적인 해상도로는 탐지하기 힘든 빙하 끝부분의 빙벽 변화와 후퇴, 후퇴 후 생성되는 환경/지형 변화 등에 대한 초고해상도 기반 미세 변이 감지 모니터링 수행
- 구름 등 대기의 영향으로 지속적인 모니터링이 힘든 인공위성의 단점에 대응하여, 저고도 비행 및 관측 가능한 무인기 활용 시계열 자료 확보
- 무인기 영상 기반 빙하 정보와 인공위성기반 빙하 정보를 융복합 활용하여 극지역 변화 모니터링 기술의 정밀화 및 고효율화
- 무인기 활용 모니터링 기술을 확보하여 향후 영구동토와 해빙 등 다양한 극지환경의 모니터링 수행의 확장 가능성 확보
- 극지역 연구 기관 및 북극권 국가들과 국제 협력 공동 연구 수행의 근거 마련
- 원격탐사 활용 분야 무인기 활용 사례 구축을 통한 국내외 극지 과학 분야 선진 기술력 제고

7. 연구진 구성

7-1. 연구책임자 현황

(1) 인적사항

						양식A301		
성명	국문	김현철			생년월일	1971.05.02	성별	남
	영문	Kim, Hyun-Cheol			국가연구자번호	1016 5077		
직장	기관명	극지연구소			전화번호	032-760-5335		
	부서	원격탐사빙권정보센터			팩스번호	032-760-5398		
	직위	센터장(책임연구원)			휴대전화	010-8938-2675		
	주소	(21990) 인천광역시 연수구 송도 미래로 26			E-mail	kimhc@kopri.re.kr		
실무 담당자	성명	정용식	사무실 전화	032-760-5349	휴대 전화	010-3474-1611	E-mail	yongsik@kopri.re.kr

(2) 학력

취득연월 (최근 순으로 작성)	학교명	전공	학위	지도교수
1991~1998	부산대학교	해양학	학사	
1998~2000	부산대학교	화학해양학	석사	이동섭
2001~2006	서울대학교	원격탐사 해양학	박사	오임상

최종학위 논문명(해당 시) : A study of surface chlorophyll variation in the East Sea using ocean color remote sensing data

(3) 주요 연구개발 실적 (최근 5년간 5개 이내의 실적을 작성하며, 신청중이거나 수행 중인 연구개발과제는 필수 작성)

중앙부처 (전문기관)	세부 사업명	연구개발과제명	주관연구개발 기관	연구개발기간 (실제 참여기간)	역할: 연구책임자 /공동연구원 등	비고 (신청/수행 중/완료)
			당시 소속기관			
산업통상 자원부	산업기술 혁신사업	위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발	한국선급	20.04~22.12 (20.04~22.07)	연구책임자	수행중
			극지연구소			
해양수산 부	국가연구 개발사업	북극해 환경변화 통합관측 및 활용연구	극지연구소	16.05~21.04 (16.05~21.04)	공동연구원	완료
			극지연구소			
해양수산 부	국가연구 개발사업	로스해 해양보호구역의 보존조치 이행에 따른 생태계 변화 연구	극지연구소	22.04~26.12 (22.04~22.07)	공동연구원	수행중
			극지연구소			
해양수산 부	국가연구 개발사업	남극해 해양보호구역의 생태계 구조 및 기능 연구	극지연구소	17.06~22.05 (17.06~22.05)	공동연구원	완료
			극지연구소			

(4) 대표적 논문/저서 실적 (최근 5년간 5개 이내의 실적을 작성)



