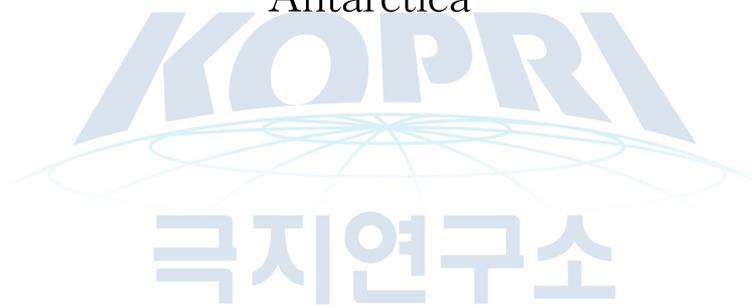


남극 내륙 진출을 위한 광역 빙권
탐사시스템구축(무인자동화 기술) 기획연구

A planning research for development of wide-range
cryosphere exploration system using unmanned
automation technology for advancement of inland in
Antarctica



2018. 04. 30

한 국 해 양 과 학 기 술 원
부 설 극 지 연 구 소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 남극 내륙 진출을 위한 광역 빙권 탐사시스템구축(무인자동화 기술) 기획연구”과제의 기획 보고서로 제출합니다.



참 여 연 구 원 : 신동섭, 정창현, 김수환,
윤동진, 최형규, 김기태,
김정훈, 박기홍, 박상중,
박태윤, 우주선, 이원영,
이춘기, 정지영, 조경호,
한영철, 김선희

공동연구책임자 : 김자현 (주)너비의 깊이

참 여 연 구 원 : 최혜리

보고서 초록

과제관리번호	PE17460	해당단계 연구기간	2017.10.01.~ 2018.4.30	단계 구분	1/1	
연구사업명	중 사업명	기본연구사업(정책지원사업)				
	세부사업명					
연구과제명	중 과제명					
	세부(단위)과제명	남극 내륙 진출을 위한 광역 빙권 탐사시스템 구축(무인자동화 기술) 기획 연구				
연구책임자	이주한	해당단계 참여연구원수	총 : 21 명 내부 : 19 명 외부 : 2 명	해당단계 연구비	정부: 50,000 천원 기업: 천원 계: 50,000 천원	
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 기술지원실		참여기업명			
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :			
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :			
요약					보고서 면수	122
<ul style="list-style-type: none"> - 남극에서의 지구환경 변화를 이해하는데 필요한 빙권 탐사와 국제적 남극 연구 선도 국가로 도약하기 위해 현재 내륙에서 수행하고 있는 빙상 연구에 기여할 필요성이 있음. - 세계적 수준의 무인항공기 기술을 접목하여 빙상 탐사 환경을 조성하여 연구 효율성 제고하고 K-Route 등의 최종 목표인 빙저호 연구와 심부 빙하시추 등의 탐사를 위한 환경을 조성하기 위한 연구 과제를 구성함. - 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입과 다중 주파수 빙하레이더 제작 및 운영기술 확보, 플랫폼 및 탐사센서의 통합 및 운영 기술 확보를 통한 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입 - 3차원 광역 빙상 및 빙저 지형 자료 획득과 공간 빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료 처리 기술 개발, 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명을 통한 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작 - 대륙규모 국제 공동 캠페인을 구성하고 데이터 공유 체계를 확립하여 Bedmap3 컨소시엄 참여 						
색인어 (각 5개 이상)	한 글	자율주행 무인기, 빙하탐사레이더, 빙저지형도, 공간빅데이터, Bedmap컨소시엄				
	영 어	Unmanned Aerial Vehicle, Ice Penetrating Radar, Spatial Big Data, Bedmap consortium				

요 약 문

I. 제 목

- 남극 내륙 진출을 위한 광역 빙권 탐사시스템구축(무인자동화 기술) 기획연구

II. 연구개발의 목표 및 필요성

○ 연구개발의 목표

- 무인 탐사 시스템을 남극 광역 빙상 탐사에 활용하여 빙저 지형도 작성 및 이를 통한 동남극 연구 거점 확대

○ 필요성

- 남극은 평균 2,000 m 이상의 얼음으로 덮여 있으며 그 하부의 빙저지형은 매우 복잡한 구조로 이루어져 있음. 특히 남극면적의 44.7%가 평균해수면 아래에 위치하고 있어 실제 빙하의 두께는 해수면 위로 상승한 것보다 더 높음
- 대륙의 빙저지형도(Bedmap)는 항공 빙하레이더 탐사로 이루어지며 남극 내륙 연구에 있어서는 필수적으로 수행되어야 하는 연구로 K-Route 등의 최종 목표인 빙저호 연구와 심부 빙하시추 등의 내륙 탐사를 위한 환경을 조성하기 위한 연구 과제를 개발할 필요성이 있음

III. 국내외 동향 및 환경 분석

○ 국내외 정책 동향

- 무인기 기술

- 국토부, 과기정통부 : 드론산업발전 기본계획('17~21)
- 과기정통부(미래창조과학부) : 무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략 발표
- 산업통상자원부 : 무인기 산업생태계 분야별 추진 계획 발표

- 극지 빙권 탐사(센싱)기술

- 제3차 남극 연구활동 진흥 기본계획('17~' 21) : 실용화 상용화 및 융·복합 연구 추진
- 해양수산발전기본계획('11~' 20) : 신성장동력 창출을 위한 해양과학 기술 개발

○ 연구동향

- 장거리 무인기 운용 기술

- 무인체의 시장규모 및 산업분야의 확대(2023년 124.7억달러 및 8.8억달러 예상)

- 국내 경우 2014년 기준 1,000억원 규모에서 2028년까지 연간 1.6조원(누적기준) 시장으로 확대될 것으로 예상

- 빙저 탐사 기술

- Bedmap2 컨소시엄에 참여한 14개국중 남극대륙에 기지를 갖고 있지 않은 나라는 덴마크가 유일하고, 대륙에 기지를 운영하며 컨소시엄에 참여하지 않은 나라는 남아공, 아르헨티나, 인도, 대한민국 4개국으로 이중 남아공과 인도는 3차 컨소시엄 합류 준비 중
- CRISIS는 미국의 대표적인 무인항공기를 이용한 빙상 원격 탐사탑으로 NASA와 더불어 미국의 빙권 연구를 주도

○ 연구분야별 기술 수요 분석

연구분야	주요 연구내용	필요기술
지질 및 지구물리	<ul style="list-style-type: none"> ○ 빙역학에 끼치는 지질학적 요인 ○ 얼음으로 덮인 환경에서 열개 작용의 지구 역학적 원인 이해 ○ 빙저면 산의 용기와 남극 빙상 및 지구 기후의 발전과 진화 사이의 상호작용 ○ 빙저호의 분포, 성격, 기원 규명과 지각구조와 Heat flux와의 상관관계 ○ 대륙 성장과정에서 동남극 대륙의 역할 ○ 남극 대륙의 확장시기와 규모, 지구의 판 운동에 끼친 영향 	빙하하부 지각구조 탐사기술
		빙권 지구물리 탐사 기술
		남극 고지형 탐사기술
		열플렉스 탐사기술
		빙저호 및 퇴적물 분포 측정 기술
		빙하하부 암석 재구성 기술
		빙저호 탐사 기술
빙하학	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기후 변화와 빙상사이의 상호작용 ○ 빙역학의 주요 제어장치와 상호작용 ○ 빙저호 분포, 특성, 상호 연결과 관련된 수문학 ○ 남극 연안 지역이 기후 변화에 미치는 역할 	빙상의 부피 측정기술
		빙상 평형 측정 기술
		빙하 시추기술
		Sub-Ice 탐사기술
		빙상 측지 기술
		남극시스템의 상태, 변화, 과정, 상호 관계를 포함하는 빙상 모델링 기술
		빙하 하부 지형 조사 기술
		빙저 수문 시스템 탐사 기술
해양-빙하-대기 상호작용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 남극 대기가 지구 대기에 미치는 영향 ○ 지구 기후변화에서 남극 Heat sink의 역할 규명 ○ 남극 대륙의 산악 지형이 지구 대기 순환과의 상관관계 규명 ○ 남극 빙상과 해수면 변화의 상관관계 ○ 남극해의 대기-해양 상호작용의 특징 규명 	해양환경에서 음파 탐지 기술
		기후 다양성 탐사 및 정보 네트워크 기술
		측심(수심측량) 기술
		해양 순환 시스템 탐사 기술
		구름 미세물리 탐사 기술
		빙하의 미세 지형정보 탐사기술(대기 흐름 이해)
		빙하 부피, 유동 탐사 기술
		극지의 근해, 해안절벽, 빙하 중심부에서 대기 물 순환 측정 기술
		폴리나에서 열과 플렉스 측정 기술

IV. 연구개발 과제 구성 및 추진 전략

Vision	무인 탐사시스템을 활용한 남극 대륙 빙저 지형(Bedmap)조사
Mission	융복합 기술개발을 통한 극지 종합 탐사 시스템 구축 및 극지 탐사 영역 확장
R&D Goal	<ul style="list-style-type: none"> - 빙권탐사용 무인 탐사 시스템 도입 - 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작 - Bedmap3 컨소시엄 참여
Strategy	<ul style="list-style-type: none"> - 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입 - 다중 주파수 빙하 레이더 제작 및 운영기술 확보 - 플랫폼 및 탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보 - 3차원 광역 빙상 및 빙저지형 자료 취득 및 공간빅데이터 기반 자료관리 처리 기술 개발 - 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명 - 대륙규모 국제 공동 캠페인 주도 및 Bedmap3에 핵심적인 국가로 도약

V. 본과제 구성

- 목표 : 무인 탐사 시스템을 남극 광역 빙상 탐사에 활용하여 빙저 지형도 작성 및 이를 통한 동남극 연구 거점 확대
- 과제 구성
 - 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입
 - 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입
 - 다중 주파수 빙하레이더 제작 및 운영 기술 확보
 - 플랫폼/탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보
 - 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작
 - 3차원 광역 빙상 및 빙저 지형 자료 획득
 - 공간 빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료 처리 기술 개발
 - 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명
 - Bedmap3 컨소시엄 참여
 - 대륙규모 국제 공동 캠페인 구성
 - 데이터 공유체계 구성

○ 연구추진체계



S U M M A R Y

I. Title

- A planning research for development of wide-range cryosphere exploration system using unmanned automation technology for advancement of inland in Antarctica.

II. Purpose and Necessity of R&D

- Purpose of R&D
 - Development of Bedmap and expansion of east Antarctic research base by exploration of the Antarctic ice sheet using the unmanned survey system.
- Necessity
 - Antarctica is covered by an average of more than 2,000 m of ice, and the lower glacial terrain has a very complicated structure. In particular, 44.7% of the Antarctic area is located below the mean sea level, so the actual thickness of glaciers is higher than seen above sea level.
 - The continental glacier bedmap consists of airborne ice radar survey and is an indispensable study for the Antarctic inland studies. It is necessary to develop a research project to create an environment for inland exploration such as subglacial lakes study and deep ice glacier drilling, which are the final goals of K-Route project.

III. Domestic and overseas trends and its environmental analysis

- Policy trends of domestic and overseas
 - UAV technologies
 - Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Ministry of Science and ICT : Basic plan for Dron industrial development(' 17~21)
 - Ministry of Science and ICT : Announcement of Unmanned mobile technology development and industrial growth strategy.
 - Ministry of Trade, Industry and Energy : Announcement of plans for the field of unmanned industry ecosystem.
 - Survey and sensing technology of polar area

- The 3rd Antarctic Research Activity Promotion Basic Plan ('17 ~ '21): Commercialization, commercialization and fusion research
- Basic plan of marine fisheries development('11~' 20) : Development of marine science technology to create new growth engine.
- Research trends
 - Long range unmanned operation technology
 - Expansion of market size of unmanned robots and its industrial field (Expected to be USD12.47bn and USD8.8bn in 2023)
 - The domestic market is expected to grow from KRW 100 billion in 2014 to KRW 1.6 trillion(cumulative basis) in 2018
 - Subglacial exploration technology
 - Among the 14 countries that have participated in the Bedmap2 consortium, Denmark is the only country that has no base in Antarctica, and the four countries that operate bases in Antarctica, but do not participate in the consortium are South Africa, Argentina, India and South Korea. South Africa and India are preparing for third consortium joining.
 - CReSIS is led remote sensing of cryosphere using unmanned aerial vehicles with NASA in US.

극지연구소

○ Analysis of technology demand by research field

Research Field	Research contents	Required technology
Geology and Geophysics	<ul style="list-style-type: none"> ○ The geologic controls on ice-sheet dynamics ○ The geodynamics of rifting in an ice-covered environment ○ The feedbacks between mountain uplift and the development and evolution of the Antarctic ice sheet and global climate ○ The distribution, nature, and origin of sub-glacial lakes and what is their relation to crustal structure and heat flux ○ The role of East Antarctica play in Precambrian continental growth processes ○ The timing and magnitude of Mesozoic to Cenozoic extension in Antarctica, and how did it affect the global plate-motion circuit 	Exploration technology of the subglacial structure
		Geophysical exploration technology of cryosphere
		Antarctic old terrain exploration technology
		Thermal flux exploration technology
		Subglacial lake and sediment distribution measurement technology
		Technology of reconstruction for subglacial rocks
		Exploration technology of subglacial lakes
Glaciology	<ul style="list-style-type: none"> ○ The relationship between climate change and the ice sheets? ○ The controls and interactions governing ice-sheet dynamics? ○ The distribution, nature, and interconnection of sub-glacial lakes? ○ The current dynamics of coastal areas? 	Ice sheet volume measurement technology
		Ice sheet balance measurement technology
		Glacier drilling technology
		Sub-Ice Exploration Technology
		Ice sheet geodesy technology
		Ice sheet modeling technology
		Glacier subsurface survey technology
		Exploration technology for glacier hydrological system
Interaction among Marine-Glacier-Atmosphere	<ul style="list-style-type: none"> ○ Antarctic atmospheric processes linked to the rest of the global atmosphere ○ The role of the Antarctic atmospheric heat sink play in global climate ○ The role of mountainous topography of Antarctica impact the global atmospheric circulation ○ The role of the Antarctic ice sheets play in global sea-level variability ○ The nature of air-sea interactions over the Southern Ocean 	Sonic detection technology in marine environment
		Climate diversity exploration and information network technology
		Sounding (depth surveying) technology
		Ocean circulation system exploration technology
		Cloud micro-physics exploration technology
		Glacier micro-terrain information exploration (understanding atmospheric flow)
		Atmospheric water circulation measurement technology in polar water, coastal cliffs, and glacier
		Heat and flux measurement technology in Polynya

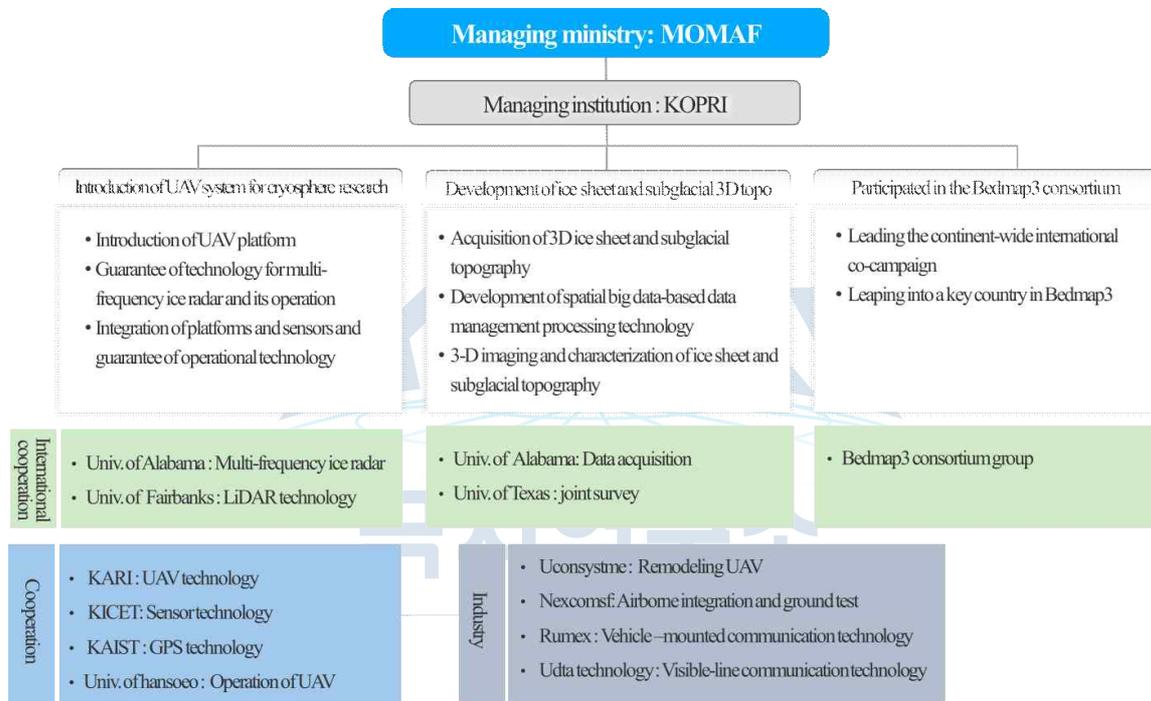
IV. R&D Strategy

Vision	Antarctic subglacial topography (Bedmap) survey using unmanned exploration system
Mission	Establishment of polar exploration system and expansion of research area through development of fusion technology
R&D Goal	<ul style="list-style-type: none"> - Introduction of unmanned system for cryosphere exploration - Development of ice sheet and subglacial 3D topography - Participated in the Bedmap3 consortium
Strategy	<ul style="list-style-type: none"> - Introduction of unmanned automated exploration platform - Guarantee of technology for multi-frequency ice radar and its operation - Integration of platforms and exploration sensors and guarantee of operational technology - Acquisition of 3D ice sheet and subglacial topography and development of spatial big data-based data management processing technology - 3-D imaging and characterization of ice sheet and subglacial topography - Leading the continent-wide international co-campaign and leaping into a key country in Bedmap3

V. Organization of main project

- Purpose : Development of Bedmap and expansion of east Antarctic research base by exploration of the Antarctic ice sheet using the unmanned survey system.
- Designing project
 - Introduction of unmanned system for cryosphere exploration
 - Introduction of unmanned automated exploration platform
 - Guarantee of technology for multi-frequency ice radar and its operation
 - Integration of platforms and exploration sensors and guarantee of operational technology
 - Development of ice sheet and subglacial 3D topography
 - Acquisition of 3D ice sheet and subglacial topography

- Development of spatial big data-based data management processing technology
 - 3-D imaging and characterization of ice sheet and subglacial topography
 - Participated in the Bedmap3 consortium
 - Leading the continent-wide international co-campaign
 - Leaping into a key country in Bedmap3
- Research promotion system





목 차

제 1 장 서론	1
1. 남극	3
가. 지질, 지구물리학적 관점	3
나. 빙하학적 관점	4
2. 과학적 과제	5
가. 지질, 지구물리학적 관점	5
나. 빙하학적 관점	7
제 2 장 기획과제 개요	11
1. 기획과제의 필요성 및 목표	13
가. 기획과제의 배경	13
나. 기획 과제의 필요성	13
다. 기획과제의 추진 근거	14
2. 기획과제의 목표 및 연구내용	16
3. 연구 개발 목표별 사용 연구비	17
4. 기획과제 추진 일정	18
5. 기획과제 예산 및 수행체계	18
가. 예산	18
나. 기획연구 수행 체계	18
6. 동향조사 및 환경분석	20
가. 국내 정책 동향	20
나. 국내외 시장동향	21
다. 국외 기관 동향	23
라. 국내외 기술 동향(논문, 특허, 관련 연구사업)	26
7. 연구개발과제 구성 및 추진 전략	28
가. SWOT 분석	28
나. 전략수립	29
8. 연구 방향 및 비전	30
9. 극지 탐사를 위한 기술 수요분석	30
가. 지질, 지구물리	30
나. 빙하학	32
다. 해양-대기-빙상 상호작용	33
10. 수요분석 결과	36
가. Bedmap의 중요성	36
나. 본과제 추진 방향	36

제3장 본 과제 내용	37
제 1 절 본 과제 개요	39
1. 본 과제 목표 및 내용	39
가. 연구 목표	39
나. 연구내용	39
2. 본 과제의 파급효과	40
가. 기술적 측면	40
나. 경제 산업적 측면	40
3. 세부과제 수립을 위한 고려사항	41
제 2절 과제의 특징	43
1. 세부과제 구성	43
2. 기술개발에 따른 과제별 As-Is/ To-Be	44
가. 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입	44
나. 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작	47
다. Bedmap3 컨소시엄 참여	50
3. 세부과제별 주요 내용	51
가. 연구개발 목표 및 주요 연구내용	51
나. 연차별 목표 및 내용	52
다. 추진체계 및 세부과제 간 연계성	55
라. 선행 연구과제와의 중복성 검토	56
마. 로드맵	58
바. 성과의 활용 및 실용화 방안	59
사. 인력투입계획 및 소요예산 산정	60
아. 기대효과	62
제 4 장 경제성 분석	67
1. 경제성 분석 개요	69
2. 투자계획 검토	71
가. 비용내역	71
나. 비용 적정성 검토	74
3. 효과 추정	80
가. 분석 방법론 선정	80
나. 비용효과분석	84
4. 기대효과	91
참고문헌	102

그 립 목 차

그림 1. BEDMAP2의 커버리지	5
그림 2. 무인체 시장 규모	22
그림 3. 남극에서 센서 관련 논문의 연간 출판 항목(좌)과 연간 피인용 수(우). 2000년대 들어 급격한 증가율을 보이고 있음(총 논문수 211편, 인용회수 10,976편, 출처: Web of Science)	27
그림 4. 남극에서 항공기(무인기 포함)를 이용한 논문의 연간 출판 항목(좌)과 연간 피인용 수(우). 논문의 출판율은 2013년 이후 급격히 증가하고 있으며 인용수도 증가하고 있음(총 논문수 393편, 인용회수 8,953편, 출처: Web of Science)	27
그림 5. 남극에서 Radar를 이용하여 빙하탐사를 수행한 논문의 연간 출판 항목(좌)과 연간 피인용 수(우). 논문의 출판율은 2013년 이후 급격히 증가하고 있으며 인용수도 증가하고 있음(총 논문수 1,269편, 인용회수 27,772편, 출처: Web of Science)	27
그림 6. 주요 국가별 빙저 지형 탐사 축선과 그 결과(빙저호)	36
그림 7. 본과제의 파급효과	40
그림 8. 탐사 플랫폼 설계 목표 범위 - 무인항공기	41
그림 9. 경제적 타당성 분석 개요	69
그림 10. 해양수산 R&D예산 추이	78
그림 11. 1안과 2안의 탐사 가능범위 비교(노란색 음영)	89
그림 12. BEDMAP2의 탐사 축선	90

표 목 차

표 1. 기획 과제 연구내용	16
표 2. 연구 개발 목표별 추정연구비	17
표 3. 기획과제 세부 추진일정	18
표 4. 무인기 산업생태계 분야별 추진계획 - 산업통상자원부	21
표 5. 국가별 주요 무인 기술개발 실적	25
표 6. STEEP 분석 - 무인체 기반 극지탐사	28
표 7. 환경분석 - 무인체 기반 극지탐사	29
표 8. SWOT 분석 - 무인체 기반 극지 탐사	29
표 9. 기술수요 요약	35
표 10. 공통 탐사 장비 분석	42
표 11. 세부과제 구성 내역	43
표 12. 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입 - As=Is/To-Be	44
표 13. 다중 주파수 빙하레이더 기술 개발 - As-Is/To-Be	45
표 14. 플랫폼/탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보 - As-Is/To-Be	46
표 15. 3차원 광역 빙상 및 빙저지형 자료 획득 - As-Is/To-Be	47
표 16. GIS/빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료처리 기술 개발 - As-Is/To-Be	48
표 17. 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명 - As-Is/To-Be	49
표 18. Bedmap3 컨소시엄 참여 - As-Is/To-Be	50
표 19. 세부별 성과활용 및 실용화 방안	59
표 20. 지표별 정량적 성과	63
표 21. 국가연구개발사업의 비용검토를 위한 분석체계	70
표 22. 총괄투자 계획	71
표 23. 소요자원별 투자계획	72
표 24. 소요장비 및 연도별 장비가액	73
표 25. 연도별 소요인력	73
표 26. 비목별 투자계획	74
표 27. 키워드 검색을 통해 도출한 분석대상 과제(5건)	76
표 28. 유사과제와의 연구비 규모 비교	77
표 29. 동 사업 소요예산의 조달가능성 추정	79
표 30. 비용효과분석의 적용이 가능한 R&D사업 유형	81
표 31. 동 과제 관련 특허의 기술수명주기(TCT)	85

표 32. 대안별 비용구조 비교	86
표 33. 현행 유인기 활용 탐사방식의 비용 내역	87
표 34. 동 과제의 무인탐사플랫폼 개발비용	87
표 35. 비용 효과 분석	88
표 36. 주요 해외 선진국의 무인기 활용 극지탐사 동향	93
표 37. 동 과제 추진으로 인한 연구효율성 증대	98





제 1 장 서론





1. 남극

가. 지질, 지구물리학적 관점

남극 연구에 있어서 지질학 및 기후 시스템은 핵심 요소로 여겨진다. 현재의 남극 대륙은 Rodinia 및 Gondwana 초 대륙의 형성과 분리에 중심적인 역할을 했다. Gondwana의 초기 신생대에는 대륙 분리로 남극 순환류 (Antarctic circumpolar current : ACC)가 생성됨으로써 남극 대륙을 중위도의 해양성 흐름으로부터 격리시켰다. 이는 세계기후에 영향을 주었으며 남극의 98%이상을 덮고 있는 빙상 형성에 크게 기여했다. 남극이 세계 지질학 및 기후 시스템에 밀접하게 연계되어 있고 남극 대륙이 현재의 지구 환경을 형성하는 데 중심적 역할을 했음에도 불구하고 지구관구조론과의 연결성과 세계에 남아있는 주요 빙상과의 관계 및 역할은 여전히 풀지 못한 숙제로 남아있다. 남극 대륙의 지질 및 지각 발달에 대한 현재의 지식은 주로 주변에 있는 암석으로부터 유추된다. 호주, 남부 아프리카 및 남미와 같은 주변 대륙의 지질 구조에 대한 지식은 남극 대륙의 한 부분에 대한 제한된 지질 정보를 이용하여 이해하는 셈이다.

지금까지 발견된 대륙 내부의 지구 물리학적 빙저 지형은 1957년 IGY (International Geophysical Year) 기간의 탐사 및 미국, 영국, 덴마크, 러시아공동으로 1970년대에 LC-130 및 Ilyusin 장거리 항공기를 사용한 지질학 프로파일 연구를 들 수 있다. 최근 몇 년 동안, 소규모의 지구물리학적 횡단면 조사를 통해 동남극의 지질학적 구조와 지구조적 발달의 원인을 밝혀내는 중요한 단서를 찾아냈다. 하지만 여전히 IGY 50주년이 넘었는데도 불구하고, 대륙 전체에 걸쳐 빙하 하부 암반 고도, 암석학, 구조, 나이, 지각 변동이력, 얼음량과 같은 근본적인 1차 매개 변수 조차 현재까지 잘 알려져 있지 않고 있다. 동 남극 경계에 노출 암석의 지질학적 자료는 초 대륙 진화의 주요 변화를 반영하는 3.2억년에서 150만년사이의 역사를 보여주지만, 과거의 지질학적 사건에 대한 상세한 시·공간 모델은 현재 엄청난 얼음으로 덮여있어 추정하기 어렵다.

지구 동역학은 계속해서 빙상의 형성과 상태, 움직임 등에 중요한 영향을 미친다. 예를 들어, WAIS (West Antarctic Ice Sheet)의 질량 균형과 반응은 얼음 하부 바닥의 퇴적 분지 및 지열의 분포와 같은 지질학 및 지구 물리학적 변수에 의해 강하게 영향을 받는 것으로 알려졌다(Andrew et al., 2015).

WAIS에는 완전히 녹게 되면 지구의 해수면을 5m 높이기 충분한 빙하가 있으며 짧은 지질학적 시간동안 얼음이 사라질 수 있는 잠재력이 있는 빙하들로 이루어져 있다. 과거 탐사 결과에 따르면 빙하들이 급격하고 극적으로 변화하는 곳들이 많이 발견되고 있다(Carol et al., 2003).

EAIS (East Antarctic Ice Sheet)는 WAIS보다 안정적이지만 지구 기후에 더 큰 영향을 미치고 수백만 년 동안 존재했던 수많은 빙저호들이 빙하 하부에 존재한다. 주요

관심사는 빙저호의 나이, 구조적 역사, 거주 생물상, 그리고 그 아래의 퇴적물에 포함될 수 있는 남극의 기후역사에 있다. 남극 대륙은 지구상에 7 개의 주요 암권 중 하나를 이루며 제 6 대륙으로 불리우며 4km의 얼음 아래 숨겨진 보스톡호와 같은 독특한 지질 지역을 포함하고 있다. 그러나 암석의 2 % 미만만 접근 가능하다. 광범위한 얼음지역을 감안할 때, 필드 기반의 지질학적 맵핑, 지표 기반의 지구물리학적, 암석학적 연구 결과와 항공 지구 물리학적 결과를 서로 연결하여 연구하는 것이 남극의 광범위한 암석권을 연구하는데 최선의 방법이다. 최근 수십년동안 수행해 오던 항공기를 이용한 남극의 지질, 지구물리학적 연구 수행이 없었다면 남극 암석권, 지체구조적 연구의 틀을 만들거나 발전시키기에는 불가능 했을 것이다(Carol et al., 2003).

항공 플랫폼을 이용한 새로운 관측은 위성, 기존 항공기 및 필드 프로그램의 정보를 보완할 수 있다. 미개척지역에서 빙하 표면 및 빙저 하부 암반 지형, 기반암 및 퇴적층을 연구할 수 있다. 그리고 빙하 표면, 내부, 하부의 여러 상호작용에 대한 지식을 향상시킬 수 있다.

나. 빙하학적 관점

남극은 지구에서 가장 큰 얼음 덩어리이다. 1,300만 제곱킬로미터의 면적(남한의 140배)으로 해수면을 65 m 가량 상승시키기에 충분한 양이다. 연간 강설량은 수 밀리미터의 해수면과 같기 때문에 강설량과 얼음 및 해빙된 물의 배출량 사이에 약간의 불균형은 해수면에 심각한 영향을 끼친다.

