

남극 내륙기지 개념설계 및 내륙기지 기반 국제협력
R&D 사업 발굴 기획연구

A research for the conceptual design of the Antarctic
inland station and development of international
cooperation using the inland station



2025. 2. 28.

한 국 해 양 과 학 기 술 원
부 설 극 지 연 구 소



제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “남극내륙기지 개념설계 및 내륙기지 기반 국제협력 R&D 사업 발굴 기획연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2025. 2. 28.

총괄연구책임자 : 이강현

참 여 연 구 원 : 곽호제, 권오인, 김민철, 김지희,
김현철, 박승현, 서지우, 안재우,
이상희, 이유경, 이주한, 이형석,
정지훈, 정창현, 지건화, 최태진
허순도, 황희진

외부참여연구원 : 최경석(한국건설기술연구원)

김대진(한국에너지기술연구원)

임성일(한국기계연구원)

박재현(한국철도기술연구원)



보고서 초록

과제관리번호	PE24520	해당단계 연구기간	2024.3.1.~25.2.28.	단계 구분	1차년 / 1개년
연구사업명	중 사 업 명	연구정책·지원과제			
	세부사업명				
연구과제명	중 과 제 명				
	세부(단위)과제명	남극 내륙연구를 위한 기반시설 구축 기획연구			
연구책임자	이강현	해당단계 참여연구원수	총 : 18 명 내부 : 명 외부 : 18 명	해당단계 연구비	정부: 12,000 천원 기업: 천원 계: 12,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 부설 극지연구소 남극내륙연구사업단		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약					보고서면수
1. 과제 목적					
○ 해외의 남극내륙기지 운영 및 연구기술 분석과 국내외 연구수요조사를 통해 내륙기지 건설 및 운영 효율 극대화					
○ 남극내륙기지 건설 경제성 분석을 통한 기지 건설 타당성 확보					
○ 남극내륙기지 기반 국제협력연구 개발을 위한 국제 연구협약 체결					
2. 연구개발목표					
○ 남극내륙기지 기반 기술수요 분석					
- 국내외 남극내륙기지 활용 연구수요 조사					
- 해외 남극내륙기지 기반 연구수행 자료 수집					
- 남극내륙기지 기반 국내외 연구 기술수요 분석					
○ 남극내륙기지 건설을 위한 경제성 분석					
- 남극내륙기지 건설 경제성 분석을 위한 분석모델 및 계획 수립					
- 선정모델을 통한 남극내륙기지 건설 경제성 분석 실시					
- 경제성 분석을 통한 남극내륙기지 건설사업 타당성 도출 및 신규 R&D 예산요구 대응					
○ 남극내륙기지 기반 국제협력 R&D 발굴					
- 국제협력 R&D 수행 후보기관 선정					
- COMNAP, SCAR 등 국제회의 및 해외기관 방문을 통해 국제협력 계획 수립					
- 남극내륙 국제협력 R&D 프로젝트 개발을 위한 연구협약 체결					
3. 연구결과					
○ 남극내륙기지 기반 기술수요 분석					
- 기후변화, 천문관측 및 극한지 공한 등 3개 분야 29건의 남극내륙기지 기반 연구수요 확보					
○ 남극내륙기지 건설을 위한 경제성 분석					
- 비용편익분석 결과 남극내륙기지 건설사업은 B/C Ratio 1.63으로 경제적 타당성 확보					
○ 남극내륙기지 기반 국제협력 R&D 발굴					
- COLDEX(미), LeCosPA센터(대만), CTWW센터(호주) 등 3개 LoI 국제협약 체결					
색인어 (각 5개 이상)	한글	남극내륙기지, 기반 인프라, 물자보급, 국제협력, 경제성 분석			
	영어	Antarctic inland station, infra structure, logistics, international cooperation, economic analysis			



요 약 문

I. 제 목

남극내륙기지 개념설계 및 내륙기지 기반 국제협력 R&D 사업 발굴 기획연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 기후변화 및 전 지구적 환경문제는 국제사회의 이슈로서 인류공존 및 번영을 위한 요구에 대응하기 위해 심부빙하시추 등 남극내륙연구의 중요성 증대
- 미국, 러시아, 중국, 일본, EU 등 극지연구 선진국의 남극내륙 대형프로젝트 추진으로 극지 연구 기술격차가 심화됨에 따라 기술격차 해소를 위한 남극내륙 연구인프라 필요성 대두
- '24년 우주항공청 발족으로 우리나라도 본격적으로 우주탐사 기술경쟁에 뛰어들면서 우주 탐사를 위한 극한지 공학기술개발의 남극내륙 실증연구에 대한 연구 수요 증가
- 기 확보한 K-루트 남극내륙진출로에 대한 과학 주권 강화 및 연구 주도권 유지를 위해 내륙의 연구거점 역할을 담당할 남극내륙기지 건설 및 대형 과학 프로젝트 개발 필요

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 남극내륙기지 건설 및 운영 효율 극대화를 위한 해외 남극내륙기지 운영기술 분석 및 내륙기지 기반 국내외 연구수요 조사
- 남극내륙기지 건설 타당성 확보를 위한 경제성 분석 수행
- 남극내륙기지 기반 대형 과학 프로젝트 개발을 위한 국제협력 추진 및 연구협약 체결

IV. 연구개발결과

- 해외 남극내륙기지 기반 연구 성과 분석을 통해 기후변화, 천문관측 및 극한지 공학 3개 분야의 중점 연구 분야 도출 및 해당 분야의 30여개 국내외 연구수요 확보
- 비용편익분석을 통해 경제성 분석을 진행한 결과, B/C Ratio 1.63으로 남극내륙기지 건설의 경제성 확보
- COMNAP, COLDEX 정례회의 등 국제회의를 통해 대한민국 남극내륙기지 건설계획 홍보 및 미국, 대만, 호주 등 3개 해외 기관과 연구협력의향서(Letter of Intent) 연구협약 체결

V. 연구개발결과의 활용계획

- 제1차 극지활동진흥기본계획에 명시된 남극내륙기지 건설 성과목표 달성을 위한 국가 R&D 사업 개발 기초자료 제시

- Polar 2030, 2032~2033 IPY 등 국제행사를 겨냥한 대한민국 주도 남극내륙 국제협력 대형 과학 프로젝트 개발의 기초자료 활용



목 차

제1장 서론	1
제1절 연구개발의 필요성	1
제2절 사업 추진근거	10
 제2장 해외 남극내륙기지 운영 및 활용 기술 분석	15
제1절 해외 남극내륙기지 운영현황	15
제2절 해외 남극내륙기지 기반 연구현황	32
제3절 해외 남극정책 동향 분석	53
제4절 해외 남극과학기술 동향 분석	98
제5절 산업 동향 분석	112
 제3장 국내 여건 분석	119
제1절 남극내륙 연구개발 여건 분석	119
제2절 남극내륙연구 기술수준 분석	137
제3절 연구 성과(논문) 분석	143
제4절 남극내륙기지 기반 국내연구수요 조사	172
 제4장 남극내륙기지 개념설계	183
제1절 사업기본방향	183
제2절 (세부과제1) 남극내륙기지 모듈 개발 및 건설	194
제3절 (세부과제2) 남극내륙 친환경 기지 운영시스템 구축	258
제4절 (세부과제3) 환경영향평가 대응	321
 제5장 남극내륙기지 기반 국제 R&D 개발 계획	341
제1절 한-영 공동 심부빙저호 시추를 통한 생물진화 및 고기후 연구	341
제2절 한-미-일 국제협력 심부빙하코어 시추연구	366
제3절 우주과학	388
 제6장 경제성 분석 및 기대효과	401

제1절 경제적 타당성	401
제2절 기대효과	434
 제7장 남극내륙기지 활용 국제협력 연구협약 및 국내 연구수요	439
제1절 국제연구협력 및 연구협약	439
제2절 국내연구수요	456
 제8장 결론	461
 제9장 참고문헌	469
 부록	475
제1절 남극내륙기지 조감도	475
제2절 남극 내륙기지 포스터	476
제3절 남극 내륙기지 홍보영상	477
제4절 남극내륙기지 건설 및 운영시스템 구축사업 기획보고서(표지)	478



제 I 장

서 론





제1장 서론

제1절 연구개발의 필요성

1. 사업 배경

□ 최근 남극대륙 전반에 걸친 급격한 기온상승과 빙하감소로 인해 전 지구적인 해수면 상승 등의 자연재해 증가 우려

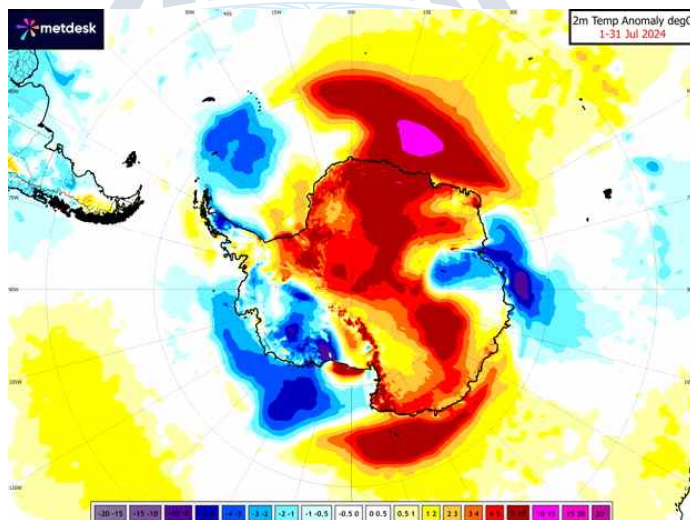
○ '22년 3월 남극대륙의 콘코르디아 기지(Concordia station)과 보스톡 기지(Vostok station)에서 평년 기온에 비해 30~40℃나 높은 이상고온현상*이 관측되어 남극대륙 전반의 급격한 빙하환경 변화 및 이에 따른 해수면 상승 우려

* '22년 3월, 콘코르디아 기지의 3월 평년기온인 -48.7~-59.4℃보다 37~48℃나 높은 -11.5℃ 기록 (출처: 영국 일간 가디언)

- 남극대륙의 이상고온현상은 극지역의 극지 소용돌이(Polar Vortex)를 약화시켜 남극대륙 전반에 걸쳐 급격한 기온상승 초래

• 남극대륙의 기온상승은 연안지역 빙하구조의 불안정성을 증대시켜 빙하 감소를 가속화하고 이로 인한 해수면 상승 등의 자연재해 유발

• 또한 남극대륙의 온도 증가는 대륙 주변의 해빙을 감소시키고 이로 인해 해수 온도가 증가하여 전 지구 온난화를 가속화



<2024년 7월, 남극대륙 고온현상 관측>

□ 남극은 기후변화 현안대응에 기여할 수 있는 중요한 지역이며, 우주·해양 연구와 더불어 국가의 선도적인 대규모 투자가 필요한 거대과학* 분야

* Big Science : 미지의 영역을 개척하고 인류의 가능성을 확대하기 위해 국가차원에서 추진하는 대규모의 종합적·선도적 연구개발

○ 최근 유례없는 기온상승 및 빙하환경의 급격한 변화가 발생하고 있으며, 이로 인한 전

지구적인 해수면 상승 등 기후변화로 인한 자연재해가 증가하고 있는 가운데, 남극은 기후변화 현안 대응에 기여할 수 있는 중요한 지역으로 인식

- 남극은 지구 시스템 구성의 핵심지역으로 지구온난화에 따른 남극의 변화는 기후, 해양, 생태계 등 전 세계적 환경변화를 초래할 수 있어 기후변화 대응을 위한 핵심 연구 지역으로 인식

○ 남극의 빙하는 과거 기후 기록이 보관소이며, 지질환경을 통해 미래 지각변화의 단서를 제공하는 등 과학연구에 중요한 요소임

- 남극 내륙의 빙하는 외부요인이 작용하지 않은 깨끗한 과거 기후 기록이 담긴 보관소로 과거 기후 복원을 통한 미래 예측 정보 제공이 가능
- 남극의 지질환경은 극한 환경 형성의 주요 요인이며, 남극의 맨틀 구조, 속도, 온도 분포 등의 정보를 통해 남극 빙하 거동에 영향을 주는 주요 요소를 파악할 수 있고, 미래 지각 변화를 예측할 수 있는 단서도 발견 가능

□ 남극을 포함한 미개척 지역 및 자원에 대한 국제적 경쟁이 심화되고 있음

○ 극지는 기후변화 대응 등 글로벌 현안 해결에 기여하고, 극지 기술 패권을 확보하기 위해 중요한 지역이며 주요국들은 극지에 대한 영향력 확대를 위한 전략 수립 및 투자 확대, 극지 환경 보호를 위한 거버넌스도 활성화되는 추세

○ 주요국들은 극지에 대한 영향력 확대를 위한 전략 수립 및 투자확대*, 극지 환경 보호를 위한 거버넌스도 활성화** 되는 추세

* (美) 세계 최대규모 남극활동 투자(연평균 5,000억원), (中) 극지연구를 7대 전략기술로 선정, 연 7% R&D 확대, (露) 미개발 남극대륙 선점 목표로 인프라·연구 확대

** 남극조약협약당사국회의(ATCM), 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR)

○ 특히, 남극 내륙 연구는 연구수행과 보급 등 국가적 남극 활동 역량이 총 집결되어야 가능하여 내륙기지 보유와 내륙 연구 수행은 남극 연구 선도국가의 상징적 지표로서 의미를 가짐

- 심부빙하 시추, 극한 환경에서의 관측 등은 국제적으로도 달성하기 어려운 고난도 기술로서 이러한 기술개발 및 인프라 구축은 남극 과학 연구의 경쟁력과 직결됨

2. 사업 필요성

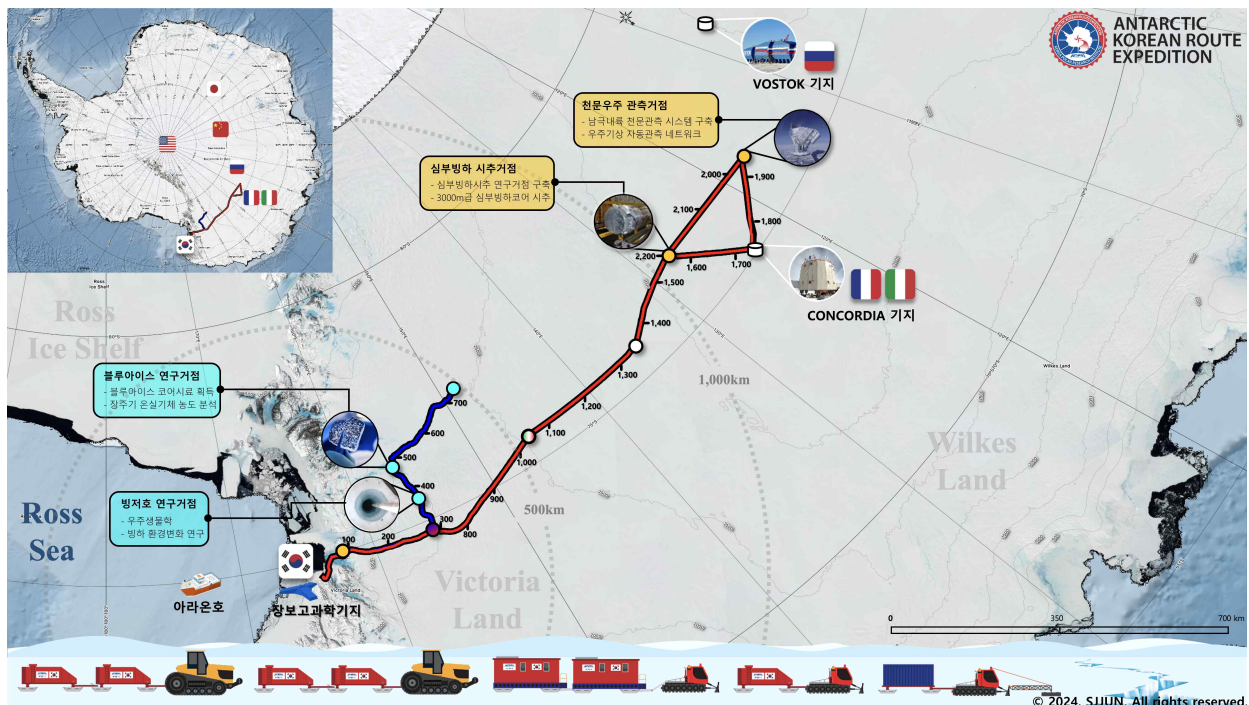
□ (과학적 필요성) 기후변화 및 전 지구적 환경문제는 국제사회의 이슈로서 인류공존 및 번영을 위한 요구에 국가 차원에서 부응할 필요가 있음

○ 기후변화는 모든 국가가 협력하여 해결해야 할 인류 공동의 문제로써 인류 공동의 유산인 남극대륙에서 문제 해결에 기여할 수 있도록 적극적인 국가 차원의 지원이 필요함

○ 글로벌 현안인 기후변화 대응을 위해 선도적인 남극연구는 필수적인 분야이나, 우리나라

는 주요국들에 비해 연구개발 지원이 다소 늦음

- 20세기 중반부터 남극 내륙기지를 운영하며 연구 활동을 수행하고 있는 선도국가들과 비교하면 대한민국은 1988년 남극세종과학기지를 기점으로 다소 늦게 남극연구를 시작
- 한국은 '14년 남극대륙 빅토리아랜드에 장보고 기지 준공을 계기로 남극 내륙탐사 및 연구의 새로운 가능성을 제시하며 연구의 패러다임을 전환하는 계기 마련
- 또한, 극지연구소에서 코리안루트(K-루트) 탐사를 통해 남극 내륙 진출을 위한 안전한 육상 이동 경로와 탐사선단을 확보하였으며, 혹한 환경에서의 연구 활동을 수행하기 위한 첨단 기술개발 및 거대과학 분야인 빙저호 열수시추 및 심부빙하 시추 추진 중



<K-루트 남극내륙진출루트 및 내륙연구거점>

□ (정책적 필요성) 극지활동진흥기본계획 정책목표달성을 위해 남극내륙기지 구축이 필요

- 해양수산부에서는 ‘국민을 위한 극지선도국가’라는 비전 하에 극지활동진흥기본계획(“21.12)을 수립하여 정책목표로서 ‘32년까지 미지의 영역 진출의 일환으로 ‘세계 6번째 남극내륙기지 구축(‘30)’을 설정한 바 있음
- 또한, 빙저호, 심부빙하시추 기술개발을 통한 지구의 기후변화 기작 규명, 남극 전역의 빙상 용융에 따른 2050 전 지구 해수면 상승 시나리오 제시, 극지 신산업 기반 마련 등에 대한 목표 및 프런티어 과제를 도출하였음
- 현재 동 기본계획에 따라 추진 중인 기존연구와의 연계 및 고도화를 통해 정책목표를 달성하고 정부 과학정책의 대국민 신뢰성을 확보하기 위해서는 남극내륙기지 구축 및 남극 내륙연구가 수반되어야 함

◦ 비 전 ◦

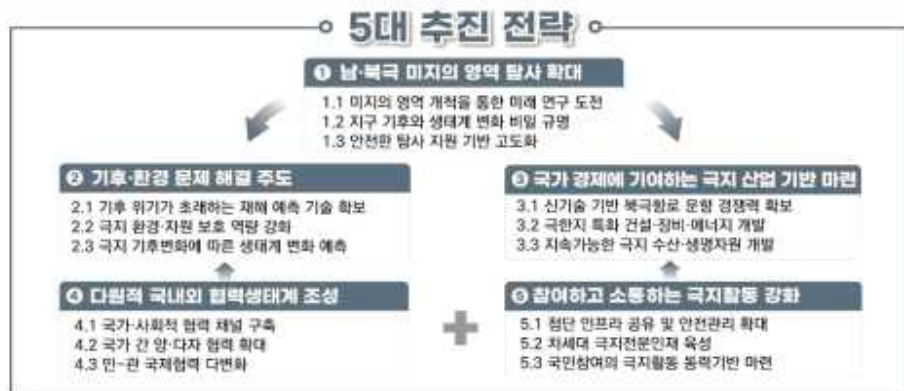
국민을 위한 극지선도국가 : 미지를 향한 도전, 미래를 향한 도약

◦ 목 표 ◦

구분	현 재	2027년	2032년
미지의 영역 진출	· 북극해 일부 공해 (척지해, 보퍼트해, 동시베리아해) · 남극 내륙진출로(路) 구축	· 차세대 해빙연구선 활용 북극항 탐사 · 남극 내륙기지 후보지 선정	· 아시아 최초 북극항 국제공동연구 주도 · 세계 6번째 남극내륙기지 구축(30)
기후변화 대응	· 북극발 한반도 기상변화 예측 정확도 최고선도국 대비 40% · 남극 스웨이트 빙하 질량 변화 및 해수면 변동 예측	· 북극발 한반도 기상변화 예측 정확도 최고선도국 대비 60% · 2050년 전지구 해수면 변동 예측 선도국 대비 70%	· 북극발 한반도 기상변화 정확도 최고선도국 대비 90% · 2050년 남극발 한반도 인근 해수면 상승 예측 선도국 대비 100% 이상(31)
극지 산업 기반 마련	· 해빙컨테이너선 개발 기획 · 항생제·치매치료제 물질 개발	· 친환경 해빙컨테이너선 건조 기술 확보(26) · 항생제·치매치료제 상용화 및 신규 의약품 개발	· 친환경 해빙컨테이너선 건조 및 북극항로 운항 · 신규 의약품(항균, 면역기능 조절물질) 확보(29)

◦ 프런티어 과제 ◦

구분	극지 프런티어 과제
미지의 영역 진출 프로젝트	· 차세대 해빙연구선을 활용한 북극항 공동연구 탐사(27) · 빙저호(25), 심부빙하 시추 기술 개발(27)을 통한 지구와 과거 규명 · 세계 6번째 남극내륙기지 구축(30)
기후변화 대응 프로젝트	· 북극 전역 해빙 변화 실시간 관측을 위한 초소형위성 개발(25) · 남극 전역 빙상 융융에 따른 2050 전 지구 해수면 상승 시나리오 제시(27) · 대기-해양-해빙 통합모델 기반 북극발 한반도 재해기상 예측(27)
극지 신기술 선도 프로젝트	· 친환경 해빙컨테이너선 건조 기술 확보(26) · 북극 친환경 수소에너지 기반 탄소제로 연구인프라 조성(27) · 극지 생물자원 활용 신규 의약품(항균·면역기능조절물질) 확보(29)



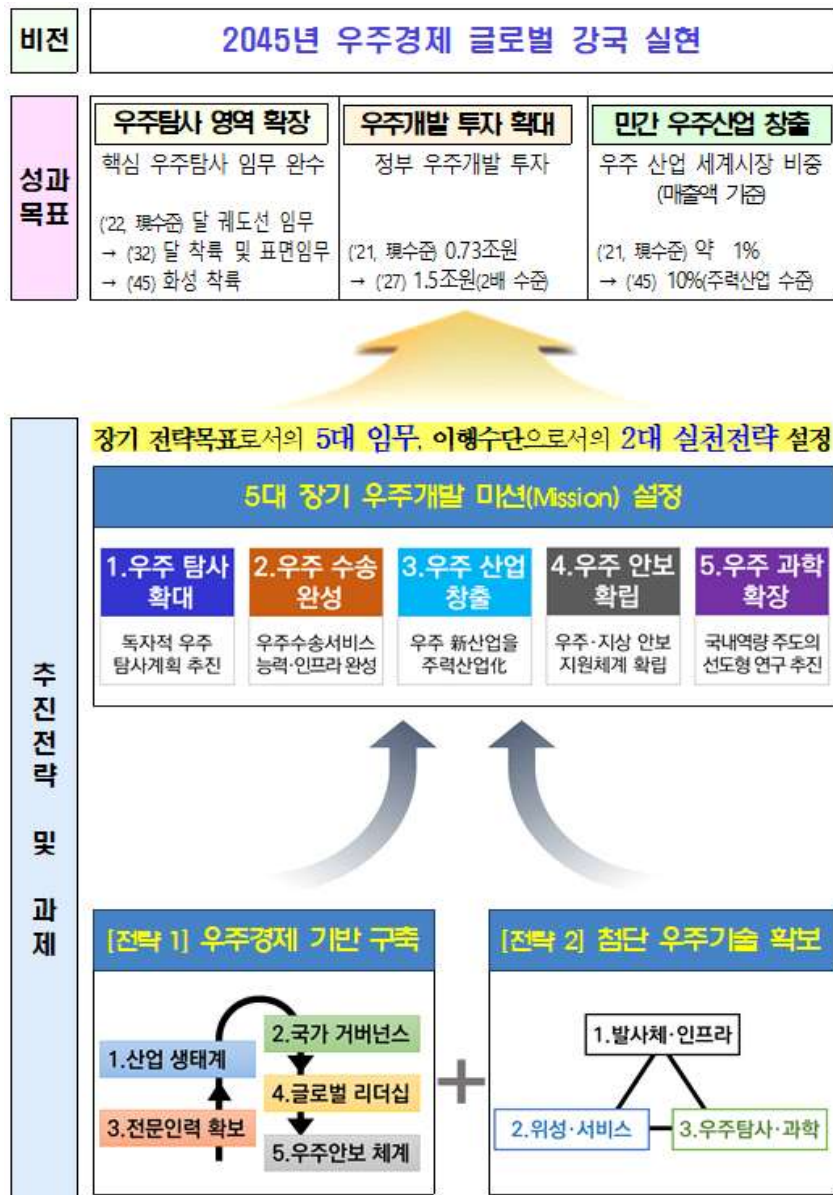
출처: 해양수산자원부(2022), '제1차 극지활동진흥기본계획'

<제1차 극지활동진흥기본계획의 비전 및 전략>

□ (경제적 필요성) 우주개발정책에 성공률을 높이기 위해서는 남극 내륙을 활용한 실증이 필요

- 과학기술정보통신부에서는 '2045년 우주경제 글로벌 강국 실현'이라는 비전하에 제4차 우주개발진흥기본계획(2023~2027)을 수립하여 '32년 달착륙 및 표면 임무, '45년 화성착륙을 목표로 설정하여 우주개발을 위해 인력과 자원을 투자하고 있음

- 월면토 수집 등을 위한 장비 및 장치, 로봇 등을 개발하고 상용화를 위해서는 우주의 극한 환경에서 작동 여부에 대한 실증연구가 반드시 수반되어야 하며, 남극내륙은 이러한 우주탐사 기술개발의 최적의 시험환경 제공 가능
 - ※ 연평균 -50℃의 극한지인 남극내륙은 지구상에서 우주와 가장 유사한 환경을 보유하고 있어 우주탐사 기술개발의 실증연구 최적지임
- 극지는 우주 등과 유사한 극한 환경으로 우주 탐사, 유인기지 건설 시 필요한 미래 기술의 테스트베드 역할 수행이 가능
 - ※ 달의 영구 음영지역과 유사한 환경을 갖춘 남극세종과학기지에서도 우주에서 얼음 채취를 위해 개발된 시추 장비 테스트 수행(한국건설기술연구원, '20)



출처: 관계부처 합동, 과학기술정보통신부(2022), '제4차 우주개발진흥기본계획'

<제4차 우주개발진흥기본계획의 비전 및 전략>

- 우주탐사 선도국들은 유인탐사 시대를 앞두고 남극에서 우주탐사기술 및 우주비행사 심리 등에 대한 다양한 실증연구를 수행함으로써 우주탐사 기술개발의 성공률을 향상시키기 위한 노력을 진행하고 있음
 - (미국) NASA에서는 운석 수집, 모사 환경 테스트, 극한지 의학 등에 대한 우주탐사기술 연구에 남극연구를 활용하고 있음
 - 남극 운석 탐색(ANSMET) 프로그램을 통해 우주에서 떨어진 운석을 수집하여 우주환경 및 역사 연구 수행
 - 화성착륙용 로봇을 개발하여 남극 대륙에서 테스트 실시
 - 우주비행사의 극한지에서의 건강 및 영양을 연구하기 위해 남극에서의 생활 및 영양섭취 등에 대한 연구 실시
 - (EU) 유럽우주국(ESA)에서는 지난 '16년도에 영국 남극 조사국(BAS)과 협력하여 인간이 장기간 우주 비행을 하거나 달 또는 화성에 머무르는 것과 유사한 조건에서 생존하는 방법을 연구하기 위해 남극 콘코르디아 연구소에서의 생존방법을 연구한 바 있음
 - ESA의 MELiSSA(Micro-Ecological Life Support System Alternative team)프로젝트*에서 진행 중인 생명유지 기술개발의 일환으로 남극내륙 콘코르디아 기지에서 수처리 시스템에 대한 실증연구 진행 중
 - * MELiSSA 프로젝트: 태양계에 대한 인간의 탐사를 용이하게 하는 동시에 열악한 환경 조건에서 폐기물 재활용, 물 공급 및 식량 생산과 같은 글로벌 과제를 해결하는 것을 목표로 미래의 우주 임무를 준비하기 위한 통합 생명지원시스템을 설계하고 계산하는 시스템 연구 등을 수행하는 프로젝트
 - 남극에서의 장기체류에 따른 심리적, 생리학적 문제는 국제 우주 정거장에서 우주비행사가 경험하는 것과 유사하여 미래 유인 우주탐사 수행 시 발생할 수 있는 인적 오류 감소를 위한 주요 연구자료 제공
 - (일본) 미사와 주식회사, 일본 우주항공연구개발기구(JAXA), 일본 극지연구소(NIPR) 등의 민관협력을 통해 우주개발기술 연구사업의 일환으로 미래의 우주유인탐사 거점 구축을 위한 남극 실증연구 플랫폼 구축('19년)
 - (남극 이동기지 유닛을 이용한 연구 플랫폼) 우주유인탐사 및 지속가능한 주생활 실현을 위한 기술효과성을 실증하는 장소로서 남극지역에서의 연구 플랫폼을 구축
 - (국내) 우주현지자원활용기술(ISRU) 공동연구, 유인 우주개발, 우주 의학 분야의 남극 내륙기지 활용 수요 확인
- 우주개발진흥기본계획의 정책적 목표인 '32년 달 착륙, '45년 화성 착륙의 성공적인 달성을 위해서는 남극내륙에서의 우주탐사 기술개발 실증연구 수반 필요
 - 동 사업이 착수되고 계획에 따라 '32년에 남극내륙기지 건설이 완료된다면 우주개발정책 목표 달성에 기여 가능하다고 판단됨

□ (기술적 필요성) 남극내륙연구의 국제공동 연구개발 협력강화를 위해 국내 연구역량 확보 필요

- 2030년을 전후하여 대규모 극지과학 국제협력 프로그램*이 예정되어 있어 극지연구 선도국가

로서 국제사회 영향력 발휘를 위해서는 해당 프로그램을 선도하기 위한 선진 극지연구 과학기술 확보 필요

* '30년 Polar 2030 국제학술대회 국내 개최, '32~33년 제5차 국제극지의 해(IPY: International Polar Year) 예정