구분 (논문/저서)	논문명/저서명	게재지 (권, 쪽)	게재연도 (발표연도)	역할	ISSN	비고 (피인용지수)
논문	Retrieval of daily sea ice thickness from AMSR2 passive microwave data using ensemble convolutional neural networks	Geoscience and Remote Sensing(58(6), 812-830)	2021	교신저자	0196-2892	5.600
논문	A Novel SAR Fractal Roughness Modeling of Complex Random Polar Media and Textural Synthesis based on a Numerical Scattering Distribution Function Processing	IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing(14(1), 7386-7409)	2021	교신저자	1939-1404	3.784
논문	Digital surface model generation for drifting Arctic sea ice with low-textured surfaces based on drone images	ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (172, 147-159)	2021	교신저자	0924-2716	8.979
논문	Surface roughness signatures of summer arctic snow-covered sea ice in X-band dual-polarimetric SAR	Geoscience and Remote Sensing(57(1), 1-20)	2020	교신저자	0196-2892	5.600
논문	Mosaicking opportunistically acquired very high-resolution helicopter-borne images over drifting sea ice using COTS sensors	Sensors (19(5), 1251)	2019	교신저자	1424-8220	3.576

(5) 지식재산권 출원·등록 실적 (최근 5년간 5개 이내의 실적을 작성)

구분 (특허/프로그램 등)	지식재산권명	국가명	출원·등록일	출원·등록번호/ 출원·등록자 수	비고

(6) 그 밖의 대표적 실적 (학술회의 발표, 수상 등, 최근 5년간 5개 이내의 실적을 작성)

구분	실적명	내용요약	실적연도
			YYYY
			YYYY

(7) 현재 수행 중인 타 과제 현황

(단위: 천원)

양식A502					
성명	연구과제명	연구수행기관	참여시작일	참여개월수	계상률
국가연구자번호	부처명/사업명	참여유형	참여종료일	당해년도연구비	
김현철	위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건정성 관리 시스템 개발	극지연구소	2022.01.01	12	20
10165077	산업통상자원부/조선해양산업 핵심기술개발사업	세부과제책임자	2022.12.31	212,800	
김현철	로스해 해양보호구역의 보존조치 이행에 따른 생태계 변화 연구	극지연구소	2022.04.01	12	10
10165077	해양수산부/극지 해양환경 및 생태계조사 연구	참여연구원	2022.12.31	2,400,000	

7-2. 참여연구원 현황

연번	소속 기관	직위	생년	전공 및 학위		연구 담당 분야	신규 채용 여부	타 국가연구 개발사업 계상률(%) [B]	본 과제를 제외한 국가연구 개발사업 참여 과제 수(건)
	성명	연구자 등록번호	성별	취득 연도	학위 (전공)	과제 참여 기간	본 과제 계상률 (%) [A]	전체 계상률 [A+B, %]	
1	극지연구소	책임연구원	1971.05.02.	2006	박사 (원격탐사)	원격탐사 연구총괄	기존	30	2
	김현철	10165077	남			2022.08.01. -2023.05.31.	10	40	
2	극지연구소	선임연구원	1986.01.24.	2018	박사 (원격탐사)	원격탐사연구	기존	10	1
	김승희	11089809	남			2022.08.01. -2023.05.31.	10	20	
3	극지연구소	무기계약직기술원	1989.08.09.	2016	석사 (원격탐사)	원격탐사연구	기존	15	2
	이성재	11414021	남			2022.08.01. -2023.05.31.	10	25	
4	극지연구소	선임연구원	1986.11.06	2019	박사 (원격탐사)	원격탐사연구	기존	10	1
	정용식	11316972	남			2022.08.01. -2023.05.31.	20	30	
5	극지연구소	선임연구원	1983.02.21	2020	박사 (원격탐사)	원격탐사연구	기존	20	2
	박진구	10908168	남			2022.08.01. -2023.05.31.	10	30	
6	극지연구소	선임연구원	1982.07.15	2013	박사 (원격탐사)	원격탐사연구	기존	20	2
	박정원	10172907	남			2022.08.01. -2023.05.31.	10	30	
7	극지연구소	연수연구원	1988.01.14	2018	박사 (해양학)	원격탐사연구	기존	15	1
	박지은	10979292	여			2022.08.01. -2023.05.31.	15	30	
8	극지연구소	연수연구원	1991.10.16	2021	박사 (원격탐사)	원격탐사연구	기존	100	2
	서민지	11255535	여			2022.08.01. -2023.05.31.	10	110	