현재 연간 약 1.8 mm로 추정되는 해수면 상승의 절반은 그린란드 및 남극 빙상을 포함하는 육상 빙하가 녹기 때문일 것으로 추정하고 있다. 남극 대륙의 자료는 아직 부족하지만 WAIS의 순수설은 연간 0.2 mm에 해당한다(IPCC,2007). EAIS는 비교적 균형상태로 알려져 있지만 불확실성이 상당히 존재한다. 빙상은 동적 시스템이다. 그들의 성쇠는 지구 궤도 변동, 지구대기 조성 변화, 고체지구와 얼음 기후 해양시스템의 상호작용 등으로 인한 태양광의 변화를 포함하여 여러 요인에 의해 제어된다. 광범위한 연구에도 불구하고 주요 과학적 질문에 답을 구하기 어려운 이유이다. 지구온난화로 인해 빙상이 단기적으로 성장하거나 줄어들 것인지 여부에 대해서는 여러 의견이 분분하다. 하지만 가장 설득력있는 시나리오는 대기의 온난화로 인해 강수량이 증가하여 초기 빙상은 두꺼워졌을 것으로 보고 있다. 빙역학의 변화가 빙하의 방류 증가와 Grounding-line의 후퇴로 이어질 수 있기 때문에 보다 긴 시간규모에서는 이 추세가 바뀔 수 있을 것이다. 온난화가 임계치에 도달하면 표면으로 유출이 지배적인 배출 메커니즘이 되고, 표면의 용설수는 빙상판에 윤활제의 역할도 함으로써 빙하 배출은 더욱 증가된다. 지난 10년간 천천히 변화하는 남극 빙상에 대한 과학자들의 관점이 급격히 변하기 시작했다. 관측에 따르면, 흐름이 완전히 멈춘 얼음으로부터 다양한 속도로 흐르는 얼음에 이르기까지 흐름의 양상이 크게 변화되고 있다. 또한 빙산 칼빙이

빈번 해지고 천년 이상 오래된 빙봉이 붕괴되고 있다 (Scambos et al., 2004).

동남극 대륙의 내부 깊숙이 연장된 복잡한 흐름 패턴의 발견은, 남극 전체가 천천히 움직이는 균질한 지역이라는 새로운 가설을 뒷받침

한다(Studinger and Barrett, 2009). 이러한 발견은 빙상의 진화에 대한 더 많은 연구를 위한 커다란 동기가 되었다.

동남극 대륙의 대부분 지역은 샘플링이 잘되지 않아 비교적 연구가 덜 된 지역이다. 질량 균형을 추정하고 빙상 모델을 구성하려는 시도는 데이터의 부족으로 인해 늘 어려움을 겪고 있다. 빙하 표면의 고도와 질량 균형, 암반 및 얼음 두께에 대한 포괄적인 항공 탐사는 주로 WAIS의 로스해쪽과 EAIS의 주요 기지근처에 제한적으로 이루어졌다. RADARSAT을 이용한 맵핑을 제외하고 대부분의 주요 위성은 남극과 그 주변은 탐사 대상이 아니다. 지난 반세기 동안 남극의 수많은 곳에서 빙하 기저에 대한 연구가 수행되었지만, 동남극 정보는 아직도 많은 부분 탐사가 되어 있지 않다(Fig. 1).

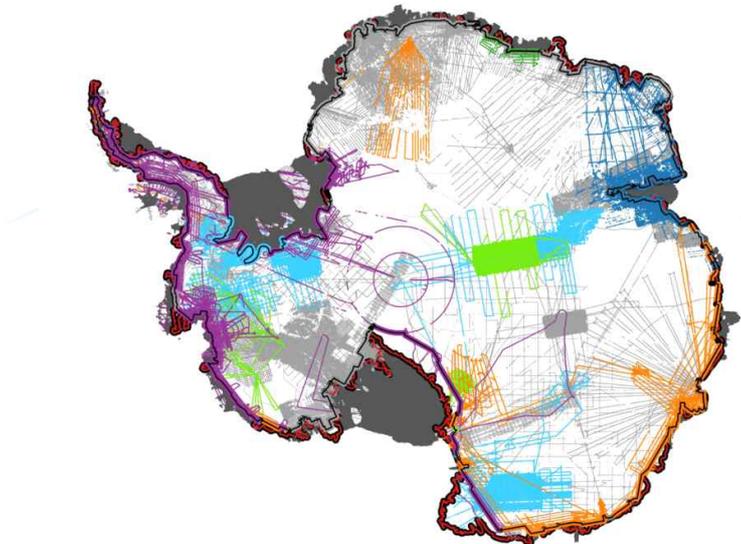


그림 1. BEDMAP2의 커버리지

2. 과학적 과제

가. 지질 지구물리학적 관점

1) 빙상과 지질

남극 대륙의 지질학 및 구조지질학적 진화에 관한 풀지 못한 질문들이 남아 있다. 크게 지질 및 빙상 역학과 지각 구조와 진화 두 부분으로 나눌 수 있다. 이 주제에 대한 연구는 남극 지구역학 과정, 빙상 역학 및 지구환경 변화 간의 상호 관계의 이해를 위한

융복합적 연구계획을 수립해야 한다. 모든 연구의 과정에 대한 개념적 이해를 필요로 하지만 모델링을 위해서는 필수적이다. 현재 남극 대륙의 1차 데이터(first-order data) 부족한 연구가 다음 단계로 나아가지 못하게 하는 주요한 요인이 된다.

- 빙역학에 끼치는 지질학적 요인은?

남극 지질 과정은 현재를 포함해서 장기간 대규모 해수면 변화에 영향을 미친 빙역학 및 지구 환경 변화를 가져왔다(Carol et al., 2003). 빙역학을 좌우하는 몇 가지 지질학적 제어장치가 있다. 지난 1 억년 동안 판운동은 남극 대륙 암석권의 분리와 남극해의 진화를 가져와 고지형과 현재의 해류 흐름을 형성했다. 동남극과 서남극 사이의 상대적인 움직임은 열개분지와 높은 지형을 만들었고 기후 및 빙상의 형성과 진화를 위한 특이한 대륙성 극지 환경을 형성했다. 최근의 확장성 지구조 운동은 열개분지를 형성하고 얼음의 바다 상태에 계속 영향을 끼치는 높은 열 흐름을 발생시켰다(Carol et al., 2003). 열개 분지의 3 차원적 형태와 얼음 아래 화산의 위치를 확인하는 것은 지구조론과 빙역학의 관계를 명확히하는 데 도움이 될 것이다. 고환경 및 빙상 모델링 연구는 고지형, 열플럭스, 빙저호 퇴적물의 분포 및 신생대 화산암의 재구성과 같은 부족한 정보와 경계 조건들로 인해 원활한 연구수행에 지장을 받고 있다.

- 얼음으로 뒤덮인 환경에서 열개작용의 지구 역학적 원인?

빙상은 지구역학 과정에 영향을 미칠 수 있다. 빠른 빙붕의 사라짐은 마그마 생성속도를 가중시킬 수 있다. 남극 대륙에서 가장 큰 신생대 화산은 EAIS와 WAIS의 가장자리에 있으며, 빙상의 성쇠가 가장 큰 곳이다.

- 산의 융기와 남극 빙상 및 지구 기후의 발전과 진화 사이의 상호작용은?

예비 빙상 모델링 연구에 따르면 Gamburtsev 빙하부 산맥은 EAIS의 시작일 가능성이 높으며, 따라서 고제삼기에 남극이 빙하로 덮이는 현상을 이해하는 데 중요한 요소가 될 수 있다. 신생대에 남극횡단산맥의 간헐적인 융기는 빙역학과 기후에 영향을 끼쳤을 것이다. 또한 기후 변화로 인해 침식률이 증가와 융기 가속화, 로스해로 침전을 초래하였을 것이다.

- 빙저호의 분포, 성격, 기원은 무엇이며 지각 구조와 Heat flux와의 관계는?

빙저호의 존재는 빙역학 및 육지 및 해양 빙하 환경에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 빙저호 연구는 지질학과 생물학적 상호 작용을 이해하는데 중요한 수단이 될 수 있다.

또한 호수의 극한 환경은 초기 지구 또는 행성의 환경과 유사할 수 있어 생명이 시작된 환경을 이해할 수 있다.

- 시간에 따른 빙상의 부피와 해수면 변동 범위는?

얼음 질량 균형과 해수면 사이의 관계를 이해하려면 현재의 빙상의 부피의 연구가 선행되어야 한다. 남극 빙상 부피의 정확한 값은 산소동위원소 자료로부터 해수면 변화 곡선을 보정하는데 사용되어 질 것이다.

2) 남극의 지각 구조와 진화

전지구 동력학 과정에서 남극 대륙의 역할을 풀기 위해서는 잘 알려지지 않은 동남극 순상지와 서남극 기반에 대한 기본적인 이해가 필요하다.

- 선캄브리아기 대륙 성장 과정에서 동남극 대륙의 역할?

동남극 대륙은 Rodinia와 Gondwana와 같은 초기 초대륙에서 중앙 위치를 점하고 있었으며 선캄브리아기 지각의 약 15 % 이상을 차지할 수 있기 때문에, 후기 시생대에서 중기 원생대에 대륙성장을 관장하는 과정을 이해하는데 매우 중요하다. 화성활동의 역할, accretionary tectonics, 대륙의 분리 그리고 섭입 등을 포함한다. 지구조, 침식, 침강 및 빙하 역사는 동남극 퇴적분지의 나이, 압질, 3차원적 구조를 파악함으로써 결정할 수 있다(Carol et al., 2003).

- 남극 대륙에서 중생대에서 신생대까지 확장 시기와 규모는? 지구의 판 운동에 끼친 영향?

중생대 후기에 확장은 호주와 뉴질랜드가 남극 대륙에서 융기되었다. 해빙으로 인해 선박이 접근하기 어렵기 때문에 남극 대륙 주변의 대륙 경계선의 넓은 지역에 대해서는 거의 알려져 있지 않다.

남극 대륙에서 확장, 융기 및 화성활동의 시기를 연구하기 위해 얼음으로 덮인 지역의 항공 지구물리 탐사가 필요하다. 이 정보는 동서남극 사이의 대륙의 분리와 상대적 움직임의 메커니즘을 결정하는데 필요하다.

나. 빙하학적 관점

- 기후 변화와 빙상 사이의 관계는?

빙상의 성장과 수축은 지구 기후 시스템의 변화와 밀접하게 연관되어 있다. 예를들어, 지구 표면 온도의 변화는 빙하의 해빙을 증가 시키거나 눈의 지속 시간을 결정한다. 그러나 빙상의 수축이나 팽창은 지구의 알베도에 영향을 미쳐서 지표에서 열 수지를 변화시킨다. 기후 시스템과 빙역학 간의 이러한 연계는 시공간적으로 대규모로 발생한다. 눈의 축적과 압축과정은 일년에서 수세기에 걸쳐서 진행되고, 내부 또는 외부에서의 힘에 의한 빙봉의 변화는 백년에서 수 천년에 이르는 기간동안 일어나게 된다. 이 모든 과정들은 얼음의 내부에 고스란히 기록되어 있다.

극지방은 지구 기후 시스템, 해수면 및 해양, 담수 및 육상 생태계와 밀접하게 관련되어 있으며, 지구 시스템의 여러곳에서 변화를 증폭시키거나 이끌어 낼 수 있다. 이러한 연결 고리를 이해하려면 남극 빙상과 주변빙봉의 현재 구성 및 움직임을 연구하는 것이 필수적이다. 모든 남극 시스템 (해양, 해빙, 대기, 고체 지구 및 빙상)의 상태, 변화, 과정 및 상호 연결할 수 있는 다학제적 연구가 과거 빙상의 변화에 대한 이해와 미래 거동에 대한 모델을 위해 반드시 필요하다.

- 빙역학의 주요 제어장치와 및 상호 작용은?

빙역학은 빙상이 놓여져 있는 기저의 지형 및 지형 특성에 크게 영향을 받는다. 이 효과는 빙하와 기후의 상호 작용을 이해하는데 있어서 잃어버린 고리가 될 수 있다. 예를들어, WAIS 아래의 관측은, 쉽게 침식 될 수 있는 퇴적층 바닥과 빙저수의 존재가 빙하의 흐름을 빠르게 유발하는 중요한 역할을 하고 빠르게 흐르는 거의 모든 WAIS 빙하 유출을 설명할 수 있게 한다. 퇴적물과 혼합된 빙저수는 빙상 바닥에서 일어나는 저항을 감소시키기 때문에 빙상의 빠른 움직임을 가능케 한다. 그러므로 서남극 대지구대(rift system)의 과거 해양 퇴적분지 내의 쉽게 침식될 수 있는 퇴적물과 지열 플럭스 분포는 빙하 흐름의 경로에 영향을 끼치고 빙하 흐름의 양상을 바꾸어 놓는다. 이러한 과정을 더 잘 이해하기 위해 빙하 흐름의 메커니즘 및 축적과 빙하 내부의 과정 사이의 상호 작용, 기초수문과 열 흐름의 영향과 같은 빙역학에 지질학적 역할을 추가하여 더 많은 연구가 필요하다.

내제되어 있는 요소들을 특성화함으로써, 복잡한 경계 조건을 갖는 보다 현실적인 빙상 모델을 개발할 수 있으므로 더 나은 예측 기능이 가능 할 것이다. 빙하 하부의 지형에 대한 상세한 조사는 소규모 지역 고원 빙하에서 대륙 규모의 빙상으로 남극 빙상의 생성 진화에 대한 정보를 제공할 것이다.

- 빙저호의 분포, 특성, 상호연결?

가장 유명한 빙저호인 보스톡 (Vostok) 외에도 남극 빙상 아래 400 개 이상의 빙저호가 확인되었다(Siegert et al., 2016)

빙저 지질학과 빙역학의 상호작용에 의해서 생성된 빙저 수문학은 극한환경에서의 생명체가 존재할 수 있는 잠재적인 서식처가 될 수 있다.

빙저면은 지구상에서 가장 접근하기 어려운 장소 중에 하나이며, 이것은 남극 빙상에서 가장 연구가 덜된 부분이다. 빙하의 기저면의 녹는 현상은 지열에 의해 발생한다. 수문학적 구배(Hydrological gradient)에 따라, 빙하의 용융된 물은 바다쪽으로 흐르며 상호 연결되어 있는 빙저 수문시스템을 형성한다. 수심은 일반적으로 밀리미터에서 미터 규모이지만, 빙저수는 지형적으로 함몰된 곳에 축적되고 빙저호의 형태로 관찰될 수 있을 것이다. 빙저호들과 이들을 상호 연결하는 빙저수문학적 시스템은 생명의 서식지를 제공한다. 수백만 년 동안 대기과 격리된 빙하아래의 환경은 화성이나 유로파의 얼음 환경에 가장 가까운 곳이라고 할 수 있다. 지질학, 지형 및 기후가 빙상 흐름과 생명을 지탱할 수 있는 빙하의 수문학적 시스템의 특성에 어떻게 영향을 미치는지 이해 하는 것은 극지연구의 가장 흥미로운 과제 중하나이다.

-연안 지역의 역동성은?

최근 관측에 따르면 남극 반도 주변에는 빙붕이 얇아지거나 분리되는 등의 중요한 변화가 나타나고 있다. 이러한 급격한 변화는 온난화 및 해수 온도에 기인한다(Trusel et al., 2015)

남극 반도의 빙하는 해수면 상승에 있어 크게 중요하지 않지만, 일부 모델은 남극 "본토"의 거대한 빙상에서 비슷한 변화가 매우 빠르게 일어날 수 있다고 보고하고 있다(Turner et al., 2014).

Larsen 빙붕의 붕괴는 상류 빙하의 안정화에 큰 영향을 끼치게 된다. 이를 토대로한 지구 환경 변화의 시나리오는 여러 가능성이 있지만 기후 변화에 관한 정부간패널(IPCC)은 남극권이 기후 변화의 민감한 지표라는 결론을 내렸다. 이러한 관찰 결과 우리는 남극 지역의 특정 지역에서 이전에 예상했던 것보다 훨씬 짧은 시간 규모로 거대한 변화가 일어나고 있음을 알게된다. 연안 지역과 그 상호 작용에서 발생하는 주요 빙하학적, 기상학적, 해양학적 과정을 연구하기 위해서는 항공 또는 위성 및 현장 관측과 모델링을 포함한 국제 공동 노력이 필요하다.



제 2 장 기획과제 개요





1. 기획과제의 필요성 및 목표

가. 기획 과제의 배경

- 남극은 평균 2,000 m 이상의 얼음으로 덮여 있으며 그 하부의 빙저지형은 매우 복잡한 구조로 이루어져 있음. 특히 남극면적의 44.7%가 평균해수면 아래에 위치하고 있어 실제 빙하의 두께는 해수면 위로 상승한 것보다 더 높음
- 대륙의 빙저지형도(Bedmap)는 항공 빙하레이더 탐사로 이루어지며 남극 내륙 연구에 있어서는 필수적으로 수행되어야 하는 연구임
- 세계적으로는 영국남극연구소(BAS)를 중심으로 국제 컨소시엄을 이루어 공동 데이터 수집 및 빙저지형도를 제작하고 있음
- 빙상의 모든 정보인 빙상의 부피, 두께, 흐름정보, 해수면변동, 빙저호, 심부빙하시추지역, 지질, 지형 등의 정보가 Bedmap으로부터 나오며 자국의 연구영역의 기득권 확보 수단이기도한 빙저지형도 제작을 빠른 시일내에 시작하고 국제 컨소시엄에 참여해야 할 필요가 있음

나. 기획 과제의 필요성

1) 기술적 측면

- 극지역과 관련된 모든 연구는 빙하의 광역적인 TIBEd(Top, Interior, Bottom, Edge)의 정보를 기본으로 하고 있으나 현 기술은 일부(Top과 Edge) 관측만 이루어지고 있어 연구의 진보와 확장을 위해서는 기술의 진전이 필요
- 미국 영국 등 선진국들의 극지 탐사기술은 많은 부분 유인 항공에 기반을 두고 있으나, 우리는 현 단계에서 육상 기반의 연구를 수행하고 있으며, 향후 극지연구에 유인 항공기 도입이 불투명하므로 이를 대체할 수 있는 무인항공기 등의 도입 활용이 시급
- 글로벌 저성장의 장기화와 Anti-Globalism이 확산될 경우 세계 각국은 자국의 경쟁력 강화 정책을 더욱 강하게 추진할 전망이며 외국 기술/협력에 의존하던 극지기술은 원천기술의 부족으로 심각한 타격을 입을 수 있음

2) 경제.산업적 측면

- 최근 활발히 이루어지고 있는 무인 자동화 기술(무인비행기 등)에 대한 극한환경 실증으로 시스템 성능 및 안정성 확보를 통해 산업으로의 기술 파급력이 클 것으로 판단되며, 국토부와 과기정통부가 추진하는 드론산업발전 기본계획('17~'21)에 우위 확보
- 무인비행기 시장은 현재 704억원이나 정부 주도로 2026년까지 4조 1,000억으로 그 규모를 신장시키고 기술 경쟁력을 세계 5위권으로 진입시키고자 하는 노력이 있으며 산업 파급효과가 높은 분야로 4차 산업을 선도하는 차원에서 시급히 추진할 필요가

있음

- Bedmap작성을 통한 남극 전역에 대한 지질 자원의 추정이 가능하며 이를 통한 국가 경쟁력 및 극한지 자원개발과 관련된 파생 산업 발생 유도

3) 과학적 측면

- 21세기 남극 연구 (COMNAP Antarctic Roadmap Challenge, 2016)는 4차 산업혁명, 무인기 등 개발에 발맞추어 무인화 및 광역화 되고 있는 추세로 극지연구를 선도하기 위해서는 ICT 및 무인기, 무인로봇 관련 기술의 빠른 적용이 불가피
- 대한민국 해양 영토 확장을 주도하고 남극 대륙탐사, 기후변화에 의한 빙권의 변화 등의 극한 지역의 선도적 과학 역량 확보와 주요 이슈 선점, 수월성 있는 극지 연구를 수행하기 위해서는 새로운 극지연구의 플랫폼과 장비가 활용되어야 함
- 내국기반 연구는 빙저호 및 심부빙하 시추 등과 같은 광역적인 연구들이 수행되어야 하는데도 불구하고 현 연구수준은 기지기반의 지역적인 연구로 한정되어 있어 연구영역을 확장하기 위해서는 새로운 연구가 추진되어야할 필요성이 있음

4) 사회·문화적 측면

- 호주연방과학산업연구기구(CSIRO) 등 6개 연구기관이 참여한 국제연구팀은 오는 2100년까지 해수면이 최고 88cm까지 오를 가능성이 있다는 연구결과를 발표했고, 기후변동에 관한 정부간 패널(IPCC) 보고서는 2030년까지 해수면이 현재보다 8~29cm 상승, 인도네시아 섬 2000개가 수몰될 가능성을 예상
- 선도적인 기후변화 대응 및 해수면 변동으로 인한 국내·외 연안 공간 관리 등에 적극 대응하기 위해 기후변화에 민감하고 기여도가 큰 남극의 광역 빙권의 상세 탐사 및 모니터링이 필요

다. 기획 과제 추진 근거

1) 4차 산업 기술을 활용한 극지연구 영역 확대

- 극지연구소는 남북극기지와 아라온호 등 독보적인 인프라를 이용한 연구 잠재력을 갖추었음에도 극지 탐사장비와 극지용 특수 센서 등과 같은 ‘소프트 인프라’ 부재로 극지연구 선진국을 넘어서는 연구결과 도출에 한계
- 전세계 극지연구는 4차 산업혁명, 무인기 등 개발에 발맞추어 무인화 및 광역화 되고 있는 추세로 극지연구를 선도하기 위해서는 ICT 및 무인기, 무인로봇 관련 기술의 빠른 적용이 불가피
- 남극 대륙 진출을 위해 빙상의 두께, 크레바스 위치 파악 등을 파악하기 위한 수단으로, 기존에 개발된 국내 무인, 항공 로봇에 극지 환경 적응 융합시스템을

개발·적용, 남극 대륙 빙저지형도(Bedmap) 파악 가능

2) 극지 및 해양 관련 정부 정책에 부합

- ‘제3차 남극연구활동진흥기본계획’(‘17~’21)에 따른 실용화, 상용화 및 융·복합 연구 추진에 부합
 - 극한지에서 운용 가능한 탐사장비 및 로봇, 무선 통신 네트워크 기술 개발 등 창의적인 융·복합 연구과제 발굴·추진
 - * 지능형 로봇, IoT, 드론산업과 직접적으로 연계되는 기술로 4차 산업혁명의 first-mover로서 기술 및 시장 선도
- ‘제3차 남극연구활동진흥기본계획’에 따른 남극 내륙진출과 미지 미답의 연구영역 개척에 부합
 - 극한지에서 운용 가능한 탐사장비 및 로봇, 무선 통신 네트워크 기술 개발 등 창의적인 융·복합 연구과제
- 해양수산발전기본계획(‘11~’20, 신성장동력 창출을 위한 해양과학기술 개발)
 - 기후변화 대응을 위한 해양과학기술 개발 및 연구 인프라 확충에 부합
 - 무인 탐사 시스템 구축으로, 기후변화에 기여도가 큰 남극의 광역 빙권의 상세 모니터링이 가능하며 선도적인 기후변화 대응 및 해수면 변동으로 인한 국내 연안 공간 관리 등에 기여

3) (투자 효율성) 관련 기술 개발로 인한 산업 파급효과 발생 및 연구 주도권 확보

- 최근 활발히 이루어지고 있는 무인 시스템(무인비행기 및 육상로봇 등)에 대한 극한환경 실증으로 시스템 성능 및 안정성 확보
 - 관련된 기술은 소재, 플랫폼, 에너지 등의 원천기술 확보와 활용에 전·후방 산업 파급효과가 높으며 우주로봇 등으로 확대 가능
- 극한 환경 로봇 기술은 아직 선진국에서도 확고한 우위를 점하지 않은 분야로 기술 선점 및 연구 주도권 확보 가능
- 대한민국 해양 영토 확장을 주도하고 남극 대륙탐사, 기후변화에 의한 빙권의 변화 등의 극한 지역의 선도적 과학 역량 확보

2. 기획 과제목표 및 연구내용

표 1. 기획 과제 연구내용

과제 목표	연구내용
<p>한국형 극지 탐사용 무인기 및 무인차 플랫폼 성능 도출</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국외 주요 선진국들의 무인 빙권 탐사시스템 개발 현황 및 동향 조사.분석 ○ 주요 선진국의 투자 동향 및 개발 전략 조사 ○ 주요 선진국의 각 연구분야(지구과학, 생물, 물리, 화학 등)별 개발 연구장비 조사 ○ 국내 주요 무인자동차 기술 개발 현황 및 동향 조사.분석 <ul style="list-style-type: none"> - 산.학.연전문가를 통한 무인플랫폼(비행기, 자동차)개발 동향 및 전략 ○ 무인기 및 무인차 핵심 성능 및 개발 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 극지역에 적합한 환경 적응 성능 제시 - 핵심 성능 및 기술, 기술간의 연계성 제시 - 탑재체를 고려한 플랫폼 성능 및 개발 방안 제시
<p>극지역 광역 빙권 탐사용 주요 핵심 센서 성능 도출</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 극지역 광역 빙권 탐사용 다중 주파수 레이더 기술 및 라이다, SAR 센서 성능 제시 및 확보 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 각 탐사 센서에 필요한 소요/핵심 기술 도출 - 관련분야 전문가의 의견수렴과 기술 수준을 고려한 탐사시스템 개발 실현 가능성 타진 ○ 무인기 활용 탑재체 개발현황 및 동향 조사분석 <ul style="list-style-type: none"> - 주요 선진국의 탑재체 개발 현황 및 동향 조사 분석 - 국내 극지 활용 가능 임무 장비의 개발 동향 및 전략 조사
<p>차세대 극지용 무인 빙권 탐사시스템 개발을 위한 추진전략 수립</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무인 빙권 탐사시스템 개발전략수립 및 단계별 투자규모 산출, 파급효과 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 극지용 무인 빙권 탐사시스템 구축을 위한 기본전략 제시 - 현 요소 기술 수준을 고려한 탐사시스템 개발 비용 및 개발 기간 산출 - 산업 및 과학계의 파급 효과 도출 ○ 관련분야 전문가네트워크의 구성 및 전문 인력 양성 계획 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 관련분야 전문가의 의견수렴과 아이디어 수집을 위한 네트워크 구성 - 국내에 산재해 있는 기술 인프라의 파악 및 활용방안 강구 - 극지 장비 개발 전문 인력 양성을 위한 전략 수립
<p>경제성 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무인 자동차 기술을 활용 광역 빙권 탐사 시스템 구축을 위한 기획연구의 국가 R&D 투자의 경제성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 남극 내륙 진출을 위한 광역 빙권 탐사시스템 구축(무인자동차 기술) 기획연구의 국가 R&D 투자의 경제성 분석

3. 연구 개발 목표별 사용 연구비

표 2. 연구 개발 목표별 추정연구비

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위	연구비 (단위 : 천원)
1차년도 (2017)	한국형 극지 탐사용 무인기 및 무인차 플랫폼 성능 도출	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국외 주요 선진국들의 무인 빙권 탐사시스템 개발 현황 및 동향 조사분석 ○ 국내 주요 무인 자동화기술 개발 현황 및 동향 조사·분석 ○ 무인기 및 무인차 핵심 성능 및 개발 방안 제시 	15,000
	극지역 광역 빙권 탐사용 주요 핵심 센서 성능 도출	<ul style="list-style-type: none"> ○ 극지역 광역 빙권 탐사용 다중 주파수 레이더 기술 및 라이다, SAR 센서 성능 제시 및 확보 전략 수립 ○ 무인기를 활용 탑재체 개발 현황 및 동향 조사 분석 	10,000
	차세대 극지용 무인 빙권 탐사 시스템 개발을 위한 추진전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무인 빙권 탐사시스템 개발전략 수립 및 단계별 투자규모 산출, 파급효과 도출 ○ 관련분야 전문가네트워크의 구성 및 전문 인력 양성 계획 수립 	5,000
	경제성 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 남극 내륙 진출을 위한 광역 빙권 탐사시스템 구축(무인자동화 기술) 기획 연구의 국가 R&D 투자의 경제성 분석 	20,000

4. 기획 과제 추진 일정

표 3 기획과제 세부 추진일정

연구내용	추진 일정							연구비 (천 원)	비고
	10	11	12	1	2	3	4		
○ 한국형 극지 탐사용 무인기 및 무인자율 주행차량 플랫폼 성능 도출								15,000	
○ 극지역 광역 빙권 탐사용 주요 핵심 센서 도출								10,000	
○ 차세대 극지용 무인 빙권 탐사 시스템 개발을 위한 추진전략 수립								5,000	
○ 경제성 분석								20,000	

5. 기획과제 예산 및 수행체계

가. 예산 : 5천만원

나. 기획연구 수행 체계

KOPRI
극지연구소

**주관연구기관
(KOPRI)**

극지연구소	국내자문	국제자문
<ul style="list-style-type: none"> 기술지원실 극지연구소 각 부서별 참여 연구원 	<ul style="list-style-type: none"> 국내 대학 및 연구소 (서울대, 건국대, 한국항공대, 인하대, 항우연, KAIST, 국민대 등) 국내 산업체 (성우엔지니어링, 언맨드 솔루션 등 20개 업체) 지능형 UAV, UGV 관련 전문가(항법, 탑재장비) 	<ul style="list-style-type: none"> The university of Alabama University of Fairbanks, Alaska. BAS
<ul style="list-style-type: none"> 국제 동향 조사 극지역 환경 적응 성능 조사 핵심 성능 및 기술, 기술간의 연계성 예산, 인력 운영계획 수립 	<ul style="list-style-type: none"> 국내외 요소기술 수준 자문 단계별 의견 수렴 기획 전 반에서 의견수렴 단계별 워크숍을 통한 기획 프로세스 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 단계별 자문회의를 통한 자문의견 청취 선진국형 대륙탐사 방법 청취 국제 공동 탐사 파트너

남극 내륙 진출을 위해 광역 빙권탐사시스템 구축에 필요한 차세대 무인 플랫폼의 도입 및 활용을 통해 남극 빙저지형도 작성과 동남극 연구거점 확대

6. 동향조사 및 환경 분석

가. 국내 정책 동향

1) 무인체 기술

가) 국토부, 과기정통부 : 드론산업발전 기본계획('17~'21)

- 무인비행기 시장은 현재 704억원이나 정부 주도로 2026년까지 4조 1,000억으로 그 규모를 신장시키고 기술 경쟁력을 세계 5위권으로 진입시키고자 하는 노력이 있음

나) 과기정통부(미래창조과학부) : 무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략 발표

- 무인이동체에 각기 적용가능한 공통기술(①공통 요소부품, ②SW플랫폼, ③ 안전운용 인프라, ④ 역기능 예방) 개발 및 확산을 통해, 기술 경쟁력 강화 및 신규기업의 기술 진입장벽 완화하는 방안을 추진
- 무인이동체 발전협의회 설치, 통합로드맵 수립, 협력사업 발굴, 법제도 정비, 인프라확충, 실용화 지원 등의 추진전략 수립을 목적으로 함
- 주요 산업엔진 프로젝트로 고속-수직이착륙 무인기 개발사업의 추진을 통해 시범운용 및 선도적 비행체 개발을 추진 중에 있음
- 전자광학/적외선 카메라, 전천후 레이더 등의 군기술을 민간의 교통, 산불·재난 감시용 무인기 등에 적용하기 위해 국방 및 민간분야 무인기의 실용화 촉진을 위한 상호 협력 추진
- 항공우주연구원을 중심으로 유무인 복합기 개발 연구가 수행되었으며 (주) 넥스컴스를 통하여 실용화가 완료