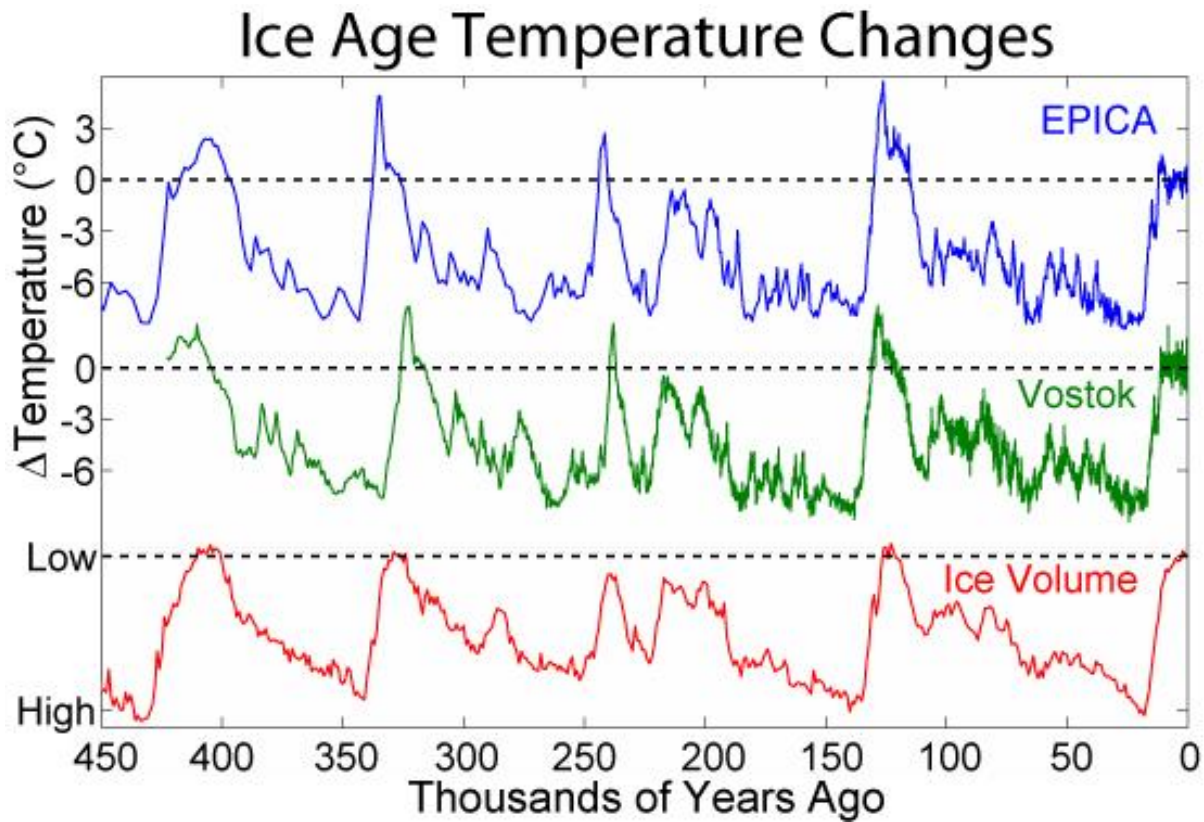
- 남극은 유일하게 과학적 투자를 통해 지역적인 영향력 행사가 가능한 지역으로써, 우수한 연구 결과를 바탕으로 남극 핵심국가로 극지 거버넌스에서 영향력을 행사할 수 있음
 - 현재 우리나라의 남극 연구 자료는 개별 연구자들에 의해 제한적으로 국제사회에 공유되고 있는 실정이며, 향후 극지연구 선진국들과의 정보교류 및 공유를 촉발하기 위해서는 우수한 연구 인프라를 바탕으로 국제사회 이슈를 주도할 수 있는 연구 성과 획득 필요
 - 남극내륙에서만 수행 가능한 심부빙하 및 천문관측 연구결과는 내륙기지를 운영하고 있는 6개 극지연구 선도국가들만이 제공 가능하며, 이들 국가들과의 대등한 과학적 교류를 위해서는 동등한 수준의 연구역량 확보 필요
- 극지 거버넌스 주도를 위해서는 남극내륙 등 다른 국가들이 도전하기 어려운 연구 과제를 선제적으로 개발함으로써 국제협력 프로그램을 주도하고 이를 통한 국가 위상 제고 필요
 - 남극내륙연구는 연구수행과 보급 등 국가적 극지연구역량이 총 결집되어야 가능하며, 특히 내륙기지 운영은 남극연구 선도국의 상징적 지표로서 의미를 지니고 있음
 - 내륙기지를 보유한 극지 선도국에서는 내륙에서만 수행 가능한 기후변화 연구와 천문 우주관측 연구 등에 투자를 확대하여 주도권을 강화하는 추세
 - 현재 남극기지 보유국은 29개(84개 기지, 20개국은 41개 상설기지)이나, 내륙기지를 보유하고 있는 6개 국가(5개 기지)만이 내륙연구를 수행할 수 있음
 - 미국, 러시아, 일본, 이탈리아, 프랑스, 중국은 내륙기지를 운영하며, 빙하학, 극지의학, 지구물리학, 천문학, 우주물리학 등 다양한 연구를 수행하며 남극 내륙연구를 선점해나가고 있음
 - 우리나라는 K루트 남극내륙 진출루트 개척을 통해 심부빙하, 빙저호 및 천문·우주환경 등 남극내륙의 주요연구 후보지를 발굴하고 해당 지역에서의 연구 활동 주도권 선점
 - 남극내륙기지건설을 통해 장보고과학기지와 남극내륙기지 간 연구영역에 대한 주도권 확립 및 국제협력 프로그램 주도를 통한 극지 거버넌스 강화 가능

3. 사업의 시급성

□ (과학적 시급성) 탄소배출 규제를 통한 지구온난화 제어 가능 시한이 도래함에 따라 미래 기후변화로 인한 자연재해 및 환경변화 대책마련 시급

- 최근 산업화 이후 1.5℃ 이상 온도가 상승한 것으로 확인됨에 따라 미래 기후변화에 따른 환경변화 및 자연재해를 대비한 효율적인 대책마련이 시급
 - 남극내륙기지를 기반으로 심부빙하시추를 통해 현재보다 2~4℃ 정도 온도가 높았던

과거 간빙기동안의 기후·환경변화에 대한 고해상도 기록을 복원함으로써 미래 기후 변화에 따른 환경변화를 정확히 예측하고 효율적인 대책마련 가능



<과거 45만년 기후변화의 남극내륙 심부빙하 기록>

□ (정책적 시급성) 현 정부 과학기술정책에 대한 국민들의 신뢰도 회복을 위해서는 법정기본계획의 성과목표 달성 필요

- 대한민국 기초연구에 대한 국민 인식 조사* 결과, 70%의 국민이 기초연구의 중요성에 대해 공감하나 우리나라 기초연구의 역량 수준은 선진국에 비해 낮은 것으로 인지하고 있어 정부 과학기술정책에 대한 국민들의 신뢰도 회복 시급

* 과학기술정보통신부의 「기초연구에 대한 국민인식조사」 (온라인 조사, '22.6.2~' 22.6.7.)

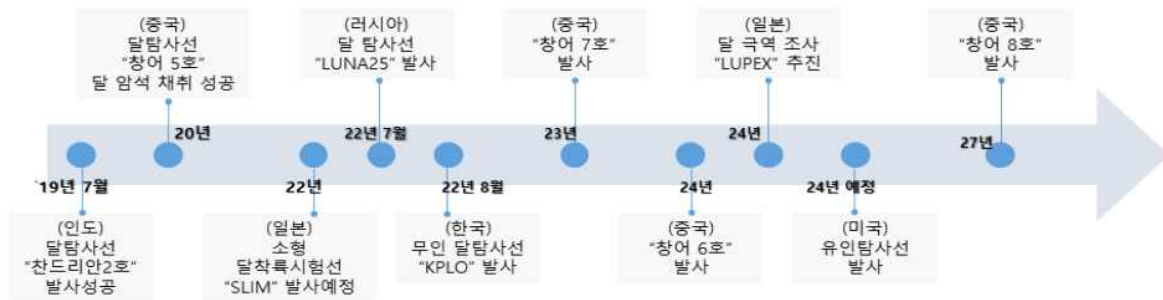
- 제1차 극지활동 진흥기본계획, 제4차 남극연구활동 진흥기본계획 등의 법정계획에 명시된 성과목표 달성을 위한 투자 확대를 통해 국민의 대정부 신뢰도 회복 가능

□ (경제적 시급성) 현재 주요 선진국들 간의 우주탐사 기술경쟁이 심화되고 있는 상황에서 우리나라의 우주기술개발 로드맵에 부합하는 실증연구 계획 수립과 인프라 구축 시급

- 제4차 우주개발진흥기본계획회에서 수립된 성과목표를 효과적으로 달성하기 위해서는 발사체 개발과 동시에 우주탐사 기술개발 실증연구가 수반되어야 하며, 우주와 가장 유사한 극한환경을 보유하고 있는 남극내륙이 실증연구의 최적지라는 것이 해외 사례들을 통해

입증됨

- 모듈형 우주기지, 극한지 의료지원, 우주비행사 심리변화 임상 연구 등 우주탐사 기술 개발의 효과적인 실증을 위해 조속한 남극내륙기지 건설과 기반 인프라 구축 필요
- 우주탐사기술의 실증을 위한 남극내륙 기반 인프라가 갖춰지기 위해서는 시기상 ' 27년에 본 사업이 착수되어야 역할 수행 가능



<주요국들의 달-화성 탐사 계획>

□ (기술적 시급성) 향후 10년 이내에 다가오는 남극과학협력 프로그램 등에서 국가 위상을 높이고 거버넌스 주도를 위해서는 남극내륙연구를 통한 데이터 축적 및 과학 활동 성과 도출이 시급

- 향후 10년 안에 국제컨퍼런스 및 국제연구개발 협력 프로그램* 등이 계획되어 있는 가운데, 그 시점이 도래했을 시 우리나라의 남극내륙연구 역량이 뒷받침되어야 국가 위상을 높이고 정책적 영향력을 발휘할 수 있음

* ' 30년 Polar 2030 국제학술대회 국내 개최, ' 32~33년 제5차 국제 극지의 해 등

- 현재 남극내륙에서의 연구는 미국, 러시아, 중국, 일본, 프랑스-이탈리아 등 극소수의 극지 연구 선도국에 의해 독점적으로 수행되고 있으며, 이들 국가와의 기술격차*가 지속적으로 증가되고 있음

* 최근 프랑스-이탈리아 연구진에 의해 세계 최초로 과거 120만년 심부빙하 기후변화 기록이 확대된 반면 국내 빙하연구는 과거 2000년에 머무름

- 따라서 현 시점에 남극내륙연구 수행을 위한 기반마련이 이루어져야 다양한 극지연구 기술 격차를 해소하고 국제사회 이슈대응을 위한 우수 연구 데이터 축적이 가능할 것이며, 이를 통해 극지 거버넌스 주도 가능

제2절 사업 추진근거

1. 법적 추진근거

□ 해양수산과학기술육성법, 과학기술기본법, 극지활동 진흥법 등에 의거 남극 내륙기지 구축 및 운영을 위한 기획사업 추진

○ (해양수산과학기술육성법) 제8조(연구개발사업의 추진), 제21조(해양수산과학기술의 국제협력)

■ 제8조(국가연구개발사업의 추진)

- ① 해양수산부장관은 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 연도별·분야별 해양수산과학기술 연구개발과제를 선정하고, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 해양수산과학기술 연구개발사업 및 전문인력 양성사업(이하 “연구개발사업등”이라 한다)을 추진할 수 있다.

■ 제21조(해양수산과학기술의 국제협력)

- ① 해양수산부장관은 국제적인 해양수산과학기술의 발전에 기여하고 국내 해양수산과학기술의 수준을 향상시킬 수 있도록 외국의 정부, 해양수산 관련 국제기구 및 외국의 연구개발 기관·단체 등과 협력하여 다음 각 호의 사업을 할 수 있다. 이 경우 해양수산부장관은 국내 해양수산 관련 연구개발 기관·단체 등을 공동으로 참여하게 할 수 있다.

○ (과학기술기본법) 제11조(국가연구개발사업의 추진)

■ 제11조(국가연구개발사업의 추진)

- ① 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다.

○ (극지활동 진흥법) 제8조(연구개발 등의 지원), 제11조(극지활동 기반시설의 설치·운영), 제12조(국제협력 촉진)

■ 제8조(연구개발 등의 지원)

- ① 국가는 극지 관련 연구개발을 촉진하기 위하여 필요한 시책을 수립하고 추진하여야 한다.
② 국가는 극지 관련 연구개발의 활성화를 위하여 대학·연구기관·기업 간의 협력 및 공동 연구개발 등의 사업을 예산의 범위에서 지원할 수 있다.

■ 제11조(극지활동 기반시설의 설치·운영)

- ① 국가는 극지활동에 필요한 다음 각 호의 극지활동 기반시설을 설치하거나 확보하여 운영할 수 있다.
1. 극지 과학기지
2. 쇄빙선(碎氷船 바다의 얼음을 깨트려 부수고 뱃길을 내는 특수 장비를 갖춘 선박을 말한다) 등 선박
3. 항공기
4. 그 밖에 대통령령으로 정하는 극지활동에 필요한 설비 및 장비
② 국가는 제1항에 따라 설치·운영 중인 극지활동 기반시설을 대학, 연구기관 또는 기업이 적극 활용할 수 있도록 필요한 조치를 하여야 한다.

■ 제12조(국제협력 촉진)

국가는 극지활동을 위한 국제협력을 촉진하기 위하여 외국 및 국제기구 등과 극지활동에 관한 정보교환, 기술협력, 공동 조사·연구 등의 활동을 추진하거나 지원할 수 있다.

2. 정책적 추진근거

- **(2024년도 국가연구개발 투자방향 및 기준)** 우주항공·해양분야의 정책목표로 “극지해저조사·심해저자원 탐사”를 설정하고, 기후위기 대응을 위한 친환경·저탄소 핵심기술 확보를 추진, 해양자원개발 기술·시장 선점을 위한 투자 확대를 발표
 - (해양자원탐사) 극지·심해·대양의 극한 환경을 극복하는 첨단 무인스마트관측 등 탐사기술을 확보하고, 극한환경에서의 공간 창출 기술개발추진
- **(제5차 과학기술기본계획)** ‘과학기술혁신이 선도하는 담대한 미래’를 비전으로 국가 연구개발 전략성 강화, 민간 중심 과학 기술 혁신생태계 조성, 과학기술 기반 국가적 현안 해결을 주요 방향으로 제시되었으며, 남극연구가 포함된 과학기술 기반 국가적 현안 해결 및 미래 대응을 전략으로 세우고, 7가지 추진과제를 제시
- **(제4차 남극 연구활동진흥기본계획)** ‘남극연구 10대 선도국 그룹 진입’이라는 비전하에 추진전략1 ‘핵심연구인프라 확보’를 제시
 - ‘남극내륙연구 3대 거점 확보’, ‘내륙탐사 지원기반 고도화’, ‘국내 남극협력 연구 활성화 여건 조성’을 세부추진과제로 제시하여 남극내륙기지 구축에 대한 추진근거 마련
- **(제1차 극지연구진흥기본계획)** 글로벌 동향에 따라 우리나라도 극지연구진흥기본계획을 수립하여 남극내륙기지 구축에 대한 의지를 표명
 - ‘국민을 위한 극지선도국가: 미지를 향한 도전, 미래를 향한 도약’이라는 비전 하에 극지 프런티어 과제를 수립하였으며, 이 중 ‘미지의 영역 진출 프로젝트’를 통해 ‘세계 6번째 남극내륙기지 구축(’ 30)’을 발표
- **(극지과학 미래발전전략 2020)** 정책목표 ‘신 연구영역 확보를 위한 미지의 극지 공간 개척’을 통해 세계 7번째로 남극점까지 내륙 육상루트 개척을 제시한 바 있으며, 추진전략2 ‘미지의 극지 과학영토 확대’를 위해 추진과제 2개 설정
 - 추진과제2-2 ‘첨단 거대 과학 선도를 위한 남극 내륙 연구 확대’ 발표
- **(2050 극지비전)** 7대 추진전략 중 ‘극지연구 혁신 및 실용화 성과 창출’, ‘연구 인프라 확충 및 인력양성 등 정책역량 강화’를 발표하여 주요 도전과제를 제시
 - (극지연구 혁신 및 실용화 성과 창출) 4차 산업혁명 기술의 극지연구 도입, 극한지 토목, 바이오신약 개발 및 극한기술 테스트베드 지원
 - (연구 인프라 확충 및 인력양성 등 정책역량 강화) 남극 제 3기지, 북극 제 2기지, 최첨단 쇄빙연구선 등 연구 인프라 확충
- **(제3차 해양수산발전 기본계획)** 전환의 시대, 생명의 바다 풍요로운 미래를 비전으로, 6대 추진전략 중 ‘환경 친화적·합리적 해양이용’을 제시함으로써 ‘해양공간 활용·관리의 최적화’ 제시

- (제1차 해양수산과학기술육성 기본계획) 해양수산과학기술 대전환을 통한 블루 이코노미 구축을 비전으로 4대 전략 중 '파도를 넘는 위기대응 미래 R&D', '해양강국 R&D 생태계 조성'을 제시하고 추진과제를 발표하여 남극내륙기지 구축의 근거와 명분을 제시
 - (전략2. 파도를 넘는 위기대응 미래 R&D) 해양·극지 개척으로 해양과학영토 확대
 - (전략4. 해양강국 R&D 생태계 조성) 국제협력형 연구개발 체계 구축



제 II 장

남극내륙기지 운영 및 활용 기술 분석

극지연구소



제2장 남극내륙기지 운영 및 활용 기술분석

제1절 해외 남극내륙기지 운영현황

1. 해외 남극내륙기지 구축 현황

- 남극에는 미국, 러시아, 중국, 독일 등 다양한 나라들이 연구소를 설립하여 남극 연구를 진행하고 있으며, 그 중 남극 내륙기지를 보유한 국가는 총 5개국(미국, 프랑스-이탈리아, 러시아, 중국, 일본)



<국가별 남극내륙 기지 현황>

기지명	관리국	위치 (위도, 경도, 고도)	기지형태 (월동인원)	준공년	육상루트
아문센-스콧 (AmundsenScott)	미국	89° 59'S, 139° 16' E, 2,835m	월동기지 (50명)	1945년	1,600km
콩코르디아 (Concordia)	프랑스-이탈리아	75° 06'S, 106° 50'E, 3,488m	월동기지 (13명)	2005년	1,100km
보스톡 (Vostok)	러시아	78° 27'S, 106° 50'E, 3,488m	월동기지 (13명)	1957년	1,300km
곤륜 (Kunlun)	중국	80° 25'S, 106° 50'E, 4,087m	하계기지 -	2009년	1,280km
돔 후지 (Dome Fuji)	일본	77° 30'S, 37° 30'E, 3,810m	하계기지 -	1995년	1,000km

출처: 극지연구소(2020), '우리의 길, K-루트와 남극 첨단연구의 오늘과 미래'

2. 미국

□ 아문센-스콧 기지

- (개요) 미국은 세계에서 유일하게 남극점에 상주 과학기지인 아문센-스콧기지를 1956년 설립하여 운영하고 있으며, 빙하학, 지구물리학, 기상학, 고층대기물리, 천문학, 의약학 등 다양한 연구를 수행
 - (시설·설비) 1975년에 기지 중앙에 폭 50m, 높이 16m의 돔을 재건하였으며 돔 시설은 겨울 동안은 18명의 연구 인력을 수용하고, 남쪽의 여름기간 동안은 33명을 수용할 수 있도록 설계
 - 그러나 돔 시설의 인프라와 기술은 설계 및 운영 수명을 초과하여 기존 시설을 확장하기 위해 1990년대에 많은 과학 및 정박 관련 구조를 추가
 - 현재 아문센 스콧기지에는 여름철 약 220명, 겨울철 50명이 체류하여 대기관측, 지질 및 지구 물리, 빙하학, 미생물학, 우주과학 등을 주로 연구
 - (기상) 온도는 -13.6°C 에서 -82.8°C 사이이며 평균 -49°C 로 기록되었고, 평균 바람은 10.7km(시속 12.3마일)로 나타남



출처: <https://www.nsf.gov/geo/opp/support/southp.jsp>

<아문센-스콧 남극기지(2008.02)>

3. 일본

□ 돔 후지 기지

- (개요) 1995년 2월 쇼와 기지의 남쪽 약 1000km에 위치하는 드롱잉 모드랜드 지역의 빙상 마지막 부에 빙상 심층 굴착 거점으로서 개설
 - (위치) 남위 77도 18분 34초, 동경 39도 41분 51초, 해발 3,810m
 - 깊이 3,035m까지의 빙상 코어 채취에 성공한 후에는 연중 채류를 중지하고 있음
 - (기상) 동남극의 주요 분빙계가 교차하는 돔 형태의 정상 중 하나에 위치하며 연평균 현지 기압은 600hPa 이하, 연평균 기온 -50℃ 이하의 고원 한극 지대에 있음
 - 1996년(37차대)에 관측한 연 최저 현지 기압은 574.3hPa, 연 최고 기온은 -18.6℃, 연 최저 기온은 -79.7℃였으며, 4월부터 10월에 걸쳐 최저 기온 -70℃ 이하를 관측
 - 연평균 풍속은 5.4m/s로 약하며 대륙빙상의 정점에 위치하여 사면하강풍의 영향을 받지 않으므로 탁월한 풍향은 뚜렷하지 않음
 - 최대 풍속과 최대 순간 풍속 사이의 차이가 없는 것도 특징이며, 또한 1년 내내 1/3 이상이 쾌청하고 구름이 있을 때도 상층운을 주체로 한 흐림이 대부분이며 중층 이하의 구름은 잘 출현하지 않음
 - 눈 일수는 연간 300일 미만으로 많지만 대부분 다이아몬드 먼지로 인한 것으로 이른바 강설은 블리자드에 의한 것도 포함해 연간 약 30일 정도
 - 또한, 고위도에 위치하기 때문에 극야·극낮의 기간이 길어 4월 말부터 8월 중순까지 태양이 나지 않는 시기가 이어짐
- (시설·설비) 돔후지 기지에는 9개 동의 건물 외에 통신용 안테나 등의 설영시설과 관측시설로 기상 관측장치, 설빙 관측장치 등이 설치되어 있음
 - 또한, 빙상 심층 굴착용 트렌치와 심층 코어의 보관 및 측정, 처리를 위한 설동이 설치

<돔 후지 기지의 시설 및 설비 현황>

No.	시설명	건설시기(년)	수량(대차)	No.	시설명	건설시기(년)	수량(대차)
1	발전동	1995	35	6	대기 관측실	1997	38
2	식당동	1994	34	7	피난 시설	1994	34
3	거주동	1995	35	8	드릴 작업실	1995	35
4	관측동	1995	35	9	신규 드릴링 제어실	1995	35
5	의료 거주동	1995	35				

출처: 일본극지연구소 홈페이지(<https://www.nipr.ac.jp/antarctic/jarestations/#fuji>)

4. 러시아

□ 보스톡 기지

- (개요) 2차 소련 남극관측대에 의해 국제 지구 관측년인 1957년 12월16일에 개설되었으며, 남극 대륙의 도달 불능극 및 남자축극 근처에 위치하여 지구의 자기권 관측에 최적의 장소가 되고 있으나, 1994년에 일시적으로 폐쇄되었다가 현재는 러시아, 미국 및 프랑스와 협동으로 운영중

- (위치) 남위78도 28분, 동경 106도 52분에 위치하며, 고도 3,488m



출처: 러시아 극지연구소 홈페이지(<https://www.aari.ru/>)

<러시아 보스톡 기지>

- (기후) 여름평균 기온 -35.9°C , 겨울 평균 기온 -66.7°C 로, 남극 기지 중에 가장 기온이 낮으며, 1983년 7월21일에는 -89.2°C 를 기록하여 지구상에서 가장 낮은 온도를 기록한 바 있음
 - 혹독한 기후조건으로 가장 춥고 고립된 러시아 남극기지로, '콜드폴'이라고 불리기도 하며, 여름에는 오존 농도가 낮아 아프리카 부부 해안에 해당하는 강한 자외선이 관찰됨
- 개장 이후 1974년과 1982년에 두 번에 걸쳐 재건축과 사용 중단을 거쳤으며, 첫 번째 건물은 오랫동안 두꺼운 눈 아래에 있었고, 두 번째 건물은 최대 5m깊이의 눈에 부분적으로 잠겨 있었음
- (보스톡 호수) 기지 지역의 빙상 아래에는 세계에서 5번째로 큰 담수 저수지인 보스톡 호수가 존재하며, 수천만년 동안 지구 표면에서 격리되어 있다는 점이 독특함
- (신건물 건축) 현재, 기지의 인프라를 완전히 교체해야 하는 상황으로 새로운 월동 기지를 건설하는 프로젝트가 시행중

- 새로운 유닛은 ' 22년에 착수하여 ' 25년 중에 설치될 예정이며, 기후 조건이 좋지 않아 기지에 필요한 장비를 납품하고 설치할 수 있는 기간은 1년에 몇 달밖에 되지 않아 건축에 어려움이 있음
- 현재 선체 장착 현장 준비와 장비 납품 경로 점검중인 것으로 조사
- 새로운 월동기지는 5개의 모듈로 구성
 - 2개의 서비스 및 거주 구역, 디젤 발전기 세트와 정수 및 저장 시스템이 있는 서비스 건물, 백업 디젤 발전기가 있는 창고 및 차고
 - 기지의 길이는 140m, 너비는 13.5m, 최대 높이는 17.5m, 건물 전체 면적은 1911m² 이상으로 건설예정
- 기지의 중심에는 각각 200kW 용량의 디젤발전기 4대 설치
- 기지와 함께 여러 유형의 태양 전지를 남극내륙으로 이송하여 테스트 예정이며, 기지에는 태양광 발전시스템을 구축하여 새로운 에너지 절약기술이 적용될 것으로 예정
- 환기 시스템에는 배출 공기를 희생시키면서 들어오는 공기를 가열하는 열 교환기가 포함
- 디젤 배기열 회수 시스템의 도움으로 공간 난방을 위해 공기가 가열되며, 실내 및 실외 조명의 경우 LED 램프만 사용
- 플랜트의 급수 시스템에는 재사용을 위한 물 재활용 시스템이 포함됨



5. 유럽

□ 콘코르디아 기지(프랑스-이탈리아 공동)

- (개요) 2005년 건설된 콘코르디아 기지는 동남극 Dome C 지역에 위치하고 있는 월동기 지로서, 프랑스-이탈리아 공동으로 운영하고 있으며, 유럽우주기구(ESA, European Space Agency) 등 EU의 여러 나라 과학자들도 정기적으로 방문하여 연구 수행
- (위치) 콘코르디아 기지는 동남극 빙상 정상부인 Dome C에 위치하고 있어 지구상에서 가장 추운 곳 중 하나임
 - 남위 75도 06분, 동경 123도21분에 위치하며, 고도 3,233m
 - 프랑스 뒤몽뒤르빌 기지로부터 거리: 1,100km 내륙에 위치
 - 호주 케이시 기지로부터 거리: 1,100km 내륙에 위치
 - 이탈리아 마리오 주켈리 기지가 위치한 테라노바 베이에서 1,200km 내륙에 위치
 - 러시아 보스톡 기지로부터는 560km, 지리적 남극점로부터는 1,670km 떨어져 있음
 - 호주의 남극 대륙 영역(AAT, Australian Antarctic Territory)에 위치함



출처: <https://thelastdegrees.wordpress.com/2012/11/30/getting-to-concordia/>

<Dome C에 위치한 콘코르디아 기지>

- 2005년부터 연구원들이 계속 거주하고 있는 이 기지는 남극 대륙 내부에 위치한 세 개의 기지 중 하나이며 지구의 지진 및 지자기 관측망에 있어서 중요한 장소 중 하나임

- 남극의 영구 기지 중에서는 지리적 남극점에 위치한 아문젠-스콧 기지(Amundsen - Scott South Pole Station, USA)와 보스톡 기지(Vostok Station, Russia)에 이어 세 번째 영구기지임
- 콘코르디아 기지는 3,300m 두께의 빙하 위에 있는 돔 C 지역에 건설됨
- 높은 고도와 낮은 대기 습도, 주변의 광원이 부재하고 대기 오염이 적은 환경으로 천문학 및 대기 연구에 이상적인 장소로 알려짐
- (기상) 평균 연간 기온은 -55°C 로 주 풍향은 남쪽이며 평균 대기 압력은 645hPa임
- 여름 기온은 -30°C 에서 -50°C 사이로 변동하며, 겨울에는 -80°C 까지 도달할 수 있고 풍속은 최대 10 노트로 비교적 약하나 체감 온도에 큰 영향을 미침
- 매우 낮은 기온 때문에 대기에는 수증기가 없고 매우 공기가 건조함
- 평균적으로 연간 2~10cm의 눈이 내림
- 평균 풍속은 2.8 m/s로 약 10 km/h 이상이며 최대 17 m/s(61.2 km/h)까지 도달 가능
- 11월 중순부터 1월 말까지는 24시간 동안 태양이 떠있는 백야기간이 계속되며, 5월 중순부터 7월 말까지는 태양이 전혀 떠오르지 않는 극야기간이 계속됨
- 기지의 시간대는 하루 중 가장 온도가 높은 시간에 작업을 하는 것을 고려하여 UTC+8 시간대로 설정되어 있음

<콘코르디아 기지 기상 및 환경>

기상(CLIMATE)	
기후 구역	내륙 남극
영구동토층	없음
평균 연간 풍속 (km/h)	10.8
최대 풍속 (km/h)	114.8
주요 풍향	남풍(S)
해빙 붕괴	없음
눈이 녹는 기간	없음
연간 총 강수량 (mm)	
강수 유형	눈(Snow)
평균 연간 온도 ($^{\circ}\text{C}$) -8.3	-52.1
2월의 평균 온도 ($^{\circ}\text{C}$)	-43.7
7월의 평균 온도 ($^{\circ}\text{C}$)	-64.2
환경 (ENVIRONMENT)	
지역	남극 대륙
남극 환경 도메인: Q - 남극 동부 내륙 빙하	
남극 보전 생물 지리적 지역: N/A	
시설 고도 (m)	3233
시설이 지어진 표면의 유형	Ice-sheet
장기간 모니터링	Yes
폐기물 관리	Yes
위험(성) 관리	Yes
연료 유출 대응 능력	Yes

출처: COMNAP(2017), "Antarctic Station Catalog"

- (설립 목적 및 연혁) 극한의 남극내륙 Dome C지역의 환경이 심부빙하시추와 천문학에 적합하다는 사실이 밝혀진 후 새로운 과학적 지식을 얻을 수 있는 현대적인 기지의 설계와 건설이 진행됨
 - 프랑스 폴 에밀 빅토르 국립극지연구소 (IPEV)와 이탈리아 남극 연구 프로그램 (PNRA)이 1999년부터 2005년까지 이 새로운 기지를 개발하기 위해 자원, 기술 및 노하우를 결합하여 협력
 - Dome C에서의 새로운 연구기지 프로젝트는 1980년대에 프랑스 극지 탐험대(French Polar Expeditions)에 의해 시작되었으며 필요한 시설, 수송 시스템 및 연안 기지캠프를 포함한 초기 연구는 1991년에 완료됨
 - 그 당시 이탈리아 남극 프로그램(PNRA)은 남극에서의 과학 및 기술 연구 개발 및 Dome C 프로젝트 참여에 관심을 표명하였고 1993년 3월 9일에 이탈리아의 PNRA와 프랑스의 IPEV 사이에 합의가 체결됨
 - 이 합의에 따라 두 국가 기관은 Dome C 기지의 건설과 운영에서 동등한 파트너로서 역할을 맡게 되었고 'CONCORDIA(콘코르디아)'라고 부르게 됨
 - 기지 설치는 1998-1999 시즌에 시작되었으며 3,000톤의 재료를 운반하고 기지를 건설하기 위해 다수의 하계 현장작업을 진행하였고, 2005년에 첫 월동연구를 시작함
 - Dome C는 고도 3,200m의 고원으로서 최대 3,200m 길이의 심부빙하를 통해 과거 150만 년 기후변화 기록복원이 가능할 것으로 예상되며, 대기 중 수증기가 거의 없어 오존층 변동을 연구하는데 이상적임
 - 천문관측에 최적의 조건을 보유하고 있으며, 남극의 지진 및 지자기 관측 협력도 가능함
 - 남극내륙과 우주 환경의 유사성(고립, 격리, 극한 기후 등과 같은 생활 조건의 유사성)으로 인해 유럽의 다양한 우주탐사 관련기관들과 우주 비행사들의 생리학적 및 심리학적 모니터링 연구를 진행 중임
- (시설 및 장비) 기지는 침실, 실험실, 병원 등 '조용한' 활동을 위한 건물 1개 동과 주방, 거실, 휘트니스룸, 작업장 등 '시끄러운' 활동을 위한 건물 1개동 및 기술 건물로 구성되어 있음
 - 하계기간 동안 일부 연구원들은 기지에서 500m 떨어진 캠프에서 숙박하며 기지 주변에는 과학 시설을 위한 다양한 건물들이 위치함
 - 콘코르디아 기지는 각각 3층으로 이루어져 있는 두 개의 타워로 구성되어 있으며 지상 층에 설치된 복도를 통해 발전소 및 수처리 시설이 있는 컨테이너 건물과 연결됨
 - 각 타워는 눈에 간하지 않도록 기둥 위에 설치됨
 - 타워 중 하나는 '조용(Quiet)한' 활동을 위해 다음과 같은 시설을 갖추고 있음
 - 지상층: 병원, 의사의 침실, 장비 보관실, 그리고 통신에 특화된 공간 (우편실), 전화 부스 및 기술 관리자의 침실