8. 연구개발비 사용에 관한 계획

8-1. 연구개발비 총괄표

(단위: 천원)

							양식A611		
비목	세목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	
			2022	2023	YYYY	YYYY	YYYY		
직접비	인건비	내부 인건비 (A)	미지급					0	
			지급	현금	42,270	22,387			64,657
			현물					0	
		외부 인건비 (B)	미지급					0	
			지급	현금	10,395				10,395
			현물					0	
	연구지원인력인건비(C)						0		
	학생 인건비(D)						0		
	인건비 소계 (E=A+B+C+D)			52,665	22,387	0	0	0	75,052
	연구시설·장비비(F)	현금	일반	30,000	10,000				40,000
			통합관리						0
			현물					0	
	연구활동비 (G)	현금		30,215	12,794				43,009
		현물							0
	연구재료비 (H)	현금		15,000	15,906				30,906
		현물							0
	연구수당(I)			10,533	4,477				15,010
위탁연구개발비(J)								0	
직접비 소계 (K=E+F+G+H+I+J)			138,413	65,564	0	0	0	203,977	
간접비(L)			23,087	10,936				34,023	
(간접비 중 연구실 안전관리비)			527	227				(754)	
연구개발비 총액(M=K+L)			161,500	76,500	0	0	0	238,000	

8-2. 비목별 연구개발비 소요명세 (당해년도)

(1) 인건비

가. 내부인건비

(단위: 천원)

							양식A401
자격	성명	소속기관명	직급	직위	참여시작일	참여종료일	지급구분
	국가연구자번호	소속부서명	국적	월급여	계상률(%)	참여개월수	총액
연구 책임	김현철	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	책임급	센터장	2022.08.01	2023.05.31	지급
	10165077	원격탐사빙권정보센터	대한민국	9,240	10	10	9,240
참여 연구	김승희	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	선임급	선임연구원	2022.08.01	2023.05.31	지급
	11089809	원격탐사빙권정보센터	대한민국	5,721	10	10	5,721
참여 연구	이성재	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	전임급	기술원	2022.08.01	2023.05.31	지급
	11414021	원격탐사빙권정보센터	대한민국	4,635	10	10	4,635
참여 연구	정용식	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	선임급	선임연구원	2022.08.01	2023.05.31	지급
	11316972	원격탐사빙권정보센터	대한민국	5,144	20	10	10,288
참여 연구	박진구	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	선임급	선임연구원	2022.08.01	2023.05.31	지급
	10908168	원격탐사빙권정보센터	대한민국	6,111	10	10	6,111
참여 연구	박정원	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	선임급	선임연구원	2022.08.01	2023.05.31	지급
	10172907	원격탐사빙권정보센터	대한민국	6,275	10	10	6,275

나. 외부인건비



(단위: 천원)

							양식A612	
자격	성명	소속 기관명	직급	직위	참여 시작일	참여 종료일	구분	지급 구분
	국가연구자번호	소속 부서명	국적	월 급여	계상률(%)	총액		
참여 연구	박지은	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	전임급	연수연구원	2022.08.01	2023.05.31	주관	지급
	10979292	원격탐사빙권정보센터	대한민국	4,112	15	6,168		
참여 연구	서민지	한국해양과학기술원 부설 극지연구소	전임급	연수연구원	2022.08.01	2023.05.31	주관	지급
	11255535	원격탐사빙권정보센터	대한민국	4,227	10	4,227		
							위탁	

다. 학생인건비(인건비 통합관리 미시행 기관만 작성)

(단위: 천원)

양식A615

성명	과정명	학과	학부명	월 급여	참여시작일	참여종료일	참여 개월수	계상 률 (%)	합계

라. 연구지원인력비

(단위: 천원)