다) 산업통상자원부 : 무인기 산업생태계 분야별 추진계획 발표

- 무인기 산업 매출을 현재 165만불(세계 30위권)에서 2023년 5.1억불(세계 4위) 수준으로 끌어 올리고, 기술 수준도 세계 7위(2012년 기준)에서 2023년 세계 3위 수준까지 올라가는 것을 목표로 함
- 이를 뒷받침하기 위해 4대전략 및 10대 추진과제를 설정하여 지원 예정

표 4 무인기 산업생태계 분야별 추진계획 - 산업통상자원부

4대전략	10대 추진과제
<ol style="list-style-type: none"> 1. 시장선점 : 선도적 시장분석 및 신 시장 선점 2. 기술개발 : 선도기술 및 선도형 무인기 개발/공급 3. 인프라/인력 : 무인기 인프라 확충과 인력양성 4. 제도 : 무인기 운용 활성화를 위한 제도 확충 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 무인기 수요 활성화를 위한 시범운용 사업 2. 해외 기술선진국과의 기술협력 및 공동 마케팅 3. 무인기 및 임베디드SW 선도기술 개발 4. 무인기 획득정보 처리 및 활용 기반 구축 5. 시장 선도형 무인기 체계개발 6. 지상/비행시험 인프라 확충 7. 무인기 개발이력 및 전문 운용인력 양성 8. 무인기 전용 주파수 확보 및 이용방안 연구 9. 민간 무인기 인증/운항 제도 구축 10. 장기 산업특성에 적합한 차별화된 금융 지원 제도

2) 극지 빙권 탐사(센싱) 기술

가) 제3차 남극 연구활동 진흥 기본계획('17~'21)

- '제3차 남극 연구활동 진흥 기본계획('17~'21)'에 따른 실용화, 상용화 및 융·복합 연구 추진에 부합
 - 극한지에서 운용 가능한 탐사장비 및 로봇, 무선 통신 네트워크 기술 개발 등 창의적인 융·복합 연구과제 발굴·추진
 - * 지능형 로봇, IoT, 드론산업과 직접적으로 연계되는 기술로 4차 산업혁명의 first-mover로서 기술 및 시장 선도

나) 해양수산발전기본계획('11~'20, 신성장동력 창출을 위한 해양과학기술 개발)

- 기후변화 대응을 위한 해양과학기술 개발 및 연구 인프라 확충에 부합
- 무인 탐사 시스템 구축으로, 기후변화에 기여도가 큰 남극의 광역 빙권의 상세 모니터링이 가능하며 선도적인 기후변화 대응 및 해수면 변동으로 인한 국내 연안 공간 관리 등에 기여

나. 국내외 시장 동향

1) 장거리 무인기 운용 기술

- 무인체의 세계 시장규모는 2014년 53.1억 달러이며, 이 중 상업용 무인체가 차지하는 시장은 0.6억 달러임
- 세계 무인기 시장 및 상업용 무인기 시장은 연 평균 35%의 높은 증가율을 보이고 있으며, 2023년에는 각각 124.7억 달러 및 8.8억 달러의 규모를 가질 것으로 예상됨 (부산발전연구원, 드론을 활용한 도시관리, 2015)
- 미래창조과학부에 따르면 무인 비행체뿐만 아니라 지상 및 수중 무인체를 포함하는 무인체 시장 규모는 2015년 현재 251억 달러이며, 연간 20% 수준의 시장 증가율과 함께 2025년 기준 총 1,537억 달러의 규모를 가질 것으로 예상됨
- 국가별 무인체 시장 비율의 경우, 2012년 기준 미국 71%, 유럽 13%, 중동 7%, 아시아태평양 8% 이었지만, 2021년에는 미국의 지배력이 점차 약화되어 미국 49%, 유럽 17%, 아시아태평양 22%, 중동 9% 등으로 과점시장에서 경쟁시장으로 변화될 것으로 예상됨 (World unmanned aerial systems 2012 market profile and forecast,2012)
- 국내의 경우, 2014년 시장 규모가 1,000억 원 수준으로 전 세계 시장 규모 대비 2%수준이지만, 급격한 성장세를 보이고 있어 수년 이내로 민간 시장에 있어서는 가전시장 규모로 성장될 것으로 예상됨 (드론의 기술 및 시장 트렌드와 무한한 기회, 2015)
- 시장조사업체 노무라 마켓 리서치(Nomura Markets Research)에 따르면, 무인체 수요의 증가에 따라, 관련 산업 생태계 역시 빠르게 조성되고 있음

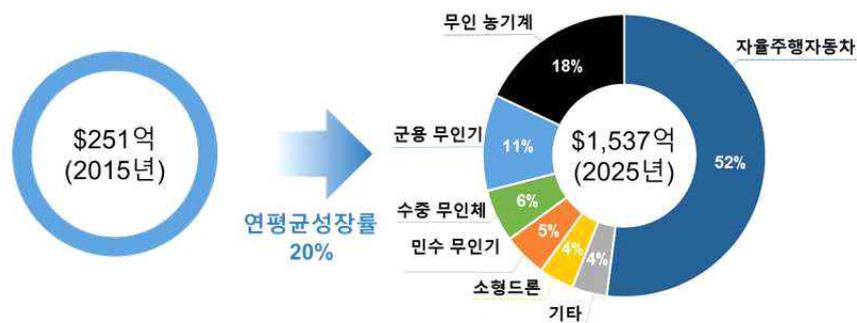


그림 2 무인체 시장규모(손훈 등, 2016)

2) 관련 사례 및 동향

- 2014년, 구글은 6000만 달러 이상을 투자하여 무인항공기 회사 '타이탄'을 인수하였고, 페이스북은 2000만 달러를 투자하여 영국의 무인항공기 회사 '에센타'를 인수하는 등 글로벌 IT 대기업이 무인항공기 사업에 관심을 보임에 따라 무인항공기 시장의 규모는 점점 커져가고 있음

- 2015년, 세계경제포럼(WEF, 다보스포럼)에서 올해 떠오르는 10대 기술 중 드론이 포함되는 등 세계 경제 전문가들이 무인항공기를 유망한 산업으로 분석하고 있음
- 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA)이 처음으로 상업용 무인 항공기 운행을 허용하여 AeroVironment사의 Puma AE 드론이 알래스카 지역 내 영국 석유 회사 British Petroleum의 시스템 및 안전 점검을 위해 사용됨
- 미국의 허가받은 민간 무인체 수는 2013년 현재 545대이며 2018년 7500대 수준으로 증가할 전망

3) 시장 확대 가능성 전망

- 무인체 기술은 군사용 목적으로 많은 연구 및 시장이 집중되어 있는 현황이나, 최근 무인체에 대한 집중적인 관심으로 의학, 교통, 재해, 안전 등 산업 여러 분야에서 무인체를 활용한 연구 진행 및 시장 형성 예상
- 본래 군사용 위주(90% 이상)로 활용되었으나 민수용인 택배·농업·재난관리 등으로도 활용될 것으로 기대되면서 시장규모 확대가 전망되며 농업용, 삼림 및 해안 감시용, 방송 및 촬영용 등의 용도로 사용 급증
- 2035년 민간분야 및 군용 무인체 시장이 유인체 시장을 앞설 것으로 예상됨. 관련 기술 개발 급증하는 반면 비용은 감소 추세에 있고 응용분야 역시 증가
- 산업 경쟁력 측면에서 차세대 고부가가치 산업으로서, 무인헬기, 제어 등 핵심기술 분야에서 선진국과의 기술 차이(미국1위, 한국 7위)가 크지 않은 반면 아직 시장형성 초기단계임
- 2015년 2월 FAA가 발표한 무인체 규제안 공고는 무인체 시장 활성화를 위한 제도적 행보로서, 미국 내 소형 무인체의 상업적 활용은 더욱 자유로워질 전망
- 국내에서도 미래창조과학부 및 산업통상자원부의 정책적 지원으로 관련 기술 개발이 촉진되고 규제가 완화됨. 민간 분야에 대한 무인체 적용이 활성화되면서 구조물 유지관리 분야에도 적용될 것으로 기대되며, 구조물 유지관리 분야와 무인체의 융합을 통한부가가치 창출을 통해 새로운 시장 개척 가능성이 있음
- 이를 위해 무인체와 비접촉식 센싱 시스템의 통합, 무인체와 내장형 센서간의 연동 등에 대한 기술 개발이 필요함

다. 국외 기관 동향

1) 미국

- (NASA) IceBridge 프로그램을 통해 극지역과 기후변화와의 관계를 이해하기

위해 항공 빙하투과 레이더(Ice-penetrating Radar) 등 다양한 센서를 항공기에 탑재하여 광역 빙권(빙하, 해빙, 빙봉의 두께 및 변화) 관측 수행

- (국립과학재단(NSF)) 유인기 탐사의 비효율성 및 위험성을 극복하기 위해 빙하탐사용 레이더, SAR 등 광역 빙권 탐사에 필요한 센서가 탑재된 무인 항공기 개발·운영(빙하원격탐사센터(CReSIS), 10년/ 약 220억원)

□ (CRREL)

- EPOLAR(Engineering for Polar Operations, Logistics, And Research) 프로그램을 운영하여 남북극(남극대륙, 그린랜드, 알래스카 등)을 중심으로 양극 극한 환경에서 기지 등 운영 문제 해결하기 위해 기계공학과 토목, 설비 공학자들과 GIS, GPR, 원격탐사 등의 과학자와 눈과 동토 전문가들로 구성된 프로그램
 - 그린랜드와 남극에서 Traverses 수행, 크레마스 회피를 위해 GPR 사용
 - 원격지 과학지원을 위한 다투머스 대학과 공동 연구 Yeti 로버 개발: GPS 웨이포인트 주행과 위험 지역 참조 기능 보유 (인공지능)
- 얼음 질량 밸런스(IMB) 부이 프로그램을 운영하여 원격으로 다년간 지속적인 관측을 통해 해빙의 변화를 관측
 - 기압, 대기 온도, 얼음 음향 측심기, 수중 음향 측심기(해빙 하부탐사용)를 개발하여 이리듐 위성으로 자료를 다년간 취득

2) 영국

- (남극연구소(BAS)) BAS는 Airborne Science and Technology 그룹에서 4개의 팀이 항공 유·무인 탐사를 주도하고 있음

- Airborne photography camera 팀: Zeiss RMK 카메라를 트윈오토에 장착하여 1:10,000, 20,000 수준의 남극 지형도를 제작하고 있으며 지질, 생태 등에도 활용하고 있음. 또한 영국 국내 수자원 관리 기관과 수자원 차트 등을 만드는 일에도 협력하고 있음
- Airborne Geophysics 팀 : 1993년 자체 개발한 중력계를 이용하여 한번에 100,000 km 이상의 자료를 취득할 수 있으며 150 MHz의 주파수를 갖는 Radar를 개발, 항공용으로 운영하여 빙저호, 빙하 등의 탐사에 활용하고 있음
- Airborne Meteorology 팀 : 항공플랫폼에 활용도가 높은 분야가 기상분야이며 BAS도 CAPS probe (구름, 에어로졸, Precipitation Spectrometer)를 개발하여 로데라 및 할리 기지 주변에서 연구를 수행. 그 외에도 20 종 이상의 자체개발 또는 커스터마이징 된 센서와 장비를 보유 운영 중
- Airborne Remote Sensing 팀 : 초분광계와 LiDAR 등의 탑재체를

이용하여 남극 지역의 디지털 맵핑(MASIC)을 수행하여 국제 맵핑프로그램을 주도하고 있음

3) 중국

- 대중형 무인기 엔진(차이홍3)을 바탕으로 무인기를 제작 운용할 수 있는 시스템이 갖추어져 있으며, 자체 개발한 Polar Hawk2 헬기형 무인기와 고정익 무인기를 이용하여 남극 Byers 반도, 장성기지 등에서 활용
- 중국은 남극 장보고과학기지 주변에 제 5기지를 건설예정(2022년 완공)이며 이미 남극 빙저지형을 탐사하기 위한 Basler를 이용한 항공 탐사시스템을 구축하고 활용

표 5 국가별 주요 무인 기술개발 실적

국가 (기관)	명칭	적용	비고
미국 (Dartmouth University)	Cool Robots (UGV)	Crevasse 탐사, 이온층의 변화측정, 지진계 및 기상관측기구 배치	
미국 (Georgia Institute of Technology)	SnoMote (UGV)	기후모델 검증을 위한 데이터 측정	
미국 (Transantarctic Expedition team)	The Moon-Regan (UGV)	40일 동안 3,600 miles을 Bio 에너지를 이용하여 남극 횡단	
미국 (Carnegie Mellon Univ.)	Nomad (UGV)	Elephant Moraine에서 운석 탐사 수행 (2000년), 자율주행기능을 갖춘 탐사로봇	
중국	HoY (UGV)	Snow-mobile 로봇. 25 km 주행가능. 적재중량 40kg	
미국	Yeti 와 Yeti2 (UGV)	크레바스탐지를 위하여 GPR을 장착하여 운행, 자율주행 기능	

국가 (기관)	명칭	적용	비고
미국	NanoSAR (탑재체)	무인항공기에 장착, 레이더를 이용하여 지형을 매핑하거나 크레바스 탐지에 사용	
영국	M ² AV (UAV)	무인비행기를 이용하여 대기과 빙하간의 열교환 데이터측정	
일본 (일본 극지연구소)	Ant-Plane (UAV)	Aeromagnetic Survey	
미국	Aerosonde™ (UAV)	Atmospheric profiling and flux studies, Mapping sea surface temperature (SST) at high resolutions	
미국	Meridian (UAV)	남극 및 그린랜드 빙하 두께 조사 및 하부 기반암, 내부구조, 해안선 정보 등 탐사	

라. 국내외 기술 동향(논문, 특허, 관련 연구사업)

- 최근 미국, 영국 등이 주도하여 빙권탐사용 센서의 개발과 이를 이용한 논문의 수가 급격하게 증가하는 경향을 보임(그림 1). 항공을 이용한 탐사와 탐사 방법에 있어서도 2013년 이후 급격히 증가(그림 2, 3)
- 남극에서의 연구 경향이 4차 산업혁명의 기술의 진보에 발맞추어 항공(무인기)를 비롯한 최신 기술을 이용한 무인 탐사 기술로 발전하고 있음을 보임

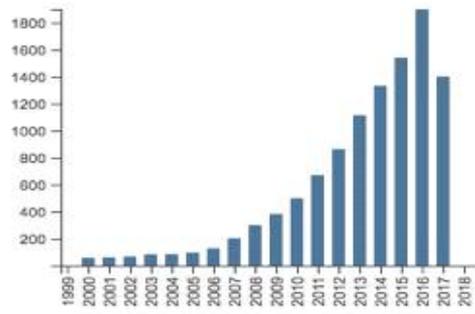
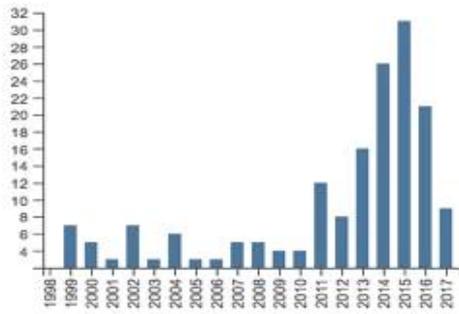


그림 3. 남극에서 센서 관련 논문의 연간 출판 항목(좌)과 연간 피인용 수(우). 2000년대 들어 급격한 증가율을 보이고 있음(총 논문수 211편, 인용회수 10,976편, 출처: Web of Science)

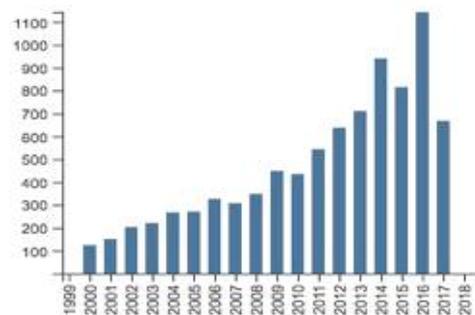
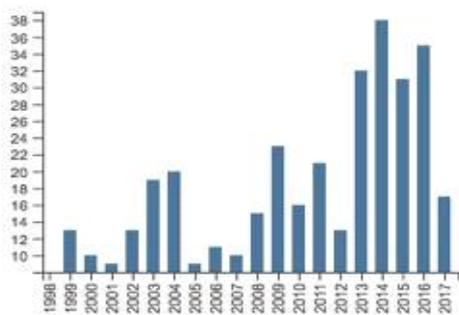


그림 4. 남극에서 항공기(무인기 포함)를 이용한 논문의 연간 출판 항목(좌)과 연간 피인용 수(우). 논문의 출판율은 2013년 이후 급격히 증가하고 있으며 인용수도 증가하고 있음(총 논문수 393편, 인용회수 8,953편, 출처: Web of Science)

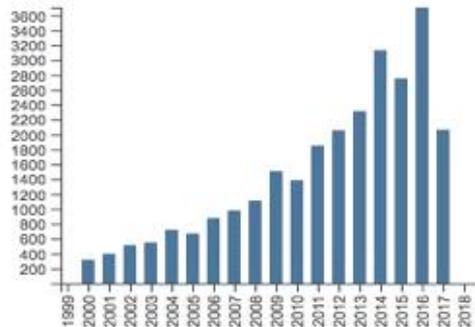
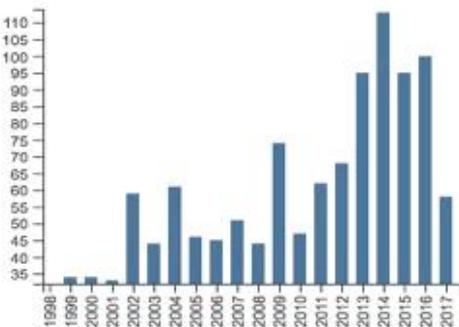


그림 5. 남극에서 Radar를 이용하여 빙하탐사를 수행한 논문의 연간 출판 항목(좌)과 연간 피인용 수(우). 논문의 출판율은 2013년 이후 급격히 증가하고 있으며 인용수도 증가하고 있음(총 논문수 1,269편, 인용회수 27,772편, 출처: Web of Science)

7. 연구개발과제 구성 및 추진 전략

가. SWOT 분석

국내외 동향 및 환경분석을 바탕으로 “무인체 기반 극지탐사”와 “내륙 중심의 탐사 영역 확대”의 경쟁력에 영향을 끼치는 인자로서 5종류의 거시적 환경요인 (사회적/기술적/경제적/환경적/정치적요인)을 분석 (STEEP분석)하고 기술개발 방향 설정에 활용함

표 6 STEEP 분석 - 무인체 기반 극지탐사

<p>Social (사회/문화)</p>	<p>Global Warming에 대한 우려 증가 해수면 상승에 대한 우려 증가 지구온난화의 심화 및 이상기후현상 증가 빙하감소 등과 같은 극지환경의 급격한 변화 → (E7) 기후변화 협약 등과 같은 국제적인 규제의 강화</p>
<p>Technology (기술)</p>	<p>무인체 및 로봇 기술의 발달로 사람의 노동력 대체, 무인체 사용 분야의 확대 레이더, 영상 및 비접촉식 센싱 기술의 발달 대용량 데이터의 저장, 처리 및 시각화에 대한 기술 발달 ICT, ET 융합을 통한 창조적인 기술시장 개척의 필요성 증가</p>
<p>Economic (경제)</p>	<p>전통적인 해양산업인 수산, 물류, 항만분야의 새로운 미래 산업화 요구 증가</p>
<p>Environment (환경)</p>	<p>Global Warming에 의한 빙하의 감소 및 해수면 상승 남극의 기후변화가 전지구에 미치는 영향 규명</p>
<p>Political (정책/법규)</p>	<p>영토 확장에 따른 외교 문제, 국가간 분쟁 소지 국가간 경제영토 확장을 위한 정책의 추진 활발화</p>

표 7 환경분석 - 무인체 기반 극지탐사

내부환경	강점 (S)	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 연구진 구성을 통한 융합/다학제적 연구 가능 - 무인체, 센싱 등 주요 기술에 대한 선행 연구 및 활용 역량 보유
	약점 (W)	<ul style="list-style-type: none"> - 무인체 운용체계의 미비 - 기존에 관련 분야들간(플랫폼, 센서)의 연계를 통한 연구 진행 미비 - Bedmap 탐사 체계 구축 미비
외부환경	기회 (O)	<ul style="list-style-type: none"> - 획기적인 극지 탐사의 필요성 증대 - 관련 주요 기술에 대한 국제적 필요성 증대
	위협 (T)	<ul style="list-style-type: none"> - 극한지 분야연구 투자 대비 경제적 성과 미비 - 국외 선진국은 동일한 방법을 통한 극지 연구 수준 높음 - 장보고기지 인근 중국기지의 건설

나. 전략 수립

강점을 이용하여 기회요인을 활용하고(SO전략) 위협 요인을 극복(ST전략)하며 기회를 이용하여 약점을 줄이고(SO전략) 위협과 약점을 최소화(SW전략)하는 포지션 별로 기술개발 전략 수립

표 8 SWOT 분석 - 무인체 기반 극지탐사

		외부환경	
		기회 (O)	위협 (T)
내부 환경	강점 (S)	<ul style="list-style-type: none"> - 무인체, 센싱 등 주요 기술에 대한 선행 연구 및 활용 역량 보유 - 획기적인 극지 탐사 기술 선점 	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 센싱기술의 개발 및 적용을 통한 산업적 활성화에 기여 - 융합/다학제적 연구 활성화를 통한 극지연구 주도권 선점
	약점 (W)	<ul style="list-style-type: none"> - 무인체 기반 탐사 플랫폼 및 운영 기술 개발을 통한 다양한 연구 기반 확대 - 극지에서 무인체 운영체계 수립 	<ul style="list-style-type: none"> - 극한지 적용을 통한 개발 기술의 검증 - 분야들간이 통합 및 연계성 강조

8. 연구 방향 및 비전

Vision	무인 탐사시스템을 활용한 남극 대륙 빙저 지형(Bedmap)조사
Mission	융복합 기술개발을 통한 극지 종합 탐사 시스템 구축 및 극지 탐사 영역 확장
R&D Goal	<ul style="list-style-type: none"> - 빙권탐사용 무인 탐사 시스템 도입 - 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작 - Bedmap3 컨소시엄 참여
Strategy	<ul style="list-style-type: none"> - 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입 - 다중 주파수 빙하 레이더 제작 및 운영기술 확보 - 플랫폼 및 탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보 - 3차원 광역 빙상 및 빙저지형 자료 취득 및 공간빅데이터 기반 자료관리 처리 기술 개발 - 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명 - 대륙규모 국제 공동 캠페인 주도 및 Bedmap3에 핵심적인 국가로 도약

9. 극지 탐사를 위한 기술 수요 분석

참여연구원과 자문위원, 자문회의 참여자 등 관련 전문가에 대한 극지연구 전체 분야에 대한 기술수요조사를 실시하였으며, 기존에 수행되었던 기획연구보고서(‘대륙기지 활용 정책 기획연구보고서’(2009) 극지연구소; 남극 제2기지(장보고 과학기지 활용 기술개발에 관한 기획연구’(2012) 교육과학기술부; ‘장보고 과학기지 건설에 따른 극지공학 분야 기획연구’(2014), 한국해양과학기술원,)와 SCAR Horizon scan(2014)와 COMNAP ARC(2015)를 바탕으로 극지 연구와 관련된 기술에 대한 기술수요조사 실시함

가. 지질, 지구물리

- 남극 대륙의 지질학 및 구조지질학적 진화에 관한 풀지 못한 질문 해결
 - 지질 및 빙상 역학
 - 지각 구조와 진화
- 남극 지구역학 과정, 빙상 역학 및 지구환경 변화 간의 상호 관계의 이해를 위한 융복합적 연구계획을 수립
- 모든 연구의 과정에 대한 개념적 이해를 필요로 하지만 모델링을 위해서는 필수적
- 현재 남극 대륙의 1차 데이터(first-order data) 부족한 연구가 다음 단계로 나아가지 못하게 하는 주요한 요인

1) 빙역학에 끼치는 지질학적 요인 이해

- 남극 지질 과정은 현재를 포함해서 장기간 대규모 해수면 변화에 영향을 미친 빙역학 및 지구 환경 변화 초래(Carol et al., 2003).
- 고환경 및 빙상 모델링 연구는 고지형, 열플럭스, 빙저호 퇴적물의 분포 및 신생대 화산암의 재구성과 같은 부족한 정보와 경계 조건들의 이해 필요

2) 얼음으로 뒤덮인 환경에서 열개작용의 지구 역학적 원인 이해

- 최근의 확장성 지구조 운동은 열개분지를 형성하고 얼음의 바닥 상태에 계속 영향을 끼치는 높은 열 흐름을 발생(Carol et al., 2003). 열개 분지의 3 차원적 형태와 얼음 하부 화산의 존재 및 위치 확인은 지구조론과 빙역학의 관계를 명확히 하는 데 필요

3) 산의 용기와 남극 빙상 및 지구 기후의 발전과 진화 사이의 상호작용 이해

- Gamburtsev 빙하부 산맥은 EAIS의 시작일 가능성이 높으며, 따라서 고제삼기에 남극이 빙하로 덮이는 현상을 이해하는 데 중요한 요소임
- 신생대에 남극횡단산맥의 간헐적인 용기는 빙역학과 기후에 끼친 영향 이해와 또한 기후 변화로 인해 침식률이 증가와 용기 가속화, 로스해로 침전을 초래

4) 빙저호의 분포, 성격, 기원은 무엇이며 지각 구조와 Heat flux와의 관계 이해

- 빙저호의 존재는 빙역학 및 육지 및 해양 빙하 환경에 중요한 영향을 미침
- 빙저호 연구는 지질학과 생물학적 상호 작용을 이해하는데 중요한 수단이며, 호수의 극한 환경은 초기 지구 또는 행성의 환경과 유사할 수 있어 생명이 시작된 환경을 이해하는데 필수

5) 시간에 따른 빙상의 부피와 해수면 변동 범위 이해

- 얼음 질량 균형과 해수면 사이의 관계를 이해하려면 현재의 빙상의 부피의 연구가 선행 되어야 함
- 남극 빙상 부피의 정확한 값은 산소동위원소 자료로부터 해수면 변화 곡선을 보정하는데 사용될 수 있음

6) 선캄브리아기 대륙 성장 과정에서 동남극 대륙의 역할 이해

- 동남극 대륙은 Rodinia와 Gondwana와 같은 초기 초대륙에서 중앙 위치를 점하고 있었으며 선캄브리아기 지각의 약 15 % 이상을 차지
- 후기 시생대에서 중기 원생대에 대륙성장을 관장하는 과정을 이해하는데 매우 중요한 화성활동의 역할, accretionary tectonics, 대륙의 분리 그리고 섭입 등에 대한 이해 필요

- 지구조, 침식, 침강 및 빙하 역사는 동남극 퇴적분지의 나이, 압질, 3차원적 구조를 파악함으로써 결정할 수 있음(Carol et al., 2003).

7) 남극 대륙에서 중생대에서 신생대까지 확장 시기와 규모와 지구의 판 운동에 끼친 영향 이해

- 중생대 후기에 확장은 호주와 뉴질랜드 쪽에서의 연구는 활발하나 남극에서는 해빙으로 인해 선박이 접근하기 어려워 대륙 주변의 대륙 경계선의 넓은 지역에 대해서는 거의 알려져 있지 않음
- 남극 대륙에서 확장, 융기 및 화성활동의 시기를 연구하기 위해 얼음으로 덮인 지역의 항공 지구물리 탐사를 통한 동서남극 사이의 대륙의 분리와 상대적 움직임의 메커니즘을 결정하는데 필요

나. 빙하학

1) 기후 변화와 빙상 사이의 관계 이해

- 빙상의 성장과 수축은 지구 기후 시스템의 변화와 밀접하게 연관되어있음
- 극지방은 지구 기후 시스템, 해수면 및 해양, 담수 및 육상 생태계와 밀접하게 관련되어 있으며, 지구 시스템의 여러 곳에서 변화를 증폭시키거나 이끌어 낼 수 있는 가능성을 갖고 있음
- 모든 남극 시스템 (해양, 해빙, 대기, 고체 지구 및 빙상)의 상태, 변화, 과정 및 상호 연결할 수 있는 다학제적 연구가 과거 빙상의 변화에 대한 이해와 미래 거동에 대한 모델을 위해 반드시 필요

2) 빙역학의 주요 제어장치와 및 상호 작용 이해

- 빙역학은 빙상이 놓여져 있는 기저의 지형 및 지형 특성에 크게 영향을 받음.
- 이 효과는 빙하와 기후의 상호 작용을 이해하는데 있어서 잃어버린 고리가 될 수 있음
- 이러한 과정을 더 잘 이해하기 위해 빙하 흐름의 메커니즘 및 축적과 빙하 내부의 과정 사이의 상호 작용, 기초수문과 열 흐름의 영향과 같은 빙역학에 지질학적 역할을 추가하여 더 많은 연구가 필요
- 내제되어 있는 요소들을 특성화함으로써, 복잡한 경계 조건을 갖는 보다 현실적인 빙상 모델을 개발할 수 있으므로 더 나은 예측 기능이 가능
- 빙하 하부의 지형에 대한 상세한 조사는 소규모 지역 고원 빙하에서 대륙 규모의 빙상으로 남극 빙상의 생성 진화에 대한 정보를 제공

3) 빙저호의 분포, 특성, 상호연결 이해

- 가장 유명한 빙저호인 보스톡 (Vostok) 외에도 남극 빙상 아래 400 개 이상의

빙저호가 확인됨(Siegert et al., 2016)

- 빙저 지질학과 빙역학의 상호작용에 의해서 생성된 빙저 수문학은 극한환경에서의 생명체가 존재할 수 있는 잠재적인 서식처
- 빙저면은 지구상에서 가장 접근하기 어려운 장소 중에 하나이며, 이것은 남극 빙상에서 가장 연구가 덜된 부분
- 빙하의 기저면의 녹는 현상은 지열에 의해 발생. 수문학적 구배(Hydrological gradient)에 따라, 빙하의 용융된 물은 바다쪽으로 흐르며 상호 연결되어 있는 빙저 수문시스템을 형성. 수심은 일반적으로 밀리미터에서 미터 규모이지만, 빙저수는 지형적으로 함몰된 곳에 축적되고 빙저호의 형태로 관찰될 수 있음.
- 빙저호들과 이들을 상호 연결하는 빙저수문학적 시스템은 생명의 서식지를 제공한다. 수백만 년 동안 대기와 격리된 빙하아래의 환경은 화성이나 유로파의 얼음 환경에 가장 가까운 곳이라고 할 수 있음
- 지질학, 지형 및 기후가 빙상 흐름과 생명을 지탱할 수 있는 빙하의 수문학적 시스템의 특성에 어떻게 영향을 미치는지 이해하는 것은 극지연구의 가장 흥미로운 과제 중하나임

4) 남극 연안 지역의 역동성 이해

- 최근 관측에 따르면 남극 반도 주변에는 빙붕이 얇아지거나 분리되는 등의 중요한 변화가 나타나고 있음. 이러한 급격한 변화는 온난화 및 해수 온도에 기인(Trusel et al., 2015)
- 남극 반도의 빙하는 해수면 상승에 있어 크게 중요하지 않지만, 일부 모델은 남극 "본토"의 거대한 빙상에서 비슷한 변화가 매우 빠르게 일어날 수 있다고 보고됨(Turner et al., 2014).
- Larsen 빙붕의 붕괴는 상류 빙하의 안정화에 큰 영향을 끼침. 이를 토대로한 지구 환경 변화의 시나리오는 여러 가능성이 있지만 기후 변화에 관한 정부간패널 (IPCC)은 남극권이 기후 변화의 민감한 지표라는 결론을 내림.
- 이러한 관찰 결과 우리는 남극 지역의 특정 지역에서 이전에 예상했던 것보다 훨씬 짧은 시간 규모로 거대한 변화가 일어나고 있음을 이해.
- 연안 지역과 그 상호 작용에서 발생하는 주요 빙하학적, 기상학적, 해양학적 과정을 연구하기 위해서는 항공 또는 위성 및 현장 관측과 모델링을 포함한 국제 공동 노력이 필요

다. 해양-대기-빙상 상호작용

1) 남극 대륙의 산악 지형이 지구 대기 순환과의 상관관계 이해

- 남극 지형은 빙상과 대륙에 인접한 해양 지역의 기상을 형성하는데 가장 중요한 요소

- 빙하로 넓게 덮인 지형은 북쪽으로부터 대륙에 영향을 주는 기단을 효과적으로 차단
- 빙상의 물리적 특성은 지표 근처의 복사 정도에 영향을 끼치며 남극 대기의 역동성을 크게 좌우하는 역할을 함. 그 외에도 대기 순환에 대한 지형 영향에 대한 자세한 연구는 여전히 부족.
- 항공 탐사를 통해 지형 정보를 확보하므로써 지형에서 유도되는 대기 흐름을 수치모델에 반영하는데 크게 기여할 수 있음 이러한 관측은 넓은 지역에서 항공기를 이용한 샘플링 필요

2) 남극 빙상이 해수면 변화에 끼치는 역할

- 남극 빙상은 세계 해수면 65m에 상당하는 양을 차지함. 이 얼음 덩어리가 전세계 바다로 물을 내보내거나 얻는 지는 매우 불확실
- 현재 남극 반도와 파인 아일랜드베이 지역에서 빙하가 줄어들고 있는 현상들이 관찰되고 있으나 이는 대기의 재분석과 빙하증가량 측정에 의해 알려진 바와 같이 대륙 전체에 걸친 동시적인 강수 증가에 의해 상쇄될 수 있음.
- 대기 모델로부터 얻어진 강수량 추정치는 IGY 이후의 남극 강수 경향에 대한 명확한 설명이 가능하겠지만, 결과는 상세한 시험이 필요한 구름 및 강수량 매개 변수화에 따라 달라짐
- 근해나 해안의 절벽, 빙하 중심부와 같은 남극의 모든 환경에서 대기 물 순환에 필요한 측정을 위해서는 장비가 잘 구비된 탐사를 수행 필요

3) 남극해의 대기-해양 상호작용의 특징

- 남반구 고위도 지역의 복사수지는 지표 조건에 크게 영향을 받음. 일반적으로 빙상에 부딪치는 태양 복사열의 약 80 %가 다시 반사. 따라서 해빙 또한 복사수지에 중요
- 해빙은 1 년 동안 크게 변화하지만 9월에는 면적이 최대에 이름. 그때 해빙 면적은 대륙 빙상의 면적보다 커서, 효과적으로 대륙지역을 두 배로 늘리는 셈이 됨. 해빙 확장은 지구 기후변화에 민감한 지표로 여겨짐.
- 남반구 전체의 반사율은 해빙 면적에 민감하고 반사율은 실제로 겨울보다 여름에 높음.
- 바다와 대기 사이의 열 및 수분 교환은 해빙 범위와 두께에 따라 크게 조절되며 대륙 빙상의 강수량을 조절.
- 저층바람과 해양 사이의 운동량 교환은 북쪽으로부터의 얼음 운송, 새로운 얼음의 생성 및 대기-해양 경계에서의 지역 에너지 교환에서 중요. 연안에서의 얼음 생성과 염분 제거는 남극 저층수 형성에 영향을 미침. 남극 저층수는 세계 해양에서 가장 고밀도의 물로서 남극 대륙을 지구의 나머지와 연결. 그러나 이

모든 해양-대기 상호 작용은 잘 밝혀지지 않고 있음.