- 1층: 16개의 침실, 화장실 및 변기, 그리고 소유즈(SoUz) 시뮬레이터가 사용되는 세탁실
 - 2층: 빙하학, 대기 물리학, 자기학과 지진학, 인체 생물학 실험실, 라디오, 컴퓨터 및 안테나를 위한 공간, 기지장실과 과학조정관실
- 두 번째 타워는 ‘소음(Noisy)’ 활동을 위해 다음과 같은 시설을 갖추고 있음
- 지상층: 비상 발전기, 기술 작업장, 세탁실 및 폐기물 관리 공간 (압축기 및 가스발생기)
 - 1층: 식품 저장 공간 (냉동실, 건식 식품 저장실 및 4°C로 유지되는 저장실), 비디오실 및 체육관
 - 2층: 주방, 설거지 구역, 식당 및 거실/도서관/회의실
- 두 개의 타워는 비상계단을 통해 기지의 지붕에 접근 가능함
- 동계기간에는 16명, 하계기간에는 32명이 기지 건물 내 체류 가능하며, 별도 캠프 시설에 약 40명의 추가인원 수용 가능



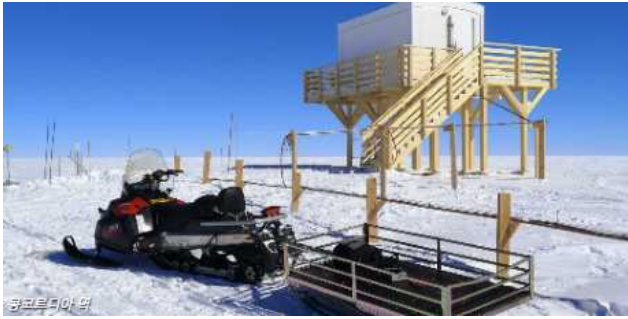
출처: 콘코르디아 기지 홈페이지(프랑스), "<https://institut-polaire.fr/en/antarctica/concordia-station/>"

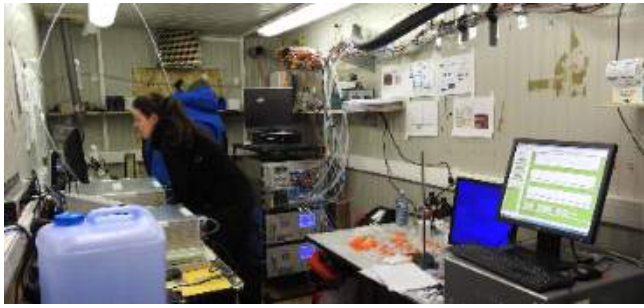
<콘코르디아 기지 전경>

- (연구시설) 연구 목적에 따라 다양한 연구 시설을 운영하고 있음

<콘코르디아 기지 연구시설 및 장비>

시설 및 장비	설명
Astroconcordia 플랫폼	 • Astroconcordia 플랫폼은 기지 밖에 위치한 공간으로 천문관측에 사용됨 • 과학자들의 작업공간, 망원경을 수리하는데 필요한 장비, 컴퓨터, 망원경에 의해 획득된 데이터를 저장하고 전송하기 위한 서버가 있는 영역을 포함하는 나무 쉼터로 구성됨 • 대피소 옆에는 남극의 고기압 때문에 바람이 많이 부는 지대 위에 있는 것을 피하기 위해 관측장비가 설치된 플랫폼을 지탱하는 두 개의 나무 아치가 설치되어 있음 • 망원경을 수용하는 돔과 설치된 기기를 검사하는 작은 쉼터도 있음
빙하 연구실 (Glaciology Spaces)	 • 여름 캠프 근처에서 몇몇 지역은 빙하시추 연구에 사용되고 있음 • (EPICA 워크샵) 프로젝트 핵심 장비 유지보수를 위해 사용되었으며 오늘날 빙하학자들을 위한 저장, DIY, 레크리에이션룸 역할을 하는 텐트 안에 있음 • (EPICA 텐트) 텐트는 EPICA borehole을 수용하는 텐트로, 온도 및 소리 확산 연구가 여전히 수행되고 있으며 케이스 튜브를 자르는 것과 같은 DIY 작업에 사용됨 • (Cold 벙커) ‘버퍼(Buffer)’ 라고도 불리며 두 공간으로 나뉘어진 건물로서 입구의 첫 번째 영역은 일시적으로 얼음 코어를 저장하는데 사용되며 더 멀리 떨어진 공간에서는 코어를 톱으로 자르고 샘플링한 다음 분광학 연구를 수행함 • (Warm 벙커) 코어를 자르고 코어로부터의 데이터를 수집하는 건물
아메리칸 타워 (American tower)	• 주로 기상학적인 과학 측정 장비를 갖춘 약 50미터 높이의 금속 타워 • 다양한 높이에서 온도와 풍속을 측정

지진학 (Seismology)	 • Dome C 현장의 지진계는 현재 눈 속에 쌓여 묻힌 컨테이너 세트인 ‘지진지하실(Seismo cellar)’ 바닥에 설치되어 있음 • 지하실은 데이터 스토리지 시스템으로 이어지는 사다리가 장착된 첫 번째 해치를 통해 출입하고 두 번째 해치는 눈 속에 파여진 45미터의 터널로 이어지며, 터널을 지나면 두 개의 금속 사다리가 15미터 깊이의 지하실로 연결됨 • 온도는 -59°C로 유지됨
슈피던 쉼터 (SuperDarn Shelter)	 • 슈피던 쉼터는 정거장에서 1500m 떨어진 프로젝트의 안테나 필드 근처에 설치됨 • 프로젝트의 데이터 수집 및 스토리지 시스템 수용
대기연구동 (Atmos Shelter)	 • 대기연구동은 대기화학 분석장비를 설치한 타워와 연구실로 이루어짐 • 공기펌프를 수용하는 구역, 수은 측정 장치를 위한 수용 구역, 재료를 다루는 실험실 구역, 아르곤 기체(Argon Bottle) 저장 구역 및 망원경 데이터 수집 구역으로 구성 • 대피소 지붕에는 수많은 공기펌프, 필터, 그리고 망원경이 설치되어 있음

스노우 쉼터 (Snow Shelter)	 스노우 쉼터는 눈(Snow) 연구 프로젝트를 수행하고 있음
지자기 연구실 (Geomagnetism Shelter)	 지자기 연구실은 긴 복도로 연결된 두 개의 지하 시설에 분산되어 있으며 제1수용체에는 복도를 통해 제2수용체에 설치된 표적을 조준할 수 있는 세오돌라이트(Theodolite)가 설치됨

출처: 콘코르디아 기지 홈페이지(프랑스), "<https://institut-polaire.fr/en/antarctica/concordia-station/>"

- (기술 건물) 기지를 유지하기 위하여 발전소, 물재활용 시설, 폐기물 분류실 등 기술 건물을 운영하고 있음

<콘코르디아 기지 기술 건물 시설 및 장비>

시설 및 장비	설명
발전소 (Power Station)	 - 콘코르디아 기지의 물, 열, 빛을 생산하고 모든 장치를 작동하는데 필요한 전기는 목적과 관계없이 호바트(Hobart)에서 수입된 연료로 생산함 - 이 연료는 L' Astrolab 선박을 통해 프랑스의 뒤몽 드 우르빌(Dumont D' Urville) 기지까지 운반된 다음 육상운송을 통해 콘코르디아 기지까지 운반됨 - 발전소는 100kW 전기 발전기 3대와 비상 발전기로 구성됨 - 난방은 열병합 발전에 의해 생성되며 연료에서 전기를 생산하면 열이 방출되고 이 열은 발전소의 라디에이터에서 순환하는 물 회로를 가열함
물재활용 시설 (Water Recycling Facility)	- 기지에는 두 개의 급수 시스템(Fresh Water, Grey water)이 설치되어 있음 - Fresh water는 얼음을 용융기에 녹여 만들어지며 여과 및 삼투, 자외선을 통해 처리하여 요리와 식수로 사용 - Grey Water(샤워기, 접시 등) 유럽우주기구와 협력하여 개발된 재활용 시스템을 활용하여 재활용됨 - 물의 생산은 신선하든 재활용하든 발전소의 에너지 생산에 전적으로 의존하기

	때문에 최대한 절약하여야 함 • Black Water(화장실 등)은 얼음에 파놓은 구멍으로 배출되며, 호주로 배출물을 운반하는 것보다 남극의 환경에 덜 해롭다는 것을 연구결과가 있음
폐기물 분류실 (Waste Sorting Room)	 • 폐기물은 폐기물의 유형에 따라 분류 및 처리됨 • 유기성 폐기물 중 일부는 박테리아를 사용하여 유기물을 소화하는 시스템(Digester)에 의해 변형되며 진여물은 압출되어 뒤몽 드 우르빌 기지로 전송됨 • 종이와 판지, 금속(알루미늄캔 등) 및 플라스틱은 트래버스(Traverse)를 통해 뒤몽 드 우르빌 기지로 도착하기 전 압축됨 • 나머지 폐기물은 분류되어 용기에 보관됨 • 뒤몽 드 우르빌 기지에서 종이와 판지를 태우면 나머지 폐기물은 분류되어 유럽이나 호주로 보내짐

출처: 콘코르디아 기지 홈페이지(프랑스), "<https://institut-polaire.fr/en/antarctica/concordia-station/>"

○ (체류인원) 기지 체류인원은 인력 및 물자 수송현황에 직접적으로 영향을 받으며, 하계대와 월동대로 나뉨

- 대체로 10월부터 3월까지 하계현장연구가 진행되며, 첫 번째 하계대 연구원들의 도착과 함께 시작되어 마지막 하계대 연구원들이 기지를 떠나면 월동기간이 시작됨
- 하계현장연구 기간 동안 프랑스와 이탈리아 팀 및 연구원과 기술자 팀으로 구분하여 나눌 수 있음

- 기술자 팀은 프랑스의 IPEV와 이탈리아의 PNRA의 직원들과 일시적으로 하계현장연구 지원을 위해 채용된 직원들로 구성됨
- 체류인원은 기지대장, 연구지원인력, 장비 기술자, 배관공, 전기 기술자, 통신 기술자, 요리사 등으로 구성되며 월동대원들과 팀을 이루어 근무함
- 월동대원들 중 일부는 하계대가 떠난 후에만 전체적인 책임을 맡게 됨

- 월동기간에는 최소 인원으로 축소됨

- 기술자 팀(기술 관리자, 전기 기술자, 배관 및 난방 기술자, 정비사)의 임무는 기지 운영을 유지하는 것이며, 연구원 팀 (컴퓨터 과학자, 화학자, ESA 의사, 천문학자, 빙하학자, 대기 물리학자)은 과학 프로젝트 수행
- 요리사, 총무 및 의사는 월동대원 모두의 식사와 행정, 의료 관리를 담당함

○ (수송 및 교통)

- (육상운송) 남반구의 하계기간 동안 3회에 걸쳐 프랑스 뒤몽 드 우르빌 기지와 콘코르디아 기지 간 트래버스(Traverse: 육상운송)를 통해 식량, 연료 및 장비를 공급함

- 트래버스 선단은 세 대의 트랙터와 다수의 설상차로 구성되어 있으며, 트랙터는 캐터필러의 MT 865 쉘린저 트랙터를 매우 낮은 온도에서 작동할 수 있도록 특별히 개조하여 활용 중
 - 트랙터들은 눈을 정돈하고 캐러밴, 연료 탱크, 식량 및 장비용 컨테이너가 실려진 썰매를 끌고 이동함
 - 트래버스 팀은 의사를 포함하여 9명에서 10명으로 구성되어 있으며, 캐러밴은 왕복 20일에서 25일 간 진행되는 동안 트래버스 팀원들이 편안하고 안전하게 생활 할 수 있도록 설계됨
 - 트래버스 선단은 이메일과 전화를 할 수 있는 이리둠 안테나, 인마 단말기 및 고주파 라디오 송신기 등의 통신시설 운영
 - 3회의 트래버스를 통해 매년 400~500톤의 콘코르디아기지 운영에 필요한 장비와 물자를 운반하고 돌아오는 길에는 콘코르디아 기지에서 발생한 폐기물을 반출함
 - 트래버스 선두 차량에는 GPS 사용에 의존하는 전자 내비게이션 시스템이 장착되어 있으며 가시성이 저하된 상태(화이트아웃)에서도 지면을 볼 수 있는 강력한 헤드램프가 장착되어 있음
 - (항공운송) 하계현장 연구인력, 월동대원, 기술자 및 물류 전문가들은 남극대륙 해안지역에 위치한 프랑스 뒤몽 드 우르빌 기지, 이탈리아 마리오 주켈리 기지, 미국 맥머도 기지 및 호주 케이시 기지로부터 항공기를 통해 콘코르디아 기지로 이동함
 - 캐나다의 트윈 오토(Twin Otter) 또는 바슬러(Basler)와 같은 두 종류의 비행기로 운영되며 이 비행기들은 화물 운송에도 사용될 수 있음
- (프랑스-이탈리아 협력 운영) 프랑스와 이탈리아는 Concordia 기지의 관리를 위한 파트너십 협정을 체결함
- 이 협정은 각 나라가 기지 운영에 대해 기여하는 금전적 또는 서비스 관련 사항을 규정함(예: 이탈리아는 장비와 인원을 항공으로 운송하고 통신에 대한 책임을 지며, 프랑스는 물자 수송과 차량 함대 관리를 담당)
 - 월동대는 기본적으로 프랑스와 이탈리아 구성원으로 이루어지며, 때로는 두 나라 중 하나가 고용한 다른 국적의 구성원도 포함됨



출처: 콘코르디아 기지 홈페이지(프랑스), "<https://institut-polaire.fr/en/antarctica/concordia-station/>"

<프랑스-이탈리아 협력 운영>

- (대규모 연구 인프라) 콘코르디아 기지는 '매우 큰 연구 인프라'(TGIR)로 국가 연구 인프라 로드맵에서 선정됨
 - 로드맵에 포함되기 위한 기준은 효과적인 거버넌스와 과학적인 조정 기구, 해당 인프라를 사용하고자 하는 과학 커뮤니티에 대한 개방성, 동료 평가를 기반으로 직접 연구를 수행하거나 운영 주체를 포함한 하나 이상의 사용자 커뮤니티에 서비스를 제공하는 것을 의미
 - 대형 연구 인프라는 또한 다년간의 예산 프로그래밍 및 완전한 비용을 포함한 통합 예산을 생산하고 생성된 데이터를 이용가능하게 해야 함
 - TGIR은 재정법에 반영된 정부 전략의 결과로서 고등 교육, 연구 및 혁신부의 예산 지정을 통해 구체화됨
 - 특히 유럽 연구 인프라에 대한 유럽 전략 포럼 (ESFRI) 로드맵에 대한 약속을 통해 구체화되며 TGIR은 연구 운영자의 과학적 책임 하에 운영됨



6. 중국

□ 곤륜 기지

- (개요) 중국 최초의 남극 내륙 연구기지로 '09년 1월27일에 완공
 - (위치) 지리적 좌표는 80° 25'01"S, 77° 06'58"E로 내륙 빙상의 가장 높은 지점인 Ice Dome A지역에 위치
 - (기후) 해발 4087m, Ice Dome A 지역의 공기는 희박하고 산소 함량은 약 60 %에 불과하며, 여름 최고기온 -10.4° C, 겨울 최저기온 -83.1° C(2018년 8월 29일 측정), 연평균 기온 -52.5° C, 기압 550~600hPa , 연평균 풍속은 3.9m/s
 - (시설·설비) 상하수도시설, 난방시설, 발전기세트, 기름보일러, 하수처리, 산소발생장치, 해동장비 등이 구축되어 있으며 건물은 모듈식 구성요소로 조립되며 비상시스템, 유류저장 시스템, 빙상코어 사이트, 차고 등을 갖추고 있음
- (주요 활동) 과학연구 측면에서 주로 빙하학, 천문학, 지구 물리학, 대기 과학 등의 분야에서 연구 수행



출처: 중국 극지연구센터 홈페이지(<https://www.pric.org.cn/index.php?c=category&id=96>)

<중국 곤륜기지 전경>

- (보급 수송) 중국은 1996~97년 시즌 첫 내륙 트래버스 이후 지속적으로 트래버스 능력을 확충시켜왔고, 곤륜기지 건설 당시 트래버스 팀은 트랙터 4대(첼린저, 견인력 65-75톤/대), 중형설상차 2대(PB300, 35-40톤), 소형 설상차 3대(PB240, 30톤) 등 총 9대 차량으로 구성하였으며 운송 물자는 컨테이너 썰매 26대, 연료탱크 썰매 16대 등 총 42대 썰매와 9대의 차량으로 운송

- 곤륜기지의 건설자재는 중국 본토에서 쉐빙선 설릉호로 중산기지로 운송한 후 건설인력과 함께 1,235km 육상 트래버스를 통해 현지에 운반
 - 중산기지에서부터 처음 300km 구간이 중요하며, 처음 해안에서 60km 크레바스 구간만 급경사이고 그 이후는 대체로 평탄하게 해발 2,200m까지 구성
 - 400~650km 구간은 고도 2,200~2,900m를 오르내리며 그로브(Grove) 산맥 정상으로 오르는데 크레바스가 밀집되어 있는 강한 활강풍 존재
 - 이 구간이 지나면 건설지까지 상대적으로 평탄한 설원으로 구성
- 곤륜 기지 건설을 위한 운송물자는 건축자재, 발전, 난방용품, 기계 장비류, 연료, 차량, 기지 유지 부품, 통신시설, 의료비, 식품, 생활용품, 과학장비 부품 등으로 구성
- 곤륜 기지 건설에 필요한 물자는 약 500톤 규모였으며, 하계기간 기지운영을 위해서 매년 약 80톤의 보급품 운송
 - 대부분의 건설물자는 2008~09, 2009~10년 시즌에 연 1회 육상 트래버스를 통해 운반되었으며, 당시 연간 운송물자는 약 200톤에 달함
- 2019~20년, 중국 남극 내륙 트래버스 팀은 11대 설상차와 50대 썰매로 약 500톤 규모의 수송능력 보유



제2절 해외 남극내륙기지 기반 연구현황

1. 미국

(1) 남극내륙연구 대표성과

□ IceCube 중성미자 관측

- 아문젠-스콧 기지 근처에 위치한 아이스큐브 중성미자 관측소(IceCube Neutrino Observatory, ICNO)는 전 세계 파트너 자금 지원과 미국 국립과학재단(NSF) 주요 연구 장비 보조금으로 건설되었고 NSF Polar Programs Office는 유지관리 및 운영(M&O) 보조금으로 프로젝트를 지원

※ 출처: <https://icecube.wisc.edu/science/icecube/>

- 아이스큐브 중성미자 관측소의 관리 및 운영(M&O) 핵심 연구자 및 엔지니어 팀은 남극과 본 기관에 있는 기존 중성미자 탐지기 인프라를 유지 보수하고, 고품질의 관측 데이터를 지속적으로 제공
- 아이스큐브는 아문젠-스콧 기지 빙상 하부 2500m 지점에 총 5,160개의 DOM(Digital Optical Modules)의 검출기를 설치하여 중성미자 관측
 - '13년 IceCube Collaboration*은 우주 가속기에서 나온 천체물리학 중성미자에 대한 최초의 증거를 구성하는 28개의 고에너지 입자 현상을 관찰하여 천문학 시대의 새로운 시대를 알림

* 전 세계적으로 아이스큐브 설계와 개발을 위해 협력하고 있는 개인 및 기관

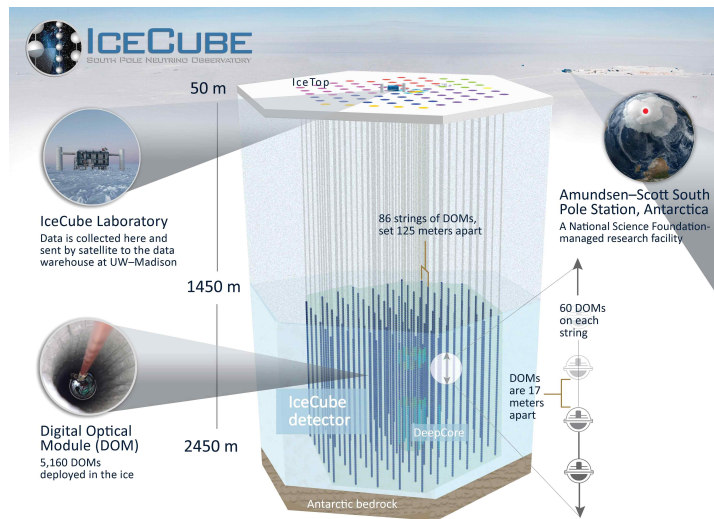
- '11~'20년 사이 수집된 10년 간의 아이스큐브 관측 데이터를 기반으로 '24년 IceCube Collaboration은 그동안 파악하기 어려웠던 천체물리학 타우 중성미자, 즉 새로운 종류의 천체물리학 메신저를 발견

※ 출처: <https://icecube.wisc.edu/news/research/2024/03/icecube-observes-seven-astrophysical-tau-neutrino-candidates/>

- 2023-24시즌에 아이스큐브 업그레이드 프로젝트를 수행하여 정밀 중성미자 물리학 및 천체물리학을 위한 아이스큐브를 확장하고자 함

※ 출처: https://www.usap.gov/sciencesupport/scienceplanningsummaries/2023_2024/results.cfm?formAction=detail&ID=2931

- 아이스큐브 업그레이드는 현재 아이스큐브 감지기 하단 중앙에 7개의 추가 광학 센서 스트링을 배치하여 기존 아이스큐브 DOM보다 모듈당 더 많은 광전극 면적을 제공하는 multi-Photo Multiplier Tube(PMT) 기반의 디지털 광학 모듈(mDOMs)을 사용
- 디지털 광학 모듈(mDOMs)은 더 많은 광자를 감지할 수 있으며 더 정확한 정보를 제공하여 우주에서의 고에너지 중성자 탐지를 통해 우주 연구에 기여
- 본 프로젝트는 맥머도기지에서 남극까지 화물 이동을 촉진하기 위해 ASC 프로젝트 코디네이터를 활용하며 SPoT 및 LC-130을 통해 전체 물류 일정에 맞추어 진행



출처: <https://icecube.wisc.edu/science/icecube/>

<아이스큐브 중성미자 관측소>

(2) 최근 남극내륙연구 동향

□ 2023-24시즌 파일럿 광섬유 지진 네트워크

- 아문센-스콧 남극 기지에 분산 음향 감지(DAS)* 시스템을 배치하는 이 프로젝트는 8km의 기존 광섬유 케이블을 8,000개 이상의 센서로 변환하여 극지 지진학을 위한 획기적 데이터 엔진으로서 DAS의 잠재력을 연구

※ 출처 https://www.usap.gov/sciencesupport/scienceplanningsummaries/2023_2024/results.cfm?formAction=detail&ID=2901

* DAS: 단일 광섬유를 대규모 다중 채널 지진 어레이로 변환하고 고밀도 지진 네트워크를 구축할 수 있는 확장 가능하고 경제적인 새로운 기술

- 극한의 추위, 매우 낮은 소음의 극지 환경에서 DAS 기술의 성능을 평가하고 보정하기 위한 목적으로 데이터 수집
- 얼음, 인공 신호, 해양 마이크로 지진 등으로부터 순간적 신호 기록 및 분석 가능

□ Cosmic Microwave Background, CMB

- CMB연구는 남극의 주요 실험 프로그램인 10m 지름의 남극 망원경(South Pole Telescope)과 소형 망원경의 BICEP(Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization) 어레이를 중심으로 수년 동안 번창
 - 이를 통해 우주의 초기 형성 단계에 대한 심층적인 연구와 우주 진화에 대한 통찰력을 제공하여 우주의 기원과 성질에 대한 깊이 있는 이해를 할 수 있도록 기여
 - CMB 측정의 민감도를 향상시킬 수 있는 CMB 4단계(S4)라는 프로그램에서 아이디어를 개발해 왔으며, CMB-S4는 남극 및 칠레 고지대 사막에 새로운 망원경을 설치하는 작업을 포함
 - 이는 미국의 연구 역량을 크게 향상시키고, 초기 우주의 기원과 물리학에 대한 중요한 발견을 제공



출처: Antarctic Science: Why U.S. Leadership and Investments Matter (2022)

〈남극 망원경(중양)과 지붕 위에 설치된 BICEP3〉

□ 남극망원경(SPT)을 통한 오로라 전파 방출 연구

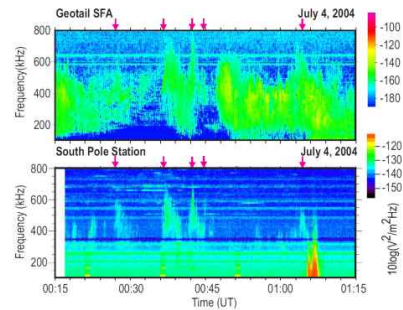
- 남극에서의 LF/MF/HF 오로라 전파 방출에 대한 최초의 기지연계연구 및 지속적인 위성 결합 연구

※프로젝트명 : First Conjugate-Station Studies And Continued Satellite-Conjunction Studies Of LF/MF/HF Auroral Radio Emissions At South Pole

※출처:https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1911335&HistoricalAwards=false,
https://www.usap.gov/sciencesupport/scienceplanningsummaries/2023_2024/results.cfm?formAction=detail&ID=1667

- 지구 주변 지자기권(Geospace)은 태양풍에서 발생하는 플라즈마와 지구 자기장으로 구성되며, 이 두 요소가 상호작용하여 전리층 오로라(Ionospheric aurora) 등과 같은 고층대기 현상을 생성하는데 이는 극 지역에서 눈에 띄게 나타나고 관찰되며, 관련 연구는 위성 계측과 지상 센터와의 통신 모두에 영향을 미치기 때문에 매우 중요함
- 이에 따라, 동 프로젝트에서는 위성에서 관찰한 AKR(Auroral Kilometric Radiation; 오로라 킬로미터 방사선)과 지상 AKR 유사 신호 사이의 관계를 연구하고, 이러한 현상이 어떤 상관관계가 있는지에 대한 이론을 테스트함
 - AKR 유사신호는 인공 무선 주파수 간섭으로 인해 북반구에서 정기적으로 관찰할 수 없으며, 오로라 위도에서 복합 위성/지상 기반 관측하기 위해서는 남극 대륙에서 측정 필요
 - 아문센-스콧 남극관측소는 남극망원경(SPT) 운영을 통해, 남극 내륙에서만 관측할 수 있는 AKR(Auroral Kilometric Radiation; 오로라 킬로미터 방사선) 유사신호와 전자 사이클로트론 고주파 방사선(Electron Cyclotron Harmonic Radiation)을 관측
 - 이를 통해 지구 상공 200,000km 상공에서 관측된 AKR(오로라 킬로미터 방사선)과 남극 관측소에서 동시에 관측된 AKR 유사 신호 사이의 상관관계를 연구
- 아문센-스콧 남극관측소에서 2018~2022년 동안 수백 개의 AKR과 유사한 무선 신호를 관측 및 연구한 결과, 우주로 발사된 AKR 소스와 지구 표면으로 방출되는 AKR 소스 사이의 직접적인 연관성을 강력히 시사

- 동 연구결과의 의의: 1) 새로운 복사 매커니즘의 존재를 의미(지구 외에도 광범위한 우주환경에서 발생), 2)지상에 도착하는 AKR은 지구 위 수천킬로미터 지역을 물리적 프로세스 및 조건으로 원격 감지하는데 사용 가능(e.g. AKR 방출은 다른 태양계에 있는 외계 행성의 자기장 존재 유무를 감지)



출처: https://www.usap.gov/sciencesupport/scienceplanningsummaries/2023_2024/results.cfm?formAction=detail&ID=1667;
LaBelle, J., and Anderson, R.R., Ground-level detection of Auroral Kilometric Radiation, Geophys. Res. Lett., 38, L04104, doi:10.1029/2010-Gl-046411, 2011.

<AKR(오로라 킬로미터 방사선) 전경>

□ 남극 내륙의 지질구조 연구를 위한 탄성과 탐사

- 남극 지질연구에 있어 중요 영역 중 하나로서, 남극점 및 동남극 빙상 하부 지각과 최상부 맨틀에 대한 포괄적인 탄성과 조사 추진

※ 프로젝트명 : A Comprehensive Seismic Investigation To The Crust And Uppermost Mantle Beneath The South Pole, East Antarctica

- 아문센-스콧 남극 관측소(SPS; South Pole Station)에서 300km 이내의 지역과 그 이하의 얼음 구조(sub-ice structures)는 남극 지구과학을 연구하는데 있어 중요하나, 빙하 표면이 3km에 달하는 빙하 아래 구조물에 대한 직접적인 지식이 부족하여 관련 연구가 필요
- 남극(SPS)에서 300km 이내의 지역은 남극 횡단산맥(STAM) 남쪽 고지대와 남극 동부 크레톤 사이의 관문 위치를 고려할 때 대륙의 지질학적 역사와 현대 구조론을 연구하고 내륙 역학 모델링 및 반응 예측을 위한 정확한 빙상역학모델을 개발하는데 매우 중요
- 이에 따라 동 프로젝트에서는 세 번의 현장 시즌(2023-24, 2024-25, 2025-26) 동안 남극 관측소(SPS)에서 최대 240km까지 탄성과 장비를 배치할 계획이며, 프로젝트 기간 동안 8개의 광대역시스템(BB)을 배치하고 매 시즌 약 30일 동안 최대 186개의 탄성과 노드를 배치할 계획



출처: https://www.usap.gov/sciencesupport/scienceplanningsummaries/2023_2024/results.cfm?formAction=detail&ID=2963

<남극 내륙의 지질구조 연구를 위한 탄성과 탐사 위치>

[참고] 아문젠-스콧 기지에서 수행중인 미국 남극연구 프로젝트(USAP, 2023-2024)

※ 출처: https://www.usap.gov/sciencesupport/scienceplanningsummaries/2023_2024

Event No.	Project Title
G-090-P/S	Global seismograph station at South Pole and Palmer stations
A-369-M/S	Antarctic SuperDARN research, operations and system enhancements
I-185-M/S	COLDEX - Airborne Geophysics Survey- East Antarctic Plateau (EAP)
A-379-S	South Pole Telescope (SPT) Operations and Data Products
A-343-M/S	Local-scale drivers and responses of thermospheric weather above Antarctica
A-111-M/P/S	The next generation of Geospace research facilities at South Pole and McMurdo Stations
O-257-M/S	UV measurements at McMurdo Station for the NOAA/Global Monitoring Division (GMD) Antarctic UV network
A-333-S	Management and Operations of the IceCube Neutrino Observatory 2021-2026
A-334-M/S	Collaborative Research: IceCube Upgrade: An IceCube extension for precision neutrino physics and astrophysics
A-128-S	First Conjugate-station Studies and Continued Satellite-conjunction Studies of LF/MF/HF Auroral Radio Emissions at South Pole
T-946-M/S	CRREL Engineering Support for Antarctic Facilities
X-594-M/S	88S traverse: GPS survey for calibration and validation of ICESat-2 altimetry data
A-149-S	Imaging the Beginning of Time from the South Pole: Completing the BICEP Array Survey
A-118-S	Collaborative Research: The Simpson Neutron Monitor Network
G-298-M/S	A comprehensive seismic investigation to the crust and uppermost mantle beneath the South Pole, East Antarctica
A-119-M/S	Pan-Antarctic Investigations of Mesospheric Wave Dynamics and Influences Using the ANGWIN Network
A-137-S	Pilot Fiber Seismic Networks at the Amundsen-Scott South Pole Station

2. 유럽

(1) 남극내륙연구 대표성과

□ Beyond EPICA 프로젝트

- 남극내륙 심부빙하코어 시료에서 과거 150만 년 기후환경 변화기록 복원을 시도하는 Beyond EPICA 프로그램이 이탈리아와 프랑스 주도하에 '19년부터 7년간 진행
 - 이 프로젝트의 주요 과학적 목표는 지난 150만 년 동안 전 지구 기후 및 환경 변화에 대한 고해상도 심부빙하코어 기록을 복원하는 것임
 - 지난 '23년 1월 Beyond EPICA - Oldest Ice의 두 번째 시추 캠페인이 성공적으로 완료
 - 본 연구 프로젝트는 유럽연합이 1,100만 유로의 규모로 지원하였으며 이탈리아 국립 극지 과학 연구소가 관리
 - COVID-19로 '22년부터 본격적으로 시추 작업을 시작하였으며, '22/23 하계 시즌에 808.47m의 깊이까지 시추
 - '24년 1월 Beyond EPICA 프로젝트의 세 번째 시추 작업이 성공적으로 완료되어 남극 빙하 1,836m 깊이에 도달
 - '23년 11월 중순부터 '24년 1월까지 약 8주간의 작업 끝에 프로젝트 팀은 1,836M 깊이에 도달하였고, 이 깊이의 얼음에는 지난 195,000년 동안의 기후와 대기에 대한 정보를 보존하고 있음
 - 23/24 시즌에는 콘코르디아 기지에서 새로 시추한 빙하코어의 물 안정동위원소 비 현장 분석을 통해 빙하 연대 확인
 - 본 프로젝트를 통해 시추한 빙하 코어 샘플은 이탈리아의 Laura Bassi 채빙선을 통해 유럽으로 운송
 - '25년 1월 총 2800m 길이의 심부빙하코어 시추를 완료하였으며, 현장 분석 결과 과거 120만년 이상의 기후변화 기록 복원 가능 예상
 - 고해상도 기후변화 기록복원을 위해 통상적인 아카이브 시료 확보 포기
 - '26년 초 심부빙하 시추캠프 철수 예정