양식A619

소속기관명	성명	직급 (직위)	참여시작일	참여종료일	월급여	계상률 (%)	총액	지급구분

(2) 연구시설장비비

(단위: 천원)

양식A915

구분	내역/단가/횟수(수량,건)	내용			비고 (용도)
		현금	현물	계	
연구시설				0	
연구장비	P4RTK무인기체/9,000/1 P1사진측량센서(무인기용)/8,000/1 H20T열화상센서(무인기용)/13,000/1	30,000		30,000	
통합관리비				0	
합 계	총액	30,000	0	30,000	

(3) 연구활동비

(단위: 천원)

구분	금액			비고
	현금	현물	계	
국내·외 출장여비	16,715		16,715	그린란드 현장조사 탐사장비운송료 (빙하진입용 차량사용료 포함) 그린란드 연구 연례학회/DTU 국내출장
인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비, 공공요금, 제세공과금, 우편요금·택배비 및 수수료 등	500		500	
국내외 교육훈련비, 도서 등 문헌구입비, 학회·세미나 참가비 및 개최비, 회의장 사용료, 논문 게재료, 원고료, 통역료, 숙박료, 기술도입비, 전문가 및 일용직 활용비 등	2,000		2,000	무인기영상처리 를 위한 기초 교육 및 훈련비, 도서 구입비, 학회 참가비, 논문 교정 및 게재료
연구개발서비스 활용비(기술정보 제공, 컨설팅, 시험·분석 등)			0	
세부과제 조정 및 관리비			0	
지식재산 창출 활동 경비(특허정보 조사·분석, 원천·핵심특허 확보전략 수립 등)			0	
회의비, 식대, 사무용품비, 연구환경 유지비, 소모성 경비(비영리법인)	1,000		1,000	회의비, 사무용품비 등
사무기기(컴퓨터, 프린터, 복사기 등) 및 소프트웨어(컴퓨터 구동 프로그램, 사무처리용 소프트웨어, 바이러스 백신 등)	10,000		10,000	무인기 영상처리 소프트웨어 라이선스 구입 및 갱신비 등
종합사업관리 추진비			0	
합 계	30,215	0	30,215	

(4) 연구재료비

(단위: 천원)

				양식A917
구분	금액			비고
	현금	현물	계	
시약·재료 구입비 및 전산 처리·관리비	15,000		15,000	위성영상, 무인기용 부품/가방/악세서리, 전산장비 소모품 (메모리, 비디오카드, 저장장치, 랜카드, 케이블 등), DGPS & 영상획득저장용 및 네트워크 유심(현장조사), 현장조사용 소모품
시험제품·시험설비 제작경비			0	
합 계	15,000	0	15,000	

(5) 연구수당

(단위: 천원)

				양식A616
구분	산정기준	금액	비고	
연구수당	인건비 (52,665)천원×(20)%	10,533		
합 계		10,533		

8-3. 연구시설·장비 구축·운영계획 (해당 시 작성)

(1) 연구시설·장비 구축계획 (구축비용이 3천만원 이상인 경우에는 필수로 작성)

(단위: 천원)

연구개발기관명	연구시설·장비명	현금/현물 구분	구축방식*	규격	수량	구축비용	구축기간	설치장소

* 개발, 구매, 임대, 용역 등 해당하는 사항 기재

(2) 연구시설·장비 운영·활용계획

(단위: 천원)

연구개발기관명	연구시설명	기존/신규 구분	운영기간	비용			전담인력 수	활용계획	설치장소
				연간 운영비용	과제 반영비용	현금/현물 구분			
			YY-YY						
			YY-YY						

첨부1

세부 정량적 연구개발성과

※ 해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 필요시 행을 추가하여 작성 가능하며, 증빙자료(자유 양식)를 별도 파일로 첨부

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (Y/N)	게재일 (YYYY.MM)	등록번호 (ISSN)	기여율

국내 및 국제 학술회의 발표

회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국가명
2021년 GeoAI데이터학회 추계학술대회	김승희, 이성재, 김현철	2021.11.25	부산파라다이스호텔	대한민국
2021년 GeoAI데이터학회 추계학술대회	이성재, 김승희, 김현철	2021.11.25	부산파라다이스호텔	대한민국

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국가명	출원				등록			기여율	활용 여부
		출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다 (최대 3개 중복선택 가능).