- 항공기를 통한 연구는 대기와 해양 사이의 직접적인 상호 작용이 존재하는 폴리냐와 같은 해양에서 열과 운동량의 플럭스를 측정가능하게 함. 이 지역들 중 상당수는 현재 남극에서 운항하는 항공기로는 접근 할 수 없음

표 9 기술수요 요약

연구분야	주요 연구내용	필요기술
지질 및 지구물리	<ul style="list-style-type: none"> - 빙역학에 끼치는 지질학적 요인 - 얼음으로 덮인 환경에서 열개 작용의 지구 역학적 원인 이해 - 빙저면 산의 용기와 남극 빙상 및 지구 기후의 발전과 진화 사이의 상호작용 - 빙저호의 분포, 성격, 기원 규명과 지각구조와 Heat flux와의 상관관계 - 선캄브리아기 대륙 성장과정에서 동남극 대륙의 역할 규명 - 남극 대륙의 확장시기와 규모, 지구의 판 운동에 끼친 영향 	빙하하부 지각구조 탐사기술
		빙권 지구물리 탐사 기술
		남극 고지형 탐사기술
		열플럭스 탐사기술
		빙저호 분포 및 퇴적물 분포 측정 기술
		빙하하부 암석 재구성 기술
빙하학	<ul style="list-style-type: none"> - 기후 변화와 빙상사이의 상호작용 - 빙역학의 주요 제어장치와 상호작용 - 빙저호 분포, 특성, 상호 연결과 관련된 수문학 - 남극 연안 지역이 기후 변화에 미치는 역할 	빙상의 부피 측정기술
		빙상 평형 측정 기술
		빙하 시추기술
		Sub-Ice 탐사기술
		빙상 측지 기술
		빙상 모델링 기술
		빙하 하부 지형 조사 기술
		빙저 수문 시스템 탐사 기술
상호작용	<ul style="list-style-type: none"> - 남극 대기가 지구 대기에 미치는 영향 - 지구 기후변화에서 남극 Heat sink의 역할 규명 - 남극 대륙의 산악 지형이 지구 대기 순환과의 상관관계 규명 - 남극 빙상과 해수면 변화의 상관관계 - 남극해의 대기-해양 상호작용의 특징 규명 	해양환경에서 음파 탐지 기술
		기후 다양성 탐사 및 정보 네트워크 기술
		측심(수심측량) 기술
		해양 순환 시스템 탐사 기술
		구름 미세물리 탐사 기술
		빙하의 미세 지형정보 탐사기술(대기 흐름 이해)
		빙하 부피, 유동 탐사 기술
		극지의 근해, 해안절벽, 빙하 중심부에서 대기 물 순환 측정 기술
		폴리냐에서 열과 플럭스 측정 기술

10. 수요분석 결과

표 10의 기술수요 요약과 같이 지구환경 변화를 이해하는데 필요한 빙권 탐사와 국제적 남극 연구 선도 국가로 도약하기 위해 현재 내륙에서 수행하고 있는 Bedmap 연구에 기여할 필요성이 있음

가. Bedmap의 중요성

- 과학적 중요성 : 빙상의 부피, 두께, 흐름정보, 해수면 변동, 빙저호, 심부빙하시추, 지질, 지형 등 모든 빙상의 정보가 Bedmap으로부터 나옴
- 과학 영토 및 역량 확장 : 남극 연구 국가의 자국 연구 영역의 기득권 확보 측면에서 지형 매핑은 매우 중요. Bedmap컨소시엄을 통해 국제 공동 캠페인을 주도할 필요성이 있음

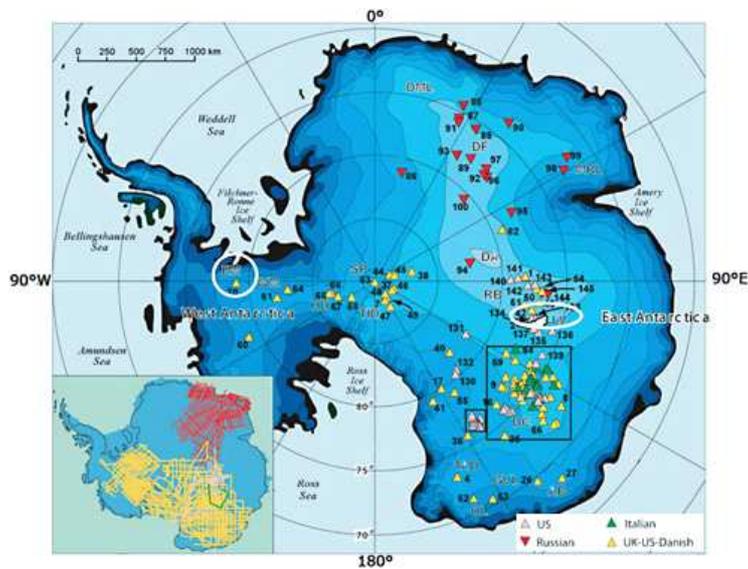


그림 6 주요 국가별 빙저 지형 탐사 축선과 그 결과(빙저호)

나. 본과제 추진 방향

- 세계적 수준의 무인항공기 기술을 접목하여 빙상 탐사 환경을 조성하여 연구 효율성 제고
- K-Route 등의 최종 목표인 빙저호 연구와 심부 빙하시추 등의 탐사를 위한 환경 조성
- 빙저 지형도 작성을 통해 동남극 내륙의 연구 거점 확보와 국가 위상 제고





제 1절 본 과제 개요

1. 본 과제 목표 및 내용

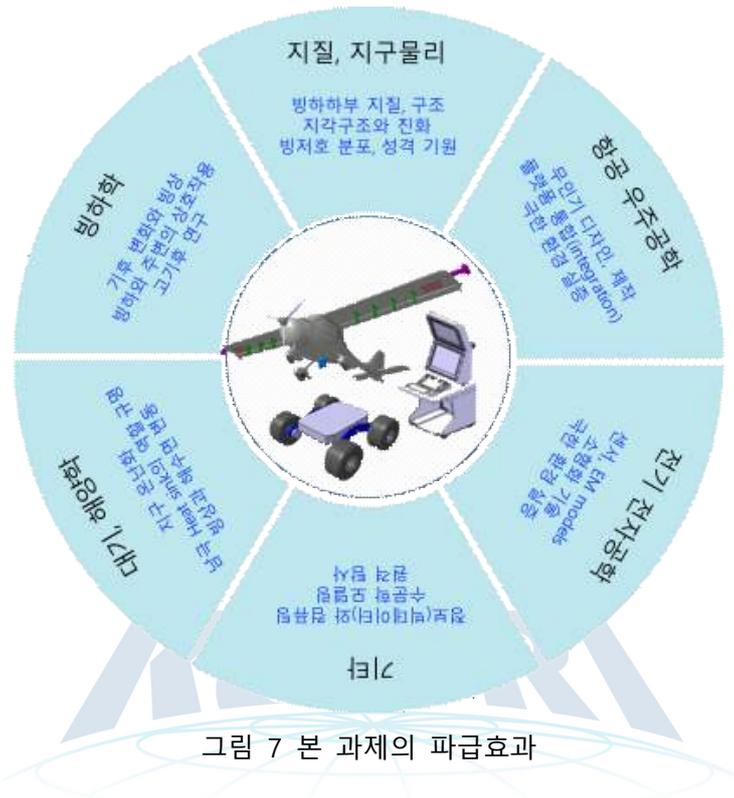
가. 연구 목표

본과제의 최종 목표는 ‘무인 탐사 시스템을 남극 광역 빙상 탐사에 활용하여 빙저 지형도를 작성하고 이를 통해 동남극 연구거점 확대’로 무인 항공기, 통신시스템 등을 활용하여 지금까지 접근이 어렵거나 제한되었던 지역에 대한 탐사를 효율적으로 수행하여 국제 사회(Bedmap 컨소시엄)에 기여하고 국가 위상을 제고

나. 연구내용

- 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입
 - 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입
 - 다중 주파수 빙하레이더 제작 및 운영 기술 확보
 - 플랫폼/탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보
- 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작
 - 3차원 광역 빙상 및 빙저 지형 자료 획득
 - 공간 빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료 처리 기술 개발
 - 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명
- Bedmap3 컨소시엄 참여
 - 대륙규모 국제 공동 캠페인 구성
 - 데이터 공유체계 구성

2. 본 과제의 파급효과



가. 기술적 측면

- 극지에서 무인기-무인로봇의 통합 운용과 이에 맞는 최적화된 프로그램을 제공함으로써 극지 연구 기반 및 효율의 극대화 기대할 수 있으며 국내 무인기-무인로봇 통합 운용 기술의 선도적 역할 수행 가능
- 남극 내륙으로 진출 시 무인 로봇 탐사 기술의 활용으로 대규모 탐사를 저비용으로 안전하게 수행
- 로봇을 이용한 극지 기술 개발을 통해서 접근이 용이하지 않는 극지지역에서의 연구 활동이 활발해질 것으로 기대되며 특히 빙하의 동역학적 연구의 후발주자로서 선진국 수준의 빙하연구가 가능케 됨
- 원격탐사 기술과 무인 로봇의 복합적인 기술 향상으로 인해 국내의 불발탄(UOX) 및 지뢰 탐지, 원격 자원탐사 등 기술이전이 가능

나. 경제 산업적 측면

- 극한지 활용 무인시스템은 재난 등의 분야로 임무확장 등 타 분야 파생형 시스템 개발에 Spin-off(다양한 임무환경 응용 개발)하며 이를 통한 기술 성과 활용
- 국내 해양수산분야에 있어서, 대부분 선박이나 유인항공을 활용하는 각종

관측·조사·감시·관리 등 업무를 극지에서 실증된 무인기 시스템 활용으로 대체, 비용절감 효과를 기대

- 무인 탐사 시스템 구축으로, 기후변화에 기여도가 큰 남극의 광역 빙권의 상세 모니터링이 가능하며 선도적인 기후변화 대응 및 해수면 변동으로 인한 국내 연안 공간 관리 등에 기여
- 극한지에 적합한 소재, 플랫폼, 에너지 등의 원천기술 확보와 활용에 산업 파급효과가 높으며 우주로봇 등으로 확대 가능
- 극지 탐사 장비의 국산화를 통한 국가 예산 절감 및 해외 기술 대체 효과
- 극지탐사로봇 기술개발의 성공은 극한작업용 로봇개발로의 발전뿐만 아니라 향후 지능형 무인 건설기계, 우주탐사 및 개척용 로봇의 개발 등에 활용도가 매우 큼.

3. 세부과제 수립을 위한 고려사항

- 연구대상지역이 넓고 해안으로부터 대륙내부까지 연결
- 각각의 연구를 수행하기 위해서는 다양한 탐사플랫폼 디자인과 센서 조합이 필요

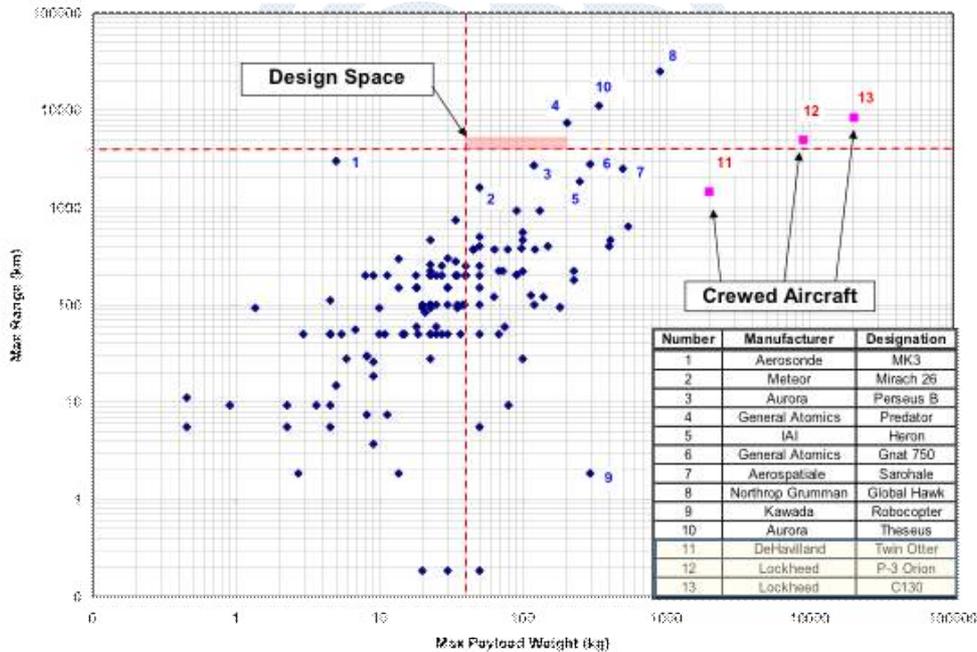


그림 8 탐사플랫폼 설계 목표 범위 - 무인항공기

표 10 공통 탐사장비 분석

공통 탐사장비	지질 지구물리	빙하	대기	상호 작용
시간, GPS, IMU, 항공 운항 데이터	✓	✓	✓	✓
고도계(레이저)	✓	✓	✓	✓
온도, 압력, 습도, 바람		✓	✓	✓
구름 입자		✓	✓	✓
디지털 카메라	✓	✓	✓	✓
표면 온도		✓	✓	✓
Ice-penetrating radar(심부, 표면: 다중 레이더)	✓	✓		✓
중력계	✓	✓		✓
자력계	✓	✓		



제 2절 과제의 특징

1. 세부과제 구성

- 수요 기술에 적합한 탐사 플랫폼과 센싱 기술을 고려한 세부 과제 구성
- Bedmap3 참여를 위한 국제 네트워크 가입 기준 충족을 위한 구성

표 11 세부과제 구성 내역

1. 빙권 탐사용 무인 탐사 시스템 도입

가. 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입

- 유무인 복합기(CTLS) 활용
(센서 인터페이스, 위치추정, 경로생성, 자동이착륙, 충돌 및 추락방지 연계)
- 극지에서 활용가능한 지상고도 유지 및 악기상 복기 기능 개발

나. 다중 주파수 빙하레이더 제작 및 운영기술 확보

- 빙하 심부 탐사가 가능한 Sounding 레이더 개발
- 빙하의 표면 및 내부구조 탐사용 Microwave 레이더 개발

다. 플랫폼/탐사센서 통합 및 운영기술 확보

- 무인 플랫폼 및 센서의 통합 운용, 원격 통제 및 데이터 저장, 취득 모니터링 기술
- 극지현장에서 무인 플랫폼 운영 시나리오별 기술 정립

2. 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작

가. 3차원 광역 빙상 및 빙저지형 자료 획득

- 탐사지역선정(내륙연구거점)
- Phase1 : 20 km 격자 탐사
- Phase2 : 10 km 격자 탐사
- 최종단계 : 5 km 격자 탐사

나. GIS/빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료처리 기술 개발

- 대용량 데이터 관리 및 데이터 맵핑/가시화 기술 개발

다. 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명

- 3차원 빙저지형도 작성
- 탐사지역의 빙하 두께 계산
- 반사 강도를 이용한 빙저 수리 특성 규명

3. Bedmap3 컨소시엄 참여

가. 대륙규모 국제 공동 캠페인 구성

- 국제공동 탐사를 구성하고 이를 통한 빙저 탐사 기술 공유

나. 데이터 공유 체계 구성

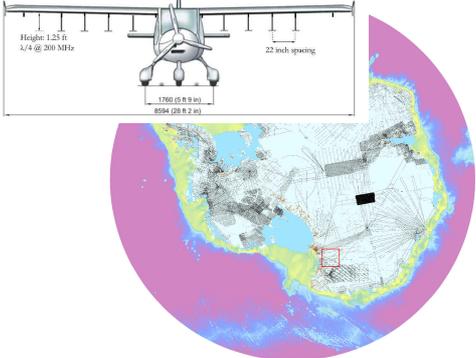
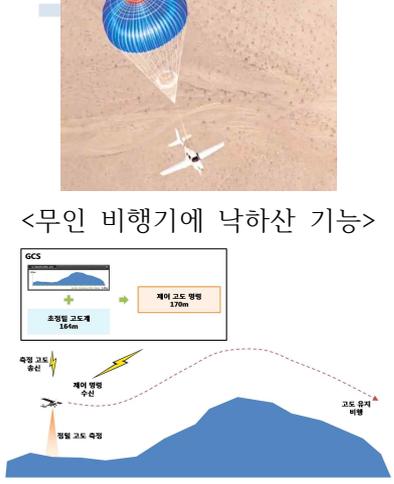
- 데이터 공유체계 구성

2. 기술개발에 따른 과제별 As-Is/To-Be

가. 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입

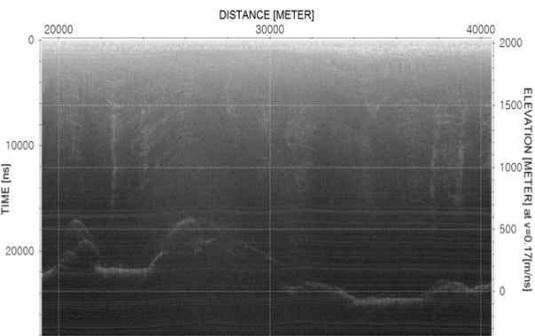
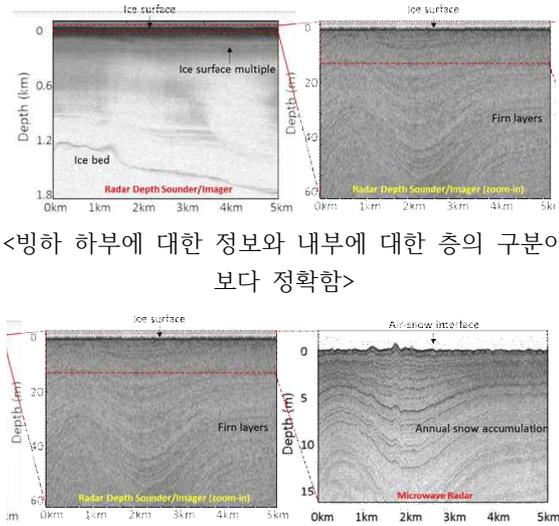
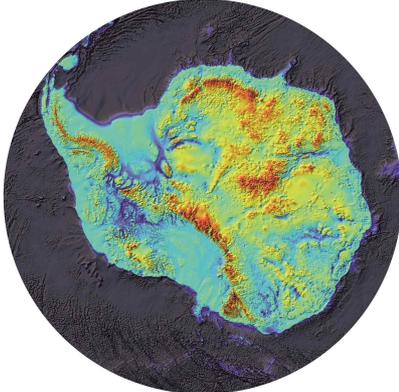
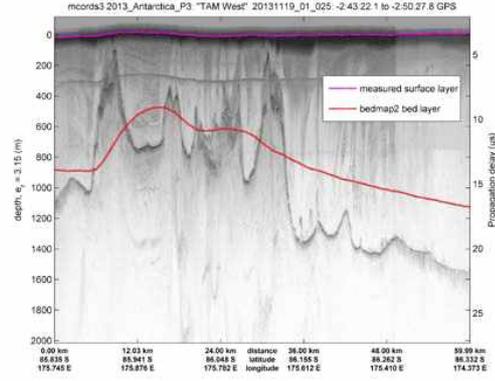
1) 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입

표 12 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입 - As-Is/To-Be

As-Is	To-Be
 <p data-bbox="256 898 743 927"><1시즌(7일)에 탐사 가능영역 : 붉은색 박스></p> <ul data-bbox="204 943 798 1240" style="list-style-type: none"> - 운영거리가 짧은 헬기나 스키두에 의존한 간단한 탐사 가능(연구범위 300 km 이내/회당, 원거리 탐사 불가) - 크레바스 등이 있는 경우 탐사 지역의 제한이 있음(인명사고의 위험으로 탐사 불가) - 탐사 영역(5*7 km 격자, 80*80 km², 총 2,000km) : 7일 소요) 	 <p data-bbox="871 898 1358 927"><1시즌(7일)에 탐사 가능영역 : 붉은색 박스></p> <ul data-bbox="818 943 1404 1240" style="list-style-type: none"> - 무인체 기술을 활용한 극지탐사의 경우 접근성이 매우 뛰어나고 원거리 탐사 및 속도가 빠름(연구범위 1,500 km이내/회당, 원거리 탐사 가능) - 지상 및 기상 조건에 관계없이 탐사 가능(인명 사고의 위험 없음) - 탐사 영역(5*7 km 격자, 80*80 km², 총 2,000km) 7일 소요) : 1.5일 소요
 <p data-bbox="268 1682 735 1711"><남극에서 비행기 및 헬기 사고 현장></p> <ul data-bbox="204 1787 798 1998" style="list-style-type: none"> - 기상 조건(~15 kts) - 헬기 이용시 고도 보정 필수(자료처리 소요시간 15일/2,000 km) - 악기상시 헬기 파일럿의 주관적인 판단에 의한 귀환(추락 위험 상존) 	 <p data-bbox="927 1458 1289 1487"><무인 비행기에 낙하산 기능></p> <p data-bbox="927 1749 1289 1778"><지상고도유지비행 개념도></p> <ul data-bbox="818 1787 1404 1998" style="list-style-type: none"> - 기상 조건(~21 kts) - 고도 유지 기능 이용시 고도보정 필요없음(자료처리 소요없음/2,000 km) - 악기상시 자동으로 귀환(인명 사고 우려 없음)

2) 다중 주파수 빙하레이더 기술 개발

표 13 다중 주파수 빙하레이더 기술 개발 - As-Is/To-Be

As-Is	To-Be
 <p><현재 탐사는 빙하 하부의 기반암 탐사가 가능하고 빙하 내부의 눈층에 대한 해상도가 낮음></p>	 <p><빙하 하부에 대한 정보와 내부에 대한 층의 구분이 보다 정확함></p> <p><Microwave를 이용하면 보다 정확한 눈의 accumulation rate을 계산></p>
<ul style="list-style-type: none"> - 탐사 해상도 : 6 m (수직해상도) - 연간 눈의 적설량 계산 불가 	<ul style="list-style-type: none"> - 탐사 해상도 : Depth sounder - 30 cm ~1 m (수직해상도), Micro wave - 1.2 cm (수직해상도) - 연간 눈의 적설량 계산 가능
 <p><Bedmap2 데이터로 빙하하부의 지형도></p>	 <p><레이더 탐사 결과와 Bedmap2(붉은색선) 결과의 비교></p>
<ul style="list-style-type: none"> - 해상도 : 20~230 km 격자로 구성 - 깊이오차 : ±300m 오차(최대 1km)로 그 정확도가 떨어지고 실제로 우측 그림의 붉은색 선으로 모델 변수로서 사용되기 위해선 더 정확한 탐사가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 남극 빙하 하부의 공간 해상도 증가 : 빙하 모델링의 정확도 향상으로 해수면 변동 및 기후변화에 미치는 영향력 모델링시 더 큰 정확도 기대

3) 플랫폼/탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보

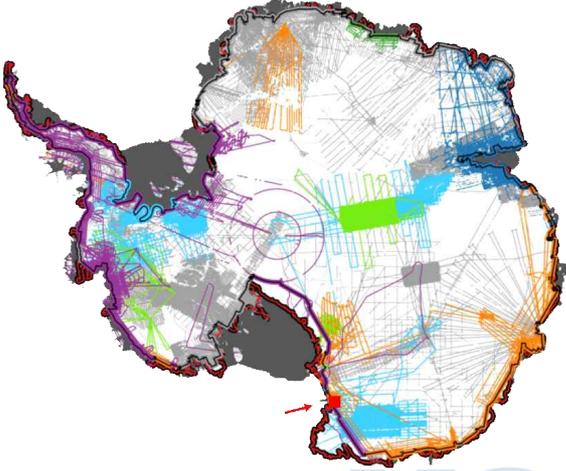
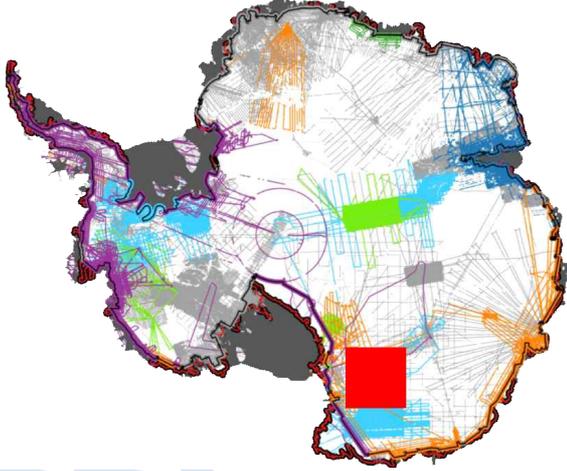
표 14 플랫폼/탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보 - As-Is/To-Be

As-Is	To-Be
  <p data-bbox="220 835 772 864"><현재 사용되고 있는 헬리콥터용 레이더와 중력계></p>	 <p data-bbox="820 824 1390 887"><다양한 센서모듈을 탑재 가능. 지질 및 지구물리, 기상, 빙하학 센서></p>
<ul style="list-style-type: none"> - 각각의 독립적인 Radar 탐사, 중력 탐사 필요 - 현장 QL/QC를 위해 연구인력이 항상 동승하여 연구가 이루어짐 - 기존 비전 카메라를 이용하여 빙하 표면에 대한 영상화 가능 - 80x80 km² 헬기를 이용한 탐사시 연간 최소 1억 2천만원 이상 소요비용 발생 (헬기사용료 : 8천만원, 유류비용 : 1천만원, 인건비 : 약 3천만원) - 탐사 준비, 백업 등의 업무 수행에 시간이 많이 소요됨(1회 탐사를 위한 준비시간: 12시간이상 소요, 백업시간:6시간 이상 소요) 	<ul style="list-style-type: none"> - 소형의 다양한 센서로 조합된 모듈을 탑재할 수 있음 - 현장 QL/QC가 원격으로 이루어져 연구인력 승선이 필요없음. - 열화상 카메라, 초분광 카메라를 이용하여 빙하 및 지질 영상화를 통해 표면의 상태 평가 가능 - 동일 면적(80x80 km²) 탐사기준 연간 3.5천만원 소요(유류비용 : 0.5천만원, 인건비 : 약 3천만원) - 통합적인 데이터 처리가 가능하기 때문에 융복합적 과제 수행이 용이하고 후처리를 위한 데이터 백업 및 관리에 소요되는 시간 단축(1회 탐사를 위한 준비시간 :1 시간 내외)

나. 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작

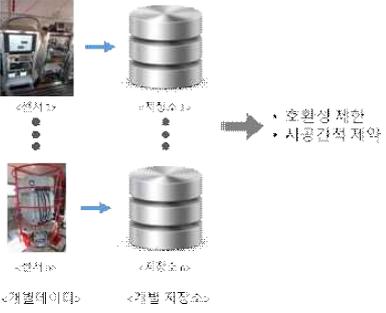
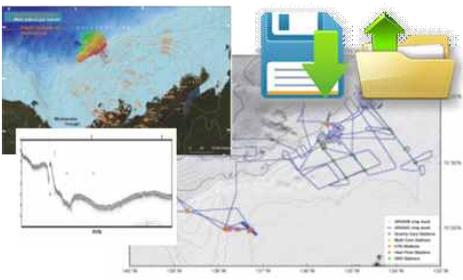
1) 3차원 광역 빙상 및 빙저지형 자료 획득