(2) 최근 남극내륙연구 동향

□ CATCH-O 프로젝트

- '22년 수행된 CATCH-O (Concordia ATmospheric CHEmistry - Observatory) 프로젝트는 남극 Dome C에 영구 관측소를 설립하여 남극 대기의 화학 조성에 대한 지속적인 모니터링 및 연구 활동을 목표로 함

※ 출처: <https://www.pnra.aq/it/project/596/concordia-atmospheric-chemistry-observatory>

- 특히, 낮은 대기권의 오존 함량, 대기 입자의 화학적 특성 등에 대한 지속적인 관측 수행
 - 본 프로젝트를 통해 얻은 정보는 남극해 기후 시스템의 작동을 더 잘 이해하는 것뿐만 아니라 과거 심부빙하코어 기후변화 기록을 해석하는 데도 중요
 - 따라서, 본 프로젝트에서 수행되는 관측 및 연구 활동이 전 세계적 관측 네트워크에 통합되는 것이 중요

□ ICE-OPT 프로젝트

- '18년 수행된 콘코르디아 기지에서의 개별 대기 얼음 결정의 광학 및 미세물리학 프로젝트는 대기 중 얼음 결정의 형태, 크기, 구조 등의 특성을 연구

※ 출처: <https://www.pnra.aq/it/project/541/optics-and-microphysics-individual-atmospheric-ice-crystals-concordia-station>

- 콘코르디아 기지에 존재하는 기후 조건은 다른 곳보다 더 높은 고도에서 관찰되는 권운과 유사하여, 콘코르디아 기지에서 수행되는 광학측정 결과를 통해 고도가 높은 지역의 권운 특성을 모델링하는 데이터로 활용
- 얼음의 특성을 연구하기 위해 자동 측정 장비를 사용하고 있으며, 주요 구성은 개별 얼음 결정에서 발산하는 빛의 각도 분포를 측정하는 PHIPS-HALO와 개별 얼음 모양을 특성화하기 위한 홀로그래프 장치인 HOLO-ICE로 구성

□ CORDIAL 프로젝트

- '18년 시작된 CORDIAL(COsmic Rays Dosimetry In Antarctic Latitudes) 프로젝트는 남극에서 우주선(Cosmic Rays) 선량측정을 통해 해당 지역의 대기 및 지구 환경과의 상호작용을 이해하는 것을 목표로 함

※ 출처: <https://www.pnra.aq/it/project/542/cosmic-rays-dosimetry-antarctic-latitudes>

- 남극 지역은 다양한 조건에서 우주선(Cosmic Rays, CR) 유발 방사선의 기여를 연구하기에 이상적인 장소로, 특히 콘코르디아 기지는 우주 기후의 영향을 가장 민감하게 받음
- 본 프로젝트를 통해 태양 및 은하 우주선의 변화에 대한 대기의 방사선량 반응을 연구하여 지구의 기후 및 환경에 미치는 잠재적인 영향을 이해하는 데 중요한 역할을 수행
 - 높은 고도와 위도의 콘코르디아 기지에서 우주선 방사선량을 평가하고 다른 고위도 위치에서 수행된 선량 측정 실험과 비교
 - 데이터 수집 기간 중 CR 플럭스 변동 모니터링 및 SEP 및 GLE 이벤트의 주요 특성 분석

- 극지방에서 인체에 대한 생물학적 영향과 관련된 유도 방사선량 측정

□ 의생명과학연구

○ ESA(European Space Agency)는 약 20년간 콘코르디아 기지에서 총 36개의 생물 의학 연구 프로젝트를 지원하였고, 심리학, 신경과학, 수면 생리학, 면역학 등의 분야에 대한 연구 수행

※ 출처: 'White Mars' -nearly two decades of biomedical research at the Antarctic Concordia station(2020)

- 이러한 연구는 콘코르디아 기지에서 일하는 사람들뿐 아니라 극한 환경의 생물 의학 적 과제를 이해하는데도 도움이 되며, 나아가 극지와 유사한 환경인 우주 탐사를 준비 하고 우주비행사의 건강에 악영향을 최소화하기 위한 대책 마련에 기여
- 일반적으로 우주에 대한 접근성이 제한되어 있어 실제 우주 환경에서 개인 및 그룹의 기능에 대한 연구에 한계가 있기 때문에, 남극과 같은 유사환경을 대상으로 한 의학 연구는 극한 환경에서의 임무수행을 하는 대원들의 건강 및 복지에 미치는 요소를 조 사할 수 있는 중요한 기회
- 콘코르디아 기지는 극한 환경에서의 장기 체류가 인간의 생리적, 심리적 기능에 미치는 영 향을 테스트하기 위한 최적의 환경 제공
- 따라서 미래 유인 우주 탐사 미션 수행 과정에서 인적오류를 줄이고 미션을 성공적으로 수 행하기 위해 중요한 테스트베드 역할을 함



3. 일본

(1) 남극내륙연구 대표성과

□ Dome F 지역의 빙저지형 규명

- '22년 일본의 국립극지연구소(NIPR)와 도쿄대 해양대기연구소를 중심으로 남극 내륙 돔 후지 기지 인근에서 지난 30년 동안 관측된 빙하 레이더 데이터를 분석하여 빙하 아래 지형을 상세히 파악

※ 출처: <https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20221020.html>

- 본 연구에서는 높은 주파수를 가진 레이더 안테나를 사용하여 안테나 빔의 방향성을 개선함으로써 빙저지형 복원 정확도 향상
 - NIPR이 보유한 다수의 빙상탐사 레이더를 설상차에 탑재하고 레이더 안테나를 높은 주파수를 갖도록 개량하여 안테나로부터 조사되는 전자파가 빙상 내부의 좁은 범위에 집중되도록 함으로써 빙상과 기반 지형 경계의 판별 정밀도가 크게 향상
 - 새로운 안테나를 이용하여 제59차 남극 지역 관측대('17년)에서는 총 주행거리 2,990km를, 제60차 관측대에서는 2,780km에 이르는 빙상 레이더 탐사를 실시함으로써 돔 후지 기지 인근의 빙상 구조 및 빙저지형을 상세하게 밝힘
- 본 연구를 통해 빙저지형을 정밀하게 파악함으로써 고해상도 빙저지형 복원이 가능하였으며, 돔 후지 기지 남쪽에 복잡한 형태의 산맥이 퍼져있는 것을 확인하였고, 또한 돔 후지 기지 인근에 아직 발견되지 않은 빙저호가 존재할 가능성을 발견
 - 제63차 남극 지역 관측대('21)에서는 본 연구를 바탕으로 선별된 후보 지역에서 보다 상세한 레이더 관측을 실시하였고, 향후 이러한 데이터를 통합하여 최종 기반 지형도를 완성하고 세 번째 돔 후지 심부빙하코어 시추지점 선정



출처: <https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20221020.html>

<레이더 안테나가 장착된 설상차>

□ 돔 후지 심부빙하 시추

- '23년 돔 후지 기지에서 세 번째 심부빙하시추를 시작하여 126m 깊이까지 아이스크어 드릴링을 완

료하였으며 '27년까지 과거 150만년 기후변화 기록 복원을 위한 심부빙하코어 시추 수행 예정

- ' 22년 과거 150만년 심부빙하시료 시추를 목표로 돔 후지 기지 주변에서 신규 시추 트렌치 건설을 시작하여 ' 23년 건설 완료
- ' 23년, 신규 시추 트렌치에서 천부빙하시추를 통해 126m 깊이의 빙하코어 시추 완료
- 1회 시추 시 최대 50cm의 빙하코어를 채취하며, 10일간 245회 시추를 126m 도달
- '24년 초에는 심부빙하코어 시추를 위한 시추기 설치 및 시추공 내 케이싱 작업을 완료하였으며, ' 24년 말부터 심부빙하코어 시추 시작

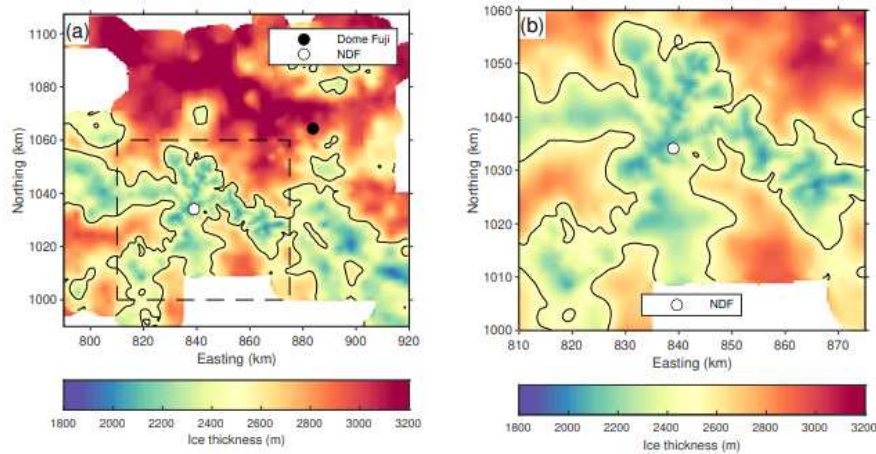


출처: <https://nipr-blog.nipr.ac.jp/jare/20231228post-435.html>

<천부빙하코어 시추('23.12)>

□ 돔 후지 주변 레이더 조사

- 150만년 심부빙하시추를 위해서는 빙저 지형 파악을 통한 시추 최적지 선정이 중요하며, 이를 위해 돔 후지 기지 주변에서 30년간 육상 빙하레이더 탐사 실시
 - ' 17~ '18년 및 ' 18~ '19년 시기에 돔 후지 기지에서 광역 레이더 탐사를 수행하였으며 기존 탐사자료와 결합하여 빙하 구조 파악
 - 개선된 레이더 시스템을 사용하여 획득한 데이터는 빙하와 기반암 경계면의 쌍곡선 특징이 크게 감소하여 빙저 지형에 대한 보다 정확한 자료를 획득하였으며, 빙하 내부의 층위구조를 명확하게 분석
 - 새로 획득한 빙하구조 데이터는 기반암의 지형, 특히 돔 후지 기지 남쪽의 빙하 계곡과 고지대의 복잡한 지형을 상세하게 보여주고 있음



출처: <https://nipr-blog.nipr.ac.jp/jare/20231228post-435.html>

<연구 지역(a) 및 JARE60 관측 영역(b)>

(2) 최근 남극내륙연구 동향

□ 돔 후지 아이스코어 컨소시엄(ICC)

- 국립극지연구소의 아이스코어 연구위원회에서 설치된 공동연구조합으로, 아이스코어의 분석 및 연구를 유기적인 협력을 통해 수행되고 있음

※ 출처: https://polaris.nipr.ac.jp/~icc/NC/htdocs/?page_id=179&lang=japanese

- 1) NIRP(극지연구소) 빙핵연구위원회에서 위탁한 빙핵 관리, 연구기획 및 분석 수행
- 2) 분석정보 상호이용 및 공동연구 추진
- 3) 연구회의 개최
- 4) 위원 파견 독려 국내외 연구 커뮤니티를 향한 연구 결과
- 5) ICC의 목적을 달성하기 위해 필요한 기타 활동

□ 기타 남극내륙연구 과제

- 마지막 빙하기 이후 급격한 온난화에 대한 남빙양과 주변 육상 환경의 변화
 - (연구기간) 2023년 ~ 2026년
 - (예산) 47,580,000엔
 - (연구내용) 빙하코어 시료의 각종 에어로졸을 최첨단 기술로 분석하여 마지막 빙하기 이후 온난화 시기의 남빙양과 그 주변 육상 환경 변화를 복원하고, 특히 대기 중 이산화탄소의 흡수와 깊게 관련되는 남빙양의 생산성과 주변 육상생태계, 미생물군집의 다양성 변화의 타이밍과 속도를 규명하는 연구
- 남극 빙하코어시료 내 메탄 농도 변화와 이에 따른 과거 전 지구 기후 불안정성 해명
 - (연구기간) 2020년 ~ 2024년
 - (예산) 총 45,760,000엔

- (연구내용) 돔 후지 심부빙하코어 시료의 메탄 농도를 고해상도로 연속 분석함으로써 마지막 빙하기 이전의 기후변화 신호를 파악하고 북반구의 해저 퇴적물 코어나 중유석 등의 고기후 기록과 돔 후지 심부빙하코어의 기후변화 기록을 종합하여 남반구와 북반구의 기후변화 양상과 지리적 확산 및 전 지구 평균 기후 상태 규명
- 남극 빙하코어 내 고대 곰팡이 DNA 분석과 고환경 변화와 관련된 곰팡이 역할 해명
 - (연구기간) 2021년~2023년
 - (예산) 총 4,160,000엔(' 21년 1,430,000엔, ' 22년 2,080,000엔, ' 23년 650,000엔)
 - (연구내용) 남극 빙상에 봉쇄되어 있는 고대 진균의 DNA 분석을 실시
 - 돔 후지 심부빙하코어에서 고대 진균 1세포씩 분리하여 DNA 분석하는 방법 개발
 - 고대 진균에 대해 포괄적으로 DNA 계통 해석 실시
 - 돔 후지 심부빙하코어의 고기후·환경 변화 기록과 연계하여 장기적인 환경변화가 각 시대의 진균의 수나 종 조성, 기원, 수송 경로에 미치는 영향을 분석
- 남극 빙하코어시료의 황화합물 산소 동위원소 비 변화에 기초한 과거 대기 산화력 복원
 - (연구기간) 2019년~2021년
 - (예산) 5,070,000엔
 - (연구내용) 남극 돔 후지 심부빙하코어 시료 내 황산화물의 고해상도 $\Delta 17O$ 값 분석을 통해 전 지구 대기 화학-수송 모델과 마지막 빙하기부터 현재까지의 대기 산화 과정의 변천 복원
- 과거 72만년간의 기후변화 정보를 포함한 빙하코어의 물리화학적 특성 연구
 - (연구기간) 2018년~2022년
 - (예산) 총 115,180,000엔
 - (연구내용) 돔 후지 심부빙하코어의 물리화학적 특성 연구
 - 빙하코어의 물리적 특성 및 층서 파악
 - 연속분석시스템(CFA)을 이용한 빙하코어의 화학 프록시 분석
 - 소금 미립자의 층서 연구
 - 빙하코어 내 프록시 변화와 관련된 기후·환경 프로세스 연구
- 남반구에서 중고위도 대기 순환 불확실성의 정량화
 - (연구기간) 2018년~2020년
 - (예산) 3,900,000엔
 - (연구내용)
 - 중위도 해양 전선 변동에 관한 연구
 - 극 지역 예측년(YOPP)와 관련된 예측 가능 연구
- 그 외에 최근 주목받고 있는 분야는 의료나 공급 등 사회에 유용한 미생물 연구로, 극한 환경에서 서식하는 미생물을 연구하여 새로운 의약품 개발에 대한 연구가 진행

4. 중국

(1) 남극내륙연구 대표성과

□ 근적외선 망원경 개발

- 독자적으로 개발한 근적외선 대기광도 측정 장치를 사용하여 곤륜 기지 주변의 상공의 근적외선 강도와 같은 핵심 데이터를 성공적으로 측정했으며, 이는 곤륜 기지에서 연중 천문 관측을 수행할 수 있는 견고한 기반을 제공

※ 참고: <http://www.stdaily.com/index/kejixinwen/202403/01e8cfff0dd24d59a982c87155f3ce31.shtml>

- (근적외선 대기광도 측정 장비) 최근('23.4) 중국 과학기술대학교 현대물리학과 '핵탐지 및 핵전자공학 국가핵심연구소' 연구팀은 극지연구센터 천문학연구실과 협력하여 남극 관측을 위한 NISBM* 근적외선 채광창 배경 측정 장비 개발

* NISBM: Near-Infrared Sky Brightness Monitor

※ 참고: <https://news.ustc.edu.cn/info/1048/82595.htm>

- DOME A 지역 상공에서 J, H, K 대역의 근적외선 대기광도를 분석할 수 있는 장비(NISBM)를 개발하여 '19년에 DOME A에 설치하였으며, '19년 1월부터 4월까지 근적외선 대기광도의 초기 결과를 취득함으로써 어느 대역대가 천문관측에 좋은 장소인지 판단할 수 있는 근거 마련
- 한편, 제39차 남극과학탐사('22.10~'23.4, 163일 간)에서는 '동남극 얼음-가스 상호작용에 대한 관측 및 시뮬레이션 연구', '남극내륙 대기환경 관측기술 개발실험'의 두 가지 핵심 연구를 수행한 것으로 보고됨

※ 참고: <http://nccics.ncc-cma.net/Website/?NewsID=4342>

□ 딥러닝 기반 기후변화 연구

- 최근 중국 극지연구센터 천연자원부 극지과학중점실험실 기후변화연구팀은 상하이해양대학교 정보대학과 공동으로 딥러닝 기법을 기반으로 한 남극 표면 용융수의 신속한 자동 식별에 관한 연구 논문을 발표하고, 이러한 추론 분석을 바탕으로 '17년부터 '22년까지 아메리(Amery) 빙봉 표면 용융수의 공간적, 시간적 분포와 기후변화 요인과의 관계를 연구 한 바 있음('23.3)

(2) 최근 남극내륙연구 동향

- 최근 5년('18~'22)간 중국에서 수행된 남극관련 R&D프로젝트*는 약 105건으로 총 5,464만 위엔 규모로 지원되어 프로젝트 당 평균 54.64만 위엔 규모였으며, 이중 남극내륙기지를 기반으로 수행된 연구프로젝트는 총 4건으로 약 233만 위엔의 규모의 연구 프로젝트 진행

* 주로 대기산화, 오존층 연구, 물순환, 남극 빙상, 기후변화 등에 관한 연구가 주를 이룸

- 남극 내륙에 위치한 곤륜 기지에서의 최근 연구과제는 2건으로 중산 기지에서 곤륜

기지 구간의 빙설연구 수행

<최근 5년간 중국의 곤륜 기지 관련 프로젝트 현황 >

No.	프로젝트명	의탁기관	연구기간	지원경비 (만 위엔)
1	동남극 중산 곤륜 기지 구간의 눈과 얼음 황산염의 형성 메커니즘과 지표에 대한 대기 산화 정보	중국극지연구소	2019-01-01 ~ 2022-12-31	62.0
2	남극 동빙상 중산기지에서 곤륜기지 구간의 눈층 내 NO ₃ 의 퇴적 후 메커니즘에 관한 연구	화둥사범대학교	2016-01-01 ~ 2019-12-31	68.0

출처: 중국 국가자연과학기금위원회 홈페이지(<https://kd.nsfc.cn/finalProjectInit>)

- (동남극 중산-곤륜 기지 구간 빙설의 얼음 황산염 형성 기작과 지표에 대한 대기산화 정보) 중산-곤륜 기지 간 표층 빙설시료와 주상 눈시료, 빙하코어 및 에어로졸 시료에서 산소동위원소 분석을 통해 극 지역 대기산화 조건의 특이성과 동남극 지역 SO₄의 생성 기작 및 시공간 변화 특징을 연구
- (동남극 중산-곤륜 기지 구간 빙설 내 NO₃의 속성작용 연구) 탈질소 박테리아에 기반한 NO₃-동위원소 분석 방법을 구축하고 이를 기반으로 중산-곤륜 기지 간 빙설시료와 에어로졸의 질소, 산소 동위원소($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ 및 $\Delta^{17}\text{O}$)를 분석하고 관련 모델 및 현장 시뮬레이션 등을 통해 과거 대기 산화 상태와 질소 순환을 복원할 수 있는 과학적 근거를 제공

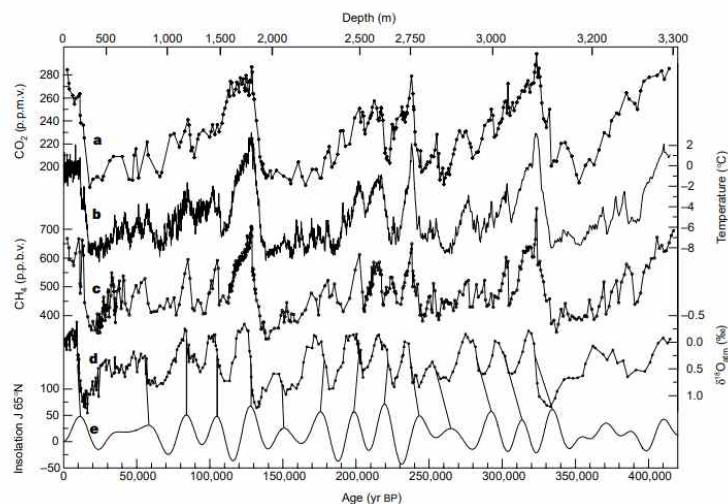
극지연구소

5. 러시아

(1) 남극내륙연구 대표성과

□ 심부빙하코어 시추 및 고기후 연구

- 러시아의 보스톡 기지는 3770m 길이의 심부빙하코어를 시추하여 지난 42만년 동안의 기후변화 및 이산화탄소 농도변화를 복원함으로써 최초로 기후변화와 이산화탄소 간의 연관성을 확인하는 과학적 성과를 보임
 - 러시아 보스톡 기지의 연간 눈 축적량은 2cm에 불과하여 상대적으로 인류 최초로 과거 4번의 빙하기-간빙기의 장기 기후변화 기록을 얻을 수 있는 드문 기회를 제공하였음
 - 빙하 코어 시추작업은 '80년대 2000m에 성공하여 지난 10만 년 간 남극 기온 및 CO₂에 대한 연간 기록이 가능하였고, '96년에는 3,623m까지 시추에 성공하면서 과거 42만년의 기후변화 기록*을 복원하여 지구의 기후변화 메커니즘에 대한 핵심적인 자료를 확보 및 제공하였음
- * 빙하의 물 안정동위원소 비부터 추론된 기온, 빙하 내 공기방울에서 추출한 이산화탄소와 메탄 등의 온실기체 기록, 해양 기원 에어로졸을 대표하는 나트륨 농도 기록 및 호주, 남미, 아프리카 등의 대륙에서 발원한 먼지농도 기록 등 복원
 - 러시아 보스톡 심부빙하코어 기록은 기후와 탄소순환 사이의 연관성을 명확히 확립하였고, 과거 지구 대기 구성의 변화에 따른 기온변화의 민감도를 추론할 수 있는 기후 및 대기 변화에 대한 인류 최초의 기록을 제공하였음
 - 보스톡 심부빙하코어의 기록은 IPCC(기후변화에 관한 정부간 패널)가 기후변화에 대한 인위적 CO₂의 영향을 평가하는 핵심적인 자료로 활용되고 있음



출처: Nature(1999), "Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica"

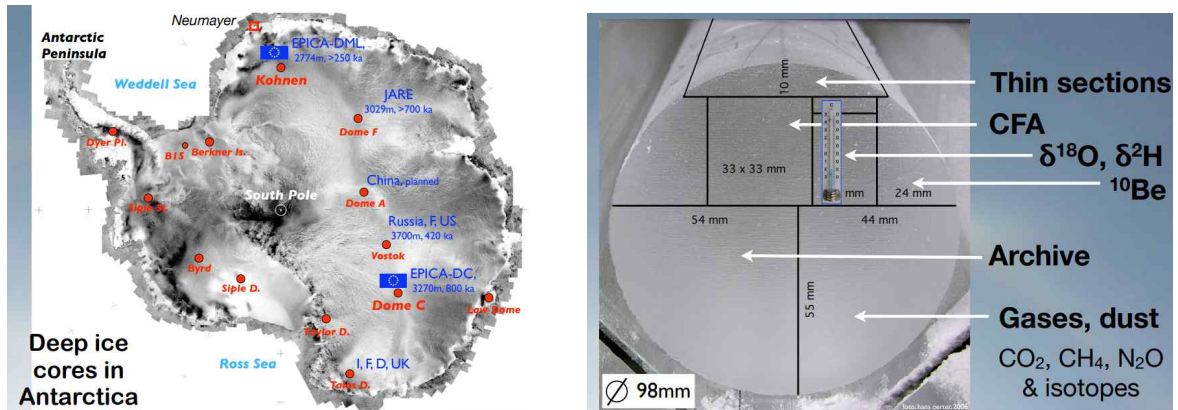
<보스톡 빙하코어 3,350m에서 추론된 지난 42만년 동안의 대기 구성 기록>

□ 심부빙하코어 시추연구 확대의 시발점

- 러시아 보스톡 심부빙하코어 시추 및 고기후 연구 이후, 이를 바탕으로 유럽 국가들이 "남극 빙하코어 시추를 위한 유럽 프로젝트(EPICA; European Project for Ice Coring in Antarctica)"를 통해 Dome C에서 심부빙하코어를 시추하면서, 빙하코어 기후변화 기록이 80만년까지 연장되는 과급효과를 산출

※ 출처: EPICA Community Members, 2004; Luthi et al. , 2008

* Belgium, Denmark, France, Germany, Italy, The Netherlands, Norway, Sweden, Switzerland, United Kingdom



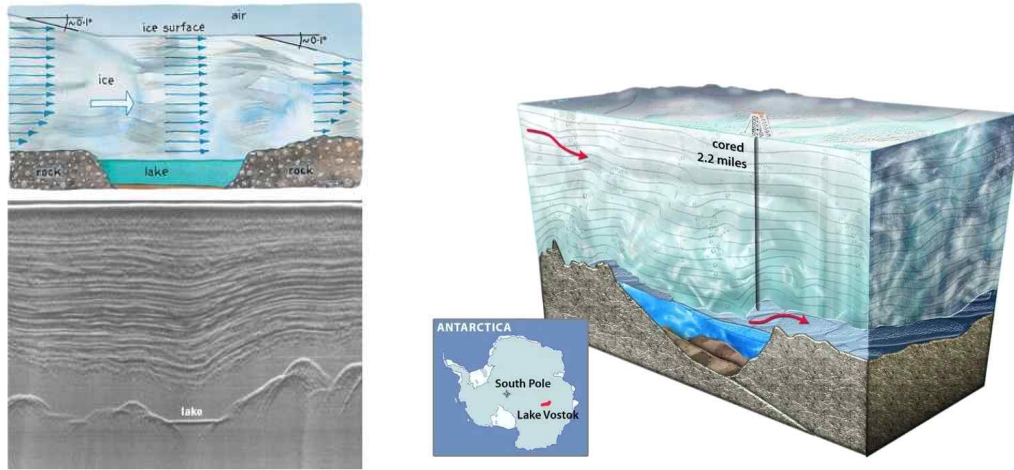
출처: Hans Oerter & EPICA team(2008), "Two EPICA ice cores revealing 800,000 years of climate history:An overview"

<EPICA의 남극 Dome C의 빙하 코어 시추 사례>

□ 남극 빙저호 연구

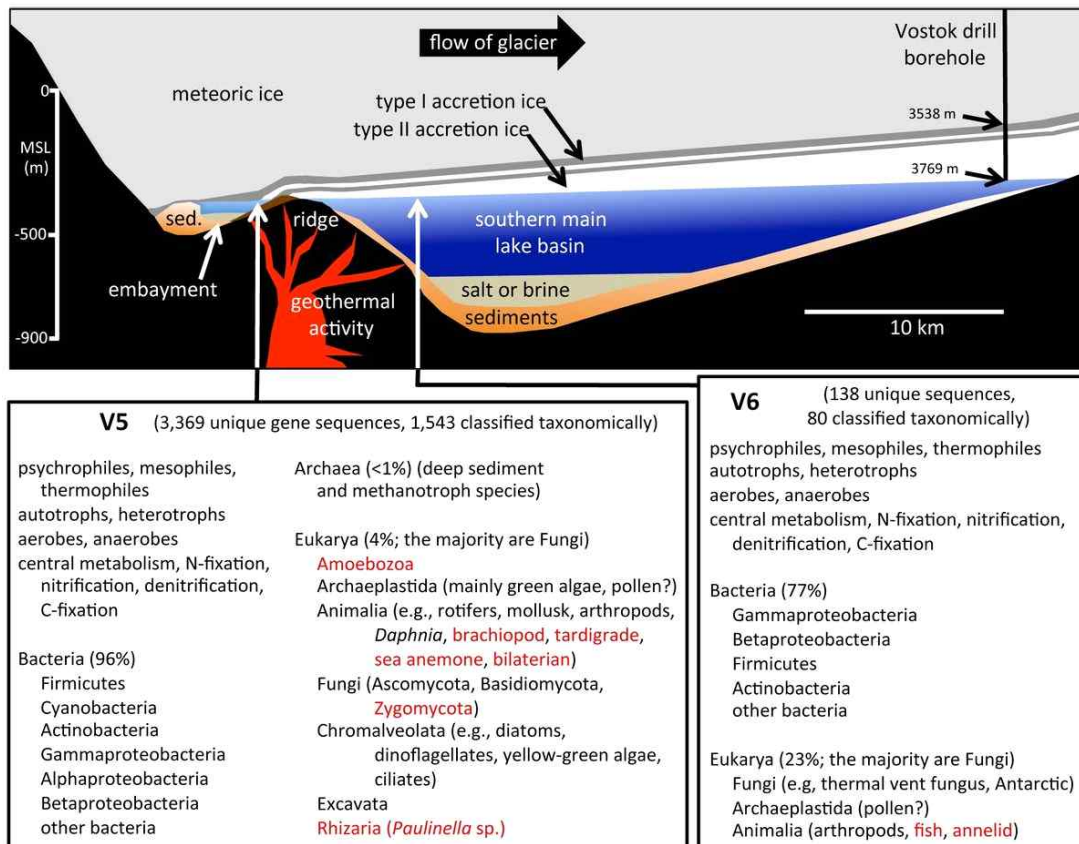
- 심부빙하코어 시추기술의 급속한 발전과 함께 21세기의 가장 중요한 과학적 성과 중 하나로 보스톡 빙저호의 발견 및 시추를 꼽을 수 있음
 - 보스톡 빙저호의 면적은 약 16,000 평방 킬로미터, 수층의 두께는 1,200 미터에 이르며, 과거 수백만 년 동안 보스토크 호수의 생태계는 외부 환경으로부터 격리되어 왔음
 - 1970년 1월 보스톡 기지에서 최초의 첫 번째 빙하시추가 시작되어 1990년대까지 5개의 시추공을 통해 심부빙하코어 시추가 진행되었으며, 2012년 2월 5일 보스톡 빙저호 시추가 이루어짐
 - 이후 보스톡 빙저호의 구조 및 호수의 면적, 부피, 깊이, 고도에 대한 데이터가 수집되었고, 보스톡 빙저호의 호수 시료로부터 살았던 생물체 분석 진행
 - 극한 환경에 자주 서식하는 단세포 유기체인 곰팡이와 두 종의 고세균 외에도 물고기, 갑각류, 환형동물의 소화 시스템에서 흔히 발견되는 일부를 포함하여 수천 종의 박테리아 종을 확인
 - 호수에서 발견될 것으로 예상되는 유기체는 대부분 담수 기원인 것으로 보이며, 일부 다세포 유기체뿐만 아니라 다양한 미생물이 포함되어 있음을 확인

- '23년에는 음향 데이터를 사용한 보스톡 빙저호 결빙 과정 모델링을 위해 남극내륙에서 음향 탐사기술 개발 및 테스트를 실시



출처: <https://www.americanscientist.org/article/antarcticas-lake-vostok>

<보스토크 호수의 심층 구조 및 단면>



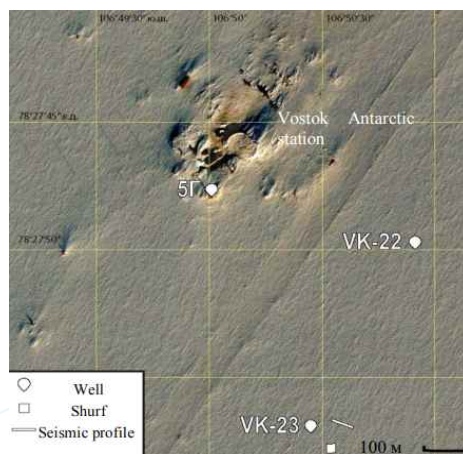
출처: <https://www.livescience.com/38652-what-is-lake-vostok.html>