제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

저작권(소프트웨어, 서적 등)

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

신기술 지정

명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
		인증명	인증 번호		

표준화

○ 국내표준

인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

- * 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

시제품 제작

시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

기술 실시(이전)

기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

사업화 투자실적

추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

사업화 현황

사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술수명
						국내 (천원)	국외 (달러)		

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등

* 3」 국내 또는 국외

□ 매출 실적

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			YYYY년	YYYY년	
합계					

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 기술 무역

(단위: 천원)

계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 전문 연구 인력 양성

분류	기준 연도	현황											
		학위별				성별		지역별					
		박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	

□ 산업 기술 인력 양성

프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

구분 (유치/파견)	기간 (YYYY.MM~YYYY.MM)	대상국가	학위과정	전공	내용

홍보 실적

홍보 유형	매체명	제목	홍보일

포상 및 수상 실적

종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발 여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기본법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.



[그 밖의 성과] (해당 시 작성)

첨부2

평가항목 별 성과 증빙

[과학적 성과]

□ 국내 및 국제 학술회의 발표 성과 증빙 (2회)

2021 GeoAI 춘계 학술대회 발표집 표지



2021 GeoAI 춘계 학술대회 발표집 목차

Grand Ballroom

개 회	
13:00 13:06	개회사 청형섭 (GeoAI 데이터학회 회장)
13:06 13:16	축 사 김용서 (한국해양과학기술원 원장)
13:16 13:24	축 사 강성호 (국지연구소 소장)
13:24 13:32	축 사 김광민 (한국지질자원연구원 원장 직무대행)
13:32 13:40	축 사 조도순 (국립생태원 원장)
13:40 13:48	축 사 이상훈 (한국항공우주연구원 원장)

Grand Ballroom 1

특별세션1	RS & AI 활용	좌장 : 어원재 (한국항공우주연구원)
14:20 14:35	IoT/IoV 기반 다목적실용위성 고해상도 위성정보의 해양분야 활용 가능성 이광재, 장재경, 이승재, 오관영, 장윤식, 채성호 한국항공우주연구원 위성활용부	
14:35 14:50	초소형위성 관측정보 탐지를 위한 사전 학습자료 구축 장재경, 이고르 제르노프, 조영훈 한국항공우주연구원 위성활용부, (주)에스아이에이*	
14:50 15:05	DNN을 이용한 ASCAT 해상풍자료의 정확도 향상 박승환, 유계산, 손준휘, 오관영, 채성호* 한국해양과학기술원 해양재난재해연구센터, 한국항공우주연구원 국가위성정보활용센터*	
15:05 15:20	딥러닝을 이용한 KOMPSAT-5 영상 기반 선박 탐지 초기 실험 이승재, 이광재 한국항공우주연구원 위성활용부	
15:20 15:35	위성영상 활용을 위한 인공지능의 역할 전태근 (주)에스아이에이	
특별세션5	기후변화 대응을 위한 극지 GeoAI 데이터 활용	좌장 : 김현철 (국지연구소)
16:20 16:35	무인기 활용 그린란드 빙하 표면 관측 김승희, 이상재, 김현철 국지연구소 원격탐사빙권정보센터	
16:35 16:50	영상레이더 기반 해빙의 유형 분류와 변형 추적 박정원, 김현철 국지연구소 원격탐사빙권정보센터	
16:50 17:05	양상별 기계 학습을 통한 남극 로스해의 위성 기반 콜로로필 자료 복원 박진구, 김현철, 배덕원, 조영현* 국지연구소 원격탐사빙권정보센터*, 울산과학기술원 도시환경공학과*, 부산대학교 해양학과*	
17:05 17:20	다중분광 무인기를 활용한 그린란드 식생 관측 이상재, 김승희, 김현철 국지연구소 원격탐사빙권정보센터	
17:20 17:35	인공지능 기반 북극 해빙정보 산출 및 예측 연구 지준화, 김현철, 배지현, 이상재, 강영주* 국지연구소 원격탐사빙권정보센터*, 세종대학교 지능전기공학부*	