표 15 3차원 광역 빙상 및 빙저지형 자료 획득 - As-Is/To-Be

As-Is	To-Be
 <p data-bbox="204 999 783 1072">현 수준의 1시즌 탐사 영역(붉은색 화살표가 가리키는 붉은색 박스)</p>	 <p data-bbox="802 999 1396 1072">시스템 구성 후 1시즌 탐사 예상 영역(붉은색 박스)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - 세계 수준은 1시즌 탐사시 최소 500X500 km²의 탐사수행 - 현 국내수준은 1시즌 탐사시 최대 100X100km²탐사 수행 	<ul style="list-style-type: none"> - 1시즌 최소 500X500 km² 구간의 탐사 수행(기존대비 25배 이상의 면적 탐사 수행)

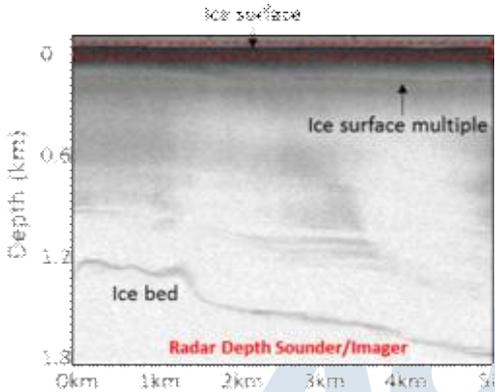
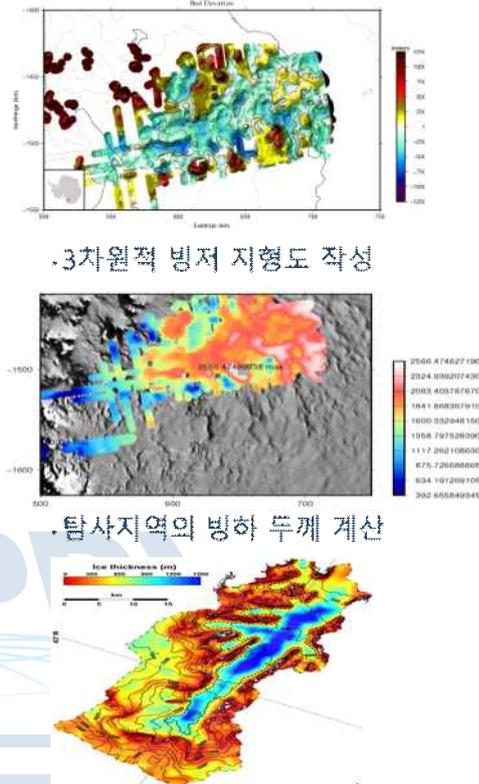
2) GIS/빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료처리 기술 개발

표 16 GIS/빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료처리 기술 개발 - As-Is/To-Be

As-Is	To-Be
 <p> <센서 1> <센서 2> <개별데이터> <저장소 1> <저장소 2> <개별 저장소> </p> <p> • 호환성 제한 • 시공간적 제약 </p>	
<ul style="list-style-type: none"> - 개별 연구장비를 활용한 단편적인 데이터 저장으로 데이터 간의 호환성이 결여 - 저장된 빅데이터 조회를 위한 시공간적 제약으로 실시간 데이터 활용이 불가능함 - 다양한 탐사장비로부터 수집된 대용량의 데이터를 저장/처리하기 위한 플랫폼이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> - 공간빅데이터 기반의 대용량 데이터 관리 및 자료처리 기술을 통하여 다양한 결과의 융합 및 탐사 데이터로의 접근이 용이(데이터 처리 속도 2배 향상, 논문 생산성 2배 향상, 인력활용도 1/2감소) - GIS 기반 통합자료관리시스템을 통하여 시스템 운영에 필요한 업무 부담 감소 및 연구 몰입도 향상

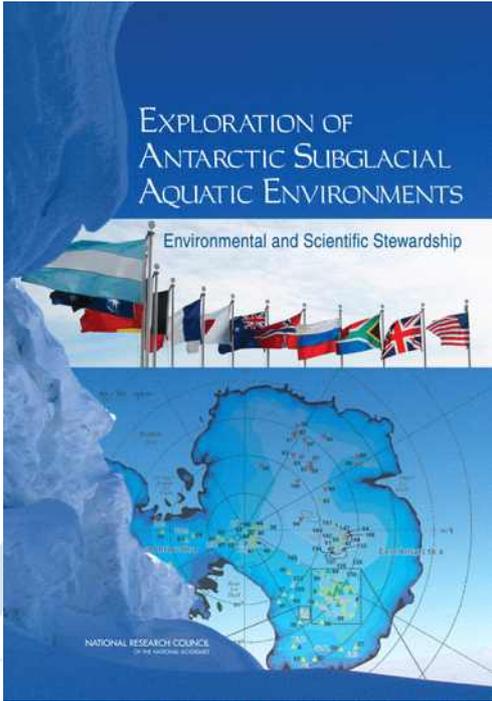
3) 빙상 및 빙저지형 3차원 영상화 및 특성 규명

표 17 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명 - As-Is/To-Be

As-Is	To-Be
 <p>Ice surface Ice surface multiple Ice bed Radar Depth Sounder/Imager Depth (km) 0 0.6 1.2 1.8 0km 1km 2km 3km 4km 5km</p>	 <p>3차원적 빙저 지형도 작성 탐사지역의 빙하 두께 계산 Ice Thickness (m) 반사강도를 이용한 빙저 수리특성 규명</p>
<ul style="list-style-type: none"> - 세계 수준은 탐사자료를 활용한 빙저지형 특성, 빙상 내부 구조 특성, 빙저 수문특성 규명 등 복합적 해석 가능 - 국내 수준은 빙저지형 특성 규명 수준의 연구를 수행 	<ul style="list-style-type: none"> - 복합탐사를 통하여 빙저지형특성, 빙상 내부구조 특성, 빙저 수문특성 규명 및 빙저 지질구조 특성 규명 등 세계 수준을 상회하는 연구 수행(논문 생산성 2배이상 향상)

다. Bedmap3 컨소시엄 참여

표 18 Bedmap3 컨소시엄 참여 - As-Is/To-Be

As-Is	To-Be
	
<ul style="list-style-type: none"> - 남극은 한반도의 140배 크기로 단독 연구를 통한 빙저 지형지도 작성이 불가 - 장비, 기술 부재로 캠페인 구성 불가 	<ul style="list-style-type: none"> - 국제컨소시엄 기여로 국제적 발언권 확대(과학영토 확장)

3. 세부과제별 주요 내용

가. 연구 개발 목표 및 주요 연구 내용

세부과제(대분류)		세부목표(중분류)		주요내용(핵심기술)
1 세 부	빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입	1	무인 자동화 탐사 플랫폼 도입	- 유무인 복합기(CTLS) 활용 - 극지에서 활용가능한 지상고도 유지 및 약기상 복귀 기능 개발
		2	다중 주파수 빙하 레이더 제작 및 운영기술 확보	- 빙하 심부 탐사가 가능한 sounding레이더 개발 - 빙하의 표면 및 내부 구조 탐사용 Microwave레이더 개발
		3	플랫폼/탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보	- 무인 플랫폼 및 센서의 통합 운용, 원격 통제 및 데이터 저장, 취득 모니터링 기술 - 극지현장에서 무인 플랫폼 운영 시나리오별 기술 정립
2 세 부	빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작	4	3차원 광역 빙상 및 빙저지형 자료 획득	- 탐사지역 선정(내륙연구거점) - Phase1 : 20km 격자 탐사 - Phase2 : 10 km 격자 구성 - 최종단계 : 5km 격자 구성
		5	GIS/빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료처리 기술 개발	- 대용량 데이터 관리 및 데이터 맵핑/가시화 기술 개발
		6	빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명	- 3차원적 빙저 지형도 작성 - 탐사지역의 빙하 두께 계산 - 반사강도를 이용한 빙저 수리특성 규명
3 세 부	Bedmap3 컨소시엄 참여	7	대륙 규모 국제 공동 캠페인 구성	- 국제공동 탐사를 구성하고 이를 통한 빙저 탐사 기술 공유
		8	데이터 공유 체계 구성	- 데이터 공유체계 구성

나. 연차별 목표 및 내용

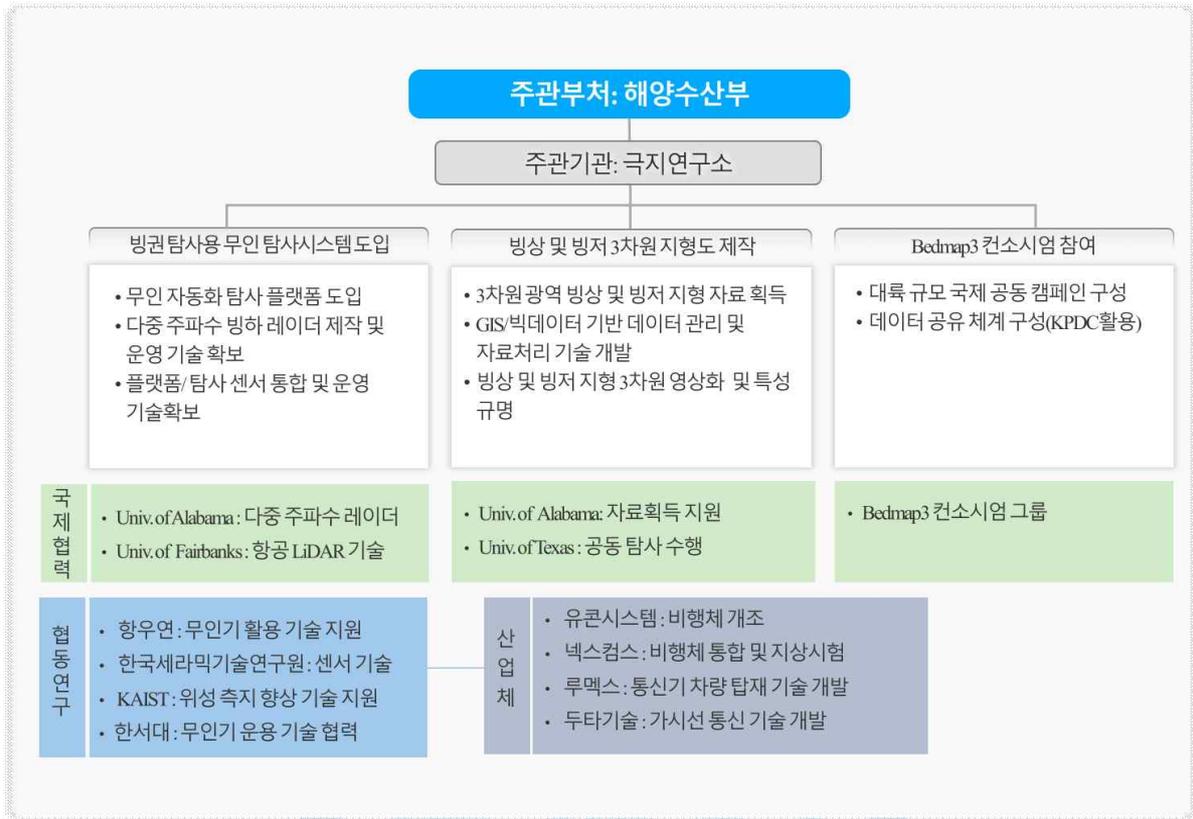
세부과제(대분류)	세부목표(중분류)	기술개발계획				
		1차년도('19)	2차년도('20)	3차년도('21)	4차년도('22)	5차년도('23)
1세부. 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입	1 무인 자동화 탐사 플랫폼 도입	- 비행체 구매/개조 - 지상체 장비 구매 및 보완 - 극지환경 알고리즘 설계/개발	- 비행체 총조립 - 지상체 총조립 - 비행조종장치-임무장비 간 인터페이스 수정 제작	- 국내시험	- 현장 시험 반영 보완	- 현장 시험 반영 보완
	2 다중 주파수 빙하 레이더 제작 및 운영기술 확보	- 심부 탐사용 Sounding 레이더 설계/개발 - Microwave 레이더 설계/개발 - 통합 프로그램 설계	- 센서모듈 개발 - 센서 운영 SW개발	- 국내시험 - 센서 운영 SW 개발 완료	- 현장 시험 반영 보완	
	3 플랫폼/탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보	- 무인플랫폼 운영개념 수립	- 레이더-비행체간 체계 통합 - 무인 플랫폼/센서 통합 운영 통신시스템 구축	- 무인기 장거리 운용에 따른 비행계획 및 비상절차 수립 - 국내 시험	- 현장 시험	

세부과제(대분류)	세부목표(중분류)	기술개발계획				
		1차년도('19)	2차년도('20)	3차년도('21)	4차년도 ('22)	5차년도 ('23)
2세부. 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작	4 3차원 광역 빙상 및빙저지형 자료 획득	- 국외 현장탐사 공동 참여	- 국외 현장탐사 공동 참여		- 남극 연구거점 현장조사	- 남극 연구거점 현장조사
	5 GIS/빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료처리 기술 개발	- 센서 데이터의 DB 통합 활용을 위한 관리체계 구성	- 공간 빅데이터 (GIS/빅데이터) 기반 데이터 가시화 기술 개발	- 공간 빅데이터 (GIS/빅데이터) 기반 데이터 가시화 기술 개발	- 데이터 처리와 분석 시험 및 보완	
	6 빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명			- 국외 현장 탐사 자료 처리를 통한 빙저수문 특성 규명	- 연구거점 빙저 특성 규명 - 빙저 지형도 작성 - 빙저 수문 특성 규명 - 3차원 빙상 두께 분포도 작성	- 연구거점 빙저 특성 규명 - 빙저 지형도 작성 - 빙저 수문 특성 규명 - 3차원 빙상 두께 분포도 작성

세부과제(대분류)	세부목표(중분류)	기술개발계획				
		1차년도('19)	2차년도('20)	3차년도('21)	4차년도('22)	5차년도('23)
3세부. Bedmap3 컨소시엄 참여	7 대륙 규모 국제 공동 캠페인 구성		- 연구거점 빙저 특성 규명을 위한 국제 공동 캠페인 구성	- 연구거점 빙저 특성 규명을 위한 국제 공동 캠페인 구성		
	8 데이터 공유 체계 구성	- DB 설계 및 데이터 공유 체계 구성 - Metadata 체계 구성(Bedmap요구 조건 충족)	- DB구성 완료 및 데이터 공유체계 구성			- 데이터 공유 - Bedmap컨소시엄 참여

극지연구소

다. 추진체계 및 세부과제 간 연계성



1) 1세부/2세부 연계

- 2세부에서 개발하는 빙하탐사를 위한 센싱 장비 탑재가 가능하도록 1세부의 무인플랫폼 및 다중주파수 레이더 개발을 통하여 2세부 지형도 제작이 가능
- 2세부에서 개발하는 자료처리 시스템과 데이터 저장 정보의 송수신이 가능하도록 1세부의 무인 플랫폼의 데이터 송수신 시스템 구성될 수 있도록 함

2) 2세부/3세부 연계

- 3세부에서 충족할 수 있는 신뢰도 높은 빙상 데이터를 생산할 수 있도록 2세부에서 정량적인 데이터처리 기술을 개발
- 2세부에서 효율적인 빙권의 탐사가 가능하도록 3세부에서 빙권 탐사 및 유지관리 분야의 세계적인 추세 정보 획득

3) 3세부/1세부 연계

- 1세부의 무인플랫폼의 정확한 항법 유지 및 탐사가 가능하도록 3세부에서 탐사지역의 맵핑정보 도출 및 고도 정보 도출을 통한 무인플랫폼의 항법 지원과 위치 추정에 활용할 수 있도록 함
- 1세부의 무인플랫폼의 탐사 결과를 바탕으로, 3세부에서 데이터 정보의 가시화

및 데이터 관리를 통한 데이터베이스 축적이 가능하도록 함

라. 선행 연구과제와의 중복성 검토

년도	부처명	사업명	과제 분류	과제명	책임자	유사여부 (1,2순위 또는 X)	동 사업과의 유사/차별화 포인트
2016	해양수산부	해양 과학 조 사 및 예 보 기 술 개 발	협동	수중무인기 해양감시시스템 개발	박종진	X	해당 사업은 수중무인기를 통한 해양감시 시스템을 개발하는 사업으로 기 개발된 무인 항공기를 활용하여 빙저 지형도를 작성하는 동 사업과 유사성을 찾을 수 없음
2016	해양수산부	해양 과학 조 사 및 예 보 기 술 개 발	협동	무인항공기 해양감시시스템 개발	이임평	2순위	해당 사업은 무인항공기를 통한 해양감시 시스템을 개발하는 사업으로 무인기를 활용하는 점에서는 유사하나 동 과제의 목표인 빙저 지형도를 작성과는 유사점을 찾을 수 없음
2013	해양수산부	극지 연구 소 연구 영비지원	주관	글로벌 이슈대응 국제공동 연구 프로그램	윤호일	X	극지연구소 운영비 사업으로 본 과제는 현재 극지연구소가 수행하지 못하는 빙저탐사를 위한 과제이므로 유사점 없음
2016	해양수산부	한국 해양 과학 기술 원 부 설 크 지 연구 소	주관	북극해 환경변화 통합관측 및 활용연구	강성호	X	해당 사업은 해양환경 변화를 밝히는 사업으로 본 과제와는 유사성 없음
2015	미래창조과학부	해양극지 기 초 원 천 기 술 개발	주관	북극권 동토층 환경변화 관측 거점 확보 및 관측기 술 개발	이방용	X	해당 사업은 북극 동토의 기후변화에 따른 생태 및 환경 변화를 연구하고 이를 위한 관측기술(기상관련)을 개발하는 과제로 본 사업과는 유사성 없음
2016	산업통상자원부	산업 집 적 지 경 쟁 령 강 화	주관	자외선동자를 활용한 극지 해양플랜트 기상관측용 착빙감지센서 국산화 기 술 개발	김국빈	X	해당 사업은 기상관측을 위한 센서 개발을 위한 과제로 본 사업과는 유사성 없음
2015	해양수산부	해양 과학 조 사 및 예 보 기 술 개 발	협동	수중무인기 센서탑재 기 술 개발	이정우	X	해당 사업은 수중무인기 관련 과제로 본 사업과는 유사성 없음
2017	미래창조과학부	무 인 이 동 체 미 래 선 도 핵 심 기 술 개발	주관	3D 영상센서와 초소형 라이다(LiDAR)를 결합한 차세대 3D인식 복합센서모듈 기 술 개발	안효성	X	해당과제는 무인이동체 관련하여 사물 인식과 관련된 과제로 판단되며 빙저지형도 작성과 관련된 동과제와는 유사성 없음
2016	산업통상자원부	자 동 차 산 업 핵 심 기 술 개발	주관	거리 분해능 10cm 수준의 3차원 Lidar 센서 시스템 개발	조준범	X	해당과제는 근거리 초정밀 LiDAR센서 개발관련 과제로 빙저지형도 작성을 위해 사용되는 LiDAR 및 Radar 기술과는 유사성 없음
2016	산업통상자원부	자 동 차 산 업 핵 심 기 술 개발	주관	교차로 자동긴급제동시스템(AEB) 개발을 위한 다기능 전방 카메라 및 LiDAR 센서퓨전기반 인지시스템 개발	김부군	X	해당과제는 무인이동체와 관련된 센서 개발 과제로 본 과제와는 유사성 없음
2016	교육부	이 공 학 개 인 기 초 구 지원	주관	스캐닝 LiDAR 센서용 2축 구동 스캐닝 마이크로 미러 원천 기 술 개발	지창현	X	해당과제는 무인이동체와 관련된 센서 개발 과제로 본 과제와는 유사성 없음
2016	산업통상자원부	자 동 차 산 업 핵 심 기 술 개발	주관	차량용 전방 스캔 LiDAR 센서 신호처리 원천기 술 개발	박기홍	X	해당과제는 무인이동체와 관련된 센서 개발 과제로 본 과제와는 유사성 없음
2016	산업통상자원부	센 서 산 업 고 도 화 문 기	주관	초경량 저가형 라이다(LiDAR) 센서모듈 개발	이덕배	X	해당과제는 무인이동체와 관련된 센서 개발 과제로 본 과제와는 유사성 없음

		발사업					
2016	미래창조과학부	한국항공우주연구원 영비지원	주관	유무인기 복합 항행 기반 기술 연구	전대근	2순위	본과제는 해당과제로 개발, 실용화된 유무인기를 활용하는 과제로 본 과제를 통하여 유무인 복합기를 개발하는 것이 아니기때문에 유사성이 있다고 볼 수 없음
2016	교육부	이공학개인지원	주관	인공위성 SAR 영상을 이용한 남극 장보고 과학기지 주변 빙하와 해빙 조사	이훈열	2순위	해당과제는 인공위성을 이용한 연구로서 연구 방법 측면에서는 일부 유사하나 본 과제는 해당과제의 단점을 극복하고자 제안하는 과제로서 유사성이 없다고 볼 수 있음
2017	해양수산부	극지연구소 영비지원	주관	남극 내륙 진출 루트 개척과 심부빙하/빙저호 시추 및 활용기술 개발	이종익	X	해당과제의 심부빙하/빙저호 시추를 위한 광역탐사가 필요하며 현재 극지연구소는 해당 장비부재로 탐사가 불가능하여 본과제를 착수하고자 함이며 따라서 관련성은 있으나 유사성은 없다
2015	미래창조과학부	연구개발특구육성	주관	3D공간정보 구축기반 감시정찰용 자동이착륙 무인이동체 시스템	정진호	X	본 과제는 빙저지형 탐사를 위한 과제로 해당과제와는 유사성이 없음
2016	중소기업청	창업성장기술개발	주관	TOF센서 기반의 장애물 회피와 자동 이착륙 및 다중편대 자율비행이 가능한 드론과 제어 Software의 개발	곽용인	X	본과제는 드론을 개발하는 과제가 아니므로 유사성이 없음
2012	산업통상자원부	민군경용기술개발	주관	무인기 자동 이착륙을 위한 영상 감지 탑재 시스템 개발	김갑동	X	본과제는 드론을 개발하는 과제가 아니므로 유사성이 없음
2015	미래창조과학부	신진연구자지원	주관	자율주행 및 스마트 고장진단 시스템이 탑재된 지능형 수직이착륙 비행형 자동차 프로토타입 개발	이덕진	X	본과제는 드론을 개발하는 과제가 아니므로 유사성이 없음
2017	해양수산부	극지연구소 영비지원	주관	아문젠 빙봉소멸 속도와 해양변동 추세 연구	이상훈	X	해당과제는 빙봉의 소멸과 해양의 변동을 연구하는 과제로 주로 해양에서 연구가 수행되므로 무인항공기를 이용한 빙저탐사와는 유사성이 없음
2015	미래창조과학부	한국항공우주연구원 영비지원	주관	RBCC 추진시스템 핵심 기술 개발	김춘택	X	본과제는 드론을 개발하는 과제가 아니므로 유사성이 없음
2012	교육과학기술부	기본연구지원사업	주관	마이크로파 인공위성과 현장조사를 통한 해빙과 빙하 관측	이훈열	2순위	해당과제는 인공위성을 이용한 연구로서 연구 방법 측면에서는 일부 유사하나 본 과제는 해당과제의 단점을 극복하고자 제안하는 과제로서 유사성이 없다고 볼 수 있음
2016	해양수산부	극지연구소 영비지원	주관	서남극해 원격탐사 연구	김현철	X	해당과제는 인공위성을 이용한 해양 변화를 연구하는 탐사하는 연구로 본과제와는 유사성 없음
2017	해양수산부	극지연구소 영비지원	주관	북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발	김현철	X	해당과제는 인공위성을 이용한 해빙 변화를 연구하는 탐사하는 연구로 본과제와는 유사성 없음
2017	산업통상자원부	항공우주 부품 기술개발	주관	2인승 경량항공기(LSA)급 유무인 혼용기 실용화 개발	성기정	2순위	본과제는 해당과제로 개발, 실용화된 유무인기를 활용하는 과제로 본 과제를 통하여 유무인 복합기를 개발하는 것이 아니기때문에 유사성이 있다고 볼 수 없음

마. 로드맵



극지연구소

바. 성과의 활용 및 실용화 방안

표 19 세부별 성과활용 및 실용화 방안

과제	목표	기술수요처	활용 및 실용화 방안
1 세 부	무인 자동화 탐사 플랫폼 도입	무인체 개발 업체	- 개발된 시스템의 현장 실사를 통해 상용화 입증에 활용 - 환경인식 기술 도입으로 무인기 충돌(건물, 무인기간) 회피 적용 가능하도록 하여 사용화 추진
	다중 주파수 빙하 레이더 제작 및 운영기술 확보	해양수산부 국토교통부	- 다중 주파수를 이용한 해안선 조사 등에 적용을 통해 해안선 조사와 관련된 수요 기업에 기술이전 진행
	플랫폼/탐사 센서 통합 및 운영 기술 확보	무인기 개발 업체 공공 연구기관	- 다양한 센서의 무인 플랫폼 활용 기술로 응용 - 실제 남극 탐사 시 및 다양한 탐사, 실무에 활용하여 효율적인 데이터 관리 활용
2 세 부	3차원 광역 빙상 및 빙저지형 자료 획득	해양수산부 국토교통부	- 3차원 광역 탐사 방법은 연안지역 및 산림에 덮힌 지형 탐사에 유용한 방법으로 개술개발이 완료되면 효과적인 국토관리에 활용
	GIS/빅데이터 기반 데이터 관리 및 자료 처리 기술 개발	공공, 민간의 빅데이터 기술 수요처	- 극지 데이터 관리 뿐아니라 다양한 분야의 대용량 데이터 분석 환경으로 응용
	빙상 및 빙저 지형 3차원 영상화 및 특성 규명	극지연구소 기상청	- 빙상의 3차원 빙저지형도는 해수면 변동 등 기후 변화와 관련된 모델의 정확한 변수를 제공
3 세 부	대륙 규모 국제 공동 캠페인 구성	극지연구소 기상청	- 극지-지구 온난화와 연결된 핵심 요소인 남극 대륙 전지역에 대한 보다 정확한 모델의 변수 제공
	데이터 공유 체계 구성	공공, 민간 빅데이터 기술 수요처	- 대용량 데이터 공유의 국제 네트워크에 있어서 향후 도래할 빅데이터 시대의 표본으로 활용 가능

사. 인력투입계획 및 소요예산 산정

1) 연구 일정에 따른 인력계획

(단위: 백만원, 명)

구분	인력단가 (천원)	소요인력(명)					계	
		1차 (19)	2차 (20)	3차 (21)	4차 (22)	5차 (23)		
내부 인력	책임급	50,232	2	3	4	4	4	854
	선임급	45,208	2	4	6	8	8	1,266
	원 급	36,166	4	4	7	7	7	1,048
외부인력		28,933	0	4	4	4	4	463
학생인력		15,000	2	4	4	4	4	270
합 계			10	19	25	27	27	3,901

2) 연차별 주요 장비 구입 계획

(단위: 억 원, 개)

주요 장비명	장비가액 (억원)	구입대수(개)					합계	비고 (세부과제별 활용도)
		1차 (19)	2차 (20)	3차 (21)	4차 (22)	5차 (23)		
유무인 비행체 시스템	25	0.256	0.644	0.1			25	A1(50)A2(50)
탑재위성안테나	4.5			1			4.5	A1(50)A2(50)
탑재 위성 통신시스템	1.7			1			1.7	A1(50)A2(50)
지상 위성안테나	1.5			1			1.5	A1(50)A2(50)
무선통신시스템	0.5		1				0.5	A1(50)A2(50)
라이다	1.2		1				1.2	A1(10)A2(90)
GIS server	5		0.5	0.5			5	A2(80)A3(20)
Magnetometer	0.3			1			1	A1(10)A2(90)
초분광계	2.5			1			1	A1(10)A2(90)
항공중력계	6				1		1	A1(10)A2(90)
Laser scanner	3		1				1	A1(10)A2(90)
SAR	3		1				1	A1(10)A2(90)
기타(소계)	4.5				0.67	0.33	1	A1(30)A2(70)
계	58.7	6.4	26.3	15.5	9	1.5	58.7	

3) 소요예산 산출

(단위: 억 원)

구분	분류	1차 (19)	2차 (20)	3차 (21)	4차 (22)	5차 (23)	계
직 접 비	인건비	3.7	6.5	9.0	9.9	9.9	38.9
	재료비	0.7	2.5	2.5	3.5	3	12.9
	연구활동비	1	3	3	7	5	19.0
	연구과제추진비	0.3	0.7	1	1.5	1.5	4.5
	연구수당	0.4	1	1	1.1	1.1	5.0
	위탁연구개발비	2.5	10	8	8	3	31.0
	연구 시설·장비 (기기, 용선료, 컴퓨터 등)	6.4	26.3	15.5	9	1.5	58.7
	직접비 계	15.0	50.0	40.0	40.0	25.0	170.0
간 접 비 (14.98%)							
총 계 (직접비+간접비)							

극지연구소

아. 기대효과

1) 과학적 기대효과

가) 남극 대륙의 내부 연구

- 무인 항공기를 이용한 탐사는 빙상 모델에 중요한 경계 조건인 기본 지형에 대한 포괄적인 조사를 수행 가능. 항공기는 급격한 변화를 겪고 있는 특정지역 및 분야에 대해 상세한 연구를 수행
- 항공 지구물리학 맵핑 (중력, 자기장 및 얼음투과레이더)은 연구 지역의 기초 암석학, 지형학, 열역학 및 수문학 및 내부 빙상 층 형성을 추론 할 수 있게 함. 지질학분야에서 빙상의 진화를 관장하는 원인을 이해하고 더 현실적인 빙상 모델을 개발하고 시험하기 위해서는 이러한 육지와 빙하 특성에 대한 지식이 반드시 필요
- 남극 지질학 및 지구 물리학에 관한 주요 활용은 빙하 및 하부 지형, 중력 및 자기이상과 관계된 지도 제작이 가장 뛰어난 성과. 이러한 지도들은 빙저 지질학 및 구조지질학의 관점의 해석에 기초 자료가 될 것이며 특히, 이 자료는 빙저 퇴적 분지의 분포와 두께를 결정하고 빙하 화산의 위치를 확인하는데 사용
- 레이저 고도계는 지형도 작성, 질량 균형 평가 및 변화 탐지에 사용되는 주요 센서. NASA의 ICESat 위성은 레이저를 이용하여 고도를 측정 하여 전체 빙상에 대해 정확한 고도 변화를 제공. 그러나 항공기 레이저 고도계는 정해진 측선에 따라 빙하를 가로 질러 다양한 탐사를 수행할 수 있어 더 다양한 데이터를 제공하고, 빙상 모델러를 위해 이상적으로 측정된, 즉 좁은 간격의 격자 탐사 등, 자료를 제공
- IPR 관측은 원격 시추 장소를 선택하거나 포괄적인 빙하의 발달 역사를 밝히는데 필수. 수백 킬로미터가 분리된 두 빙하 코어의 기록을 상호 연관시킴으로써 3차원적인 빙하의 역사를 밝혀낼 수 있음. 내부층은 화산폭발의 증거와 같은 여러 흔적 및 크레바스 지역과 같은 내부 특징들의 분석이나 이동하는 돔 또는 하부 용융들을 찾아냄으로써 과거 빙하의 역학적 특징, 변화에 대한 정보를 얻을 수 있음. 지표 질량 균형(Surface mass balance)과 적설량은 고주파 IPR을 이용하여 빙하 표면 부근의 내부 층으로부터 추론 가능
- 광학센서로부터 마이크로파에 이르는 다양한 스펙트럼 영역에서 작동하는 항공 디지털 이미징 센서는 빙하 표면의 물리적조건 (표면 용융의 정도, 입자 크기, 융삭대(Ablation zon)에서 오래된 얼음 노출 정도), 표면 고도의 변화를 매핑하여 얼음 표면 에너지 균형 및 질량 균형에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있음. 활용되는 센서들은 outlet빙하 및 빙하 흐름의 변화를 모니터링하고 현재 및 과거의 빙역학을 이해하기위한 단서를 제공 할 수