<보스토크 호수의 빙하 코어에서 발견된 다양한 유기체 목록>

(2) 최근 남극내륙연구 동향

□ 남극 대륙 지질학 연구

- 지진파를 이용하여 보스톡 기지 주변 지질 활동이 빙하 전반에 미치는 역학 관계 및 심부빙하 시추에 따른 영향 등에 대한 연구 실시
 - 빙하의 표층 눈 시료와 표층 하부의 빙설시료 간 층위 특성을 연구하기 위해, 보스톡 기지 지역에 있는 빙상 정상부 근처에서 탄성파를 이용한 암석 구조적 특징 및 밀도 특성 연구를 실시
- 남극 대륙의 지질학적 특성을 확립하기 위해서 지진파 탐사 방법이 적용되는데, 그동안 수많은 연구에도 불구하고 표층의 눈 시료와 표층 하부의 빙설시료 경계면에서 신호 감소로 지진파 탐사에 어려움을 겪어 시급한 해결과제였음



출처: JOURNAL OF MINING INSTITUTE(2023), "Results of complex experimental studies at Vostok station in Antarctica"

<제68차 러시아 남극탐사대의 보스톡 기지 주변 시추 연구 지점>

Scale, m	Core sample	Power, m	Fractions characteristics
5		5	Loose snow-firn layer with layers of dense radiation crusts
10		5	Fine-grained firn, composed predominantly of grains 1 mm in size
15		~8	Fine-medium-grained firn, composed predominantly of grains measuring 1.2 mm and agglomerates up to 2.5 mm
20		> 18	Medium-grained firn, consisting of grains up to 3 mm in size, with intergranular space filled with grains up to 1 mm
25		> 18	Medium-grained firn, consisting of grains up to 3 mm in size, with intergranular space filled with grains up to 1 mm
30		> 18	Medium-grained firn, consisting of grains up to 3 mm in size, with intergranular space filled with grains up to 1 mm
35		> 18	Medium-grained firn, consisting of grains up to 3 mm in size, with intergranular space filled with grains up to 1 mm

출처: JOURNAL OF MINING INSTITUTE(2023), "Results of complex experimental studies at Vostok station in Antarctica"

<보스톡 기지 주변 빙상 정상부의 층위 단면 도식도>

□ 남극 극한지 스마트팜 농업연구

- 달 기지에서 식물 재배 기술을 개발하기 위해, 지구상에서 가장 추운 곳인 보스톡 기지에서 채소, 과일 등의 재배 실험을 진행 중

※ 출처: AARI(북극 및 남극연구소) 홈페이지

- 2020년 2월부터 토양 없이 작물을 재배하는 파노포닉 기술을 사용하여 'Rastenia'라는 채소 작물 재배 실험을 진행하였으며, 바질, 파슬리, 루콜라, 양배추 등 다양한 잎과 잎줄기 채소 80종을 재배하는 시스템을 성공적으로 개발함
- 파노포닉 기술을 사용하여 세계 최고 극한지인 보스톡 기지에서 채소 재배 시험을 성공적으로 완료('23년 11월)
- 테스트용 채소 식물은 맛, 발달속도, 생산성, 낮은 대기압 및 산소 결핍에 적응하는 능력을 기준으로 선택하였고, 보스토크 연구소의 농업물리학 연구소에서 특별히 개발한 식물공학 복합체(PTK)를 사용하여 식물에 유리한 조건(공기, 온도, 습도)을 만들고, 재배 시 토양 대체제, 영양 용액, 특별 조명 등을 사용하여 재배
- '23년 연간 1평방미터 당 최대 100kg의 오이와 149kg의 케일 및 기타 잎 채소작물, 29kg의 토마토 및 11kg의 고추 등을 재배하는데 성공함
- 식물 공학 복합체(PTK)의 다단계 배치 가능성을 통해 재배 생산성을 높일 수 있었음

※ 줄기 길이 2m를 형성할 때 오이 열매의 수확량은 연간 평방 미터당 99kg이며, 90-213개를 수확하는 인공 조명을 사용한 보조 조명과 조건이 통제된 고급 현대 온실의 생산량과 비슷하거나 그 이상



출처: <https://www.aari.ru/press-center/news>

<보스토크 기지 온실에서의 채소 재배 전경>

- 파노포닉 기술을 사용하여 103일 동안 8개의 수박을 재배하는 첫 번째 시험을 성공적으로 완료('23. 08.02)하였고, 이를 통해 적절한 조건 하에서는 수박이 지구상에서 가장 추운 곳에서도 재배 가능하다는 것을 증명하는데 성공하였음
- 보스토크 기지에서의 수박 재배 연구는 낮은 기압, 산소 결핍 등 온실 특유의 난제에 대한 적응성에 중점을 두고 수행되었으며, 토양 대체제에 씨를 뿌리고 자연광을 모방한 특수조명과 수동 수분 작업을 통해 재배에 성공
- 동 재배기술(시스템)은 비전문가도 작업할 수 있게 설계되었으며, 가변 공간 기술로 거의 모든 공간에 적용 가능하며, 단위 면적당 에너지 소비가 상당히 낮으면서도 높은 생산성과 재배 품질을 확보



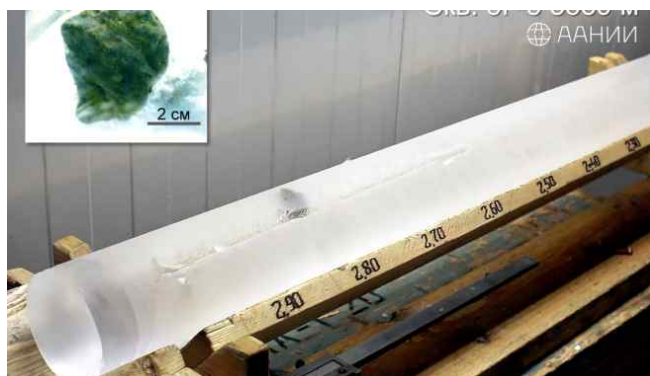
출처: <https://www.aari.ru/press-center/news/novosti-aari/arbuzy>

<보스토크 기지 온실에서의 수박재배 모습>

- 이후 보스토크 기지 생물실험장에서는 블랙베리, 블루베리, 딸기 등 재배기술 개발 중
- 이러한 남극내륙에서의 재배 기술은 남극 대륙의 혹독한 조건을 포함하여 유사한 환경에서 작물을 재배하는 과정을 관리하는데 도움을 주며, 보스토크 기지에 있는 연구원들의 생리학적 상태에 대한 데이터(식물의 존재에 대한 반응, 식물이 심리적/정서적 요소에 미치는 영향)를 획득하여 달, 다른 행성, 우주정거장 등 폐쇄형 시스템에서 생활하는 사람들의 생활조건을 연구할 수 있음

□ 남극 대륙의 광물 함유 샘플 연구

- 보스토크 심부빙하코어 시료에서 크기가 수밀리미터에서 수 센티미터에 이르는 독특한 암석 함유물 시료를 획득('24.02.08)하였으며, 이는 지구의 지질 구조를 이해하는데 중요한 연구자료가 될 것으로 기대
- 2023년에 제69차 러시아 남극탐험대는 3,534~3,610m 깊이의 보스토크 심부빙하코어에서 76m의 빙하 코어 샘플을 회수하였으며, 빙하 코어 상단 4미터는 최대 120만년 된 고대 대기 얼음으로 구성
- 3,538m 이상 깊이의 심부빙하코어 시료는 빙하 아래 빙저호에서 증발한 수증기에 의해 빙하 기저부에서 자란 얼음으로 구성
- 강설로 구성된 빙하와 호수 얼음으로 구성된 빙하 사이의 전이대가 위치한 3538.9m 깊이에서 회수된 시료에서 3x6cm 크기의 암석 함유물이 발견되었는데 이는 기존 빙하코어 및 빙저호 퇴적물에서 발견된 광물보다 큼



출처: AARI 홈페이지

<보스토크 심부빙하코어 내 독특한 광물 함유물 샘플 획득 사례>

- 남극 대륙이 발견 된지 200년 이상 지났지만 여전히 남극 대륙, 특히 내륙의 지질환경에 대해서는 아는 바가 거의 없는 가운데, 새로 획득한 암석 함유물에 대한 연구는 일곱 번째 대륙의 지질 구조를 더 잘 이해할 수 있을 것으로 기대
- 발견된 암석 함유물의 광물학적, 동위원소 및 생물학적 구성을 연구하는 것은 과학자들에게 보스토크 호수 빙하 상류에 있는 남극 지역의 지질 구조와 남극의 미생물 구성에 대한 새로운 정보를 제공할 것으로 기대

□ 새로운 Vostok station의 시험 운행 착수 및 환경연구 해결을 위한 연구 집중 추진 예정

- 러시아의 보스토크 기지 리모델링*은 2024년 1월 28일에 가동을 시작했지만 아직 시험운행 단계이며, 기지가 완전히 가동되기까지는 마무리 작업에 2년이 더 걸릴 것으로 예상됨
- * 극저온에서 극지 탐험가들의 생활과 연구를 위해 3개의 모듈이 설계되었고, 단지 내에는 과학 실험실, 주거 장소, 에너지 센터, 정수 시스템 및 현대 의료시설을 마련하여 겨울에도 내부작업을 계속할 수 있고 편안한 숙박과 연구 활동을 제공



출처: <https://polarjournal.ch/en/2024/02/09/new-vostok-station-goes-on-a-test-run/>

<러시아 보스토크 기지의 새로운 모듈 전경>

- 푸틴 대통령은 새로운 보스토크 기지가 러시아 연방의 국가과학연구가 수행되는 주된 장소가 될 것임을 발표('24.01.28)하였으며, 다양한 국가의 과학자들 간 협력을 강화하고 환경 연구의 시급한 문제를 해결하는 공동과학 및 혁신프로그램을 촉진하기 위한 개방형 플랫폼을 지향함을 언급

※ 출처 <https://www.aacmtr/en/europe/putin-says-russia-s-vostok-station-in-antarctica-most-modern-well-equipped-/3121268>

- 과거 백만 년 간 지구 기후변화 기록 복원 및 변화요인 규명, 자연적, 인위적 요인에 의한 온실기체 변화가 기후변화에 미치는 영향 이해 및 과거 기후변화와 생태계 간 상호작용 등 남극내륙의 과학연구 수행 예정
- 또한 리모델링된 보스토크 기지의 가장 중요한 임무 중 하나는 보스토크 빙저호 연구와 반경 300km 이내에서 기존의 빙하코어기록을 넘는 오래된 빙하코어를 시추하는 것으로써 향후 18년간 동 프로젝트에 대한 자금 지원 예정
- ※ 출처: AARI(북극 및 남극연구소) 홈페이지

제3절 해외 남극 정책 동향 분석

1. 해외 남극연구 정책 현황

1) 미국

(1) 극지연구체제

□ 미국은 국립과학재단(NSF: National Science Foundation) 내의 조직인 극지 연구청(OPP: Office of Polar Program)이 중심이 되어 남극연구 인프라 유지·관리 및 중점 연구방향 설정

- 미국은 러시아와 더불어 남극조약을 주도하였으며, 남극조약의 기초가 된 1957-58년 지구 물리의 해 이후 꾸준히 연구 활동 진행 중
- 미국은 영국, 독일, 우리나라 등과 같이 독립된 전문극지연구기관을 설치하는 대신에 국립과학재단 내에 극지 연구청(Office of Polar Program, OPP)을 두고 극지연구활동 총괄
 - 남극은 남극조약 정신에 입각하여 평화적 목적으로만 활용되어야 하며, 평화와 과학활동에 기여하는 자연보호구역으로 남아야 한다는 입장이며 과거 13회의 타국기지 사찰활동을 통해 남극에서 영유권 주장을 인정하지 않음
 - 미국의 남극에 대한 정책은 아래의 네 가지 원칙에 기초함
 - 미국은 외국의 영토 주장을 인정하지 않음
 - 미국은 이 지역의 향후 사용에 참여할 권리를 보유하고 있음
 - 남극대륙은 평화적인 목적으로만 사용되어야 함
 - 과학적 조사 및 기타 평화적인 활동을 위한 자유로운 접근이 가능하여야 함
- 국가정책을 뒷받침하기 위한 과학활동 정책으로 1995-96년에 국가과학기술위원회가 미국 남극연구프로그램을 검토하였으며, 남극 내 자국의 활동과 영향력을 유지하기 위하여 자국의 과학활동 역량을 제고하고 상설과학기지를 지속적으로 운영할 것을 권고
- 2010-11년 향후 20년간의 미국 남극연구활동 방향 제시
 - 해수면 상승과 남극과의 관계, 지구 기후시스템에서 남극과 남빙양의 역할, 기후변화에 따른 남극 생태계의 반응, 과거 지구진화에서 남극의 역할, 남극에 보존된 과거 기후변화기록, 남극생물의 극한환경 적응기작, 지구와 우주환경 상호작용, 우주연구를 위한 남극활용 등
- 국립과학재단(NSF)은 미국의 과학활동 정책수립과 지원을 위해 설립된 연방기구로 직속부서 중 하나로 극지 연구청(OPP: Office of Polar Program)을 두고 있음
 - 총장은 대통령이 상원의 동의를 받아 임명하며 임기는 6년임
 - 생물연구부, 컴퓨터 및 정보과학연구부, 공학연구부, 지구과학연구부, 수학 및 물리연구부, 사회경제연구부, 교육 및 인문연구부 학문분야 등의 학문분야별 연구부와 총재 직속부서로 극지연구청(OPP: Office of Polar Program)을 설치함

- 1982년 레이건대통령 당시 대통령령 6646호를 통해 국립과학재단이 남극연구활동 총괄
- 극지연구청을 직속부서로 두는 이유는 극지역에서 발생할 수 있는 비상사태에 대비하여 신속한 의사결정을 위한 체제를 구축하기 위해서임

□ 미국의 남극 과학기술 관련 조직으로서 OPP는 남극의 연구기지 및 임시 캠프와 같은 인프라를 포함하여 남극 관련 과학 연구 및 교육에 투자하고, 연구 지원 및 물류 제공

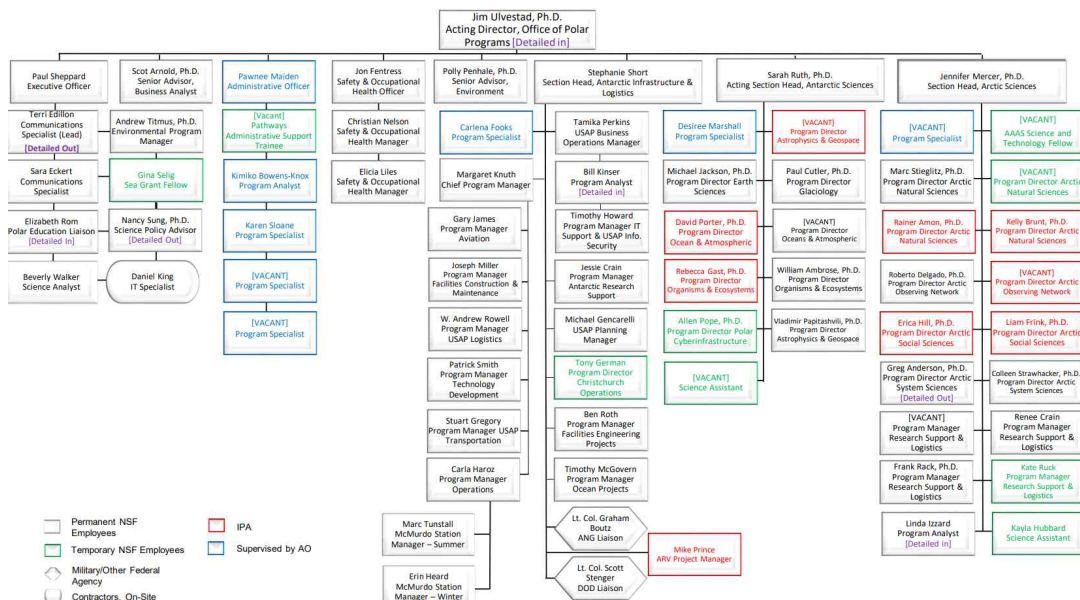
- 미국은 국립과학재단 내의 조직인 OPP가 중심이 되어 남극연구 인프라를 유지·관리하며, 중점 연구방향을 설정
- OPP는 대통령각서 6646에 따라 남극 연구에 관한 모든 미국 활동을 단일 통합 프로그램인 ‘미국 남극프로그램(USAP: US Antarctic Programme)’을 통해 지원하며, NSF 및 기타 미국 연방기관*의 지원을 받는 과학자들이 실질적으로 남극 연구를 수행하도록 함

* NASA(National Aeronautics and Space Administration), 미국 해양대기청(National Oceanic and atmospheric administration; NOAA), 미국 지질조사국(USGS), Smithsonian Institution, NIST(National Institute of Standards and Technology) 등

- 초반기부터 1990년대까지는 해군 등 군에서 많은 지원을 하였으나, 1972년 국립과학재단으로 이관하여 1999년 USAP에서 해군은 완전히 철수하였다고 밝힘

- OPP는 매년 연구과제 선정 및 미국 남극프로그램 구성을 통해 남극 연구 활동을 지원하고 있으며, 매년 3,500명 이상의 미국인이 USAP의 연구 및 물류 활동에 참여하고 있음

- 국립과학재단은 총재 직속부서로 OPP를 두고 있으며, OPP 내에 남극연구과, 북극연구과, 남극인프라 및 보급지원과, 극지환경 및 안전과 등을 설치하여 운영



※ OPP 홈페이지(2023), “OPP_orgchart”

<국립과학재단 극지연구청(NSF-OPP) 조직도>

(2) 정책 현황

□ 미국은 세계에서 가장 큰 규모로 극지 연구를 진행 중인 국가로 ‘남극 프로그램(USAP)’를 통해 해수면 상승의 크기와 속도, 남극생명의 적응과 진화, 우주의 기원 규명을 3대 전략적 우선순위로 추진

- 1기 트럼프 행정부 출범 후 ‘미국 우선 해양에너지 전략’을 발표(‘17.3)하고, 북극 대륙붕 석유 시추 탐사 승인(‘17.7) 등 개발 중심으로 북극 정책 추진
- 미국은 향후 10년간 남극연구 투자 우선순위 및 전략에 기반한 연구 추진
- OPP는 부서별 기본 연구목표 이외에도 우선 투자영역을 선정하고 효과적인 남극 연구 프로그램을 보장하기 위한 연구를 지원하고 있음
- OPP ANT(남극연구과)는 2015년 8월 국립과학아카데미보고서에서 “남극 및 남극해 연구에 대한 NSF 투자를 위한 전략적 비전”을 통해 남극과 관련한 강력한 핵심 연구 프로그램을 유지해야 할 필요성을 확인하고 남극 연구의 동인으로 3가지 주제를 제시한 바 있음

* “A strategic vision for NSF investments in antarctic and southern ocean research”(2015)

- (남극연구 동인 1) 변화하는 남극 빙하 이니셔티브- 해수면이 얼마나 빨리, 얼마만큼 상승할 것인가에 대한 연구 필요(How Fast and by How Much Will Sea Level Rise?)
 - (남극연구 동인 2) 남극 생물과 생태계 전반에 걸쳐 생물학적 적응 및 반응과 관련된 유전체 해독을 통해, 남극 생태계가 극지 환경에 어떻게 진화하고 적응했으며, 변화하는 시스템이 인류에 어떤 영향을 미칠 수 있을까에 대한 연구 필요(How do Antarctic Biota Evolve and Adapt to the Changing Environment?)
 - (남극연구 동인 3) 차세대 우주 배경 복사와 프로그램을 기반으로, 우주는 어떻게 시작되었고, 그 진화와 궁극적인 운명을 지배하는 기본 물리적 법칙은 무엇인가에 대한 연구 필요(How did the Universe Begin and What Are the Underlying Physical Laws that Govern Its Evolution and Ultimate Fate?)
- 또한, 미국의 남극 연구는 투자우선순위에 따른 전략적 분야뿐 아니라 연구 수행을 지원하기 위한 인프라 확대·강화 등을 강조하고 있음
- 남극연구에 대한 NSF 투자를 위한 전략적 비전에서 연구 인프라 구조 및 물류 지원 개선을 위해 하기의 조치들에 대한 우선순위를 지정하여 추진할 계획을 제시한 바 있음
- * 1) 심해 접근 확대 계획 마련, 해빙 연구를 위한 선박 지원, 맥머도(McMurdo) 기지에 대한 전천후 항공기 접근 개선 등, 2) 차세대 극지 연구 선박 설계 및 인수, 3) 기존 지상 관측망 조정 및 확장 적극 추진, 4) 자율수중계측을 위한 네비게이션을 포함하여 USAP 통신 및 데이터 전송 용량 개선, 5) 모든 핵심프로그램에서 수집된 데이터 관리/보존을 위한 특정 아카이브 식별, 남극 특정 데이터 관리 활동 발전, 국가 및 국제 데이터 관리 이니셔티브와의 협력

[참고] 미국 NSF의 남극연구 관련 전략적 투자 비전('15~'25)

※ 출처: National Academy of Sciences, Committee on the Development of a Strategic Vision for the U.S. Antarctic Program, "A strategic vision for NSF investments in antarctic and southern ocean research"(2015)

□ 개요

- 미국 NSF는 남극 및 남극해 분야에서 연구 지원을 위한 가장 중요한 인프라를 식별하고 향후 10년간 투자우선순위 및 전략적 비전*을 발표('15)

* A Strategic Vision for NSF Investments in Antarctic and Southern Ocean Research (2015)

- 동 전략적 비전은 USAP advisory의 연구*, Blue Ribbon Panel의 연구** 등을 포함한 최근 몇 년 간의 USAP 자문을 기반으로 도출되었으며, 미국 전역의 다양한 연구자, 관련 포럼, 국제회의 등으로부터 의견을 수렴하여 도출됨

* Future Science Opportunities in Antarctica and the Southern Ocean(NRC, 2011)

** More and Better Science in Antarctica Through Increased Logistical Effectiveness(BRP, 2012)

□ 남극 연구를 위한 주요 전략적 비전

- (전략1) A CORE PROGRAM OF BROAD-BASED INVESTIGATOR-DRIVEN RESEARCH

- 남극 및 남극 해양과학의 모든 주요 영역에 걸쳐 연구책임자의 제안에 기반한 호기심 기반 연구를 지원하는 광범위한 기반 프로그램을 지속 지원 (동 범주의 연구에 대한 특정 우선순위는 권장하지 않음)
- 권장사항: NSF는 광범위한 분야에 걸쳐 연구책임자 중심 연구의 핵심 프로그램을 계속 지원해야하며, 독립적인 연구 간의 효율성을 높이고 조정 및 데이터 공유를 개선할 기회를 적극적으로 모색

- (전략2) LARGER-SCALE PRIORITY RESEARCH INITIATIVE

- 연구책임자 주도 프로젝트를 벗어나 복잡한 과학적 문제를 해결하기 위한 대규모 우선순위 연구 이니셔티브 지원
- 권장사항: NSF는 향후 10년 동안 남극 및 남극해 연구에서 전략적 우선순위로 아래 주제와 관련된 연구*를 추진

* 1) 해수면 상승 (How Fast and by How Much Will Sea Level Rise?), 2) 남극 생명의 적응과 진화 (How do Antarctic Biota Evolve and Adapt to the Changing Environment?), 3) 우주의 기원 (How did the Universe Begin and What Are the Underlying Physical Laws that Govern Its Evolution and Ultimate Fate?)

- 대규모 연구 이니셔티브 평가 기준

- 1차 기준: 설득력 있는 과학; 이해와 발견에 있어 중요하고 혁신적인 단계를 진행할 수 있는 잠재력이 있는 연구
- 2차 기준: 사회적 영향 가능성*, 시급성**, 준비성/타당성***, 미국/NSF 리더십****

* 사회에 대한 단기 및 장기 혜택에 대한 정보를 제공하는 연구

** 빠른 변화를 겪고 있는 시스템/프로세스를 포함하는 연구

*** 필요한 기술 및 커뮤니티 준비성 측면에서 향후 10년 내에 빠르게 진행할 준비가 된 연구

**** 미국, 특히 NSF가 주도하기에 유리한 위치에 있는 연구

- 3차 기준(추가 고려): 파트너십 잠재력*, 프로그램 균형에 미치는 영향**, 기존의 징계 격차를 해소하는데 도움이 될 가능성***

* NSF PLR(NSF Office of Polar Programs) 투자가 다른 연방기관, NSF의 다른 부서 또는 국제 파트너의 투자를 활용할 수 있는 연구

** 불균형적인 자금 지원 또는 물류 지원을 요구하여 다른 프로젝트에 중대한 악영향을 미치지 않는 연구

*** 거의 함께 작동하지 않는 징계 커뮤니티를 통합할 수 있는 기회를 제공할 수 있는 연구

○ (전략3) FOUNDATIONS FOR A ROBUST ANTARCTIC AND SOUTHERN OCEAN RESEARCH PROGRAM

- 핵심 물류 및 인프라 요구사항*, 전략적 관찰 노력, 데이터 관리 및 교육 등 모든 연구 활동을 가능하게 지원

* e.g. 선박, 항공기, 현장장비, 연구기지, 실험실, 데이터 전송 등

- 권장사항: NSF는 전략2의 우선순위 연구 이니셔티브에 대한 인프라 구조 및 물류 지원을 개선하기 위해 하기의 조치들*에 대한 우선순위를 지정해야함

* 1) 심해 접근 확대 계획 마련, 해빙 연구를 위한 선박 지원, 맥머도(McMurdo) 기지에 대한 전 천후 항공기 접근 개선 등, 2) 차세대 극지 연구 선박 설계 및 인수, 3) 기존 지상 관측망 조정 및 확장 적극 추구, 4) 자율수중계측을 위한 네비게이션을 포함하여 USAP 통신 및 데이터 전송 용량 개선, 5) 모든 핵심프로그램에서 수집된 데이터의 관리/보존을 위한 특정 아카이브 식별, 남극 특정 데이터 관리 활동 발전, 국가 및 국제 데이터 관리 이니셔티브와의 협력

□ 미국은 매년 막대한 규모의 예산을 투자하여 과학 기지의 건설 및 연구 지원 시설 등 남극 과학연구의 인프라적 역량 강화에 중점

○ 미국은 OPP의 2023년 투자우선순위에 따라 예산을 투입할 예정이며 총 5억 6,560만 달러임

- 2024년 연구 예산은 1억 682만달러로, '23년 대비 7.6% 감소하였으며, 남극물류지원 활동(USALS)를 포함한 인프라 예산은 4억 5,385만 달러로 '23년 대비 6.9% 증가함

○ OPP는 338만 달러의 예산으로 3개의 장기 생태학 연구프로젝트를 지원할 예정이며, 이 중 2개는 남극에서 1개는 북극에서 진행될 예정

○ 국제 스웨이츠 빙하 프로젝트를 위해 2개의 육상 현장연구 지원

- 2018년에 시작된 이 프로젝트는 영국의 자연 환경 연구 위원회와 물류 공유를 포함하여 공동으로 지원되며 현장 조사는 2021 회계연도에 대부분 중단되었다가 2022 회계연도에 해양 크루즈와 일부 육상 작업이 재개됨
- 2024 회계연도에 USGCRP(미국 세계 변화 연구 프로그램, U.S. Global Change Research Program)에 맞춰 OPP는 SOCCOM(Southern Ocean Carbon and Climate Observations and Modeling) 프로젝트에 대한 투자 지속
 - * SOCCOM은 해양환경 모니터링 글로벌 네트워크인 GO-BGC(Global Ocean Biogeochemical Array)의 필수 구성 요소임
- 덴버 연방 센터 내에 위치하고 미국 지질 조사국에서 관리하는 노후화된 빙하코어 저장 시설의 리모델링을 시작하여 2025 회계연도에 완료될 예정임
 - 본 시설은 극지 및 고산빙하에서 시추한 빙하코어시료를 저장하고 보존
 - * 해당 시료는 지난 백만 년 동안의 과거 온도 및 이산화탄소 변화에 대한 가장 중요한 환경시료로써, 기후 변화 및 USGCRP 연구를 지원하는 데 중요함
- 남극해 해양 과학 관련 최첨단 채빙 연구 선박의 설계 연구에 1,511만 달러 투자 예정
- 미국의 남극 물류 예산은 780만 달러에서 1억 200만 달러로 증가함
 - 남극에서의 현장 작업을 지원하고 대량 공수 비행 시간 요금, 유조선 및 화물선 전세 요금, 벌크 연료 가격의 인상을 반영
 - 일반적으로 부서 포트폴리오의 약 12%가 새로운 연구 보조금을 지원하는 데 사용할 수 있으며 나머지 88%는 전년도에 지급된 보조 지원

<미국 OPP의 2024년 예산 요구 현황>

(단위: 백만달러)

	2022 회계연도 실적	2023 회계연도 예산기초 추정치	재난구호 추가액 기본지원	2023 회계연도 추정치 합계	2024 회계연도 요구	2023년 회계연도 기본지원과 비교하여 변화된 총액	
						금액	백분율
연구(Research)	110.78	115.61	-	115.61	106.82	-8.79	-7.6%
교육 (Education)	3.71	3.92	-	3.92	3.93	0.01	0.3%
인프라(Infrastructure)	430.19	425.63	-	425.63	454.85	29.22	6/9%
미국남극물류지원활동 (USALS**)	85.00	94.20	-	94.20	102.00	7.80	8.3%
Total	\$544.68	\$545.16	-	\$545.16	\$565.60	\$20.44	3.7%

* 2023회계연도 총합 예산안과 재난구호 추가액 기본 지원을 포함

** USALS: US Antarctic Logistical Support Activities

※ 출처: NFC(2023), FY 2024 Budget Request to Congress

□ 미국 남극연구프로그램(United States Antarctic Program, USAP)의 주요 지원 내용

- 남극 프로그램을 통한 남극 과학연구의 활성화가 남극에서 미국의 지도적 위치를 부여한다는 정책방향을 가지고 남극과학기술정책을 추진

- 지역과 생태계 이해, 기후 영향 이해, 남극 지역을 대기와 공간을 연구하는 플랫폼으로 사용하는 세 가지 목표를 가지고 1957-1958년 국제 지구 물리학의 해 이후부터 남극 연구 수행 중