무인기 활용 그린란드 빙하 표면 관측

[김승희¹, 이성재¹, 김현철¹]

1. 극지연구소, 원격탐사빙권정보센터
* 교신저자: kimhc@kopri.re.kr

북극 그린란드 빙하의 유실속도는 기후변화로 인해 증가하는 추세다. 빙하 유실속도의 증가는 해수면 상승을 야기할 수 있으며 정확한 예측을 위해 정밀한 관측이 필요하다. 본 연구에서는 그린란드 서쪽 Kangerlussuaq 인근 Russell 빙하의 변화를 계산하기 위해 2021년 9월에 DJI Phantom 4 Pro 멀티콥터와 eBee 고정익 무인기를 활용하여 표면을 관측하였다. 획득한 영상의 전처리 수행 후 수치표면모델과 정사영상을 제작하였다. 2017년 7월에 촬영된 SPOT6 위성 영상과 비교하였으며 빙하 북쪽 끝단에서 2년동안 130~140 m 후퇴한 것을 확인하였다. 추후 인공위성 기반 수치표면모델과 비교를 통해 유실 속도를 계산할 수 있을 것으로 기대한다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부 국가연구개발사업 (PN20070) 의 지원을 받아 수행되었습니다.

다중분광 무인기를 활용한 그린란드 식생 관측

[이성재¹, 김승희¹, 김현철¹]

1. 한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 원격탐사빙권정보센터
* 교신저자: kimhc@kopri.re.kr

지구표면 온도 관측이 가능해진 이래로 북반구의 대기는 점점 따뜻해지고 있으며, 지난 30년의 기간은 지구관측 이래로 가장 따뜻한 기간일 것이다[1]. 북극의 온난화로 인하여 피복 식물의 변화, 기상의 변화 등 북극 생태계에 광범위한 영향을 미치고 있다. 북극지역의 토지피복 지도는 다양한 생태계 환경 관측과 감시 목적을 위해서는 필수적인 기초자료이다. 토지피복의 변화를 관측하기 위해서 다양한 원격탐사를 이용한 관측이 이루어지고 있다[2]. 본 연구에서는 무인기를 이용하여 그린란드 캥가루수아크(Greenland, Kangerlussuaq)지역의 러셀 빙하(Russell Glacier) 주변부의 다중 분광 영상을 획득하였다. Sensefly eBee와 Parrot Sequoia+ 다중분광 센서를 이용하여 Red, Green, Red-Edge, Near-infrared 및 광학카메라를 이용한 RGB 영상을 확보하였으며 영상정합기법을 이용하여 모자이크 하였다. 획득한 영상을 이용하여 러셀빙하 주변부의 NDVI, NDVI₇₀₅, SAVI 등 지수정보를 구축하였다. 구축된 지수정보 및 정사영상은 향후 캥가루수아크 러셀빙하 주변 환경변화의 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부 국가연구개발사업 무인이동체 획득 영상 기반 빙하 모니터링 기술 연구(PN20070) 연구과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.J. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.), 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*.
2. Karami, M., Westergaard-Nielsen, A., Normand, S., Treier, U., Elberling, B. and Hansen, B., 2018. A phenology-based approach to the classification of Arctic tundra ecosystems in Greenland. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, pp.518-529.



주 의

1. 이 보고서는 과학기술정보통신부에서 시행한 전략형 국제공동연구사업 연구개발과제 단계보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 과학기술정보통신부(한국연구재단)에서 시행한 전략형 국제공동연구사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안된다.