있는 빙하 표면 특징 (예 : 크레바스, 빙하류(ice-stream)의 경계)을 맵핑하는 데 매우 중요

나) 연안지대의 역학 및 동남극 빙상 주변 탐사

- 해안을 따라, 특정구역에 걸쳐, outlet 빙하와 빙하류의 grounding line의 얼음 두께
- 빙붕 아래에서의 용융 관측 및 빙붕 밑의 시공간적 변위 관측
- 두께 변화, 조석 운동, Calving, 융기, 표면 용융을 포함하여 시간에 따른 outlet 빙하와 빙붕의 속도의 변화를 이미지화 하기 위해 반복적이고, 입체적이며, 다중스펙트럼을 이용한 항공사진 촬영과 SAR 데이터 필요(Foley et al., 2013)
- 노두에 나타난 과거 빙상의 과거 범위
- 빙하의 역사, 연안 지역의 변화, outlet빙하의 얇아지는 상태와 빙붕 용해와 관련된 주요 과정, 빙상과 빙붕, 해양 시스템 간의 상호 작용을 연구

다) 기타 빙하학적 적용

- WAIS, Weddell Sea, Amundsen Sea, Ross Sea 또는 Lambert 빙하 등에서 빙상의 가장 역동적인 구성 요소를 모니터링
- 블루아이스 위치 조사, 운석정찰을 수행, 운석이 집중되는 메커니즘 조사
- 위성 측정치의 원시값을 지구 물리학적 파라미터로 변환하기 위한 모델을 개선하기 위해 위성 측정치를 보정하고 검증

라) 대기과학적 기여

- 대기의 상태 변수(온도 및 압력, 바람, 대기수분), 난류 플럭스, 구름 미세물리 파라미터 및 복사 플러스를 측정
- 상부 대류권비행의 경우, 항공기 하부의 대기 구조를 모니터링하기 위해 드롭존데의 활용이 가능(추후 연구 필요).
- 무인 항공 플랫폼의 도입으로 광범위한 시공간적 규모에서 대기에서 발생하는 이벤트의 샘플링을 통해 획기적인 과학적 결론이 도출될 것으로 기대

표 20 지표별 정량적 성과

성과지표	대분류		1차 ('19)	2차 ('20)	3차 ('21)	4차 ('22)	5차 ('23)	계
☐ SCI논문(건)	A	빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입	1	2	2			5
	B	빙상 및 빙저 3차원			1	1	1	3

성과지표	대분류	1차 ('19)	2차 ('20)	3차 ('21)	4차 ('22)	5차 ('23)	계
	지형도 제작						
	C Bedmap3 컨소시엄 참여						
	계						
㉔ 비SCI논문(건)	A 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입				2	2	4
	B 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작		1	1	2	2	6
	C Bedmap3 컨소시엄 참여						
	계						
㉕ 학술발표(건)	A 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입	1	2	2			5
	B 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작				2	2	4
	C Bedmap3 컨소시엄 참여				1	1	2
	계						
㉖ 해외특허 등록(건)	A 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입		1	1			2
	B 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작						
	C Bedmap3 컨소시엄 참여						
	계						
㉗ 국내특허 등록(건)	A 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입		1	1			2
	B 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작				1		1
	C Bedmap3 컨소시엄 참여						
	계						
㉘ 기술이전(건)	A 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입					1	1
	B 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작						
	C Bedmap3 컨소시엄 참여						
	계						
㉙ 기술료/로열티(억원)	A 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입						
	B 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작						
	C Bedmap3 컨소시엄 참여						
	계						
㉚ 정책활용 (건) (정책제안, 정책채택 등)	A 빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입			1			1
	B 빙상 및 빙저 3차원				1	1	2

성과지표	대분류		1차 (‘19)	2차 (‘20)	3차 (‘21)	4차 (‘22)	5차 (‘23)	계
		지형도 제작						
	C	Bedmap3 컨소시엄 참여				1	1	2
	계							
㉔ 기타* (동 사업만의 특징) (예: 홍보, 시스템구축(건), DB확보(건) 등)	A	빙권 탐사용 무인 탐사시스템 도입				1(홍보) 1(시스템 구축)		2
	B	빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작				1(홍보) 1(DB)	1(홍보) 1(DB)	4
	C	Bedmap3 컨소시엄 참여				1(DB)	1(홍보)	2
	계							

2) 경제 사회적 기대효과

가) 경제적/사회적 파급효과

기대효과(안)	내 용
관련 장비 국산화율 제고 (무인 빙하 탐사 장비)	<ul style="list-style-type: none"> 장비 국산화율: 0%(기준) → 70%(목표)
해외 주요국 대상 공동 연구 및 활용	<ul style="list-style-type: none"> 국제 컨소시엄 대상 국가 등과 공동연구 수행 및 임대를 통한 공동활용 가능(연간 2개월 이상 극지활용)
해안선 조사 및 연안 감시	<ul style="list-style-type: none"> 레이다 및 라이다 탐사를 이용한 원격 해안선 및 연안 감시 가능 - 해수면 상승으로 인한 직접비용(국가별 GDP의 3%, 2050년 기준*) 절감 및 대처 가능 ※ 해수면상승이 경제에 미치는 영향, 기획재정부, 2017. 2.1
빙저지형도를 통한 극지 인식 제고	<ul style="list-style-type: none"> 남극이 단순히 얼음으로 덮힌 대륙으로의 인식에서 얼음 아래의 환경과 그 환경들이 사회적으로 끼칠 영향(해수면 변동 등)에 대한 사회적 인식 제고 정확한 빙상 정보는 해수면 변화에 대한 모델에 정확한 변수를 제공함으로써 해수면 변동이 끼칠 영향을 보다 정확하게 예측할 수 있음



제 4 장 경제성 분석





1. 경제성 분석 개요

□ 분석 목적

- ‘광역빙권 무인탐사시스템 구축·활용을 통한 남극대륙빙저지형(BEDMAP) 조사 연구’ 추진으로 인해 발생하는 효과를 추정하여 동 과제의 경제적 가치를 분석하고, 간접적으로 발생하는 파급효과를 파악함

□ 분석 내용

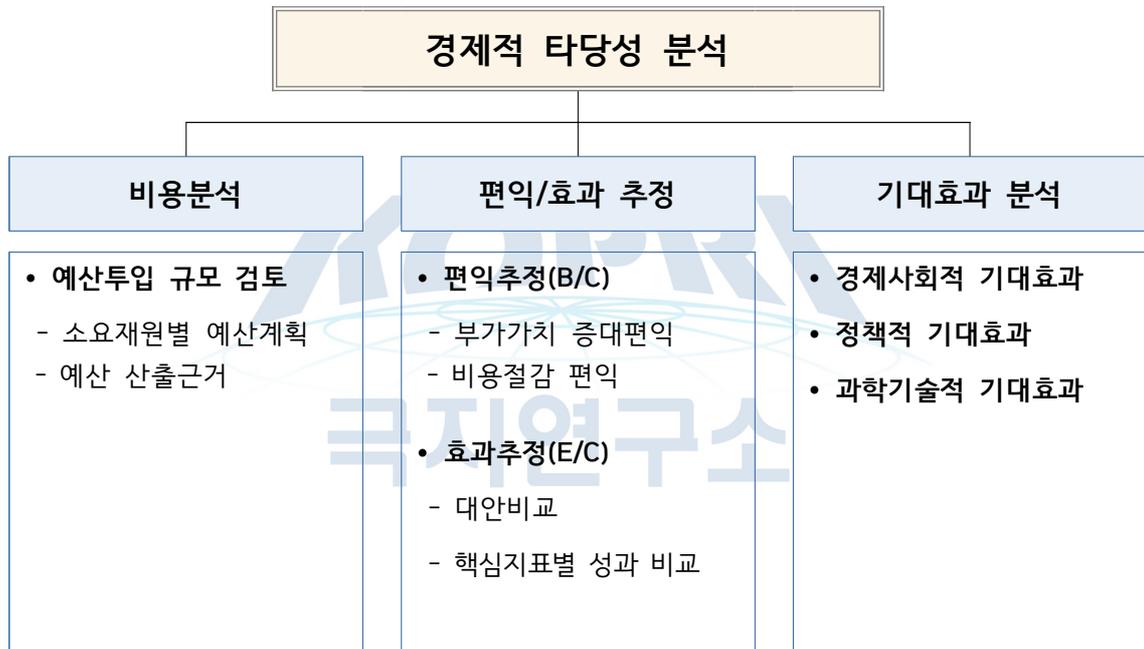


그림 9. 경제적 타당성 분석 개요

- (비용 검토) 국가 전체 및 해양수산부 R&D사업, 유사과제의 투입비용 등과의 비교·분석을 통해 초기 구축비와 해당과제 추진을 위해 소요되는 비용의 적절성을 검토함
- (편익/효과 추정) 동 과제의 추진목적, 예상 산출물 유형 및 활용목적 등을 고려하여 분석방법(비용편익분석, 비용효과분석 등)을 선택·적용함
 - ※ 편익 또는 효과요소들의 정량화 시, 특정값을 확정하기 어려운 경우에 대해서는 가장 보수적인 예측 및 가정을 적용함으로써 편익의 과대 추정을 방지함

- (기대효과 분석) 간접적으로 발생하는 경제사회적, 정책적, 과학기술적 혜택을 기대효과로 정리하여 동 과제의 추진 타당성을 보완함

※ 동 과제는 남극대륙 빙저지형 연구에 무인관측기법을 도입하는 연구로, 국제공동연구에서의 위상 강화 등의 의의를 지니며 기대효과 분석을 통해 이를 체계적으로 정리함

□ 분석 방법

- ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(KISTEP, 2016)’의 지침 및 권고사항을 준거로 분석 수행
 - 동 과제는 기초연구와 장비구축이 혼재되어 있는 복합 R&D에 속하며 이 경우 연구개발비, 연구 시설·장비 구입 및 유지비, 연구관리비로 구분하여 소요 예산을 검토함

표 21. 국가연구개발사업의 비용검토를 위한 분석체계

과제 성격	분류 기준
연구개발	연구시설·장비 구입 및 유지비, 연구관리비를 제외한 모든 연구개발비
연구 시설·장비 구입 및 유지	연구시설 구축 및 유지비, 연구장비 구입 및 유지비, 시설·장비의 차입금 상환 등
연구관리	연구과제 평가 및 관리비, 국공립연구소와 출연연구소의 인건비, 경상비, 연구개발 관련 사무국 운영비 등

출처) 한국과학기술기획평가원(2016). 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판

- 기초연구를 목적으로 하는 사업의 특성을 고려하여, 동 과제로 인한 무인탐사 방식과 대안을 비교하는 비용효과분석(E/C Analysis)을 통해 경제적 타당성 분석을 수행
 - ※ 비용효과분석은 시장가격의 측정이 곤란한 공공재나 집합재, 무형재를 다루는데 적합한 방법론으로 사용되고 있음
 - ※ 순수 R&D사업, 기타 재정사업 등 비용편익분석이 적합하지 않다고 판단되는 사업의 경우에는 경제사회적·과학기술적 파급효과 등을 산출하고 이를 통해 비용효과분석(Cost-Effectiveness Analysis)을 실시할 수 있음(2017 예비타당성조사 운용지침)

2. 투자계획 검토

가. 비용 내역

□ 총괄 투자계획

- 동 과제는 5년 간('19~'23) 3개 세부과제에 국비 170억 원을 투입하여 무인 탐사시스템 기술개발 및 빙상·빙저 지형 연구를 추진할 예정임
 - 5년 간('19~'23) 연평균 34억 원의 규모로, 기술개발 및 장비구축이 병행 추진되는 초기 2년('19~'21)에 총 88억 원이 소요되며 이후에는 자동화시스템 테스트 및 실증 등에 총 82억 원을 투입할 계획임
 - 빙하의 표면·심부 관측이 가능한 무인탐사플랫폼을 개발하는 세부과제[A](무인자동화 탐사 플랫폼 도입)에 가장 많은 예산(전체대비 51.8%)이 투입됨
 - 탐사를 통한 자료 획득·분석의 세부과제[B](빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작)과 컨소시엄 참여의 세부과제[C](BEDMAP3 컨소시엄 참여)에 각각 전체 예산의 40.6%, 7.6%가 소요됨

표 22. 총괄투자 계획

(단위: 억 원)

구분	2019	2020	2021	2022	2023	계
[A] 빙권탐사용 무인탐사시스템 도입	25.0	33.0	14.0	9.0	7.0	88.0
[B] 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작	11.0	15.0	14.0	17.0	12.0	69.0
[C] Bedmap3 컨소시엄 참여	2.0	2.0	2.0	4.0	3.0	13.0
합 계	38.0	50.0	30.0	30.0	22.0	170.0

- 동 과제는 순수 기초연구를 목적으로, 이윤창출이 불확실하여 민간이 주도하기 힘든 영역을 다루고 있으며 연구결과는 국가적·공공적 차원에서 관리·활용될 예정이므로 국가 주도 기술개발사업으로 기획됨

※ 동 과제는 빙하내부 및 하부를 탐사할 수 있는 극지용 탐사장비를 개발하고, 이를 남극대륙 빙저지형(BEDMAP) 조사에 활용하여 빙저지형도를 작성하는 것을 목표로 설정

□ **소요자원별 투자계획**

- 동 과제는 연구개발 및 기반구축 성격이 혼재된 복합R&D로, 연구개발 52.1%, 장비구축 36.1%, 연구관리 및 기타 11.8%의 비율로 예산이 투입됨
 - (연구개발) 인건비, 연구과제추진비, 연구재료비(연구 시설·장비 구입 및 유지비 제외) 등이 포함되며, 총 65.5억 원으로 구성됨
 - (연구시설 및 장비구입) 연구 시설 구축 및 유지비, 연구 장비 구입 및 유지비(용선료/기장비 포함) 등으로, 총 34.5억 원으로 구성됨

표 23. 소요자원별 투자계획

(단위: 억 원, %)

구 분	총 사업비(억 원)	구성비(%)
연구개발(R&D)	111.3	65.5
연구시설 및 장비 구입	연구시설	-
	연구장비	58.7
	소 계	58.7
연구관리 및 기타*	-	-
합 계	170.0	100.0

주) 동 과제의 예산은 직접비로만 구성
(간접비(연구관리 및 기타) 계상 여부 및 규모 등은 추후 과제 상세기획 시 검토 예정)

□ **예산 산출근거**

- (장비가액) 동 과제 추진에 요구되는 12종 이상의 장비 구매에 총 58.7억 원이 소요될 것으로 예상되며, 연평균 장비가액은 11.7억 원 수준임
 - 빙권탐사용 무인 탐사시스템 구축(세부과제△)에 약 12종의 장비가 투입되며, 특히 ‘유무인 비행체 시스템’ 구입에 전체 장비구입비의 42.6%에 해당하는 25억 원이 소요됨
 - 무인 탐사시스템 기술개발이 이루어지는 초기 3년간(‘19~’21년) 장비구입이 활발하게 이루어지며, 이후 자료획득 및 분석에 필요한 가상센서, IR카메라 등에 4.5억 원이 요구됨

표 24. 소요장비 및 연도별 장비가액

(단위: 억 원)

장비명	장비가액	연도별 장비가액					계
		2019	2020	2021	2022	2023	
유무인 비행체 시스템	25.0	13.9	11.1				25.0
탑재위성안테나	4.5		4.5				4.5
탑재 위성 통신시스템	1.7		1.7				1.7
지상 위성안테나	1.5		1.5				1.5
무선통신시스템	0.5	0.5					0.5
라이다	1.2	1.2					1.2
GIS server	5.0		2.5	2.5			5.0
Magnetometer	0.3			0.3			0.3
초분광계	2.5			2.5			2.5
항공중력계	6.0			6.0			6.0
Laser scanner	3.0		3.0				3.0
SAR	3.0		3.0				3.0
기타(가상센서, IR카메라 등)	4.5				3.0	1.5	4.5
계	-	15.6	27.3	11.3	3.0	1.5	58.7

○ (소요인력) 동 사업에 요구되는 연구인력(M/Y)은 책임급 17명, 선임급 27명, 원급 29명, 기타인력(학생/외부 등) 36명 등 총 109명임

※ 연구인력의 투입비율은 100%로 산정

표 25. 연도별 소요인력

(단위: M/Y)

구 분		2019	2020	2021	2022	2023	합계
내부인력	책임급	3	3	3	5	3	17
	선임급	4	4	4	9	6	27
	원 급	4	4	5	9	7	29
외부인력		2	2	4	5	4	17
학생인력		2	4	4	5	4	19
합 계		15	17	20	33	24	109

나. 비용 적정성 검토

□ 원가계산서의 적절성 검토

- 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」의 비목별 계상기준(제12조 제5항 관련)에 준용하여 투자계획을 검토함

표 26. 비목별 투자계획

(단위: 억 원, %)

비목	세부비목	연도별 사업비					총 사업비 (억원)	비중 (%)
		2019	2020	2021	2022	2023		
직 접 비	인건비	5.6	5.9	6.9	12.0	8.5	38.9	22.9
	재료비	2.3	2.3	2.3	3.0	3.0	12.9	7.6
	연구활동비	3.0	3.0	3.0	5.0	5.0	19.0	11.2
	연구과제추진비	0.5	0.5	0.5	2.0	1.0	4.5	2.6
	연구수당	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	2.9
	위탁연구개발비	10.0	10.0	5.0	4.0	2.0	31.0	18.2
	연구 시설·장비	15.6	27.3	11.3	3.0	1.5	58.7	34.5
	소 계	38.0	50.0	30.0	30.0	22.0	170.0	100.0
간접비		-	-	-	-	-	-	-
합 계		38.0	50.0	30.0	30.0	22.0	170.0	100.0

주) 동 과제 예산은 직접비로 구성되어있으며, 간접비(연구관리 및 기타)의 경우 추후 검토 예정

- (인건비) 동 사업의 인건비 비중은 22.9%(38.9억 원)로 국가전체 R&D사업의 인건비 비중(42.1%, '16년 기준)에 비해 매우 적은 수준임

※ 국가 전체 R&D과제의 인건비 비중(%): 41.7('13년) → 41.9('14년) → 42.5('15년) → 42.1('16년)¹⁾

- (연구수당) 동 사업의 연구수당(5.0억 원)은 총 인건비(38.9억 원)의 12.9% 수준으로 「해양수산 연구개발사업 운영규정」을 준용하고 있음

1) 2016년도 연구개발활동조사보고서, 과기정통부/KISTEP, 2017

※ 연구수당은 인건비(인건비로 계상된 현물·미지급인건비 및 학생인건비 포함)의 20%범위에서 계상되어야 함

- (위탁연구개발비) 「해양수산 연구개발사업 운영규정」에 따라 위탁연구개발비는 위탁연구개발비를 제외한 직접비(139.0억 원)의 40%를 초과할 수 없으며, 동 사업의 위탁연구개발비는 22.3% 수준으로 적절함

□ 유사과제 대비 연구비 규모 비교

- (유사과제 선정) 과제목표, 연구대상, 연구내용 및 방법 등을 고려하여 유사과제 식별을 위한 주요키워드를 도출하였으며, 이를 토대로 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)에서 확인한 5개를 과제를 분석 대상으로 선정함

※ NTIS상의 유사키워드 검색을 통해 최근 6년 간('12~'17) 유사과제 26건(주관/협동)이 도출되었으며, 연구책임자 스크리닝 과정을 거쳐 이 중 5개 과제를 주요 분석대상으로 선정함

- 5개 유사과제는 '관측용 항공기 개발' 또는 '남극 빙하해빙 조사'와 관련되어 있어 동 과제와 내용적 측면에서 일부 유사성이 있으나, 복잡한 빙저지형을 정밀하게 측정할 수 있는 탐사 플랫폼 및 레이더 시스템을 개발하고 3차원 빙저지형도를 제작하는 포괄적 목적의 연구는 동 과제가 유일함

※ 국내의 극지연구는 30년 이상임에도 불구하고 빙하 및 기반암 지형도 탐사 분야는 그 실적이 전무한 수준. 동 기술개발과제 추진을 통해 영국 중심의 국제공동연구 컨소시엄인 'BEDMAP3'에 참여하고, 세계적인 수준의 탐사기술을 확보할 수 있을 것으로 기대

- 기존 정부지원 타 과제와의 투입예산의 적절성 검토를 위해 남극해 외에도 북극해, 연안해역 탐사를 포함하여 확대 검색하였으며, 특히 무인항공기 및 운용시스템 개발에 초점을 맞추어 5개의 분석대상 과제를 선별함

유사과제 검색 키워드

LiDAR&센서, 유무인, SAR&빙하, 자동&이착륙, 빙하&레이더, 지상&고도, 극지&원격, 위성&데이터&링크, 무인&극지, 무인&북극, 무인&남극, 빙권&탐사, 무인&탐사, 빙하구조, 빙저호

표 27. 키워드 검색을 통해 도출한 분석대상 과제(5건)

No	유사과제명	부처명	분석년도
1	마이크로파 인공위성과 현장조사를 통한 해빙과 빙하 관측	교육과학기술부	'12
2	인공위성 SAR 영상을 이용한 남극 장보고 과학기지 주변 빙하와 해빙 조사	교육부	'13~'17
3	무인항공기 해양감시시스템 개발	해양수산부	'15~'17
4	유무인기 복합 항행 기반기술 연구	미래창조과학부	'16~'17
5	2인승 경량항공기(LSA)급 유무인 혼용기 실용화 개발	산업통상자원부	'17

○ (유사과제와의 연구비 규모 비교) 3개 세부과제로 구성된 동 사업의 연평균 연구비는 34.0억 원으로 유사과제 연평균 연구비(5.5억 원)보다 6.2배 높은 수준이나, 이는 동 과제가 타 사업대비 폭넓은 연구범위를 다루고 있으며 중장기(5년)에 걸쳐 추진되는 것에 기인한 것으로 판단됨

- 타 과제 대비 동 사업의 예산 적절성을 검토하기 위해 유사과제의 키워드를 확대하여 검색하였으나 도출된 분석대상 유사과제는 단기적 성격이 대다수이며 유사과제의 평균예산액이 0.6~20.1억 원으로 큰 편차를 보이고 있어, 연구비 규모의 단순 비교보다 연구내용 및 범위를 고려한 분석이 필요함

- 동 과제는 무인탐사시스템 개발 및 3차원 지형도 제작을 동시에 추진하고 있어 유사과제 대비 연구범위가 넓은 것으로 나타남

※ '유사과제1. 마이크로파 인공위성과 현장조사를 통한 해빙과 빙하 관측', '유사과제 2. 인공위성 SAR 영상을 이용한 남극 장보고 과학기지 주변 빙하와 해빙 조사'는 인공위성 활용 등 연구방법에서의 일부 유사성을 보이거나, 동 과제는 해당 유사과제의 한계점을 극복하기 위해 제안하는 과제임

※ '유사과제3. 무인항공기 해양감시시스템 개발'은 해양감시를 위한 무인항공기 시스템을 개발한다는 내용적 측면에서는 일부 유사하나, 동 과제는 극지연구에 특화된 무인항공기를 개발하고 이를 토대로 빙저지형도 작성을 목표로 하고 있어 연구범위가 포괄적임을 알 수 있음

※ ‘유사과제4. 유무인기 복합 항행 기반기술 연구’, ‘유사과제5. 2인승 경량항공기(LSA)급 유무인 혼용기 실용화 개발’의 경우 실용화된 유무인기 활용에 초점이 맞춰져 있어 극지탐사용 무인기를 개발하는 등 과제와는 유사성이 낮음

표 28. 유사과제와의 연구비 규모 비교

(단위: 개, 억 원)

No	과제명	분석년도 수	총예산	연평균 예산
무인탐사시스템을 활용한 남극대륙 빙저지형(BEDMAP)연구		5	170.0	34.0
A	빙권탐사용 무인탐사시스템 도입	5	88.0	17.6
B	빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작	5	69.0	13.8
C	BEDMAP3 컨소시엄 참여	5	13.0	2.6



1	마이크로파 인공위성과 현장조사를 통한 해빙과 빙하 관측	1	0.6	0.6
2	인공위성 SAR 영상을 이용한 남극 장보고 과학기지 주변 빙하와 해빙 조사	5	2.4	0.5
3	무인항공기 해양감시시스템 개발	3	3.0	1.0
4	유무인기 복합 항행 기반기술 연구	2	10.7	5.3
5	2인승 경량항공기(LSA)급 유무인 혼용기 실용화 개발	1	20.1	20.1
평균		-	36.8	5.5

출처) NTIS 검색 결과('18.3)

주) 분석년도의 경우, 총연구기간이 아닌 NTIS에 과제수행정보가 공개된 기간을 대상으로 함

□ 해양수산부 R&D예산 증액의 적절성 검토

- 해양수산 R&D 투자규모는 전반적으로 증가 추세에 있으나 국가 전체 R&D 투자규모에서 차지하는 비중은 약 3% 수준에 불과하며, 해외 주요 국에 비해 다소 낮은 수준임
- 최근 6년 간('13~'18) 해양수산 R&D 투자액 증가율은 연평균 3.5%로 국가 전체(3.1%) 대비 높은 수준이며, 동 과제가 추진되는 '23년까지 지속적으로 확대될 것이라 전망됨

※ 해양수산 R&D투자액은 '16년 일시적으로 감소하였으나 전반적으로 증가 추세를 보이고 있음

- '18년 해양수산 R&D예산은 6,145억 원으로 국가 전체 R&D예산 중 3.1%의 비중을 차지하고 있는데, 이는 미국, 일본, 중국 등 해외 주요국가와 비교할 때 상대적으로 낮은 수준임

※ 국가 전체 대비 해양수산 R&D투자액 비중('10년 기준) : 미국 7.3%, 일본 5.0%, 중국 7.0%, 우리나라 2.6%²⁾

(단위: 억 원, %)



구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR ('13~'18)
해양수산R&D(A)	5,184	5,527	5,867	5,723	5,935	6,145	3.5
국가R&D(B)	168,777	177,793	188,900	190,942	194,615	196,681	3.1
비중(A/B)	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.1	-

그림 10. 해양수산 R&D예산 추이

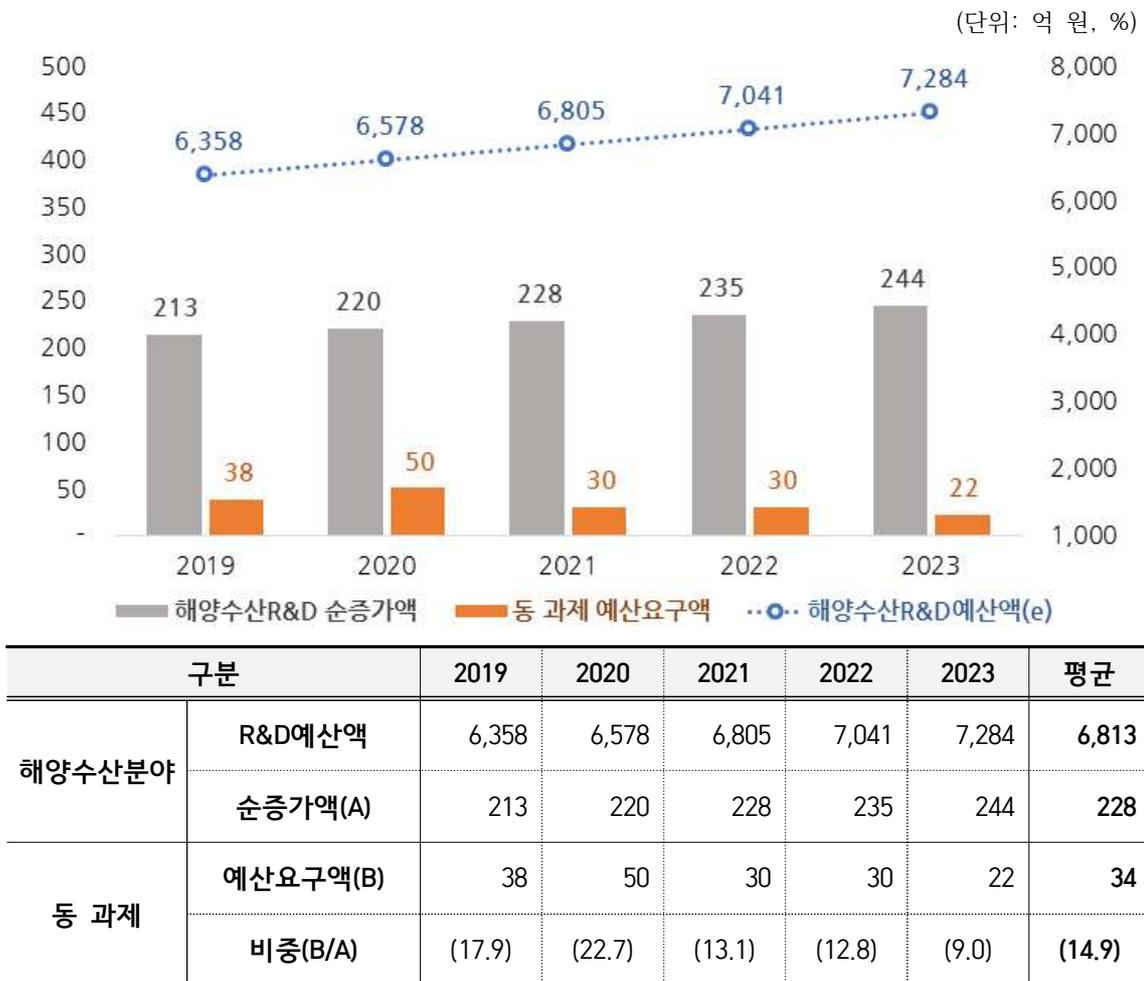
출처) 2018년도 해양수산과학기술 육성시행계획, 2017, 해양수산부

- 동 과제 추진을 위해서는 5년 간('19~'23년) 연평균 34.0억 원(최대 50억 원/년)이 소요되며, 향후 해양수산부 R&D예산 증액 추이를 고려하였을 때 재원 조달에 무리가 없을 것으로 판단됨