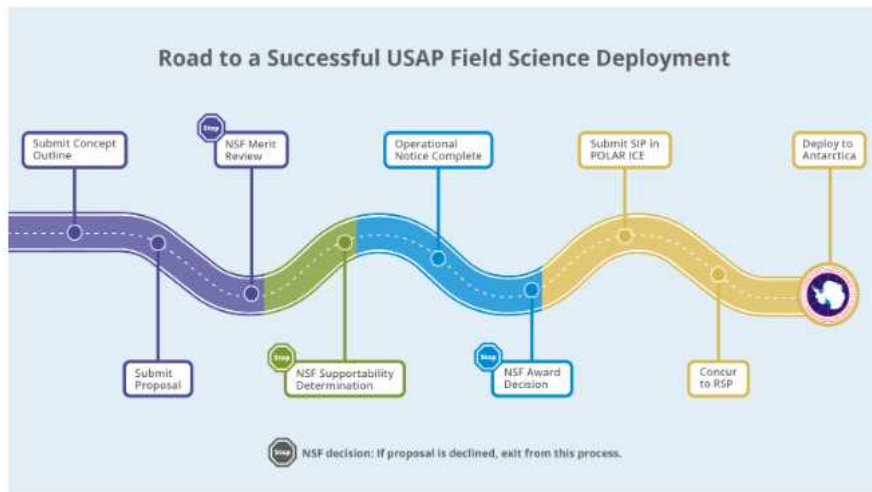
<미국의 남극 연구 프로그램의 주요 내용>

연구 프로그램	주요 내용	강조 영역
남극 천체 물리학 및 지구 공간과학 (AAGS) Antarctic Astrophysics and Geospace Sciences	• 남극 대륙을 관찰 플랫폼으로 사용하거나 전 지구 환경 과정에서 남극 상층 대기의 역할을 조사하는 최첨단의 혁신적이고 새로운 연구 후원 • 태양 활동이 극지 대기와 지구 지리 공간 시스템의 특성과 역학에 어떻게 영향을 미치는지에 초점을 맞춘 학제간 연구가 특히 장려	[지구공간과학] • 지구 자기장과 태양풍의 상호 작용 • 중간권 및 하부 열권과 상부 대기 결합 • 특히 행성의 대기파와 조류의 맥락에서 대기 온도 변화와 중성풍의 역학에 영향을 미치는 해리 및 이온화 과정 [천체 물리학(우주 광선 및 태양 물리학 포함)] • 기본적인 물리학과 우주의 진화 • 우주 배경 복사파 • 은하 천문학 • 태양 및 우주선 물리학, 고에너지 중성미자 물리학
남극 지구 과학 프로그램 (AES) Antarctic Earth Sciences Program	• 남극 대륙의 지질학적 역사와 지구역학을 이해하고 이 독특한 대륙과 주변 대륙붕과 해저를 형성하는 광범위한 지질 활동 과정을 연구하기 위한 연구 지원 • 지질학, 지구 물리학, 지구 화학 및 기타 지구 과학 분야의 육상 및 해양 환경에서 현장, 실험실 및 이론적 작업 지원 • 기 수집 데이터 및 샘플에 대한 작업이 권장되며 개별 연구자 및 리포지토리에서 사용할 수 있는 기존 샘플의 유용성을 조사해야 함	• 빙상 안정성과 과거 빙상 변화의 속도와 규모에 대한 지질학적 통제 재구성 및 이해 • 지구 기후와 해양 순환의 과거 변화를 이해하기 위해 고환경 프록시 사용 필요 • 생명의 진화 역사를 이해하기 위해 남극 화석 기록과 고생물 환경 조사 • 곤드와나의 붕괴부터 현재까지의 화산 활동, 균열, 조산 과정 기록 • 남극 횡단 산맥(Transantarctic Mountains)의 지형 진화에서 얼음이 없는 지역의 현대적인 물리적 과정에 이르기까지 독특한 남극 과정 조사
남극 빙하연구 프로그램 (AG) Antarctic Glaciology Program	• 남극 빙상과 빙봉의 역사와 역학을 이해하기 위한 현장, 실험실, 원격 감지 및 모델링 프로젝트를 지원 • 기 수집 데이터 및 빙하코어 시료에 대한 작업 권장 • NICL(National Ice Core Laboratory) 및 A2DC (Antarctic and Arctic Data Consortium)와 같은 개별 연구원 및 리포지토리에서 사용할 수 있는 기존 샘플의 유용성 조사 필요	• 지구 환경 변화에 대한 지식을 향상시키기 위해 새로 시추되었거나 기존의 남극 얼음 코어 분석 • 지상 기반 측정, 원격 감지 데이터 및 빙상, 빙하 및 빙류의 수치 모델링을 사용하여 빙상 역학 및 빙하 수문학 이해 • 육지 퇴적물에 보존되고 노두에 노출된 지난 수백만 년 동안의 빙하 활동의 진화 • 미래 빙하코어 시추 프로그램을 위한 계획 및 활동 조직
남극 통합 시스템 과학 (AISS)	• 남극을 통합된 시스템 수준으로 이해하기 위한 연구 지원	• 전체로서의 남극 시스템(예: 해양, 얼음, 육지, 대기, 생물권 상호 작용)

Antarctic Integrated System Science	• 다양한 시공간적 규모에서 남극 시스템 작동원리를 이해하기 위해 기존 지식을 종합하는 모델링 지원	• 확장된 지구 시스템과 남극 시스템의 상호작용 • 지역적인 남극 시스템 특성(예: 빙하 아래 호수 시스템인 McMurdo Dry Valleys)
남극 해양 및 대기 과학 (AOAS) Antarctic Ocean and Atmospheric Sciences	• 남반구 고위도의 해양, 대기 및 빙권의 물리, 화학, 역학 및 에너지에 대한 이해 • 다양한 육상 기반, 선상, 항공 및 자율 플랫폼을 활용하여 남극 대륙과 남극해에서 관측 현장 조사 지원 • 계측 개발, 데이터 합성 및 모델링을 지원	• 대기 역학, 운송 및 화학 • 물리화학적 해양학 • 생지화학적 순환 및 해양 생산성 제어 • 해빙과 빙봉/해양 상호작용 • 에너지 순환 및 기후 역학
남극 생물과 생태계 (AOE) Antarctic Organisms and Ecosystems	• 분자, 세포 및 유기체에서 남극 지역 사회 및 생태계에 이르기까지 모든 수준의 생물학적 조직에 대한 연구 지원 • 생물학 및 환경 과학의 근본적인 문제를 해결하기 위한 학제간 접근 방식 환영	• 생태계: 먹이 사슬, 1차 및 2차 생산, 생태와 생지화학 사이의 상호작용, 육상 및 해양 환경에서 환경 변화와 생태계 사이의 관계 • 유기체의 생리학적 생태학, 개체군 역학 및 적응: 해양 및 육상 유기체의 신진대사, 생리학적 및 행동적 적응, 개체군 역학 및 다양성 • 진화 및 적응: 해양 및 육상 유기체와 생태계에 의한 생물학적 적응 및 반응의 기초에 대한 이해를 향상시키는 환경 샘플의 메타게놈 및 전사체뿐만 아니라 주요 종의 게놈 및 전사체

※출처: USAP 홈페이지(2023), "<https://www.usap.gov/researchopportunities.cfm?m=3>"

- NSF는 OPP를 통해 미국 기관, 연방 기관 및 기타 연구 기관의 과학자들이 남극에서 연구를 수행하고 국내 기관에서 분석 연구를 수행할 수 있도록 보조금 제공
 - 연구는 생물학과 의학, 대기, 지구, 해양 과학, 항공학 및 천체 물리학을 포함한 분야에서 남위 60도 남쪽의 지역에서 수행
 - 1) Merit 리뷰 2) Logistics 평가 3) 기획 4) 실행의 과학 기획 프로세스를 통한 연구 지원



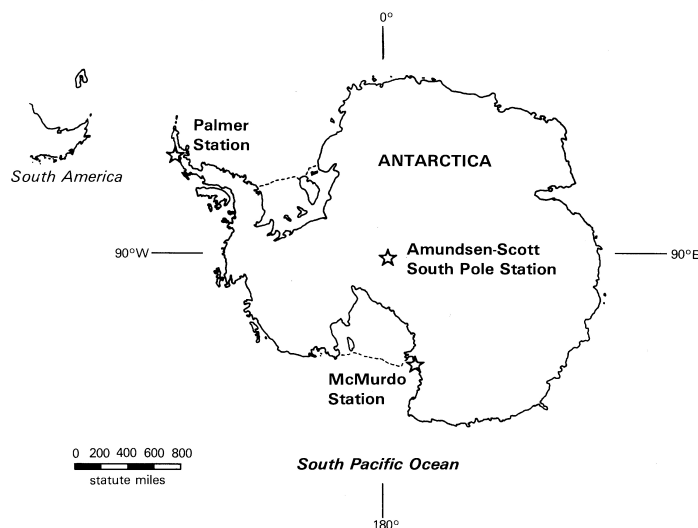
※ 출처: USAP 홈페이지(2023), “<https://www.usap.gov/proposalinformation/>”

<USAP 과학 기획 프로세스(Science Planning Process)>

- NSF의 남극연구 프로그램은 남극 지역과 인접한 바다에서 육상, 해양, 극저온, 대기 및 우주 설정을 포괄하는 현장, 실험실, 모델링 및 이론적 작업을 통해 남극 지역에서 작동하는 생태계(biota) 및 물리적 시스템에 대한 이해를 발전시키기 위한 남극 과학 연구를 지원

(3) 인프라 현황

- 아문센-스콧 남극점 기지(Amundsen-Scott South Pole Station), 맥머도 기지(McMurdo Station), 파머 기지(Palmer Station), 3개의 상주기지과 버드 기지(Byrd Station), 웨이스 디바이드 캠프(WAIS Divide Camp) 2개의 하계기지로 총 5개의 관측기지 운영



※ 출처: NSF 홈페이지(2005) “https://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=51545&from=”

<미국의 남극 상주 기지>

- 나다니엘 B 파머호(Nathaniel B. Palmer), 로렌스 굴드호(Laurence M. Gould), 시쿨리아 크호(Sikuliaq), 폴라스타(Polar Star), 힐리호(Healy) 총 5대의 쇄빙선 보유
- 2029년까지 최소 3척의 대형 쇄빙선 건조 및 국내외 각 2곳씩의 지원기지 건설 계획

2) 영국

□ 남극영토전략(2019~2029)

- 극지과학을 글로벌 문제 해결에 적용하기 위한 정책을 추진하며, 남극영토전략의 하나로 과학 기반의 BAT(영국남극영토) 주변 환경 보호 관련 정책에 집중
 - 영국은 극지과학을 전 세계적으로 중요한 문제에 적용하여 해결하고, 사회가 변화하는 세계에 적응할 수 있도록 돕기 위한 오로라 혁신센터(Aurora Innovation Center) 설립 및 운영
 - ※ 환경 문제를 해결하고 극지 연구의 실제 이익을 증대하기 위해 학제 간 협업을 위한 공간 및 서비스를 지원
 - 영국 BAT(영국남극영토)은 ‘남극영토전략 2019~2029(British antarctic territory strategy)’를 통해 영국 남극 영토의 보안과 거버넌스 유지를 위해 철저한 과학을 바탕으로 한 지역 환경 보호 관련 연구 계획 발표
- 영국은 남극 탐사에 대한 운영 전략을 발표하고 세계최고의 남극연구 인프라를 제공 및 운영하는 것을 전략목표로 제시(British Antarctic survey_Operations strategy 2020-2025)
 - ‘남극조사 운영전략(’ 20-’ 25)을 수립하여 안전, 혁신, 지속가능성, 회복성, 수요 맞춤형 운영 전략을 제시하고, 약 1조원(6억7천만 파운드)를 투자하여 극지연구 선박 개발, 기지현대화, 항공기 시설 마련 등 투자 확대 계획을 발표(’ 22.4)

British Antarctic Survey

Operations Strategy 2020 - 2025

Our Operations Strategy will ensure we are



출처: <https://www.bas.ac.uk/polar-operations/our-operational-strategy/>

<영국 남극탐험 운영 전략(2020~2025)>

□ 지속가능한 지구를 위한 극지과학 : 과학전략 2023-2033

- BAS(British Antarctic Survey)에서는 지속가능한 지구를 위해 정책, 산업 및 사회의 의사 결정자가 필요로 하는 과학적 증거를 제공하기 위해, 극지방 과학영역에서의 10개년 연구 전략을 수립
 - 10개년 전략에 따라 세계적으로 중요한 긴급한 문제에 초점을 맞추어 5가지 과학테마를 설정하여 통합과학 활동 프로그램을 제시
- (과학테마 1) 회복탄력성을 증가시키기 위한 기후변화 과학
 - 전 지구 기후변화를 조절하는 중요한 역할을 하고 있는 극지역이 세계 기후를 어떻게 변화시키는지 확인하고 지속가능한 지구를 위한 정책을 뒷받침 하려고 함
- (과학테마 2) 연안과 기술적 인프라 보호
 - 급격한 빙하의 해빙이 세계 거대 도시들을 포함한 연안 커뮤니티와 인프라들을 위협하고 해수면 상승에 영향을 미치고 있으며, 고층대기의 변화는 극한의 우주 날씨와 함께 사회가 의존하는 위성과 기술을 위협하는 우주 쓰레기의 수명을 늘리고 있는 상황으로, BAS는 연안지역과 주요 인프라에 대한 위협을 완화하기 위한 증거를 수집하기 위해 극지연구를 수행
- (과학테마 3) 극지 생명다양성 보호
 - 극한환경에 적응한 풍부한 종 다양성이 존재하는 극지역의 빠른 환경변화로 많은 극지역 생태계가 위협받고 있는 실정으로, 특히 남극의 많은 생명체가 탄소 및 영양염의 전 지구적 순환에 중요한 역할을 하고 있기 때문에 BAS는 극지역 생물 다양성을 보호에 관한 과학적 의견 일치를 위해 생태계 연구를 수행
- (과학테마 4) 생계 및 사회 유지
 - 북극과 남극, 그리고 눈으로 덮인 고산지대들은 인간사회와 그들의 삶의 방식과 밀접하게 관련되어 있으므로 BAS는 빙하감소로 인한 사회-경제적 위협을 완화하고 잠재적인 이익을 극대화하기 위한 확고한 증거를 제공하고자 연구를 수행
- (과학테마 5) 미래 보호
 - 지구의 기후 및 환경이 이례적으로 매우 빠르게 변화하고 있어 시급하게 그 영향을 예측하고 수준을 측정 및 완화해야 하는 상황이며, BAS는 이를 위해 새로운 과학기술을 개발하고 지구의 빙권이 기후 완화 조치에 어떻게 대응할 수 있는지 이해할 수 있도록 지원

3) 프랑스

□ 2030 프랑스 극지전략

- ※ 프랑스 입장에서 2030년은 남극기지, 해양탐사를 위한 선박이 종료되는 등 극지와 관련된 자원에 대한 계획을 새로 수립해야 하는 해로, 금번 전략을 2030년으로 목표를 설정함

- 프랑스는 극지와 관련된 기후 악화, 지정학적 혼란 등에 대한 우려에 대해 보고하고, 프랑스 및 유럽 등 국제 사회에서의 조치 및 자원을 통해 극지 문제를 해결하고자 프랑스 최초의 극지 전략을 발표
 - 프랑스는 5가지 주요 전략을 바탕으로 극지탐사와 관련된 기업, 비영리 단체 및 개인 등이 주도하는 프로젝트에 협력할 계획을 발표
- (주요 전략 1) 전 세계적이고 균형 잡힌 극지 전략 주도
 - 극지역에 대한 프랑스의 보편적 공약
 - 육지-해양, 빙권-해양 연속체 연구 추진
 - 극지를 위한 부처간 위원회 구성
 - 극지역 문화와 교육의 발전
- (주요 전략 2) 유럽과 그 외 지역에서 장기적으로 혁신적이고 모범적인 전략 지원
 - 장기적인 대규모 연구 프로젝트 설계
 - 유럽 및 국제협력 선호
 - 환경적 영향 고려 및 혁신 측면에서 모범적인 연구 수행 보장
- (주요 전략 3) 극지 과학을 위한 더 강력한 체계와 더 많은 자원
 - 확장된 범위의 극지역 지원조직 구축
 - 남극과 북극의 두 극점 간의 균형을 이룰 수 있도록 연구지원 보장
 - 해양 및 항공 지원인프라 확보 운영
 - TAAF와 IPEV간의 임무 혼잡 최소화
 - 극지를 위한 프랑스의 활동기반 조성
- (주요 전략 4) 북극권에서 강력한 입지 확보
 - 북극의 자원 3배 강화(Trebling resource)
 - 북극이사회에서 프랑스의 입지 강화
 - 환경 보호 및 지속가능한 개발 촉진
 - 싱크탱크 및 국제행사에 적극 참여
 - 높은 수준의 학술 연구 및 상호작용
 - 육상 및 해양 신규 연구기반시설 확보
 - 북대서양 생피에르 미클롱 지역의 과학 인프라 활용
- (주요 전략 5) 남극 보호 주도
 - 남극 조약 체제 수호
 - 생물 다양성 보호

- 연구 지원 및 육상, 해양, 항공탐사 인프라 개선
 - 프랑스는 환경영향을 줄이기 위해 남극의 뒤몽 드 우르빌 기지와 콩코르디아 기지를 최대한 빠른 시일 내에 첨단 친환경 기술을 적용하여 개선 예정
- 지속적인 남빙양에 대한 조사

4) 일본

□ 제10기 6개년 남극관측기본계획(2022~2027)

- 일본의 남극탐사는 계획적이고 효율적으로 사업을 진행하기 위해 1976년도 이후 5년을 단위로 남극관측기본계획 수립 및 실시
- '04년 법인화에 의해 국립극지연구소(NIPR: National Institute of Polar Research)가 6년 단위 중기목표 및 중기계획 하에 운영됨에 따라 남극탐사도 '10년부터 6년 단위 계획으로 실시되고 있으며, 현재 '22(64차)~28년(69차)을 대상기간으로 한 남극지역관측 제10기 6개년 계획에 따라 진행되고 있음
 - '제10기 6개년 관측계획'을 수립하여 학술적, 사회적 수요에 대응하고 독창적, 선구적 연구 성과 창출을 위한 중장기 관측을 추진할 계획이며, 특히 해수면 변동 예측, 고기후 복원, 고층대기 및 우주관측을 목표로 중장기 연구수행 및 기지 현대화 추진
 - 제10기 남극관측계획(2022~2027) '남극에서부터 시작되는 지구시스템의 변화'라는 주제로 4개의 주요 주제(빙상-해양의 상호작용, 미래 남극빙상 예측, 기후변화, 우주기상정보)에 대해 집중 관측계획을 발표
 - 제62차 남극지역 관측 실시계획에 따라 제62차 남극지역관측대를 구성하고 기본관측 및 연구관측을 추진하며, 일본의 남극지역 관측 역사상 최초로 타국에 기항하지 않는 계획으로 추진
 - 연구관측은 중점연구관측, 일반연구관측, 맹아연구관측으로 구분하여 추진하며, 대류권, 성층권, 중간권의 대기 정밀관측과 강수레이더를 사용한 쇼와기지 부근의 강수량 연간 관측을 중심으로 실시

第X期主要観測年次計画表

対象領域	64	65	66	67	68	69
内陸	重点サブテーマ1					
大陸氷床・固体圏	氷床深層掘削準備	氷床深層掘削	氷床深層掘削	氷床深層掘削	氷床深層掘削	氷床深層掘削
氷床末端 定着氷	氷床末端域 深層掘削準備	氷床末端域 深層掘削	氷床末端域 深層掘削	氷床末端域 深層掘削	氷床末端域 深層掘削	氷床末端域 深層掘削
海水・海洋・生物圏	重点サブテーマ2					
季節海水域	昭和基地・海上 重・エアロゾル観測	昭和基地・海上 重・エアロゾル観測	昭和基地・海上 重・エアロゾル観測	昭和基地・海上 重・エアロゾル観測	昭和基地・海上 重・エアロゾル観測	昭和基地・海上 重・エアロゾル観測
対流圏 成層圏	昭和基地・地上 重・エアロゾル観測	昭和基地・地上 重・エアロゾル観測	昭和基地・地上 重・エアロゾル観測	昭和基地・地上 重・エアロゾル観測	昭和基地・地上 重・エアロゾル観測	昭和基地・地上 重・エアロゾル観測
大気圏	重点サブテーマ3					
電離圏 中間圏	昭和基地・大気圏 重・エアロゾル観測	昭和基地・大気圏 重・エアロゾル観測	昭和基地・大気圏 重・エアロゾル観測	昭和基地・大気圏 重・エアロゾル観測	昭和基地・大気圏 重・エアロゾル観測	昭和基地・大気圏 重・エアロゾル観測
しらせ 海洋観測船 昭和基地 東南極沿岸/内陸 他地域	基本観測(定常観測・モニタリング観測)	基本観測(定常観測・モニタリング観測)	基本観測(定常観測・モニタリング観測)	基本観測(定常観測・モニタリング観測)	基本観測(定常観測・モニタリング観測)	基本観測(定常観測・モニタリング観測)
	一般研究観測・萌芽研究観測					

출처: 일본 문무과학성 홈페이지 (<https://www.mext.go.jp/>)

<제10기 남극관측기본계획의 로드맵>

<일본 남극관측기본계획 상 주요 연구과제 >

주요 연구과제	내용
해수면 변화 예측 및 물질 순환 변화의 열쇠 - 빙상과 해양의 상호작용	지구의 해수면 변동 예측, 빙상/해양의 변화가 남극 생태계에 미치는 영향
과거의 남극빙상 변화로 규명하는 미래 지구환경 변화	과거 온난기의 남극 빙상은 얼마나 퍼져 있었을까, 미래 남극빙상은 어떻게 변화할 것인지 등 연구
기후변화의 열쇠 - 대기 대순환	오존홀의 회복과 온실효과 기체의 증가에 대하여 기후가 어떻게 변화할 것인지 연구
태양활동의 영향을 규명하는 열쇠 - 극지	태양활동이 활발해지면서 대기 상층의 전리권에 영향을 미치고 이로 인한 태양활동과 초고층 대기의 변화 등을 예측하는 우주기상정보

출처: 일본 南極地域観測第10期6か年計画(중점메인테마)

○ 확립된 관측 기법에 의해 국제적 또는 사회적 요청이 높은 과학 관측 데이터를 지속적으로 취득·공개하는 기본 관측과 남극의 특징을 살린 독창적·선구적인 연구를 실시하는 것을 목적으로 기한을 정해 실시하는 연구 관측 실시

- (기본관측) 확립된 관측 기법에 의해 국제적 또는 사회적 요청이 높은 과학 관측 데이터를 지속적으로 취득·공개하는 것을 목적으로 하는 관측

- (연구관측) 남극 지역의 특색을 살린 독창적·선구적인 연구를 목적으로 시한을 정해

실시하는 관측

- 중점 연구관측에서는 지금까지의 관측·연구 성과, 사회적 요청이나 남극 연구 과학 위원회 (SCAR:Scientific Committee on Antarctic Research) 등에서 논의되는 국제적인 연구 동향을 근거로, 특히 「과거와 현재의 남극으로부터 찾는 미래의 지구 환경 시스템」을 메인 테마로 설정하고, 세 가지 하위 테마*에 대해 각각 집중적인 관측 실시
- * ① 최고급의 아이스코어 채취를 축으로 한 고환경 연구 관측으로부터 찾는 남극 빙상과 지구 환경의 변동, ② 빙상-해빙-해양 결합 시스템의 통합 연구 관측으로부터 찾는 동남극 빙상 융해 메카니즘과 물질 순환 변동, ③ 대형 대기 레이더를 중심으로 한 관측 전개로부터 찾는 대기 대 순환 변동과 우주의 영향

<일본 NIPR 관측연구 프로젝트>

구분	소구분		담당 기관	평가대상
	구분	정의		
기본 관측	정상관측	국가 기관 등이 책임을지고 실시하는 관측	정상관측기관	관측 실적 데이터 공개 및 이용 실적
	모니터링·관측	과학연구의 기반이 되는 관측에서 국립극지연구소가 연구 커뮤니티의 의향을 감안하면서 장기적 시야에 서서 실시하는 관측	국립극지연구소	관측 실적 데이터 공개 및 이용 실적
연구 관측	중점 연구 관측	사회적 요청과 국제적인 연구 동향을 바탕으로 특히 오늘날 가치가 높은 주제에 연구분야를 넘어 집중적으로 임하는 관측	국립극지연구소	관측 실적 연구 성과
	일반 연구 관측	연구자의 자유로운 발상을 바탕으로 실시하는 관측, 조사	국립극지연구소	관측 실적 연구성과
	모에아 연구관측	미래의 연구 관측의 발전을 향한 관측, 조사 및 기술 개발	국립극지연구소	관측 실적

출처: NIPR 홈페이지(<https://www.nipr.ac.jp/antarctic/aboutjare/plan.html>)

□ 인프라 현황

- 쇼와 기지, 미즈호 기지(1987년 폐쇄 후 비정기적 활용), 아스카 기지(1991년 이후 연구활동 중지), 돛후지 기지 총 4개의 관측기지 보유



출처: <https://www.nipr.ac.jp/antarctic/jarestations/>

<일본의 남극관측 기지>

- (쇼와 기지) 1957년 1월 제1차 남극지역 관측대에 의해 류초 홀름만의 동웅그루섬에 건설하였으며, 현재는 세계 기상 관측망의 거점으로서 약 30명의 대원이 1년간 관측 활동을 수행하는 등 일본의 주요기지로 50년 이상 지속적으로 운영·관리되고 있음
 - (시설 및 설비) 쇼와 기지에는 67동의 건물 외에 관측설비로서 대형 안테나 등 각종 안테나, 촬영 설비인 연료탱크, 통신용 안테나 등을 갖추고 있으며, 각 관측동 내에는 관측설비, 건물 내에는 발전기 설비 및 촬영 설비가 설치되어 있음
 - (돔 후지 기지) 1995년 2월, 쇼와 기지에서 남쪽으로 약 1,000km 떨어진 드로닝 모드랜드 지역 빙상 정상부에 심부빙하코어 시추거점으로 건설하여 깊이 3,053m의 심부빙하코어 시추에 성공한 후, 하계연구 수행 중
 - (시설 및 설비) 돔 후지 기지에는 건물 9개 동과 통신용 안테나 등의 촬영시설, 다양한 기상관측장비 및 빙하코어 연구장비 등이 설치
 - (미즈호 기지) 1970년 7월, 쇼와 기지의 남동방향으로 약 270km 떨어진 미즈호 고원 빙상 위에 개설하여 현재는 무인 관측기지 및 내륙 중계점으로 활용되고 있음
 - (시설 및 설비) 거주용 및 관측용으로 운영되는 5개 건물이 있으며, 비상용으로 파이프하우스를 갖추어 긴급용 촬영용구 등을 보관하고 있음. 발전실, 시추작업장, 빙설 실험실 등 건물들은 모두 표면 아래에 매몰되어 있음
 - (아스카 기지) 1985년 3월, 쇼와 기지의 서남서 670 km에 위치하는 드로닝 모드랜드 빙상 위에 건설하였으며, 현재는 폐쇄됨
- 현재 일본은 ‘시라세’, ‘미라이’ 2대의 극지관측 쇄빙선을 보유
- (시라세) 일본 해상자위대 소속 쇄빙선인 시라세는 남극관측을 주요임무로 활용되고 있는 남극 전용 쇄빙선으로 관측기기를 탑재하기 어렵다는 한계가 존재

- 선체 규모는 길이 143미터, 폭 28미터이며, 일본과 남극 사이를 왕복
- (미라이) 북극관측을 위해 무츠호라는 원자력선박을 개조한 해양연구선(내빙연구선)으로, 쇄빙 기능은 없어, 얼음이 두껍거나 일년빙과 다년빙이 혼재하는 해역에서는 연구조사가 불가능

□ 남극 관련 연구

○ 일본 남극 관련 연구는 주로 대표 연구기관인 NIPR(일본극지연구소)에서 수행하고 있으며, NIPR에서는 5개의 주요 주제별 연구 그룹*에서 프로젝트 수행

- * 1) 우주 및 상층 대기과학그룹(Space and upper atmospheric sciences group), 2) 기상학 및 빙하학 그룹(Meteorology and glaciology group), 3) 지구과학 그룹(Geoscience group), 4) 생명과학 그룹(Bioscience group), 5) 극지공학 그룹(Polar engineering group)

<일본 NIPR 연구그룹별 주요 연구 내용>

연구 그룹	주요 연구 내용
우주 및 상층 대기과학그룹 (Space and upper atmospheric sciences group)	- 오로라와 태양풍, 자기권, 이온권 사이의 연결고리에 대한 연구 :: 남극과 북극 지역에서 레이더, 자기계, 오로라 이미지로 지상 기반 네트워크 관측을 개발하여 태양풍-자기권-이온구 커플링 프로세스와 다양한 오로라 관련 현상의 메커니즘을 연구 - 중층 및 상층 대기에 관한 연구 :: 극 지역 중층 대기와 상층 대기를 정확하게 관찰하기 위해 북극과 남극 지역에서 다양한 지상 측정을 실시하여 아래에서의 기상학적 교란, 위에서의 전자기적 영향 및 전 지구적 순환, 대기의 원격 상관성 규명
기상학 및 빙하학 그룹 (Meteorology and glaciology group)	- 극성 대기(대류권, 성층권), 눈과 얼음, 해양에 대한 연구를 통해 글로벌 환경의 과거, 현재 및 미래의 조건 연구 - 현장 관측, 위성 원격 탐사, 기후/빙상 모델링을 통한 재기, 수권 및 빙권의 상호 관련 변화 분석 - 빙하 코어를 활용한 고기후 환경 조건 분석 - 지구 온난화에 따른 해수면 상승의 주요 요인인 빙상의 생성 과정, 내부 구조, 유동성 및 질량 수지 변화 등 분석
지구과학 그룹 (Geoscience group)	- 지질학, 지형학 및 고체 지구 물리학에 대한 고급 연구 :: 지질학, 광물학, 지형학, 지설 및 고체 지구 물리학을 통한 우주의 역사, 지구 지각의 역사적 진화에 따른 변화, 빙하의 후퇴와 발전에 수반되는 네 가지 요소로 된 환경의 변화 연구
생명과학 그룹 (Bioscience group)	- 유기체가 극지방의 극심한 열악한 환경에서 어떻게 적응하고 살아남았는지 확립 - 해양 및 육상 공동체의 지구 환경 변화에 대한 민감한 대응 메커니즘에 대한 연구
극지공학 그룹 (Polar engineering group)	- 과학적 관찰 및 물류 활동과 관련된 기술적 과제를 해결 :: 향후 내륙 운영을 위한 물류 문제 연구, 현장에너지 생산에 대한 조사, 디젤 에너지와 재생에너지 간 상호 연결된 전력시스템에 대한 연구, 잉여 전력의 저장 및 활용 시스템에 대한 연구, 물 만들기에 대한 연구

:: e.g. 운송 수단이 극지 지역에서 방해되기 때문에 제한된 연료, 식품 및 재료로의 효과적인 연구 수행 방안 연구

출처: NIPR 홈페이지

<일본 NIPR 프로젝트 별 연구과제>

구분		연구과제
기초 첨단 연구 프로젝트	공공권 연구 그룹	극역 주공권 종합 관측에 기초한 태양 지구계 환경 변동 연구
	기수권 연구 그룹	극역 기수권 연구의 새로운 전개
	지역 연구 그룹	극지역에서의 고체 지구 행성의 진화와 변동에 관한 연구
	생물권 연구 그룹	생태계 종합적 이해를 위한 극역 생물학의 신개발
공동 연구 프로젝트	남극 관측 센터	지구 규모 환경 변화에 관한 남극 지역의 종합 연구
	국제 북극 환경 연구센터	북극 연구의 새로운 개발
특별 연구 프로젝트	의학	극한 환경에서의 건강 관리 및 의학 연구
	극지학 그룹	극지에서의 공학적 연구의 검토와 빙상내륙 설명과 관측 검토

출처: NIPR 홈페이지

5) 호주

- 남극 연구 인프라 확충 중심의 정책 추진할 계획으로, 동 계획에서 전략적 우선순위로 '국가 규정에 부합하는 세계적 수준의 고학 연구 수행'을 제시

□ 호주 남극전략 20개년 시행계획

- 호주는 남극 전략과 시행계획이 '22년 2월 발표
 - 호주는 “남극전략 및 20년 실행계획”을 업데이트('22)하고, '22~'26년간 남극 대륙에서의 리더십, 남극 과학의 리더십과 우수성, 남극 환경관리 리더십, 경제·교육개발 협력 기회를 중점 추진할 계획
 - (남극대륙) 외교참여·협력 확대, 동남극지역 지도 작성 프로그램 구현, 탐사·과학 인프라 구축 등
 - (남극과학) 10개년 남극과학계획(기후과학/해양과학 등) 개발 계획
 - (환경관리) 청정 남극대륙 과학프로그램 수립계획, 환경보호 및 남극환경 개선 등
 - (경제·교육개발 협력 기회) 일자리 창출, 남극 교육 기회 및 도구 구축 등



출처: : Australian Antarctic Strategy & 20 Year Action Plan (Update 2022)

<남극전략 및 20년 실행계획 ('22 업데이트)>

○ 전략 및 시행계획에 따른 호주정부의 역할

- 남극 빙상 및 해양 환경에 대한 물류 수용력과 중요 연구 분야 확장
- 지구 기후 체계에서 남극과 남극해의 역할에 대한 이해를 증진시키기 위한 새로운 연구 촉진
- 호바트(Hobart)*의 남극 대륙 동쪽으로 가는 주요 관문으로서의 위치를 강화하고, 태즈메이니아의 주민과 기업들에게 경제적 지원을 제공하기 위해 100개 이상의 일자리 창출
- * 호바트(Hobart)는 호주 태즈메이니아주의 도시이며, 남극으로 향하는 관문도시로서 항만 및 상업 시설 등이 발달
- 남극 대륙 보호와, 남극 평화 및 과학 연구가 지속될 수 있도록 남극조약 체제를 포함한 다른 남극 국가들과 협력 지속

6) 러시아

□ 러시아 남극 연구활동 계획('18~'22)