2) 해양수산부(2014), 해양수산R&D 중장기계획(2014~2020)

- 최근 6년 간('13~'18년) 해양수산 R&D예산 증가율 3.5%를 적용하여 동 사업 추진기간 동안의 예산 순증가액 규모를 추정한 결과, 연평균 228억 원이 증액되는 것으로 나타남
- 동 사업의 연도별('19~'23년) 예산요구액은 연평균 34.0억 원으로 해양수산부 R&D예산 순증가액 추정치의 평균 14.9% 수준(최저 9.0%, 최대 22.7%)에 불과하므로, 충분히 수용가능한 수준인 것으로 판단됨

표 29. 동 사업 소요예산의 조달가능성 추정



주) '19~'23년 해양수산R&D예산의 경우, 해양수산 R&D예산 연평균성장률('13~'18년) 3.5%에 기반하여 추정

3. 효과 추정

가. 분석 방법론 선정

- 동 과제로 발생하는 성과를 활동(Activities), 산출(Output), 결과(Outcome), 결과(Outcome), 효과(Impact)의 단계에 따라 논리적으로 구조화하여 분석 항목을 파악함

	활동 (Activities)	산출 (Output)	결과 (Outcome)	효과 (Impact)
A 무인 자동화 탐사플랫폼 도입	<ul style="list-style-type: none"> 비행체 구매/개조 지상체 구매/개조 극지환경 비행장비 운영 알고리즘설계 	<ul style="list-style-type: none"> 빙하 및 하부탐사 가능 무인자율주행 비행기(1대) 지상통제장비(2대) 	<ul style="list-style-type: none"> 지상/기상 조건에 관계없이 탐사 접근성이 우수하고 원거리 탐사가 가능 빠른 속도로 탐사 영역 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 유인기 탐사방법 대비 비용/시간 절감 가능 악기상시 자동으로 귀환하여 인명사고 우려 없음 전후방 산업경쟁력 강화에 기여(소재, 플랫폼, 에너지 등) 극지용 Soft Infra 구축으로 글로벌 극지연구선도의 발판 마련
	<ul style="list-style-type: none"> 레이더 설계 및 제작기반 마련 통합/운영 SW 프로그램 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 비행체 탑재 연구센서 모듈 (SAR, LiDAR, 중력계, 기상) 	<ul style="list-style-type: none"> 적설량 계산으로 극지연구분야 확대 (기후/고기후 등) 	
	<ul style="list-style-type: none"> 무인플랫폼/센서 통합 및 운영 개념 수립 	<ul style="list-style-type: none"> 무인 플랫폼/센서 통합운영 통신 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> 장비효율성 증대 (다양한 센서통합 모듈/원격제어 등) 	
B 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작	<ul style="list-style-type: none"> 국외현장탐사 참여 탐사지역 선정/조사 (20→10→5km격자) 	<ul style="list-style-type: none"> 빙상 및 빙저지형 데이터 	<ul style="list-style-type: none"> 기존대비 탐사면적 확대(25배 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> 빙상/빙저 지형 data확보를 통해 남극대륙 진출의 기회 선점
	<ul style="list-style-type: none"> DB통합 활용체계 구성 데이터 맵핑/가시화 기술개발 및 시험 	<ul style="list-style-type: none"> 공간(GIS) 빅데이터 가시화 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 통합활용 체계로 연구효율성 및 몰입도 향상 	
	<ul style="list-style-type: none"> 국외현장탐사 자료 처리 → 빙저특성 규명 	<ul style="list-style-type: none"> 3차원 빙저지형도 (500x500km² 구간 격자 3km이내) 빙상두께 분포도 	<ul style="list-style-type: none"> 심부빙하 시추지 선정 가능 세계수준의 연구 결과도출 가능 	
C Bedmap3 컨소시엄 참여	<ul style="list-style-type: none"> 국제공동연구 캠페인 구성 Metadata체계구성 (Bedmap요구조건) 	<ul style="list-style-type: none"> DB구성 공유네트워크 형성 	<ul style="list-style-type: none"> 협동연구로 인한 국제협력 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 국제사회 데이터 공여를 통한 국가위상 강화 및 과학영토 확장
사업목표 (Goal)	국내 기술로 무인 플랫폼/탐사시스템을 개발하여 남극 광역 탐사에 활용하고 빙저지형도 작성을 통해 동남극 연구거점 확대			

- 동 과제는 기초연구 특성을 지니고 있어 발생하는 효과의 화폐화가 어렵고, 독립적으로 편익이 발생한다고 간주할 수 없어 비용효과분석(E/C Analysis)을 수행함
- ‘극지 무인탐사 플랫폼 개발 및 3차원 고정밀 빙상/빙저 지형도 작성’은 공공적 성격을 지니고 있어 민간시장에서 거래되는 경우가 드물고 직접적인 판매 시장을 산정하기에 어려움이 있음
 - ※ 극지연구는 민간이 아닌 국가 주도로 수행되고 있으며, 극지에 특화된 무인탐사 플랫폼 개발은 국제적으로 태동기에 해당하여 시장이 직접적으로 형성되어 있지 않다는 특성을 지님. 또한 남극의 빙저지형도 역시 국제 공동연구(Bedmap 컨소시엄)를 통해 부분적으로 구축되고 있는 실정으로 거래시장을 산정할 수 없음
- 동 사업의 경제성 분석을 위해서는 신기술 개발로 인한 새로운 가치창출, 기술이전에 의한 로열티 수입 등 발생할 수 있는 모든 편익을 고려해야 하나 사실상 현실적인 측정이 불가능함
 - ※ 탐사지역이 점차 남극 내륙으로 확대됨에 따라 지역적/기상적 조건제한이 없는 무인자동탐사 인프라 시스템 구축의 중요성이 커지고 있는 시점에서, 탐사의 경제적 가치를 결정하고 장기적으로 추계하는 것은 무리가 따름
- 상기 특성을 감안하면 비용편익분석(B/C Analysis)을 통한 경제성 분석은 동 과제의 경제적 타당성 분석에 부적합한 방식으로 판단되며, 국가연구개발사업 예비타당성조사 표준지침에 따라 비용효과분석을 수행함

표 30. 비용효과분석의 적용이 가능한 R&D사업 유형 81

연구개발 편익 항목		연구개발사업 유형		
		기초·원천연구	응용·개발연구	인프라구축 (시스템, 시설 등)
가치창출	소비자중심 편익	0 (특허, 논문 등 과학기술지식)	-	-
	생산자중심 편익		-	-
비용저감	생산비용저감 편익		△ (공공재의 경우)	△ (공공재의 경우)
	피해비용저감 편익		0	0

출처) 국가연구개발사업의 비용효과분석 방향 연구, 2017, KISTEP

- ‘빙권 무인탐사시스템 기술개발’과 동 과제의 대안인 ‘유인기 활용 탐사’를 비교하여 상대적인 비용절감효과를 분석 범위로 설정함
 - 동 과제를 통한 연구결과물의 적용 지역 및 범위가 한정되어 있으므로 비용효과 분석 방법론을 적용함
 - ※ 분석의 정확도를 높이기 위해서는 기존에 개발되어 있는 ‘빙권 탐사용 무인기 및 시스템’을 구입하는 방법을 고려하여야 하나, 해당 기술은 세계적으로 초기단계에 있어 거래되는 시장이 존재하지 않음. 따라서 대안인 ‘유인기 활용 탐사’와 비용효과 측면을 비교
 - 동 과제는 ICT기술을 접목하여 빙상 및 빙저 관측에 특화된 무인비행체, 센서, 레이더, 통합운용프로그램 등 무인자동 탐사플랫폼 개발을 목표로 하고 있으며, 동 과제가 추진되지 않을 시 유인기를 활용한 탐사가 유일한 대안임
 - ※ 현재 우리나라는 유인헬기(HNZ Squirrel AS-350/B2), 설상차(Pisten Bully-10과 330), 스키두 (Skidoo Polaris)를 이용³⁾하여 기지주변/하절기 탐사에 국한된 연구를 수행하고 있음. 그마저도 헬기는 대부분 운반/수송을 위해 사용됨. 최근 헬기에 Ice Radar를 장착하여 David 빙하 및 Nansen 빙봉 주변 탐사가 이루어진 이후, 항공플랫폼의 중요성에 대한 인식이 확대되고 있음
 - ※ 현재 극지탐사에 무인기를 도입하고 있는 국가는 극소수에 불과함. 미국은 약 220 억원을 투입하여 빙권탐사에 필요한 센서가 탑재된 무인항공기를 개발·운영하고 있으며, 영국은 항공 유·무인 타마를 병행하고 있음. 중국은 자체개발한 Poral Hawk2헬기형 무인기 및 고정익 무인기를 이용하여 활용 중임
 - 무인항공기를 활용한 극지탐사는 유인기와는 달리 지상/기상 조건과 인명사고 우려에 관계없이 원거리 탐사가 가능하나, 분석의 편의상 두 가지 방식의 효과는 동일하게 주어졌다고 가정하고, 이 때 투입되는 비용을 비교하는 ‘고정효과접근법(Fixed effectiveness approach)’을 준용하여 분석을 실시함
 - ※ 비용효과분석의 접근방법은 고정효과접근법(Fixed effectiveness approach)과 고정비용접근법(Fixed budget approach)으로 크게 구분됨. 고정효과접근법은 효과가 주어졌다고 할 때 이 효과를 달성하는데 가장 적은 비용이 들어가는 대안을 선택하는 방법으로 각 대안의 비용과 효과 비율을 계산하여 이 비율이 가장 낮은 대안을 선택함. 이와 달리 고정비용접근법은 예산(비용)이 주어졌다고 가정하고 이 예산 하에서 목표(효과)를 최대로 달성하게 하는 대안을 선택하는 방법임⁴⁾

3) 남극장보고과학기지 활주로 건설 및 항공망 구축방안, 2012, 극지연구소

4) 국가연구개발사업의 비용효과분석 방향 연구, 2017, KISTEP

[사업개요]

- (사업목표) 전력수급 안정화 및 송전선로 증설 문제해결을 위한 전압형 직류 송전시스템 및 핵심부품 기술개발을 목표
- (총사업비) 1,860억 원(정부 744억원 / 민간 1,116억 원)
- (사업기간) 2016~2019 (총 4년)
- ☞ 시장점유 및 국내생산 증가를 목표하는 사업이 아니므로 시장수요 중심의 편익 추정방법이 적절하지 않음
- ☞ 기술확보를 통한 직접적인 목표가 시장점유나 국내 생산증가가 아닌, 현재 국내 송전망 운영의 이슈를 국가적 핵심 인프라 측면에서 해결하고자 함

[비용효과분석]

- (분석방법) 동일한 효과를 가정한 기술적 대안 간 비용투입의 효율성을 비교하여 최적 대안을 도출하는 고정효과접근법 적용
- (분석가정) 수도권 환상망 신뢰성 제고, 기존·신규 발전단지 전력 인입선로 확보 등의 이슈 해결을 목적으로 일반적인 HVDC시스템의 수명인 30년 적용
- (분석결과) 기술적 대안으로 ①전류형HVDC, ②전압형HVDC 2가지를 비교한 결과, 국내 송전망 이슈를 해결하는 비용 측면에서 전압형HVDC가 효율적인 것으로 타나남

대안	세부비목					소계
	컨버터 스테이션	무효전력 보상 및 AC필터	추가용지 비용	운영 및 유지보수	R&D	
①전류형HVDC	14,562	5,023	-	794	-	20,380
②전압형HVDC	16,747	-	-	1,059	1,698	19,503

나. 비용효과분석

□ 분석 가정

- (연구효과) 동 비용효과분석은 고정효과접근법으로 실시하며, 탐사 비행체 활용을 통해 다음과 같은 고정효과가 동일하게 나타난다고 가정함
 - 빙상 및 빙저 지형 자료획득 및 특성 규명
 - 빙저탐사 기술 공유를 위한 국제공동 캠페인 및 데이터 공유체계 구성
 - ※ 현행 방식(유인기 활용)에 비해 동 과제 방식(무인 탐사플랫폼 활용)은 연구범위 확대, 탐사시간 단축(별도의 자료처리시간 불필요), 탐사해상도 향상 등 연구효율성을 높이며 빙상 내부구조/빙저수문/빙저지질구조 특성 등을 규명할 수 있어 다양한 부가적인 효과가 발생하나, 고정효과접근법 적용을 위해 상기 효과로 한정함
- (분석기간) 비용효과 비교기간으로는 '극지탐사용 비행체 및 센서·레이더'와 관련한 기술수명주기(TCT: Technical Cycle Time) 중앙값 평균인 약 9년을 적용하며, 현장에 적용되는 '22년부터 '30년까지를 분석기간으로 가정함
 - 동 과제는 무인관측기기 개발로 인한 경제적 편익산출을 목표로 하고 있지 않으므로 연구개발의 효과가 발생하기까지 소요되는 시간(회임기간)을 고려하지 않음
 - ※ 회임기간이란 경제적인 편익/효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 의미하며, 일반적으로 연구개발 활동으로 인한 경제적 효과가 발생하기 위해서는 사업화 등의 시간이 소요되고 이 기간에는 경제적 편익/효과가 발생하지 않는 것으로 간주⁵⁾
 - 무인자동화 탐사 플랫폼이 처음으로 투입되는 '22년(기술개발 4차년도)을 기준시점으로 설정함
 - ※ 동 과제의 산출물인 무인자동화 탐사 플랫폼은 연구개발(R&D)기간을 거친 뒤 4차년도('22년)에 남극 내륙 연구거점에 투입됨
 - 동 과제의 산출물인 '극지 무인탐사 플랫폼'과 관련된 특허를 기반으로 기술수명주기(TCT)를 추정하여, 약 9년간 동 기술개발의 효과가 발생하는 것으로 가정함
 - ※ 기술수명주기(TCT)는 기술변화 관련 측정지표로, 인용-피인용 특허 시차의 중앙값(인용된 특허들의 발행년도와 인용한 특허의 발행년도 차이값들의 중간값)으로 정의됨. 이 값은 기술발전의 속도에 대한 정보를 제공함과 동시에 해당 특허에 포함된 기술의 유효수명을 의미

5) 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(KISTEP, 2016)

표 31. 동 과제 관련 특허의 기술수명주기(TCT)

국제코드 (IPC)	내 용	TCT증양값 (년)
B64C	비행기; 헬리콥터	11
B64D	항공기의 장비; 비행복; 패러슈트(낙하산); 동력 장치 또는 추진 전달 기구의 설비 또는 장치	10
B64F	지상 설비 또는 항공기, 운반용 갑판의 설비	11
G01H	기계적 진동 또는 초음파, 음파 또는 아음파의 측정	8
G01K	온도의 측정; 열량의 측정; 달리 속하지 않는 감온소자	8
G01S	무선에 의한 방위결정; 무선항행; 무선전파의 사용에 의한 거리 또는 속도의 결정; 무선전파의 반사 또는 재방사의 사용에 의한 위치 또는 유무의 탐지;기타의 파류를 사용하는 유사한 방식	8
G06K	데이터의 인식; 데이터의 표시; 기록매체; 기록매체의 취급	7
평 균		약 9년

출처) 산업부(2014). 기술가치평가 실무가이드

○ (비용비목) 동 과제의 목표인 '극지 무인탐사 플랫폼 개발'과 대안인 '유인기 활용 탐사'는 비용구조가 상이하므로 각 대안의 비용측면을 비교하고, 동일하게 발생하는 비용은 비용효과분석에서 제외함

- 동 과제(극지 무인탐사 플랫폼 개발)의 수행을 위해서는 무인비행체 및 센서·레이더 통합운용 시스템 연구개발(R&D)비용, 연구개발 종료 후 운영·관리 비용이 발생하며, 현재 추진되고 있는 '유인기 활용 탐사'에는 헬기 임차료, 전문인력 인건비, 연료비, 기타 운영비 등이 투입됨

※ 현재 활용되고 있는 헬리콥터(AS-350)는 남극 대륙기지의 운영 특성상 연단위로 계약하며, 운항횟수와 상관없이 임차비는 고정되고 횟수에 따른 유류비만 부담

- 전문인력 중 항공관제 인건비, 유류비, 운영·관리비는 '유인기 활용탐사'와 '무인플랫폼 활용탐사'에 동일하게 투입된다고 가정하고 분석에서 제외함

※ 유인기 조종에는 전문인력 3명이 투입되며, 무인기의 경우 조종인력 투입이 불필요함. 유인기의 경우 항공/관제 전문인력 3명이 투입되며, 이는 무인기에도 동일하게 적용된다고 가정⁶⁾

6) 장보고과학기지 운영 종합계획 수립 사업 보고서(2012, 극지연구소 내부자료)

표 32. 대안별 비용구조 비교

비목	1안. 대안 (유인기 활용 탐사방식)	2안. 동 과제 (무인 탐사플랫폼 기술개발)
연구개발비(R&D)	-	○
임차비	○	-
인건비*	○	○
운영·관리비	○ (분석 제외)	○ (분석 제외)
유류비	○ (분석 제외)	○ (분석 제외)

출처) '장보고과학기지 운영 종합계획 수립 사업' 보고서(2012, 극지연구소 내부자료)

주1) 인건비의 경우 1안은 조종 및 관제 인력이 모두 투입되며, 2안은 관제인력만 투입

주2) 유류비, 운영·관리비의 경우 1안과 2안 모두 동일하게 발생한다고 가정

□ 비용 추정

- (1안. 유인기 활용 탐사연구) 유인기 활용 탐사방식으로는 운영·관리비, 유류비 등을 제외하면 연간 12.8억 원이 투입되는 것으로 추정됨
 - 현재 우리나라는 주로 항공연구보다는 육상에 기반한 연구가 주를 이루고 있는 실정이나, 최근 유인헬기를 활용한 David빙하주변, Nansen빙봉 근처에서 탐사를 수행하여 성과를 거둔 바 있어 항공 탐사의 중요성이 점차 강조될 것으로 예상됨
 - ※ 현재 유인기는 하계기간(11~2월, 4개월 간)에만 제한된 지역 내(마리오슈켈리 기지(이태리) ↔ 장보고 기지, 아라온호 ↔ 장보고기지)로 운항하고 있으며, 이마저도 기지 보급 및 인력 수송의 목적으로 주로 활용되고 있음⁷⁾
 - 운영·관리비, 유류비를 제외하였을 경우 연간 임차비 8.58억 원, 인건비 2.79억 원이 투입되며, 별도로 기타 제반비용 1.45억 원이 필요하여 '유인기 활용 탐사연구'에는 연간 총 12.8억 원의 비용이 발생하는 것으로 추정됨

7) 장보고과학기지 운영 종합계획 수립 사업 보고서(2012, 극지연구소 내부자료)

표 33. 현행 유인기 활용 탐사방식의 비용 내역

	내용	연간비용(억 원)
임차비*	◦ 헬리콥터(AS350) 임차비 - 남극하계시즌(\$715,140 x 1,200원)	8.58 (유류비 별도)
인건비	◦ 헬기운영 3명 x 연간인건비(93,147천원)	2.79
기타 제반비용	◦ (인보험료) 1인당 약 1,125천원 x 3명 ◦ (주부식비) 1인당 31,104천원 x 3명 ◦ (피복비) 1인당 6,962천원 x 3명 ◦ (국외여비) 1인당 7,543천원 x 3명 ◦ (극지방한복) 1인당 1,725천원 x 3명	1.45
합 계	-	12.8

주) 남극 대륙기지 운영 특성상, 헬리콥터는 연단위로 계약 가능
출처) '장보고과학기지 운영 종합계획 수립 사업' 보고서(2012, 극지연구소 내부자료)

○ (2안. 극지 무인탐사 플랫폼 개발) 동 과제를 추진할 경우 운영·관리비, 유류비 등을 제외하면 R&D비용 88억 원이 소요될 것으로 예상됨

- 동 과제가 추진되는 5년 간('19~'23년) 총 88.0억 원의 무인 탐사플랫폼 개발 비용이 소요됨

※ 동 과제의 예산은 총 170억 원이나, '유인기 운항'에 대응하는 경제성 분석을 위해 '무인 탐사플랫폼 개발(세부과제A)' 비용인 88억 원만을 산정하며, '빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작(세부과제B)', 'Bedmap3 컨소시엄 참여(세부과제C)'에 필요한 82억 원은 분석에서 제외함

※ R&D개발 이후 운영·관리비, 유류비 등은 '유인기 활용탐사'와 '무인플랫폼 활용탐사'에 동일하게 투입된다고 가정하여 분석에서 제외함

표 34. 동 과제의 무인탐사플랫폼 개발비용

(단위: 억 원)

구분	2019	2020	2021	2022	2023	계
A) 빙권탐사용 무인탐사시스템 도입	25.0	33.0	14.0	9.0	7.0	88.0

□ 분석 결과

- ‘유인기 활용(1안)’의 분석기간(‘22~’30년) 동안 발생하는 비용과 ‘극지 무인 탐사플랫폼 개발(2안)’의 R&D비용의 현재가치를 합산한 결과, 동 과제가 비용효과 측면에서 우수한 것으로 분석됨
- 1안(유인기 활용 탐사연구)은 81.7억 원, 2안(극지 무인탐사플랫폼 개발)은 79.6억 원이 소요되는 것으로 나타나, 2안인 동 과제를 추진하는 경우 2.1억 원의 비용을 절감할 수 있음(’18년 현재가치 기준)

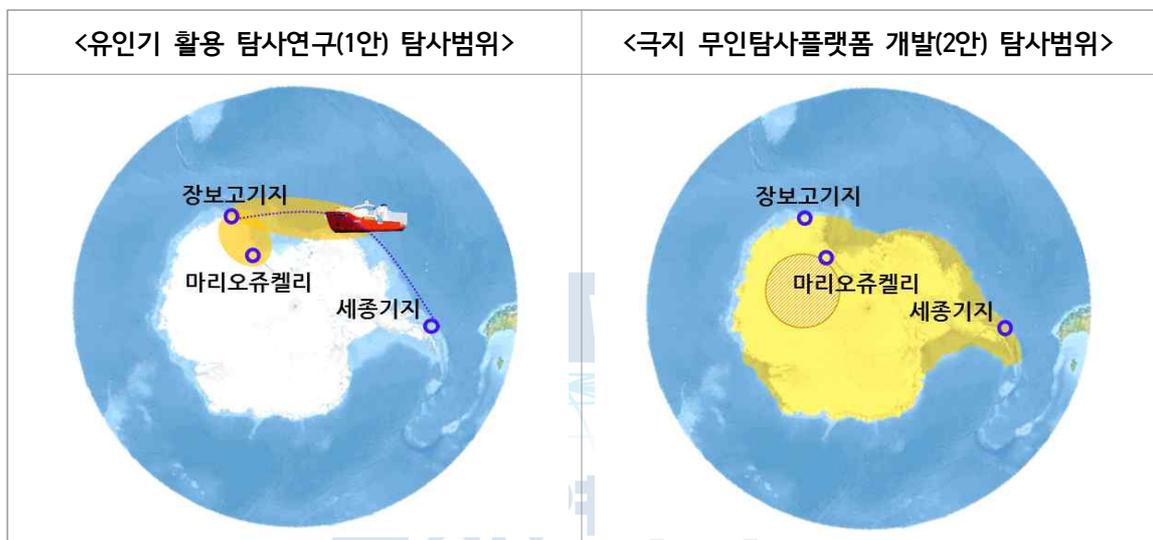
표 35. 비용효과분석

(단위: 억 원)

년도	1안 (유인기 활용)					2안 (극지 무인탐사 플랫폼 개발)		
	임차비	인건비	기타 제반비용	총비용	현재가 (NPV)	R&D비	총비용	현재가 (NPV)
2019						25.0	25.0	23.9
2020						33.0	33.0	30.2
2021						14.0	14.0	12.3
2022	8.6	2.8	1.5	12.8	10.8	9.0	9.0	7.5
2023	8.6	2.8	1.5	12.8	10.3	7.0	7.0	5.6
2024	8.6	2.8	1.5	12.8	9.8	-	-	-
2025	8.6	2.8	1.5	12.8	9.4	-	-	-
2026	8.6	2.8	1.5	12.8	9.0	-	-	-
2027	8.6	2.8	1.5	12.8	8.6	-	-	-
2028	8.6	2.8	1.5	12.8	8.3	-	-	-
2029	8.6	2.8	1.5	12.8	7.9	-	-	-
2030	8.6	2.8	1.5	12.8	7.6	-	-	-
계	77.2	25.1			81.7	88.0	88.0	79.6

주) 현재가치(Net Present Value) 산출을 위한 할인율은 개편된 예비타당성조사 기준인 4.5% 적용
(기획재정부 보도자료 2017.8.11.자)

- 분석기간동안 1안(유인기 활용)과 2안(극지 무인탐사플랫폼 개발)의 비용은 유사하게 나타나 비용절감효과가 크지 않은 것으로 인식될 수 있으나, 무인플랫폼을 활용한 2안의 경우 1안에 비해 광역적 탐사가 가능하므로 동 과제 추진의 효율성이 유인기 활용에 비해 높은 것으로 추정됨
- 2안은 1안과는 달리 동계기간에도 관측 가능하며, 공간적인 관측범위 역시 남극 내륙지방까지 확장할 수 있음
- ※ 1안은 하계기간동안 마리오슈켈리 기지↔장보고기지, 아라온호↔장보고기지 간 단거리 운행만 가능한 반면 2안의 경우 지역적/계절적 한계 없이 광역적 탐사가 가능

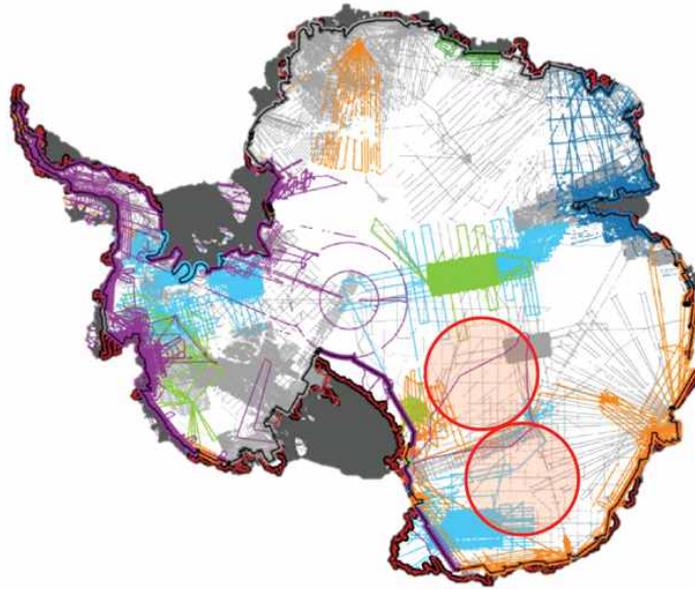


[그림 11] 1안과 2안의 탐사 가능범위 비교(노란색 음영)

주) 2안의 노란색 원 표시는 우리나라 내륙기지 후보지에 해당함

- 정량적 분석의 편의성을 위해 1안과 2안의 연구성과(Output)가 동일하다고 가정하였으나, 실제로 2안의 경우 우리나라가 과거 30년동안 실적을 내지 못했던 ‘빙하 및 빙저 지형도 탐사’를 가능케 한다는 점에서 큰 의의를 지님
- ※ ‘15~’16년 극지연구소는 ‘남극 대륙 육상탐사지원을 위한 크레바스 탐지연구’의 일환으로 미국 UTGI와 공동으로 헬기장착용 Ice Radar를 개발하여 ‘16~’17 시즌에 장보고 과학기지 주변(K-route) David빙하주변과 Nansen, Drygalski빙설에서 탐사를 수행하여 자료를 취득한 경험이 유일함
- 남극에서의 과학영토 확장을 위해서는 빙저지형도 제작이 필수적이며 특히 현재까지 국제적으로 아직 탐사가 이루어지지 않은 내륙 연구거점지역 등의 탐사를 위해서는 무인기 외에도 특수센서·레이더 등의 플랫폼, 데이터처리 시스템 등의 탐사효율성 증진을 위한 기술개발이 필요한 실정임

※ 국제 공동연구 프로젝트인 BEDMAP1,2에서는 빙저지형을 탐사해 왔으나 일부 관
심지역에만 집중되어 있으며, 장보고 기지주변 및 내륙 연구거점 지역(하기 그림의
붉은색 원)은 탐사가 거의 이루어져있지 않아 무인기를 활용한다면 탐사 범위를
비약적으로 확대시킬 수 있을 것으로 기대



[그림 12] BEDMAP2의 탐사 축선

주) 붉은색 원은 탐사가 현재까지 활발하지 않은 지역

- 무인기, 센서 개발 뿐만 아니라 인공지능·딥러닝 기반의 실시간 빅데이터 수집·
처리 시스템 구축 등을 통해 기술, 장비, 연구데이터 자립도를 실현할 수 있으
며, 이를 토대로 국제 협력프로그램에서의 역할 및 발언권 확대 등의 효과를
가져올 것으로 기대됨

※ 2안(동 과제) 추진을 통해 현재까지 탐사가 미진하였던 장보고 과학기지 주변
(250,000km²)을 적극 탐사하고자 하며, 향후 데이터가 축적되면 국제 공동네트워크
(BEDMAP3)에서의 발언권을 확대할 수 있을 것이라 예상

4. 기대효과

□ 경제사회적 기대효과

- (글로벌 무인기 관련 산업 조기선점) 극지해양에 적용가능한 최첨단 무인 플랫폼 시스템 개발을 통해 새로운 서비스 시장을 발굴하고 초기단계에 있는 글로벌 무인기 시장에서의 시장경쟁력을 확보할 수 있음
- 동 과제에서 목표하고 있는 무인기 개발 분야는 응용범위가 넓고 기술과급력이 높아 제조업 외에도 로봇, 자율주행차, 스마트물류 등 미래 초연결 사회의 새로운 서비스시장 창출이 가능할 것으로 기대됨
- ※ 무인기(드론) 분야는 군수부문, 항공부문 외에도 자율 무인수송시스템, 네트워크 기반 실시간 유연서비스, 원격 응급서비스 등으로 진화하고 있으며, 특히 인력을 투입하기 어려운 3D업무에서 정보획득 및 작업수행 활용도가 높다는 특성을 지님⁸⁾
- ※ 무인기 산업은 로봇, 자율주행차, AR·VR, 시뮬레이션 기반 학습, 고정밀센서, 고성능 배터리, 무인물류공장 및 무인택배, 스마트농업, 무인 재난·교통 감시 등의 다양한 산업에 파급 가능함

참고 세계 무인기(드론) 산업전망

- 미국 방산업 전문 컨설팅업체인 티그룹(Teal Group)은 세계 드론산업 규모가 '15년 40억 달러에서 '24년 147억 달러 규모로 확대될 것이며, 특히 소형 무인기 산업의 두드러진 성장을 예상하고 있음⁹⁾



- 드론산업은 향후 건설, 에너지, 농·임업, 통신, 보험, 촬영, 배송, 취미, 치안/방재 등의 분야에 폭넓게 활용될 것으로 전망됨

8) 드론 활성화 지원 로드맵 연구, 2017, 국토교통부

9) 드론 시장 및 산업 동향, 2017, 융합연구정책센터

- 무인비행체와 그에 탑재되는 센서 개발을 통해 부품기술수준을 향상시킬 수 있을 것으로 예상됨에 따라 드론산업을 선점하기 위한 각국의 치열한 경쟁구도에서 우위를 차지할 수 있을 것임