○ 남극 미개발 연구 선점을 위한 연구 인프라 현대화 추진

※ 제1차 극지활동 진흥 기본계획('23~'27) 참고

- 남극 연구활동계획(RAE, Russia Antarctic Expedition Operations Plan)을 바탕으로 지질, 기후변화 연구를 수행
- 러시아는 자원추출이 금지되어 있는 남극의 석유 및 가스 등 원자재 잠재력을 확인하려는 시도를 지속 (e.g. 남극조사프로그램을 완료('20))
- 러시아는 특정과학 및 물류 작업을 수행하기 위해 중국과 협력해왔으며('17~), 남극 대륙에서 새로운 해양보호구역을 만들기 위한 제안에 거부권을 행사('20.11)

□ 2030 야쿠티야 북극 종합 개발 전략 수립('17.05)

- 예고르 바리소프(Yegor Borisov) 사하 공화국 대통령은 2018년 4월까지 '2030 북극 지역의 사회 경제 개발 전략' 초안을 제출할 것을 지자체에 지시
 - 프로젝트 초안 제출에 포함된 지자체는 아비스키(Abyisky), 알라이호브스키(Allaikhovsky), 아나바르스키(Anabarsky), 불룬스키(Bulunsky), 베르호네콜림스키(Verkhnekolymsky), 베르호얀스키(Verkhoyansky), 쥐간스키(Zhigansky), 몸스키(Momsky), 니취네콜림스키(Nizhnekolymsky), 올레넨스키(Oleneksky), 스레드네콜림스키(Srednekolymsky), 우스찌-안스키(Ust-Yansky) 및 에베노-비탄타이스키(Eveno-Bytantaysky) 지역 등
- '2050 목표 비전'과 함께 '2030 사하 공화국 사회 경제 개발 전략'은 연방 집행 기관에 의해 승인되었으며, '18년 1월 1일까지 지방 입법 기관인 일뚜멘(Ил Түмөн)에서 위 프로젝트에 대한 법률 채택 검토

7) 중국

- 남극조약국 중 가장 적극적으로 남극 진출에 투자 및 영향력 확대 중이며, 특히 남극 연구, 인프라 및 물류에 투자
 - 남극조약협의당사국회의(ATCM)에서 적극적 안전 발의 및 결의안 작업 참여 등 남극 강국으로서의 이미지를 구축하였고, 칠레, 우루과이, 태국, 호주, 러시아 등의 국가들과 활발한 국제교류 지속
 - 제14차 5개년계획에 전략적 과학기술 분야로 선정한 지하·심해 및 극지 탐사를 위한 인프라 구축, 기술개발 예산 확대 및 집중 지원
 - 공식적으로 중국은 남극에서 과학연구를 목적으로 활동하고 있으나, 주요 목표는 남극 크릴 조업과 광물자원에 관심이 높음

□ 중국 '남극 백서'('17.05)

- '17년 5월 중국 국가해양국은 상업적 자원개발을 금지하고 있는 남극조약체제 정신에 기초하여 남극 과학연구조사 투자 확대를 위한 '남극 백서'를 최초로 발간
 - '인류의 공동유산인 남극의 평화적 이용'에 동참하는 중국의 정책적 의지를 보여주는 계기

□ 중·러 간 북극 연구 국제 협정서 체결('17.05)

- 중국 국가 해양관리국과 러시아를 포함한 6개국의 과학 단체들이 북극 연구분야에서의 국제협력 확대에 대한 일련의 양해각서를 체결
 - 체결된 양해각서는 극지 연구 분야에서의 국제협력 장려 및 강화와 북극과 남극의 수중 연구의 효율성 확대를 목표로 함
 - 검열 수행, 물류 기구, 인력 및 기술 교류, 환경보호 문제와 같은 분야 포함

8) 뉴질랜드

- 뉴질랜드는 남극 대륙의 평화, 안보, 효과적인 거버넌스를 중요하게 생각하며, 지속적인 환경, 과학, 보존, 평판 및 경제적 이익을 추구함에 따라, 최우선적으로 '환경보호'를 목적으로 관련 정책을 수립함

□ 남극 대륙 및 남극해에 대한 약속 선언('19)

- 뉴질랜드는 환경보호를 최우선으로 남극대륙과 남극해를 보존하고 보호하기 위한 '남극 대륙 및 남극해에 대한 약속 선언'을 발표하여 뉴질랜드의 가치와 원칙을 반영한 남극조약 체제 참여이유와 방식을 설명함
 - (약속1) 뉴질랜드의 환경은 남극과 남대양으로 연결되어 있음을 인지하고, 남극과 남대양의 환경보호를 최우선으로 하고, 건강하고 생산적인 생태계를 중시하며, 생물다양성 보호에 전념
 - 남극과 남빙양에서의 활동에서 환경 모범 사례를 따름
 - 남극과 남대양의 대표적인 특수 지역의 설립, 보호 및 관리를 옹호
 - 남대양, 특히 로스해의 살아있는 해양 자원의 보존과 지속 가능한 관리에 대한 예방 및 생태계 접근법을 취하고, 강력한 환경 기준과 지속 가능한 경제적 이익을 지원하며, 과학적 이해에 기여
 - 남대양에서 불법, 미신고, 비규제 어업을 근절하기 위한 국제적인 리더로서 역할
 - (약속2) 남극대륙은 지구 환경 시스템을 이해하는 데 필수적인 부분이며, 과학 연구에 가치가 있으므로, 최고 수준의 과학 연구를 촉진하고 협력하는 데 전념
 - 지구 시스템과 남극 대륙 간의 상호 작용에 대한 이해를 높이고 뉴질랜드의 기후 변화 정책과 변화 대응 능력을 발전시키는 과학적 연구를 지원하고 주도하며 공유
 - 로스해 지역 해양 보호 구역에서 연구의 선두주자
 - Scott Base가 효과적이고 지속 가능한 시설임을 확인하여 우수한 과학 연구의 안전한 수행을 지원
 - (약속3) 남극대륙은 뉴질랜드의 유산이자 미래의 일부로, 로스해 지역의 관문으로서 우리는 남극 탐험, 과학적 발견, 그리고 공동 연구에서 뉴질랜드의 역할을 지지
 - 과학 연구, 환경 보호, 보존, 유산 및 물류 지원을 통한 우리의 연계를 기념하며, 남극과 남빙양과의 뉴질랜드의 연계를 강화
 - 다른 나라에 양질의 서비스를 제공하고 협력할 수 있도록 로스해 지역의 국제 관문으로서의 크라이스트처치의 입지를 강화
 - 남극과 남빙양에서 활동할 수 있는 항공, 해양 및 육상 자산을 유지
 - (약속4) 뉴질랜드는 평화롭고, 안전하고, 안전한 지역을 소중여기며, 남극 조약의 원칙을 지지하고, 평화롭고, 핵이 없고, 보호되는 남극 대륙을 유지하기 위해 노력

- 남극조약 체제 하에서 강력하고 효과적인 거버넌스 프레임워크를 유지하기 위해 우리의 남극 파트너들과 적극적으로 협력
- 남극의 포괄적인 보호를 보장하기 위한 국제적 규칙을 개발하고 시행하고 평화와 과학 연구의 장소로서의 가치를 우선시하며 인간 활동의 영향이 매우 중요하는 것을 인지

□ 남극 과학연구의 방향 및 우선순위 수립

- 뉴질랜드는 ‘뉴질랜드 남극 및 남극 해양 연구방향 및 우선순위 2021-2030’을 발표한 바 있으며, 공통적으로 남극 및 남극해 연구를 전 지구적 변화에 중점을 두어 실시하고자 함
 - (비전) 전 세계적으로 연결되고 빠르게 변화하는 환경에서 남극 대륙과 남극해의 역할을 긴급하게 이해해야 하는 필요성을 해결하고 남극 대륙과 남극해를 보호하려는 아오테아로아 뉴질랜드의 노력을 뒷받침하는 우수하고 영향력 있는 과학 연구 수행
 - (연구주제) 뉴질랜드 남극연구는 과학연구 주제 및 우선순위를 설정하여 도출된 4가지 연구분야에 중점 지원
 - (해수면상승에 대한 남극의 기여도 정량화) 남극 대륙과 남극해가 뉴질랜드에 미치는 영향에 대한 이해를 높이고, 미래 기후 및 해수면 상승 예측에 대한 불확실성을 정량화하며, 정부의 기후 변화 정책을 지원
 - (빙권-해양-대기 연결 및 변화의 의미 규명) 빙권-해양-대기 연결, 남빙양 과정 및 뉴질랜드, 남극 대륙 및 그곳에 서식하는 생태계에 대한 변화의 의미를 규명
 - (생태계 역할과 변화에 대한 대응) 남극 조약 시스템을 통해 정책 조치를 알리는 데 도움이 되도록 생태계와 변화하는 환경에 대한 대응에 대한 지식 연구
 - 남극 및 남극해 환경 보호

2. 남극 국제 거버넌스 현황

1) 남극조약협의당사국회의(ATCM*)

* Antarctic Treaty Consultative Meeting

□ 개요

- 남극조약협의당사국회의는 남극조약 제 9조 1에 따라 공통 관심 이슈에 대한 정보교환, 협의 조약의 원칙 준수와 목적 달성을 장려하는 조치를 입안·심의하고 각국 정부에게 권고하기 위해 추진
 - 원조 서명국은 1957~58년 국제 지구물리학의 해(IGY) 동안 남극에서 활동한 12개국(아르헨티나, 호주, 벨기에, 칠레, 프랑스, 일본, 뉴질랜드, 노르웨이, 남아프리카 공화국, 소련, 영국)이었으며 2023년 현재 이 조약에는 56개 당사국(협의 국가)이 있음
 - 1961년부터 1994년까지 ATCM은 일반적으로 2년마다 한 번씩 개최되었지만, 1994년 이후로는 매년 개최되고 알파벳 순서에 따라 협의 국가들이 순서대로 개최국이 됨

<남극조약의 이상 목표 및 4개 기본원칙>

남극조약	
목표	남극의 국경 없는 평화
기본원칙	• 남극지역의 평화적 이용 및 군사기지, 무기실험 금지 • 남극지역에서의 과학적 조사의 자유 및 국제협력 증진 • 남극지역에서의 영토권 주장 동결 • 남극지역에서의 핵폭발 및 방사선 폐기물 처분 금지

- (회의 참여) 회의에는 협의 국가 및 비협의 국가, 관측자 및 전문가들이 참석하며 협의 당사자만이 의사 결정에 참여하고 회의의 다른 참가자는 토론에 기여할 수 있음
 - 관측자: 현재는 남극연구과학위원회(SCAR, Scientific Committee on Antarctic Research), 남극해양생물자원 보존위원회(CCAMLR, Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources) 및 국가남극프로그램운영자위원회(COMNAP, Council of Managers of National Antarctic Programs)가 참석함
 - 남극 및 남대양협의체(ASOC, Antarctic and Southern Ocean Coalition) 및 국제 남극 관광사업자 협회(IAATO, International Association of Antarctica Tour Operators)와 같은 초청 전문가들도 참석함
- 남극조약협의 당사국회의(ATCM)는 2013년 다년간의 전략적 작업 계획을 개발함
 - Decision 3(2012)에서 생성된 이 계획은 매년 업데이트되며 우선순위와 적시성을 고려한 작업일정 계획
- 환경보호위원회(CEP, Committee for Environmental Protection) 1998년 환경 의정서가 발효되면서 환경 보호 위원회(CEP) 설립
 - CEP는 ATCM과 동시에 만나며 ATCM 의제의 상당 부분이 CEP에서 처리

- 정기적인 ATCM 및 CEP 회의 외에도 남극 조약에는 일반적으로 특정 주제를 다루기 위해 함께 소집되는 특별 남극 조약 자문 회의와 전문가 회의가 있음

□ 최근 현황

(1) 제44차 남극조약협의 당사국회의

- 제44차 남극조약협의당사국회의에서 주요 쟁점 이슈는 기후변화에 따른 대책 강조, 기후변화에 대한 중국의 자국 입장 고수, 우크라이나와 러시아의 지정학적 긴장관계에 따른 회의 진행 및 보고서 채택과 캐나다 협의당사국 지위신청 협의에 영향을 초래한 점 등임
- 남극기후변화와 환경보고서(ACCE*) 발간 및 자국 정부와 시민들에게 기후변화 대응 시급성과 보고서 권고사항 전달 제안

* ACCE: Antarctic Climate Change and the Environment

- SCAR가 지난 10년간의 남극 연구를 토대로 기후변화의 영향을 종합·분석하고 대응을 위한 과학적·정책적 권고사항을 담은 ‘남극기후변화와 환경 보고서(ACCE: Antarctic Climate Change and the Environment)’ 발간 소개
 - 모든 당사국이 기온 상승폭을 1.5도 이내로 제한하기 위해 자국의 정부와 시민들에게 기후변화 대응의 시급성과 보고서에 담긴 권고사항을 전달할 것을 제안
 - 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)의 실무그룹 보고서와 특별보고서 내용 반영
- 협의당사국은 SCAR의 권고를 받아들여 동 보고서를 자국의 정책결정자, 연구기관, 시민사회 등에 전파하고, 이듬해 ATCM의 일정을 조정하여 권고사항 이행을 위한 별도 세션을 운영하도록 결정함
- 중국이 국제 거버넌스 체계에서 자국의 입지를 구축하기 위한 전략을 추진하면서, 남극 조약 체제를 포함한 여러 다자체제 내 역할을 강화하려는 행보를 지속적으로 고수
 - 특히 환경보호위원회(CEP) 회의에서는 황제펭귄의 특별보호종 지정에 대한 논의하였음
 - 황제펭귄은 해빙에 번식지를 꾸리는 생태적 특성으로 인해 기후변화에 취약한 종으로 개체수가 점차 감소할 것으로 전망되어 사전예방적조치로 남극 특별보호종으로 지정이 건의됨
 - 대다수 국가가 찬성하였으나 중국은 황제펭귄의 멸종 위험도가 충분히 조사되지 않았음을 근거로 특별보호종 지정에 반대하며 표적연구 및 관리계획 개발이 필요하다는 의견 개진
 - 황제펭귄이 남극 해양 생태계의 포식자인 점을 고려했을 때 특별보호종의 서식지와 먹이활동지역이 남극 해양보호구역(MPA)으로 지정될 가능성을 차단하려는 의도로 해석되기도 함
 - 동 건은 첨예한 의견대립으로 합의에 이르지 못하였으나, 한국을 포함한 대다수 국가는 내년도 재논의를 위해 개체수 모니터링과 회기 간 추가 협의를 수행하는 데 동의함

- 코로나 19 등으로 침체되었던 관광 활동이 점차 회복세를 보이면서 남극 환경보호를 위해 관광 활동을 사전에 규제할 수 있는 조치가 활발하게 논의됨
 - 남극 내 관광 등 비정부 활동의 영향을 평가할 수 있는 모니터링 프로그램의 수립 논의
 - 남극대륙 내 관광목적의 영구시설 건설이 추진될 가능성을 방지하기 위한 결의안 및 남극해 및 남극대륙 관광활동에 대한 정보 공유와 모니터링 제도 강화 조치 채택
- 국제정치적 긴장 관계가 남극 거버넌스 회의체 운영과 의사결정에 큰 영향
 - 우크라이나가 제출하고 발표한 IP85 ‘러시아의 우크라이나 공격 상황에 따른 우크라이나의 남극 프로그램 실행에 있어서의 난제와 교훈*’ 문서를 통해 러시아의 우크라이나 침공에 따른 국제 공동의 대응을 촉구하였고, 이에 대한 러시아의 반박 발언 시 우리나라를 포함한 총 29개국 협의 당사국 중 24개의 협의당사국이 회의장에서 퇴장하기도 함
 - 개회식에서 독일 외교부, 환경부의 기조연설에 러시아의 행동을 규탄하는 내용 등이 있어 최종보고서 채택 시 우크라이나의 문건과 독일 측 발언 내용을 포함할지를 두고 러시아와 중국 등이 반발하여 관련 내용이 합의에 이르지 못했음을 명시
 - 러시아와 중국은 캐나다의 협의당사국 지위 신청을 온라인으로 승인할 수 없다는 사유를 들어 반대하고 결국 제45차 ATCM에서 논의를 지속하기로 함
 - 반면 벨라루스 또한 금번 회의에서 협의당사국 지위를 신청할 예정이었으나 국제정치적 상황을 감안하여 자발적으로 차기 회의로 신청 연기
- 화상과 대면 방식을 병행해 개최하는 회의형식과 절차에 대한 합의 도출 필요성 발생
 - 하이브리드 개최 형식이 보편화된 상황에서 의사결정을 이루어 나가는 체계에 대한 국제적 합의와 절차적 명시를 도출해야 할 필요성 대두

(2) 제45차 남극조약협의 당사국회의

- 2023년 5월 28일부터 6월 8일까지 핀란드 헬싱키에서 핀란드 외무부가 주최한 XLV 남극 조약 자문 회의(ATCM)와 XXV 환경 보호 위원회(CEP) 회의가 개최됨
 - ※ 2021년과 2022년 파리와 베를린에서 가상 및 하이브리드 회의로 진행되었으나 제45차는 대면으로 개최됨
- 베를린에서 열린 ATCM-44의 결정에 따라 6월 2일 헬싱키에서 기후 변화에 관한 첫 ATCM-CEP 합동 회의를 개최함
 - 지구 기후 시스템에서 남극의 중심 역할과 GHG 배출 감소의 중요성, 심각성, 긴급성 및 조치를 강조하고 신속한 환경 거버넌스 대응과 의사 결정을 알리기 위한 연구 발전의 필요성 강조
- 기후 변화의 세계적인 영향과 남극 보호를 위한 긴급 조치의 필요성을 강조하는 남극 기후 변화에 관한 헬싱키 선언을 채택함
 - (헬싱키 선언)

- 남극 기후 변화가 지구에 미치는 영향을 국내 및 국제 포럼에서 알리고 남극대륙의 돌이킬 수 없는 변화와 지구에 대한 결과적 영향을 방지할 필요성을 알리기 위한 우리의 노력을 실질적으로 증가시키기 위해 노력
 - 변화하는 기후의 환경적 영향을 완화, 준비 및 복원력을 구축하기 위한 남극조약 체제 내의 노력을 지원하기 위한 환경보호위원회의 지속적인 작업의 중요성을 재확인하고, 기후 변화 대응 작업 프로그램의 이행 및 정기 검토
 - 제5차 국제 극지의 해(IPY) 2032-33의 목표를 옹호함으로써 강력한 지원을 제공하고 이를 지원하기 위한 충분한 수단을 제공하기 위해 노력 (참고: Helsinki Declaration on Climate Change and the Antarctic)
- CEP는 보호구역 관리 계획 검토 및 환경 모니터링에 대한 조언 수립
- 17개 신규 및 개정 보호구역 관리계획 검토 및 환경 모니터링 조언을 수립하고, 남극에서의 조류독감 예방 및 탐지 논의 및 개정된 5년 계획을 개발하기 위한 작업 개시
 - Comprehensive Environmental Evaluations (CEEs) 초안에 대한 심의 절차 개정
 - 남극 해양생물자원보존과학위원회(SC-CAMLR)와의 공동 워크숍을 계획하기로 결정
- 남극 관광 및 기타 비정부 기관 활동에 대한 프레임워크, 당사국 간 정보 교환을 위한 새로운 요구사항, 환경영향평가에서의 완화 조치 등에 대한 결의, 조치 및 결의안을 채택
- 남극 광물 자원 활동 금지에 대한 계속적 약속 강조 및 과학 연구를 제외한 남극 광물 자원 활동에 대한 금지 재확인
- 과학 연구 이외의 광물 자원과 관련된 모든 활동을 금지하는 환경 프로토콜에 관한 의정서 7조의 중요성 및 강조채굴 금지가 만료일이 없는 의정서의 핵심 조항 중 하나임을 강조함

(3) ATCM 다년 전략 작업 계획 (2022)

- 제 44차 남극조약협의 당사국회의에서 Decision 3의 다년 전략 작업이 업데이트되었고 2022년 5월 2일부터 발효됨
- 2022년부터 2025년까지 전략의 우선순위 및 시기별 작업 계획 수립

<ATCM 다년 전략 작업 계획 (2022)>

우선순 위	전략	기간(년)
1	남극대륙에서 활동하는 국민 또는 자산을 보유하고 있는 비조약국가나 아직 가입하지 않은 비조약국가에 대한 외교 조정	2022-2023
2	남극 조약 기반 국제적 교육 및 외교 활동 기여	2022-2023
3	특히 기후변화와 관련하여 과학적인 협력 기회와 역량 강화를 위한 전략적인 과학 우선사항 공유 및 논의	2022-2023
4	부록4(Annex VI)를 발효하고 향후 책임에 대한 협상을 위한 환경 피해	2022-2023

	및 기타 관련 문제의 수리 및 개선 정보 수집	
5	작업 중인 CEP의 모범 사례 검토 및 기존 도구 개선과 환경보호를 위한 추가 도구 개발 등의 진행 상황 평가	2022-2023
6	연구 활동 개발/강화와 결과 전파를 포함한 2022년 결의 4의 이행 진전	2022-2023
7	기후변화의 맥락에서 남극기지의 현대화 검토/논의	2022-2023
8	남극 항공 활동 증가 관련 문제 검토 및 추가 조치 필요성 평가	2022-2023
9	Polar Code 실행 강화	2022-2023
10	남극 수문학적 조사 강화 촉진	2022-2023
11	안전하고 환경적인 남극 관광 관리의 전략적 접근 방식 개발	2022-2025
12	비정부기구 활동 및 관광 활동을 포함한 ATCM 규정 준수 강화	2022-2023
13	과학, 운영, 정책 및 법률을 포함한 모든 남극 문제에 걸쳐 남극 과학 및 운영 활동에서 소외된 그룹의 참여를 촉진하여 평등, 다양성 및 포용 문제를 해결	2022-2025
14	남극시설 자연재해관리 강화	2022-2023

출처: ATCM(2022), "ATCM Multi-Year Strategic Work Plan"

2) 남극과학연구위원회(SCAR*)

* Scientific Committee on Antarctic Research

□ 개요

- 남극조약 및 기타 정부 간 기구의 정책 입안자에게 객관적이고 독립적인 과학적 조언을 제공하는 역할
 - 남극 및 남극해 관리에 영향을 미치는 과학 및 보존 문제와 지구 시스템에서 남극 지역의 역할에 대해 남극 조약 자문 회의 및 UNFCCC 및 IPCC와 같은 기타 조직에 객관적이고 독립적인 과학적 조언을 제공
- * UNFCCC: UN Climate Change, IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
 - 단일 국가가 달성하기에는 불가능한 남극과 남극해 전체를 아우르는 주제를 다룸으로써 각국의 과학적 가치 창출에 이바지함
- Horizon Scan(2013) 남극과학연구위원회는 향후 20년 또는 그 이후 우선해야 할 남극연구 주제에 대한 의견을 모아 차세대 남극연구의 공통 비전 제시
 - 남극의 대기·해양이 지구 전체에 미치는 영향 등 기후변화 분야를 중심으로 지질, 생물, 천문, 대기 등 우선적으로 수행해야 할 남극 연구 6대 분야와 80개 과제를 제시
 - 특히, 기존의 자연과학 분야뿐만 아니라 남극 출입의 규제와 방문에 따른 영향 등 인문·사회과학적 분야도 연구 대상으로 취급하기 시작
 - 여러 국가에서 기존 프로그램 및 프로젝트가 국제 동향과 부합하는지 확인하고 재조정 여부를 판단하는 지표로 활용
 - 남극국가프로그램운영자위원회(COMNAP)에서는 ‘Horizon Scan’ 연구결과의 효과적인 수행을 위해 각국 남극 프로그램의 우선순위·전략과 연동 지원

<Horizon Scan 의 6대 연구 분야 및 대표과제>

6대 연구 분야	80개 과제 중 대표과제
남극대기 · 해양이 지구 전체에 미치는 영향	• 대기과 해양, 빙권의 상호작용 • 대기 중 오존층 회복과 온실기체 농도의 전 지구적 영향 • 남극해 열 순환과 기후변화의 영향
남극 빙하와 해수면 높이	• 급격한 남극해 빙상의 해빙 원인 • 빙상 기저층의 상태와 빙상의 이동 · 형성과의 관계
남극얼음 아래 지각 변동	• 빙상에 대한 지각의 반응 • 남극대륙의 지각과 맨틀 구조 • 대륙판의 생성과 균열 역사 규명
남극에서의 우주관측	• 태양풍 발생에 따라 유입되는 고에너지 입자에 대한 이해 • 빙저호 연구를 통한 목성, 토성의 위성 환경 추측 • 운석을 이용한 태양계 형성과 우주생물학 연구
남극 생물의 진화와 생태	• 남극 생물의 진화 과정 규명 • 변화하는 남극 생태계 관찰 및 변화 원인 규명 • 환경변화에 민감한 생물종 규명 - 현재 남극 출입 규제의 효과 • 국제정책이 남극 방문 동기형성에 미치는 영향 • 남극생태계의 현재와 미래 가치 및 보존방안
남극에서의 인간 영향 및 저감 방안	• 현재 남극 출입 규제의 효과 • 국제정책이 남극 방문 동기형성에 미치는 영향 • 남극생태계의 현재와 미래 가치 및 보존방안

출처: The 1st SCAR Antarctic and Southern Ocean Science Horizon Scan - Final List of Questions, 제 3차 남극연구활동 진흥기본계획 재구성

- SCAR는 Horizon Scan의 진행평가 및 점검*을 통해 추후 지구 시스템의 본질적 측면에서 지속적인 남극 연구 우선순위 제시

* ARC(The Antarctic Roadmap Challenges)가 각 테마 별 진행상황 검토, 새로운 문제 파악 등을 실시하며, 스캔에 의해 확인된 7가지 질문 클러스터에 따라 “(1) 남극대기 및 지구 연결, (2) 온난화 세계의 남극해 및 해빙, (3) 빙상 및 해수면, (4) 역동적인 지구: 남극 얼음 아래에서 탐색, (5) 버랑에서의 생명체, (6) 지구 근방 및 그 너머, (7) 남극 대륙에서의 인간존재”에 대한 평가 실시

- 해양, 해빙, 빙상 및 선반, 얼음과 바다 아래의 단단한 지구, 내부의 생물상 및 생태계를 포함한 남극 시스템의 핵심 요소를 정확하게 나타내는 모델과 이들 사이의 상호작용, 결합, 피드백 등을 관찰할 수 있는 모델 개발 필요성 강조

<SCAR ‘Horizon Scan’ 의 진행평가에 따른 향후 필수 미래연구방향>

No	미래연구방향
1	대기 및 기후 모델을 발전시키기 위해 지역 전체에 걸쳐 통합된 자율 관측 기기를 활용한 지표부터 성층권까지의 대기 상태, 난류 및 복사 플럭스 및 대기 구성 등 관련 수 개년 데이터 수집
2	해빙과 떠다니는 빙봉 아래 및 남극 대륙붕에서 현재 해양의 “사각지대”를 비추는 통합 관측 시스템을 통해 위의 대기관측 시스템과 연계한 남극해 관측 강화

3	자율 장비(예: 프로파일링 플로트 및 동물센서)가 가져온 해양 과학 혁명을 활용하는 광범위한 물리 및 생지 화학적 센서를 갖춘 도구 보급 확대를 통한 전체 해양 깊이를 포괄하는 지속적인 관측 자료 수집
4	위의 광범위한 해양 관측과 상세한 공정 연구 및 수치 시뮬레이션의 계층을 결합하여 강제력의 변화에 따른 남극해 전복 순환의 민감도 정의 개선
5	남극 대륙 빙상을 체계적이고 포괄적으로 조사하여 얼음 손실과 해수면 상승을 가속화하는 빙상 역학 및 임계값에 대한 지식 향상
6	항공기 및/또는 위성에 의한 남극 빙상 아래의 바닥에 대한 고해상도 수심 측량 범위 확장
7	위의 관측소를 보완하여 샘플링하기 어려운 생물학적 “핫스팟” 및 빠르게 변화하는 환경에서의 관측을 위한 다중 센서 자율(적응 및 자가 관리) 무인 수중 차량 개발 및 배치
8	생물학적 시계열을 생성하고, 생물-비생물적 상호작용을 설명하며, 남극 생태계의 건강 및 궤도 지표의 상태 및 추세를 모니터링하기 위해 체계적인 학제 간 네트워크 구성
9	종 식민지화, 지역 멸종 및 침입 감지 및 모니터링을 위한 육상/해안 생물학적 시계열 자료 제공을 위해 보완적인 육상 극지 생명 관측 네트워크 구축

출처: One Earth(2019), Sustained Antarctic Research: A 21st Century Imperative

- 상기 미래연구방향 외에도 향상된 관측 및 모델링의 지속적인 보완 및 지원 필요성이 제시되며, Horizon Scan의 테마별 지속적 우선순위는 다음과 같음

<SCAR ‘Horizon Scan’의 진행평가에 따른 테마 별 지속적 연구 우선순위>

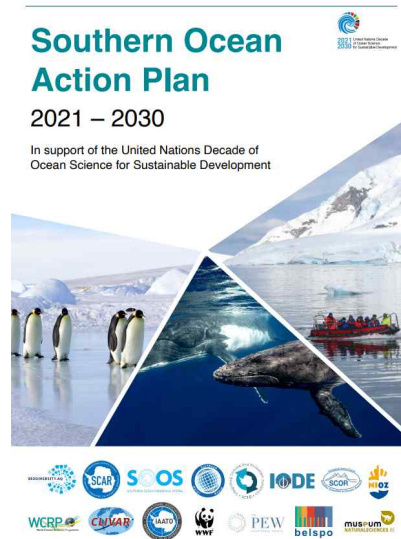
구분	미래연구방향
남극대기 연구	• 저위도, 중위도 및 고위도 간의 원격 상호작용에 대한 세부정보 구체화 • 자연 변동성의 영향을 분리하고 대규모 앙상블 처리를 통해 대기-해양 결합 기후 시뮬레이션 개선을 위한 계산 능력 향상
남극해, 해빙, 빙상 및 해수면 연구	• 미래의 기후와 해수면 변화를 주도하는 핵심 동력으로서 남극 해빙 및 해빙-붕 상호작용에서 변동성의 역할에 대한 정의 개선 • 해수면 상승의 사회적 결과에 대한 이해 증진을 위한 서남극 빙상의 미래 궤적 및 변화율에 대한 경계 조건 설정 • 기초 수문학, 얼음 손상, carving, ice cliff failure 과정, 수압 파쇄, 빙상 모델 매개 변수화 및 예측 개선의 기본 프로세스와 지리적 분포에 대한 이해 강화 • 글로벌 시스템 내에서 결합된 해양/빙붕/빙판 모델을 개선하는데 필수적인 핵심 프로세스 규명을 위한 모델 상호 비교 실험 지속 및 확장
남극 고체 지구과학 연구	• 대륙의 포괄적인 지구 물리학적 탐사 완료, 빙하 아래 환경에 대한 접근성 개선, 기존 데이터와 미래 데이터의 통합 및 지질학적 과정의 수치모델 개선 • 직접 관찰하기 어려운 강제력과 빙상-해양 상호작용을 식별하여 해양 순환의 과거 변화에 대한 이해를 높이기 위한 해양 퇴적 기록 추가 수집

남극 생명과학 연구	• 생물 다양성의 손실을 초래하는 요소, 생태계가 변화하는 환경에 어떻게 반응하는지, 생물학적 적응을 식별하고, 탄력성 전략을 정의하고, 보존 관행의 효과를 평가하는 방법에 대한 이해를 지속적으로 개선 • 오존 구멍 회복의 복잡한 하류 영향과 남극 및 남반구 생태계를 위한 남 환경 모드와의 관계 탐색 및 정의 개선
남극 사회과학 및 인문학 연구	• 인간과 환경의 상호작용에 대한 이해를 개선하고, 변화에 적절하게 대응 가능한 거버넌스를 수립하며 외부 지정학적 영향으로부터 남극의 흐름에 미치는 영향 식별 • 변화하는 남극 생태계 서비스가 자원을 활용해야 하는 압력이 증가함에 따라 자원 규제에 어떻게 영향을 미칠지 정의 • 기후 변화에 대한 과학적 합의가 정치적 행동을 자극하지 못하는 이유를 더 잘 이해하기 위해 남극 대륙의 복잡한 조직 네트워크 내에서 상호작용을 유도하는 데 있어 시민 인식론의 역할 탐구 • 증강 및 가상현실과 인공지능을 이용하여 복잡한 과학 데이터 세트와 개념을 전달하여 지구상의 한 지역에 사람들을 몰입시킬 수 있는 방법을 탐색함으로써 다양한 청중에게 남극 긴급 상황에 대한 메시지를 개선 • 슈퍼 컴퓨팅과 인공지능을 통해 빅 데이터를 활용하여 에이전트 기반 모델을 사용하여 인간의 의사결정과 행동을 더 잘 이해하고 이것이 남극 과학 커뮤니케이션에 어떻게 적용되는지 연구 • 인간 행동에 영향을 미치고 조작하기 위해 데이터를 수집하고 사용하는 방법을 포함하여 남극 데이터 경제의 맥락에서 “감시 자본주의” 및 “예측 행동 경제” 개념의 역할탐구 • 지정학, 경제학 및 문화에서 지상 감시의 의미를 “자본”으로 평가