※ 국내 무인비행기 시장은 현재 704억 원이나, 2026년까지 4조 4,000억 원으로 그 규모를 신장시키고 기술경쟁력을 세계 5위권으로 진입시키기 위한 정부지원계획이 발표됨 (국토교통부 드론산업발전 기본계획)

- (다양한 파생산업과의 동반성장 활성화 및 수입대체효과 기대) 무인시스템 원천기술개발은 부품기자재의 수입 대체효과를 가져올 수 있으며, 연안관리, 재난, 우주 등 특수임무에 응용가능하여 유관산업 경쟁력 제고 및 일자리 창출에 기여 가능함

- 특수센서 등 극지해양 무인 탐사플랫폼 개발 연구는 추후 극지 뿐만 아니라 해양감시, 자원개발 등의 분야에서 활용될 수 있으며, 현재 해외 의존도가 높은 국내 해양기자재 산업의 국산화율을 높일 수 있는 기회를 제공할 것임

※ 현재 우리나라가 남극에서 사용하는 센서 등의 연구장비는 국외 프로젝트 참여연구원이 보유한 것을 사용하고 있으며, 국외의 탐사장비 및 기술에 의존하기 위해 공동연구를 수행하는 경우가 많음

- 동 연구개발성과물인 특수센서, 레이더, 데이터 처리 SW 등은 인공지능/딥러닝, 빅데이터 등의 기술을 필요로 함에 따라 해양기자재 외에도 ICT관련 산업의 새로운 비즈니스 모델 창출에 활용될 수 있음

- 극지탐사 무인플랫폼 기술개발의 성과는 향후 지능형 무인 건설기계, 우주탐사 및 개척용 로봇 등에 응용되어 첨단·거대공공 산업에 다양하게 활용될 수 있으며, 관련 산업과의 동반성장을 도모할 수 있음

※ 극지환경용 무인시스템은 재난, 우주탐사 등 분야의 임무형 시스템 개발에 응용 가능

- (사회문제·국가이슈 해결에 기여) 노동인구 감소, 일자리 부족, 재난사고 증대 등의 사회문제가 부각됨에 따라 무인시스템의 필요성이 커지고 있으며, 동 연구개발은 상기 국가적 이슈를 해결하여 국민행복 달성에 기여 가능함

- 동 연구는 산업체와의 기술협력을 통해 민간영역의 무인시스템 개발·활용을 촉진시킬 것이며, 이는 인건비 상승 및 고령화로 인한 노동인력 부족 문제의 대안으로 작용할 수 있음

※ 한국과학기술원은 '16년 국내 민간용 드론시장 규모는 농업/항공촬영용 위주로 소규모에 불과하나, 향후 해안/산불/환경 감시, 재해재난 모니터링, 교통통제·사고수습 등의 용도로 확대되어 '16년 이후 15년 간 시장규모는 1조 6,200억 원으로 증대될 것으로 예측¹⁰⁾

- 동 연구는 레이더·광학, 물리학, 지질학, 해양·항공과학 등 다양한 학문과의 융합을 필요로 하고 산업적 파급력이 높아 향후 전문성을 갖춘 산업인력에 대한 고용기회를 확대시킬 것으로 예상됨
- 인간이 수행하기 어려운 재난·안전 관련 작업에 무인로봇/비행체 등을 투입함으로써 인명사고에 대한 불확실성을 낮추고, 국가인적자원 보호에 기여 가능함

□ 과학기술적 기대효과

○ (극지해양과학기술의 국가적 위상 제고) 원격으로 데이터를 수집·전송할 수 있는 무인탐사 플랫폼 개발을 통해 기술경쟁력 향상을 도모하고 극지해양과학기술선도국으로서의 위상 및 이니셔티브를 확보할 수 있음

- 현재 국제 사회에서 무인탐사기술을 적용한 해양 관측·활용연구가 태동하고 있는 시점에서, 극지 무인 탐사플랫폼을 선제적으로 개발함으로써 극지해양과학기술 강국으로서의 역량을 강화하는 계기가 될 것임

※ 미국, 영국 등 선진국들은 대부분 유인기를 중심으로 탐사를 수행하고 있으나 최근 무인탐사가 확대되고 있는 추세임. 그러나 우리나라는 육상기반의 연구에 치중되어 있어 30년 이상의 극지연구경험에도 불구하고 기술수준이 저위에 머물고 있어 무인탐사플랫폼을 선제적으로 도입·활용하여 세계적 수준으로 도약해야 할 필요가 있음

표 36. 주요 해외 선진국의 무인기 활용 극지탐사 동향

국가	명칭	적용	비고
미국	Aerosonde™ (UAV)	◦ Atmospheric profiling and flux studies, Mapping sea surface temperature (SST) at high resolutions	
	Meridian (UAV)	◦ 남극 및 그린란드 빙하 두께 조사 ◦ 하부 기반암, 내부구조, 해안선 정보 등 탐사	
영국	M2AV (UAV)	◦ 무인비행기를 이용하여 대기와 빙하간의 열교환 데이터측정	
일본	Ant-Plane (UAV)	◦ Aeromagnetic Survey	

10) 재난안전분야 무인항공기 활용 활성화방안 연구, 2015, 국민안전처

- 현재까지 우리나라의 실적이 전무한 남극 빙상빙하 및 기반암 지형탐사 연구 추진을 통해 중국 등 극지해양과학 후발주자들의 가파른 추격에 대응하고, 남극 과학영토 확장 및 기득권 확보를 실현할 수 있음
 - ※ 해당 지역의 빙저지형도를 제작한다는 것은 그 지역이 해당 국가의 고유한 연구영역을 대외적으로 보여주는 수단이며, 남극 과학영토의 기득권 확보 측면에서 필수적
 - ※ 중국은 2022년 기지완공 예정이며 Basler항공기를 이용한 빙권탐사 기술을 바탕으로 본격적 내륙탐사(지형정보, 빙저호, 심부빙하)를 진행할 계획이나, 해당 탐사연구 내용과 우리나라의 추진연구 내용은 매우 유사한 상황으로 가파른 기술추격이 예상됨
- 무인탐사플랫폼의 독자적인 운용 및 기술 확보를 통한 남극해 대륙탐사, 기후 변화에 의한 빙권변화 등의 연구결과를 국제 사회에 제공하고, 국제 공동연구 네트워크에서의 참여역할 확대가 가능함
 - ※ 영국 BAS를 중심으로 3차 Bedmap구축을 위한 컨소시엄이 구성될 예정이며, 우리나라도 이에 참여하여 2018년 스위스에서 Kick-off미팅을 가질 예정(Polar 2018 OSC)으로 Bedmap3 컨소시엄 참여를 위한 준비단계에 착수

참고	우리나라의 Bedmap3 참여
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 우리나라는 30년 이상의 극지연구 경험을 가지고 있음에도 빙하 및 기반암 지형도 탐사 분야는 그 실적이 전무한 수준 ◦ 여전히 인프라(쇄빙선, 기지) 중심의 연구만 이루어지고 있으며, 기 개척된 K-Route를 통해 내륙기반연구를 시작해야 할 단계 ◦ Bedmap3 참여를 통해 빙하 탐사장비를 확보하고 세계적인 수준의 탐사기술 전수를 목표

- (다학제적 융복합연구 촉진 및 新연구주제 창출) 동 과제는 극지해양과학에 ICT기술을 접목시켰다는 점에서 '4차 산업혁명'에 부응하고, 생성된 극지지형 데이터를 기반으로 새로운 연구주제를 창출함으로써 과학기술적 외연을 넓히는 발판이 될 것으로 기대됨
 - 동 연구는 레이더·광학, 물리학, 지질학, 항공과학 등 다양한 학문과의 융합을 통해 극지지형데이터를 생성할 것이며, 해당 데이터는 타 연구에 폭넓게 연계할 수 있어 해양분야의 학술적 발전을 가져올 것임

- 인공지능/딥러닝/빅데이터 등의 차세대 ICT기술을 활용한 '실시간 데이터 관리·처리 시스템'을 개발함으로써 전 세계적으로 확산되고 있는 '4차 산업 혁명' 흐름 속에서 극지해양과학의 위상을 제고
- 무인탐사플랫폼 구축으로 현재까지 접근이 용이하지 않았던 남극 내륙지역을 탐사하고, 물리·화학·지질학을 망라하는 종합적 관측을 통해 데이터를 수집하여 전지구적 기후변화 대응의 기초자료를 확보할 수 있음
 - ※ 남극은 기후변화에 지대한 영향을 끼치는 지역임. '신기후체제('15.12)'라는 새로운 기후 패러다임의 등장은 각 국의 산업·경제 정책 변화에 큰 영향을 끼치고 있으며, 이와 같은 변화에 적절히 대응하지 못하면 국가 경제에 큰 리스트 요인이 될 수 있어 남극해의 기후조절 흡수력 규명에 대한 국제적 관심이 증대되고 있음
 - ※ 동 연구를 통해 남극 광역빙권의 상세 모니터링 데이터를 얻을 수 있으며, 이를 바탕으로 선도적인 기후변화 대응의 단초를 제공할 수 있을 것으로 기대됨

참고	신기후체제 (파리협정)
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ [채택] 프랑스 파리 제21차 UN기후변화협약 당사국총회('15.12.12.) ◦ [대상/시기] 195개 협약국 대상, '20년 이후 적용' ◦ [목표] 지구 평균온도의 상승폭을 산업화 이전과 비교하여 섭씨 2°C보다 '상당히 낮은 수준으로 유지'를 제안하며, 섭씨 1.5°C까지 제한하는 데 주력
	<ul style="list-style-type: none"> ☞ 이전 '교토의정서('95)'에서는 우리나라에 감축의무가 부과되지 않았으나 '신기후체제'에서는 의무화 ☞ 2030년 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축안을 발표 ('15.6)하는 등 대응책 마련에 경주 중

- 빙상 구조·특성 등의 실관측 데이터를 확보함으로써 전지구적 해수면 상승 시뮬레이션의 예측도·정밀도를 향상시킬 수 있으며, 또한 레이더/라이다를 활용한 원격 모니터링은 국내 연안공간 관리연구에 활용 가능함
 - ※ 지구온난화로 인해 '16년 전세계 해수면은 '93년 대비 74.8mm 상승(연평균 3.4mm) 하였으며, 2100년에는 연간 최대 2조 8,200억불(전세계 GDP의 약 0.5%) 규모의 피해가 발생할 것으로 예측됨 11)

11) 기획재정부 보도자료(2017.2.1.), 해수면 상승이 경제에 미치는 영향

◦ 해수면 상승은 ①토지유실, ②인프라손실, ③재난시설 구축, ④사회적 자본손실 등의 비용을 발생시켜 경제 성장에 악영향을 끼침

→ 미국의 경우 2100년 해수면 상승 영향을 받게되는 취약지역(침수, 범람, 해안침식 우려지역)에 약 1,300만명이 거주하고 있어 대책마련이 필요함

→ 남태평양의 소국인 키리바시는 2050년 경 매년 최대 1,600만불(GDP대비 10%)의 피해액 발생이 예상됨



☞ 우리나라도 해안과 인접해있어 해수면 상승의 직접적인 영향권 내이며, 기후변화 대응을 위한 국제적 논의에 적극적 참여 필요

- 우리나라도 인프라(쇄빙선, 기지) 중심 연구에서 벗어나 해양-해빙-빙하-내륙(지질)의 상호작용과 관련한 종합적인 연구를 수행할 수 있는 과학적 역량을 강화할 수 있으며, 동 연구의 성과물을 타 극지연구에 접목하는 등 국가 극지해양 R&D 포트폴리오 확대 및 전략화에 기여 가능함

○ (극지 과학기술분야에서의 가시적 성과 창출) 지금까지 기술력의 한계로 접근이 불가능했던 남극 내륙지역의 물리적·지질학적 탐사를 통해 세계적 수준의 과학기술적 성과를 창출할 수 있는 동력을 마련할 수 있음

- 광역빙권탐사용 무인플랫폼 개발 및 빙저지형도 제작 연구를 통해 논문/특허, 기술이전 등의 정량적·정석적 과학기술적 성과를 창출할 수 있음

※ 동 과제는 5년 간('19~'23년) SCI논문(8건), 해외특허등록(2건) 및 국내특허등록(3건), 기술이전(1건), 학술발표(11건), 정책제안(5건)의 성과 창출을 목표

- 이외에도 빙권탐사용 무인탐사시스템, 빙상·빙저 3차원 지형도가 기술개발의 결과물로 산출되며, 동 연구를 통해 국제 공동연구컨소시엄(Bedmap3) 내의 기술 공여국으로 역할 전환을 도모할 수 있음

- 복합탐사를 통해 빙저지형특성, 빙상 내부구조 특성, 빙저 수문특성 및 지질 구조 특성 규명 등 세계수준을 상회하는 연구를 수행할 예정이며, 기존에 비해 논문생산성이 2배 이상 향상될 것으로 예상함

- (극지에 대한 국민인식수준 제고) 남극의 특성 및 역할에 대한 국민의 과학적 이해도를 높이고, 관련 학문분야에 대한 관심도를 제고시킴으로써 해양과학 영재를 길러낼 수 있는 환경 조성에 기여 가능함
 - 빙저지형도 제작을 통해 극지에 대한 국민적 관심을 제고시켜 남극이 단순히 얼음으로 덮힌 대륙이라는 인지에서 벗어나, 기후변화 및 해수면 변동 등에 대한 사회적 관심을 촉구할 수 있는 초석을 마련할 수 있음
 - 국내 기술력으로 미지의 세계를 탐사하는 과학적 도전을 통해 차세대 영재들의 STEM(과학, 기술, 공학, 수학) 관련 학문의 관심도를 높임으로써 극지해양 분야 인재 양성 및 타 학문/학제 간 융복합 연구 촉진 등 전문인력 확보를 위한 저변 확대가 가능함

- (남극해 탐사의 효율성 증대) 무인 탐사플랫폼 개발·활용은 남극빙권 탐사연구의 계절적/지역적 한계를 극복할 수 있을 뿐만 아니라 정부 예산투자의 효율성을 제고하고 연구성과를 비약적으로 발전시킬 수 있는 초석으로 작용함
 - 한정된 범위의 하계기간 탐사만 가능한 유인기 방식에 비해 남극해 무인 탐사플랫폼 개발·활용은 계절적/지역적 제약조건이 없으며, 탐사헬기 임차비용 및 인건비, 인력투입에 따른 제반비 등을 절감할 수 있음
 - ※ 우리나라는 현재 육상기반 또는 유인기 탐사방식으로 연구를 진행하고 있음. 유인기 방식으로는 하계기간(11~2월, 4개월 간)에만 제한된 범위 내(마리오슈켈리 기지↔장보고 기지, 아라온호↔장보고기지)로 운용 가능하여 제약이 따름
 - ※ 무인기를 활용할 경우 위험한 지역에서도 인명사고의 우려가 없으며, 유인기로 수행가능한 임무의 90%이상을 커버할 수 있어 연구 효율성이 높음
 - 동 연구의 성과물인 '극지탐사용 무인 플랫폼'은 기존 방식에 비해 데이터 처리 속도·용량 등에서 절대적인 우수성을 보이고 있어 투입 인력/시간을 절감할 수 있으며, 연구생산성 향상의 효과가 기대됨
 - ※ GIS기반 통합자료관리시스템을 토대로 시스템 관리/운영에 필요한 업무부담을 경감시켜 연구몰입도를 향상
 - ※ 남극내륙탐사를 위한 준비/탐사수행/자료처리 시간과 소요되는 인력규모를 비약적으로 감소시킴으로써 연구의 효율성 제고

표 37. 동 과제 추진으로 인한 연구효율성 증대

구분	현재수준 (As-Is)	동 과제의 목표수준 (To-Be)
연구범위	◦ 헬기/스키두는 운영거리가 짧아 간단한 탐사만 가능 → 300 km 이내/회당	◦ 접근성/속도가 뛰어나 원거리 탐사 가능 → 1,500 km이내/회당
탐사영역	◦ 5*7km격자, 80*80 km ² , 총 2,000km	◦ 5*7 km격자, 80*80km ² , 총 2,000km
탐사기간	◦ 7일 소요	◦ 1.5일 소요
자료보정처리 소요시간	◦ 고도보정 필수 → 15일/2,000 km	◦ 고도유지기능이 있어 별도의 고도보정 필요없음 → 0일
탐사해상도	◦ 6 m (수직해상도)	◦ [Depth sounder] 30 cm ~1 m (수직해상도) ◦ [Micro wave] 1.2 cm(수직해상도)
다중주파수 레이더 기술	◦ 연간 적설량 계산 불가 ◦ 표면결과가 신호에너지에 의해 판독 불가하여 심부빙하시추 탐사 불가	◦ 연간 적설량 계산 가능 → 기후, 고기후 등 연구분야 연구확산 가능 ◦ 심부 빙하 시추지 선정에 위한 탐사 수행 가능
플랫폼-센서 통합 기술	◦ 독립적인 Radar 탐사, 중력 탐사 필요 ◦ 데이터 백업/관리기능, 항공기 모니터링 기능 없음	◦ 소형의 다양한 센서로 조합된 모듈을 탑재 ☞ 기존대비 탐사소요시간 1/3절감 ◦ 항공-육상 플랫폼 통합운용, 원격제어, 데이터 관리 가능
탐사준비 소요시간 (1회 기준)	◦ [준비시간] 12시간 이상 ◦ [백업시간] 6시간 이상	◦ [준비시간] 1시간 내외
빙저지형획득 탐사면적 (1시즌 기준)	◦ [세계] 최소 500X500 km ² ◦ [국내] 최대 100X100 km ²	◦ 최소 500X500 km ² ☞ 기존대비 25배 이상의 면적탐사
데이터처리	◦ 연구장비별 단편적 데이터 저장 ◦ 빅데이터 조회의 시공간적 제약 ◦ 대용량 데이터 저장플랫폼 전무	◦ 대용량 데이터 관리/융합/접근 용이 ☞ 데이터처리속도 2배 향상 ☞ 논문생산성 2배 향상 ☞ 인력활용 1/2감소
빙상/빙저지형 특성규명	◦ [국내] 빙저지형 특성규명 연구수준	◦ 빙저지형/빙상내부구조/빙저 수문/빙저지질구조 특성 규명 등 세계수준을 상회하는 연구수준 ☞ 논문생산성 2배이상 향상
국제공동연구	◦ 장비, 기술 부재로 캠페인구성 불가 ◦ Metadata 공유 가능 수준	◦ 공여국으로 국제발언권 확대 ◦ Metadata 및 Rawdata 공유 가능

□ 정책적 기대효과

- 동 과제 추진을 통해 극지해양과학기술, 기후변화, 국제협력 분야 관련 국가 중장기계획의 수립·이행을 위한 근거자료를 확보할 수 있음
- (제4차 과학기술기본계획('18~'22)) 4차 산업혁명 시대에 발맞춰 도전적·창의적 연구 확산 및 과학기술 외교의 전략성 강화 정책에 부응할 수 있음
- ※ 「제4차 과학기술기본계획('18~'22)」의 「1」미래도전을 위한 과학기술역량 확충, 「2」혁신이 활발히 일어나는 과학기술생태계 조성' 등과 관련

참고 「제4차 과학기술기본계획('18~'22)」 관련 부문 ¹²⁾													
비전	과학기술로 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여												
4대 전략	<table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> <tr> <th>미래도전을 위한 과학기술역량 확충</th> <th>혁신이 활발히 일어나는 과학기술생태계 조성</th> <th>과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출</th> <th>과학기술이 만드는 모두가 행복한 사회구현</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 과학적 지식탐구 및 창의도전적 연구진흥 ◦ 연구자 중심의 연구 몰입환경 조성 ◦ 창의융합형 인재 양성 ◦ 국민과 함께하는 과학문화 확산 ◦ 과학기술 국제협력 전략성 강화 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 주체/분야 간 협력 융합 활성화 ◦ 기술혁신형 창업벤처 활성화 ◦ 경쟁력있는 지식재산 창출 ◦ 지역주도적 R&D 시스템 확립 ◦ 국민참여 확대 및 컨트롤타워 강화 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 4차 산업혁명 대응기반 강화 ◦ 국민체감 혁신성장 동력 육성 ◦ 제조업 재도약 및 서비스업 육성 ◦ 혁신성장 중추로 중소기업 육성 ◦ 일자리 창출 및 미래 일자리변화 대응 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 건강하고 활기찬 삶 구현 ◦ 쾌적하고 편안한 생활환경 조성 ◦ 따뜻하고 포용적인 사회 실현 ◦ 안심하고 살 수 있는 안전사회 구현 </td> </tr> </tbody> </table>	1	2	3	4	미래도전을 위한 과학기술역량 확충	혁신이 활발히 일어나는 과학기술생태계 조성	과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출	과학기술이 만드는 모두가 행복한 사회구현	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 과학적 지식탐구 및 창의도전적 연구진흥 ◦ 연구자 중심의 연구 몰입환경 조성 ◦ 창의융합형 인재 양성 ◦ 국민과 함께하는 과학문화 확산 ◦ 과학기술 국제협력 전략성 강화 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 주체/분야 간 협력 융합 활성화 ◦ 기술혁신형 창업벤처 활성화 ◦ 경쟁력있는 지식재산 창출 ◦ 지역주도적 R&D 시스템 확립 ◦ 국민참여 확대 및 컨트롤타워 강화 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 4차 산업혁명 대응기반 강화 ◦ 국민체감 혁신성장 동력 육성 ◦ 제조업 재도약 및 서비스업 육성 ◦ 혁신성장 중추로 중소기업 육성 ◦ 일자리 창출 및 미래 일자리변화 대응 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 건강하고 활기찬 삶 구현 ◦ 쾌적하고 편안한 생활환경 조성 ◦ 따뜻하고 포용적인 사회 실현 ◦ 안심하고 살 수 있는 안전사회 구현
	1	2	3	4									
	미래도전을 위한 과학기술역량 확충	혁신이 활발히 일어나는 과학기술생태계 조성	과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출	과학기술이 만드는 모두가 행복한 사회구현									
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 과학적 지식탐구 및 창의도전적 연구진흥 ◦ 연구자 중심의 연구 몰입환경 조성 ◦ 창의융합형 인재 양성 ◦ 국민과 함께하는 과학문화 확산 ◦ 과학기술 국제협력 전략성 강화 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 주체/분야 간 협력 융합 활성화 ◦ 기술혁신형 창업벤처 활성화 ◦ 경쟁력있는 지식재산 창출 ◦ 지역주도적 R&D 시스템 확립 ◦ 국민참여 확대 및 컨트롤타워 강화 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 4차 산업혁명 대응기반 강화 ◦ 국민체감 혁신성장 동력 육성 ◦ 제조업 재도약 및 서비스업 육성 ◦ 혁신성장 중추로 중소기업 육성 ◦ 일자리 창출 및 미래 일자리변화 대응 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 건강하고 활기찬 삶 구현 ◦ 쾌적하고 편안한 생활환경 조성 ◦ 따뜻하고 포용적인 사회 실현 ◦ 안심하고 살 수 있는 안전사회 구현 									

- (문재인정부 100대 국정과제) 기후변화에의 적극적 대응, 과학기술발전을 통한 4차 산업혁명 주도 등 국가비전 실현을 뒷받침하고 정책의 신뢰성 제고에 기여 가능함
- ※ 「문재인정부 100대 국정과제」의 '더불어 잘사는 경제(과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명 등)', '내 삶을 책임지는 국가(국민안전과 생명을 지키는 안심사회)' 등과 관련

12) 현재('18.3) 「제4차 과학기술기본계획('18~'22)」은 미발표된 상태이며, 과학기술정보통신부의 공청회자료(제4차 과학기술기본계획안)를 바탕으로 작성

참고 「문재인정부 100대 국정과제」 관련 부문		
목표	전략	국정과제
더불어 잘사는 경제	과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 강국, ICT르네상스로 4차 산업혁명 선도기반 구축 청년과학자 및 기초연구 지원으로 과학기술 미래역량 확충
내 삶을 책임지는 국가	국민안전과 생명을 지키는 안심사회	<ul style="list-style-type: none"> 지속가능한 국토환경 조성

- (해양수산 R&D 중장기계획('14~'20)) ICT기술이 접목하여 극지환경에 특화된 센서, 레이더 등의 무인장비를 개발함으로써 해양수산 R&D 정책을 뒷받침함

※ 「해양수산 R&D중장기계획('14~'20)」의 '1-2. 극한공간 활용 및 국제협력 확대'에서는 극지해양 연구역량을 선진국 대비 60%('13)에서 80%('20) 수준으로 강화하는 목표를 제시. 또한 무인 탐사플랫폼을 구축한다는 점에서 '2-2. 첨단 해양장비산업 육성'과 관련됨

참고 「해양수산 R&D중장기계획('14~'20)」 관련 부문			
비전		국민의 꿈과 행복을 실현하는 창조형 해양수산과학기술	
R&D 전략	① 해양 영토주권강화 및 해양경제영토 확대	② 창조형 해양수산 산업육성	③ 국민행복 해양공간 창조
실행 전략	<ul style="list-style-type: none"> 해양과학조사 및 예보역량 강화 극한 공간활용 및 국제협력 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 해양자원/해양에너지 개발 첨단 해양장비산업 육성 항만해운물류기능 고도화 해양수산생명자원 산업화 전통수산업의 미래산업화 해양플랜트 경쟁력 확보 친환경 선박시장 선도 	<ul style="list-style-type: none"> 해양환경개선 및 위해요소 대응역량 강화 연안재해저감 및 해양교통 안전확보 친수공간 및 해양문화 콘텐츠 창출
[1-2. 극한 공간 활용 및 국제협력 확대]			
<ul style="list-style-type: none"> (추진목표) 남북극, 심해 등 극한 공간 활용 확대를 통한 자원선점 및 국제역량 강화 (추진내용) 남북극 과학인프라 활용연구 확대 및 국제협력 다변화 			
- 극지환경/자원조사 확대를 위한 기술개발 추진			

- 해외 해양수산과학기지(세종, 장보고기지 등) 확대를 통한 해양수산 자원개발 및 국제 공동연구 등 과학기술분야 국제협력 다변화 등

[2-2. 첨단 해양장비산업 육성]

- (추진목표) 해양공간 이용 확대를 위한 첨단 장비개발 및 전후방 산업 육성
- (추진내용) 수중/심해저 관측, 산업활동 지원을 위한 첨단 장비 및 시스템 개발
 - 수중로봇 핵심기술 국산화를 통한 관련 장비산업 저변 마련
 - 해양탐사 및 자원개발, 수중환경 관측 등의 지원을 위한 해상수중 무선통신 모뎀, 네트워크 등의 고도화 및 표준화 추진

- (제3차 남극연구활동진흥 기본계획('17~'21)) 극지의 해양환경, 기후조절력 시스템 등에 대한 종합적 연구 추진을 통해 극지의 지질학적 중요성을 강조하고 세계적 수준의 연구성과를 창출함으로써, 관련 R&D 확산을 위한 정책 수립·이행을 촉진할 수 있음

※ 「제3차 남극연구활동 진흥 기본계획('17~'21)」은 기존에 축적된 연구·인프라 역량을 본격적으로 활용할 수 있는 전략을 수립하였으며, 동 과제는 이를 뒷받침함

참고	「제3차 남극연구활동 진흥 기본계획('17~'21)」		
비전	인류공동의 현안해결에 기여하는 남극연구 선도국		
목표	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 기후변화·생태계보존 등 글로벌 이슈에 대응 ◦ 안전하고 지속가능한 남극연구활동 지원기반 구축 ◦ 남극 과학연구 및 거버넌스에서 우리나라의 리더십 제고 		
R&D 전략	① 남극연구 지평확대	② 남극연구 지원기반 선진화	③ 남극 거버넌스 리더십 제고
실행 전략	<ul style="list-style-type: none"> 은 남극연구를 통한 글로벌 환경변화의 예측·대응 아 남극 내륙진출과 미지·미답의 연구영역 개척 ③ 실용화·상용화 및 4차 산업혁명에 대응한 융복합 연구 추진 	<ul style="list-style-type: none"> ④ 남극활동 안전시스템 및 연구인프라 고도화 ⑤ 남극연구 진흥을 위한 인적역량 강화 및 국민저변 확대 	<ul style="list-style-type: none"> ⑥ 남극 과학연구 분야의 국제협력을 통한 파트너십 강화 ⑦ 남극 환경보호 및 연구협력의제 발굴·선도

참고문헌

- 손훈 등, 2016 무인검사 장비를 활용한 대형 구조물 진단 및 원격 관리시스템 개발 기획, 국토교통부
- Andrew T. Fisher, Kenneth D. Mankoff, Slawek M. Tulaczyk, Scott W. Tyler, Neil Foley, and the WISSARD Science Team, 2015, Highgeothermal heat flux measured below the West Antarctic Ice Sheet, *ScienceAdvances* Vol. 1, no. 6, e1500093 DOI: 10.1126/sciadv.1500093
- Carol A. Finn, Sridhar Anandakrishnan, John Goodge, Kurt Fanter, Christine Siddoway, and Terry Wilson, 2003, Potential of Airborne Geophysical Capabilities Discussed. *EOS*, Vol. 84, No. 1, 4-8)
- David H. Bromwich and Thomas R. Parish, 1998. Antarctic: Barometer of Climate change. Reprint to the National Science Foundation from the Antarctic Meteorology Workshop. Madison. Wisconsin.
- John Turner et al, 2014. Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Record*, Volume 50, Issue 3 June 2014, pp. 237-259, <https://doi.org/10.1017/S0032247413000296>.
- Kevin M. Foley, Jane G. Ferrigno, Charles Swithinbank, Richard S. Williams Jr., and Audrey L. Orndorff, 2013. Coastal-change and glaciological map of the Amery Ice Shelf area, Antarctica: 1961-2004
- Lettau, H.H., and W. Schwerdtfeger, 1967. Dynamics of the surface-wind regime over the interior of Antarctica. *Antarct. J. J.S.*, 2(5), 155-158.
- Luke D. Trusel, Karen E. Frey, Sarah B. Das, Kristopher B. Karnauskas, Peter Kuipers Munneke, Erik van Meijgaard and Michiel R. van den Broeke, 2015, Divergent trajectories of Antarctic surface melt under twenty-first-century climate scenarios. *Nature Geoscience* volume 8, pages 927-932, doi:10.1038/ngeo2563
- Scambos, T., C. Hulbe, and M. Fahnestock. 2004. Climate induced ice shelf disintegration in the Antarctic Peninsula. In: *Antarctic Peninsula Climate Variability: Historical and Paleoenvironmental Perspectives*, E. Domack, A. Leventer, A. Burnett, R. Bindshadler, P. Convey, and M. Kirby, eds., Antarctic Research Series 79:79-92. American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Siegert MJ, Ross N, LeBrocq AM. 2016. Recent advances in understanding Antarctic subglacial lakes and hydrology. *Phil. Trans. R. Soc. A* 374,

20140306 .

Studinger, M., and P. Barrett. 2009. "Tectonics: Antarctica sinking." *Nature Geoscience*, 2 (10): 671-672



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.