출처: One Earth(2019), Sustained Antarctic Research: A 21st Century Imperative

○ 남극해 실행 계획(Southern Ocean Action Plan)을 개발한 남극해 태스크포스 조정

- 2017년 유엔은 해양 건강 쇠퇴의 순환을 되돌리기 위한 노력을 지원하기 위해 2021년부터 2030년까지 지속 가능한 발전을 위한 해양 과학 10년(이하 UN 해양 10년)을 선포
- 남극해 태스크포스는 남극해 커뮤니티를 동원하고 모든 이해관계자가 남극해의 고유한 조건을 유지하고 육성하는 혁신적인 솔루션 제공을 목표로 과학, 산업 및 정책 간의 연결을 강화하고 지식 및 데이터 범위의 기존 격차를 해결하기 위해 국제적으로 협력 활동을 장려하기 위한 초기 로드맵을 제공



<Southern Ocean Action Plan(2021-2030)>

□ 최근 현황

(1) SCAR Strategic Plan (2023-2028)

- SCAR의 미션, 비전, 목표 달성을 위한 미래 전략계획
- 세계적인 기후 비상 상황에 대응하여 남극에서 다룰 수 있는 기후과학을 중점적으로 2023-2028에 걸친 전략 계획을 수립
 - 온도 상승, 빙하 녹임 및 해수면 상승, 생태계 기능, 생물다양성 및 인간 사회에 미치는 영향 등에 초점을 맞추며 2023년 1월 1일부터 시행됨
 - 2023~2028년 달성하여야 할 비전 및 7개의 핵심 목표 제시

<남극과학연구위원회 2023~2028 전략계획 비전 및 목표>

남극과학연구위원회 2023~2028	
비전	지구의 지속 가능한 미래를 위한 길을 찾기 위해 근본적인 요구사항에 부응하는 남극 과학과 지식의 유산을 만드는 것
핵심 목표	• (과학 리더십 강화) 국제 파트너십을 통해 긴급한 기후 변화와 생물다양성을 포함한 글로벌 우선 사항에 대응하면서, 고품질, 협력적이며 비전적이며 사회적으로 관련성 있는 연구를 강화하고 확장함으로써, SCAR의 과학적 리더십을 촉진 • (자문) 정책 결정자들이 식별한 과학적 요구에 대응하여, ATS(남극 조약체계) 및 기타 국제 기관에 독립적인 과학적 조언을 제공 • (데이터 접근성과 샘플 공유 촉진·지원) 남극 연구 데이터와 샘플에 대한 제한 없는 자유로운 접근을 촉진하고 지원 • (역량 구축 및 교육과 훈련) 회원 국가들의 연구 역량을 강화하고 확대하며, 새로운 회원 모집 및 연구 지원 장려 • (소통) 지구의 기후 시스템에서 남극과 남방해양이 하는 필수적인 역할과

	남극 문제에 대한 대중의 인식과 이해를 증진 • (평등성, 다양성 및 포용성 (EDI) 가치) 경영, 구조, 임무와 비전의 실현을 포함한 모든 활동에 평등성, 다양성 및 포용성(EDI) 원칙이 적용되도록 보장 • (지속가능성) SCAR의 모든 활동의 탄소 발자국 감소

출처: SCAR(2023), "SCAR Strategic Plan 2023-28"

○ 계획된 프로그램들이 완료 단계(2027~2028년)가 되면 새로운 SRP를 개발하기 위해 AGATA (Antarctic Geospace and ATmosphere reseArch) 프로그램 계획 그룹 설립 예정

- (AntClimnow) 연간부터 수십 년에 걸친 시간 단위로 남극 기후 시스템의 근시기 조건을 예측하는 것을 연구함

* AntClimnow: Near-term Variability and Prediction of the Antarctic Climate System

- (Ant-ICON) SCAR Horizon Scan에서 확인된 대로 기본적인 과학적 질문에 대답하여 남극과 남방해양의 보존과 관리와 관련된 연구에 초점을 두고 국제적인 의사 결정과 정책 변경을 촉진하고 안내하기 위한 것임

* Ant-ICON: - Integrated Science to Inform Antarctic and Southern Ocean Conservation

- (INSTANT SRP) 남극이 해수면 변화에 기여하는 문제에 대한 대응으로서 과거에 대기, 해양 및 크라이오스피어 간의 상호작용이 빙하에 어떻게 영향을 미쳤는지와 미래에는 어떤 변화가 있을 것인지에 대한 지구과학, 물리학 및 생물학적인 측면을 포함함

* INSTabilities and Thresholds in ANTarctica

□ 남극 내륙과 관련한 의제 또는 연구(국제공동프로젝트) 현황

(1) SCAR 과학 및 연구 프로그램

○ SCAR는 남극 지역에서 수행된 과학 연구와 지구 시스템에서 남극 대륙의 역할에 대한 국제 협력을 수행하며 다양한 프로그램을 운영함

- 상설 과학 그룹(SGs, permanent Science Groups), 프로그램 계획 그룹(PPGs, Programme Planning Groups), 전문가 그룹(EGs, Expert Groups) 및 작업 그룹(AG, Action Groups), 자문 그룹 및 다른 조직과 공동 후원하는 그룹 등을 통해 수행됨

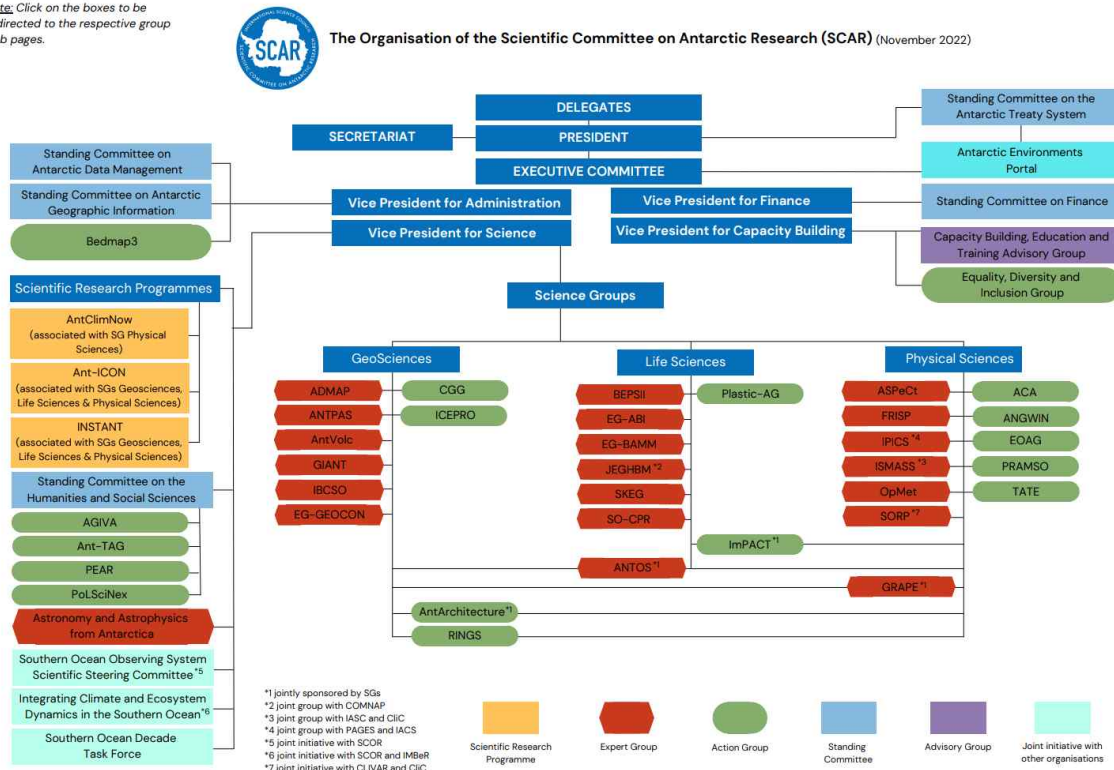
<SCAR 연구 그룹>

No	미래연구방향
상설 과학 그룹 (SGs)	• 지구과학(GeoSciences), 생명과학(Life Sciences), 물리과학(Physical Sciences)으로 영역의 다음과 같은 분야를 담당함 • 국가 남극 프로그램에 의해 수행되는 분야별 과학 연구에 대한 정보 공유 • 현재 연구가 부족한 연구 분야 또는 분야 파악 • 최대의 과학 및 물류 효과를 달성하기 위해 국가 남극 프로그램에

	의한 향후 연구 제안을 조정 • SCAR 과학 연구 프로그램에서 가장 잘 조사할 수 있는 연구 영역 또는 분야를 식별하고 집행 위원회에 대한 공식 제안을 개발하기 위해 과학 프로그램 계획 그룹을 구성 • 분야 내에서 특정 연구 주제를 다루기 위한 행동 및 전문가 그룹을 설립
프로그램 계획 그룹 (PPGs)	• 커뮤니티와 협의를 통해 과학 연구 프로그램(SRP)을 개발하고 제안하는 수단이며 현재 추가 프로그램 계획 중
전문가 그룹(EGs) 및 작업 그룹(AGs)	• SCAR의 특정 관심 주제를 다루기 위해 개별적으로 또는 공동으로 상설 과학 그룹에 의해 설립됨 • 작업 그룹은 특정 문제 하나를 다루며 일반적으로 2-4년 사이 단기적으로 수행되며, 전문가 그룹은 갱신 옵션과 함께 6-8년의 기간동안 수행될 수 있음
상임 위원회 (Standing Committee)	• SCAR가 임무를 완수하도록 돕기 위해 영구적인 성격의 진행 중인 업무를 처리함 • 인문사회상임위원회(SC-HASS, Standing Committee on Humanities and Social Sciences), 남극 데이터 관리 상임위원회(SCADM, Standing Committee on Antarctic Data Management), 남극지리정보상임위원회(SCAGI, Standing Committee on Antarctic Geographic Information), 남극조약체제 상임위원회(SCATS, Standing Committee on the Antarctic Treaty System)로 구성

출처: SCAR 홈페이지, <https://www.scar.org/>

Note: Click on the boxes to be redirected to the respective group web pages.



<SCAR 조직도>

- 크게 4개의 주요 연구 분야로 나뉘어 연구가 수행되고 있으며 과학 연구 프로그램(SRPs, Scientific Research Programmes) 운영

- 과학 연구 프로그램(SRPs)은 우선 순위가 높은 주제 영역에 노력을 집중하기 위해 3개의 상설 과학 그룹에 의해 설립되었고 약 8년의 기간 동안 수행되며 현재 SRP 프로그램은 2028년까지 계속됨

<SCAR 주요 연구 프로그램>

분야	연구 그룹	주요 연구 내용
지구과학	남극과 남극 해양 보존을 위한 통합 과학 (Ant-ICON)*	• 남극과 남극 해양 보존 및 관리와 관련된 기초 과학 질문 해결 • 국제적인 의사결정과 정책 변화 추진 및 홍보 관련 연구에 초점
	남극의 불안정성과 한계점 (INSTANT)*	• 과거와 미래의 지구 해수면 변화에 대한 남극 빙하의 기여도 정량화
	남극 디지털 자기 이상 지도 프로젝트 (ADMAP)	• 기존의 모든 남극 지표 및 위성 자기 이상 데이터의 디지털 데이터베이스 통합
	AntArchitecture	• 레이더 사운드에 의해 측정된 내부 층 및 표면 이미지를 활용한 age-depth 모델 개발 및 과거 빙하 주기 동안의 남극 빙하 안정성 측정
	남극 근해 및 육상 관측 시스템 (ANTOS)	• 생물학적으로 집중, 통합된 남극 전역 관측 시스템 설립을 통한 환경적 변동성 및 생물학적 관련 규모 변화 식별 및 추적 • 생물학, 물리 및 지구과학 연구를 위한 정보 제공
	남극 영구 동토층, 토양 및 주변 환경 (ANTPAS)	• 남극 영구 동토층과 토양에 대한 국제적으로 통합된 모니터링 시스템 및 웹 기반 데이터베이스 개발
	남극 화산 (AntVolc)	• 남극 화산 연구 및 지역적 상호관계 촉진 • 암석학 및 빙하 화산학뿐만 아닌 화산 과정을 연구하기 위한 높은 인지도를 가진 장소로 남극 대륙을 확고히 하고자 함
	지질학과 지구물리학의 연결 (CGG)	• 지질 지도 개선, 곤드와나/로디니아 내 인접 대륙과의 연결 개선 및 지하 복구에 적합한 드릴 사이트 식별을 위해 선형구조 혹은 외관상의 지각 블록 경계가 노두와 교차하는 가장 우선순위 높은 영역 식별
	남극지질기반시설 (GIANT)	• 남극 대륙 전체의 측지학적 인프라 개발을 감독함으로써 물리적 과정의 모니터링을 용이하게 하고 지구 항법 위성 시스템, 중력계 및 해수면 변화를 모니터링하기 위한 조수 측정기 등 다양한 인프라 조정 지원
	지질유산과 지구보존 (Geoconservation)	• 남극 내에서 지질 및 지질학적으로 중요한 지역에 대한 연구, 보호 및 지속적인 관리를 위한 행동강령 개발
	남극 지질 지도 업데이트	• 빙하 역학 및 기후 변화 연구를 뒷받침하기 위한 암석 및 표면 축적 정보를 GIS 프레임워크로 수집하기

생명과학	(GeoMap)	위한 국제적 노력 촉진
	지구항법위성 시스템 극지 환경 연구 및 응용 (GRAPE)	데이터 공유 및 모델 개발을 통해 고위도 및 극지방에서의 다양한 날씨, 우주 날씨관련 요구 해결을 위한 국제 협력 네트워크 구축 및 강화
	남극해양의 국제 수심 측정 차트 (IBCSO)	남위 60도 이남지역의 수심 측정 자료를 포함한 디지털 베이스 설계 및 구현을 통해 국제적으로 일관된 수심 측정 차트 설계
	해빙에서의 생지화학적 교환과정 (EPSII)	- 해빙 생물지질화학에 관한 국제 공동체 개발 및 지원과 실험 수행자와 모델 개발자간의 상호작용 촉진 - 연구 우선순위 명확화 및 국제적으로 제한된 시간 자원 내에서 활용 가능한 비용 효율적이고 최적화된 접근법 확립
	남극생물다양성정보학 (EG-ABI)	SCAR 생물다양성 과학 포트폴리오 전반에 걸친 다양한 프로젝트 조정 및 참여를 통한 생물다양성정보학 적용 및 개발 촉진
	조류와 해양 포유류 (EGBAMM)	남극 해양과 지구 생태계에서의 조류 및 해양 포유류의 역할 정량화 연구 지원을 위한 전문 지식 및 연구 리더십 제공
	영구유기오염물질의 남극 유입경로 (ImPACT)	- 남극 지역으로의 화학 물질 유입에 대한 공동 조사 촉진 - 독성 환경 오염물질의 유입 경로 감시
	아남극 통합과학 (ISSA)	- 과거 및 현재 아남극 지역 과학에 대한 포괄적인 개요 제공 - 국가 우선순위, 강점, horizon scan 질문을 기초로 현재 및 미래 연구를 위해 시급한 과학 질문 식별 - 신진 연구진들을 포함하여 전 지역에 걸친 연구 네트워크 개발
	인간 생물학 및 의학 (JEGHBM)	남극의 생물 의학 연구뿐만 아니라 남극 활동에 대한 의학 지원에 적극적으로 참여하고 있는 의사, 심리학자, 인간 생리학자, 생물학자의 지식과 국제적 경험 조율
	극지 환경에서의 플라스틱 (Plastic in Polar Environments)	- 매크로, 마이크로 및 나노 플라스틱의 존재, 기원 및 생물학적 영향 검토 및 문제 규모 정량화 - 플라스틱이 극지 생태계에 미치는 환경 위험과 영향을 최소화하기 위한 솔루션 제안
	새와 동물의 원격탐사 (Remote Sensing of Birds and Animals)	인공위성 기반의 남극 전역 원격 감지 접근 방식 개발을 통한 조류 및 동물 개체 수 모니터링
	SCAR 크릴 활동 그룹 (SKAG)	크릴 생물학 및 생태에 대한 이해를 높이기 위한 연구 방향 설정, 협업 촉진 및 정보 교환의 장 제공
	남극 해양의 연속 플랑크톤 기록 데이터베이스	- 남극 해양에서의 연속 플랑크톤 기록기 연구 개발 및 확장 지원 - 데이터의 품질 보증 및 품질 관리에 중점

물리과학	(SO-CPR)	
	남극해양 기후 및 생태 역학 (ICED)	남극해양에서의 기후 상호작용, 생태 역학에 미치는 영향, 생지화학적 순환에 대한 영향 및 지속 가능한 관리 절차의 개발 이해도 향상을 위한 통합된 극지방 근 접근 방식 개발
	근 미래 변동성 및 남극 기후 시스템 예측 (AntClimNow)*	물리적 과정뿐만 아니라 남극 환경 전체를 고려한 근 미래(수년~수십 년) 기후 예측
	남극 기후변화 및 환경 (ACCE)	- 기후변화에 따른 남극 및 남극 해양의 물리적 환경 변화 관련 연구 검토 - 기후변화가 남극지역의 육상, 해양 생태계에 미치는 영향 관련 연구 검토
	남극 구름 및 에어로졸 (ACA)	항공기 관측과 동시에 집중적인 지상 관측이 이루어지는 특별 관측 기간을 통한 국제적인 대규모 남극지역 구름 및 에어로졸 조사 캠페인 구성
	남극 중력과 측정 네트워크 (ANGWIN)	각 국에서 운영 중인 남극 중력과 관측소 네트워크 구성을 통한 과학적 협력 촉진
	남극 해빙과정 및 기후 (ASPeCt)	집중적이고 지속적인 실제 관측, 원격 탐사, 수치 모델링 등을 통한 남극 해빙 지역 이해도 향상
	지구 관측 (EOAG)	- 남극 및 남극해양 지역 위성자료 수집 - 기후 변수 측정을 위해 필요한 관측 종류 및 장기적인 관측 데이터 보존을 위한 방안 권고
	빙봉 공정 연구포럼 (FRISP)	해수면 변화에 대한 빙판 기여에 핵심인 빙봉의 행동을 지배하는 빙하학적, 해양적, 대기학적 과정에 대한 연구 커뮤니티 조직 편성
	빙상 질량 균형 및 해수면 (ISMASS)	빙상 질량 균형 및 해수면에서의 기여도 측정에 관한 국제적인 연구 협력 촉진
	빙핵 과학 국제협력 (IPICS)	과거 기후 및 환경 정보 제공을 위한 빙핵 관련 과학자, 기술자 등의 국제적인 협력 장려
	남극 기상학 (OpMet)	남극지역에서의 기상학적 관측 모니터링 촉진을 위해 남극기상관측, 모델링, 예측 그룹 등 남극의 기상학 분야에서 활동하는 조직 간의 연계성 확립 및 육성 장려
	빙상의 가장자리 (RINGS - ice sheet margin)	- 남극 가장자리의 빙상 두께에 대한 최근 정보 수준 명확화 - 관련 지식 향상을 위해 활용 가능한 새로운 데이터 영향 평가
	남극지역의 눈 (SnowAnt)	남극 지역 눈의 퇴적 및 변성 과정에 및 기후 시스템에 대한 피드백 이해
	남극 해양 지역 패널 (SORP)	남극 해양에서의 기후 변동성 이해를 위한 논의 및 소통의 장 마련

	열대-남극 원격관계 (TATE)	열대 지역과 남극 지역이 연관된 기후 현상 분석
인문사회과학	코로나19 바이러스가 남극에 미치는 영향 (The impact of COVID-19 on Antarctica)	- 코로나 19 바이러스가 남극 연구와 연구진들에게 미치는 영향 - 지속적인 전염병 대유행이 남극의 운영 및 거버넌스에 미치는 영향
	남극의 본질적 가치 (AGIVA)	남극의 본질적인 가치를 보호해야 한다는 마드리드 프로토콜의 분명한 이해를 위하여 남극의 본질적 가치에 대한 광범위한 문화적 이해 개발
	남극 환경 관리 (EN-AQ)	남극의 환경 정책 수립 과정에서 인간의 가치가 미치는 영향에 대한 미래 연구 방향 설정을 위한 방법론적 기반 마련
	남극 연구에 대한 대중 참여 (PEAR)	남극 과학 및 연구에의 공공 참여에 대한 학문적 연구 촉진
	남극의 복원력 및 과학기반의 의사결정 미래 (Action Group on PoLSciNex)	현재 남극 거버넌스 내에서의 정책-법률-과학 결합관계를 분석하고 실질적인 의미를 명확히 함으로써, 이해당사자들에게 남극 관련된 과학 기반의 의사결정 운영과정에 대한 정보 제공

출처: SCAR 홈페이지, <https://www.scar.org/>

- SCAR는 과학 연구 프로그램(SRPs)을 통해 우선 순위가 높은 주제 영역에 대해 2020년에 세 개의 새로운 프로그램이 집행위원회에서 승인하였으며 2021년 1월에 공식적으로 시작됨
- 향후 몇 개월과 몇 년 동안 프로그램 기획 그룹(PPGs)에 의해 더 많은 SRPs가 개발되고 제안될 수 있으며, 이는 하나 이상의 영구적인 학문적 과학 그룹(SGs)에 의해 지원될 것임

<SCAR SRPs Agenda>

No	미래연구방향
상설 과학 그룹 (SGs)	- 지구과학(GeoSciences), 생명과학(Life Sciences), 물리과학(Physical Sciences)으로 영역의 다음과 같은 분야를 담당함 - 국가 남극 프로그램에 의해 수행되는 분야별 과학 연구에 대한 정보 공유 - 현재 연구가 부족한 연구 분야 또는 분야 파악 - 최대의 과학 및 물류 효과를 달성하기 위해 국가 남극 프로그램에 의한 향후 연구 제안을 조정 - SCAR 과학 연구 프로그램에서 가장 잘 조사할 수 있는 연구 영역 또는 분야를 식별하고 집행 위원회에 대한 공식 제안을 개발하기 위해 과학 프로그램 계획 그룹을 구성 - 분야 내에서 특정 연구 주제를 다루기 위한 행동 및 전문가 그룹을 설립

프로그램 계획 그룹 (PPGs)	커뮤니티와 협의를 통해 과학 연구 프로그램(SRP)을 개발하고 제안하는 수단이며 현재 추가 프로그램 계획 중
전문가 그룹(EGs) 및 작업 그룹(AGs)	- SCAR의 특정 관심 주제를 다루기 위해 개별적으로 또는 공동으로 상설 과학 그룹에 의해 설립됨 - 작업 그룹은 특정 문제 하나를 다루며 일반적으로 2-4년 사이 단기적으로 수행되며, 전문가 그룹은 갱신 옵션과 함께 6-8년의 기간동안 수행될 수 있음
상임 위원회 (Standing Committee)	- SCAR가 임무를 완수하도록 돕기 위해 영구적인 성격의 진행 중인 업무를 처리함 - 인문사회 상임위원회(SC-HASS, Standing Committee on Humanities and Social Sciences), 남극 데이터관리 상임위원회(SCADM, Standing Committee on Antarctic Data Management), 남극지리정보 상임위원회(SCAGI, Standing Committee on Antarctic Geographic Information), 남극조약체제 상임위원회(SCATS, Standing Committee on the Antarctic Treaty System)로 구성

출처: SCAR 홈페이지, <https://www.scar.org/>

3) 남극프로그램국가운영자위원회(COMNAP*)

* Council of Managers of National Antarctic Programs

□ 개요

- 남극에서 연구 활동을 추진하고 있는 국가 간의 활발한 정보 교환 및 협력 강화를 위하여 1988년 설립된 국제 협회로써, 남극에서의 연구 활동 지원 관리에 대한 모범 사례를 구축하고 장려하는 역할
 - 국가 남극 프로그램은 각자의 정부를 대신하여 남극 조약의 정신에 따라 남극 조약 지역에서 과학 연구를 제공하고 지원할 책임이 있음
 - COMNAP의 비서국은 뉴질랜드의 크라이스트처치에 위치해 있으며 COMNAP은 남극조약 체제의 연례 남극조약협의 당사국회의(ATCM, Antarctic Treaty Consultative Meeting)에서 관찰자(Observer)로서의 지위

□ 최근 현황

(1) 제34차 남극프로그램국가운영자위원회 연례회의

- COMNAP는 2022년 연례 총회를 가상 온라인 회의로 개최되었으며 총 36개 COMNAP 회원 및 관측기구, 그리고 4개의 초청 이해 관계기관으로부터 266명의 대표가 온라인 총회 등록
 - 비즈니스(전체회의) 세션에서는 국립극지식정보캐나다(Polar Knowledge Canada)를 주제로 하는 캐나다의 국립 남극 프로그램이 COMNAP 회원으로 승인
- 지역별 분과 세션에서는 각 국가의 남극 프로그램이 2022/2023 남극 연구 시즌을 위한 시즌 전 정보를 교환함

- 대부분의 프로그램은 과학 및 과학 지원 활동을 이전의 유럽적 수준으로 복귀할 의향 확인
 - 환경 성능을 향상시키기 위한 고령화된 시설의 현대화를 위한 대규모 프로젝트가 계속될 것이며 고대 얼음 코어 회수 등의 심연 과학 프로그램을 지원하기 위한 육상 횡단 작업이 계획됨
 - 새로운 아이스브레이커 계급의 연구선에 관련된 고급 기능을 갖춘 여러 프로그램이 해양 연구의 가능성을 크게 향상시킴
- 2022/2023 남극 시즌에서 팬데믹으로 인한 프로그램 프로토콜 수립 및 전 세계적인 공급망 문제와 연료 가격 상승을 도전과제로 인식함
- 세계적인 COVID-19 팬데믹으로 인해 프로그램은 원정원의 안전과 건강을 위한 프로토콜을 준비하고 유연하게 실행할 수 있도록 대비하여야 함
 - 해당 프로토콜은 인간 생물학 및 의학 공동 전문가 그룹 및 COMNAP COVID-19 특별 위원회의 자문을 통해 결정됨
 - 전 세계적인 공급망 문제와 연료 가격 상승은 남극 연구에 영향을 미치는 지속적인 도전 과제로 6개의 지역별 분과 세션(반도, 로스해, 동남극, 라스만 힐즈 관리 그룹, 드로닝 모드 랜드, 고원)에서 이러한 문제를 공동으로 논의하고 대응 방안을 모색
 - 국가별 남극 프로그램은 협력을 통해, 육지, 해양 및 대기 환경을 포함한 남극의 모든 지역으로부터 중요한 세계적 데이터를 제공하기 위한 국제적 노력을 적극적으로 지원하고 조정함
- COMNAP 회원 프로그램은 7개의 주제별 전문 그룹 포럼에서 자유롭게 전문 지식을 공유하고 발전시켜 나가고 있음
- 안전, 항공 운영, 해양 플랫폼, 환경 보호, 중요한 기술, 교육 및 홍보, 과학 지원, 교육, 다양성 및 포용성, 인간 생물학 및 의학 등의 분야 포함
 - 2022년 COMNAP 남극 항공 워크숍의 결과를 바탕으로 한 COMNAP 작업 논문을 통해 남극 조약 협의회(ATCM) XLIV에 항공 안전에 대한 조언을 제공하였고 ATCM이 ‘ATCM 결의 3 (2022) 남극 항공 안전 ‘에 통합됨
 - 긍정적인 변화에 기여하고 남극 대륙에서 일하는 모든 사람이 안전하고 존중받으며 환영받는다고 느끼도록 하기 위해 “멤버십 내에서 다양성의 힘을 환영합니다”라는 정책 초안 승인
 - 효율성 태스크포스 프로젝트와 지진, 쓰나미 및 화산 활동 인식 프로젝트 개선

□ 남극 내륙과 관련한 의제 또는 연구(국제공동프로젝트) 현황

(1) 프로그램

- COMNAP 회원 국가 남극 프로그램은 ATCM과 환경보호위원회를 지원하기 위해 실용적·기술적이며 정치적이지 않은 조언을 개발하고 전달하는 역할 수행

<COMNAP 프로젝트>

구분	내용
COMNAP 자산 추적 시스템 (CATS)	- COMNAP 자산 추적 시스템(CATS)은 국가별 남극 프로그램 선박 운영 및 능력에 관한 정보 교환을 위한 선택적이고 자발적인 시스템으로 국가별 남극 프로그램들 간, 다른 운영자 및 이해관계자들과의 협력을 원활하게 도모 - CATS는 위치 업데이트를 위해 이메일을 보내지 않아도 되며 한 번 설정하면 위치 정보를 선박뿐만 아니라 항공기에서도 자동으로 획득함
COMNAP 데이터베이스	- 미국 극지지리정보센터(US Polar Geospatial Center), 미국 국립과학재단 극지사무소(National Science Foundation Office of Polar Programs) 및 COMNAP 회원 국가별 남극 프로그램이 참여 - COMNAP 비서국은 이 데이터베이스를 사용하여 ATOM과 AFIM 등의 정보 제품을 생산하며, 데이터베이스의 일부 항목은 남극조약비서국과 구조조정센터와 공유됨
COVID-19 발생 예방, 완화 및 대응 관리	COVID-19 세계 대유행 기간 중 위험을 식별하고 대응하는 맥락에서 회원들을 위한 대비 및 대응 지침을 개발
지진, 쓰나미, 화산 활동에 대한 인식 프로젝트	- 남극 시설에서의 지진, 쓰나미 및 화산 활동과 관련하여 비상 계획과 피난처의 일반적인 상황을 평가하고 “자연재해 위험 평가 프로그램의 시행 정도” (ATCM 결의 7 (2021), 2항)를 평가 - 지진, 쓰나미, 화산 활동 인식 프로젝트 제안 - 추가적인 목표는 특히 반도 지역에 초점을 맞춘 지진 감시를 위한 지역 네트워크를 논의하는 COMNAP 기술 협력 그룹을 구성하는 것임
효율성 태스크포스: 반도	남극 반도 지역의 물류 최적화
수색 및 구조(SAR) 및 구조 조정 센터(RCC)	브뤼셀의 ATCM XXXVI/CEP XVI 결의안 4(2013)에서 권장하는 대로 수색 및 구조(SAR) 및 구조 조정 센터(RCC)에 대한 최신 정보를 유지

출처: COMNAP 홈페이지, <https://www.comnap.aq/projects>

(2) 남극로드맵 도전 프로젝트(ARC*)

* Antarctic Roadmap Challenges

- 향후 20년간 남극의 주요 과학 주제들을 수행하기 위한 필수 요소들을 명확히 하고자 수행
 - SCAR Horizon Scan을 통해 온라인 설문조사, 전문가 초청 회의, 동료 심사(peer-review) 등을 통한 남극과학연구 참여 제고 방법 도출

<SCAR Horizon Scan 주요 연구 클러스터>

주요 과제
- 주요 기술들의 개발과 접근성 - 필수적이고 훌륭한 물류 역량 제공 - 지리적 접근성을 제공하기 위한 인프라 운영 지원 - 국제 협력과 파트너십 증진 및 이를 위한 새로운 모델 개발 - 다양한 에너지 수요를 충족시키기 위한 전략 개발

- 안정적이고 지속가능한 경제적인 지원 확보
- 필수적 인적 자원 개발 및 확보

<남극로드맵 도전 프로젝트 4개 주요 과제>

주요 과제

- 도전 과제 1: 비상한 물류 요구 및 접근
- 도전 과제 2: 기술
- 도전 과제 3: 인프라 및 접근
- 도전 과제 4: 국제 협력

출처: COMNAP 홈페이지, <https://www.comnap.aq/antarctic-roadmap-challenges-arc>

- 공통 수요 기술 도출

- 장기간 동안 대륙/해양에서 견디며 상호정보 교환 및 자율운영이 가능한 확장 관측 시스템
- 고성능의 발전된 데이터 분석 및 계산 능력
- 센서와 관측 범위 등이 발전되어 종합적이고 전반적으로 지역의 측정이 가능한 강화된 인공위성의 관측 능력
- 다수의 하위 시스템 모델과 관측결과를 종합하여 다양하게 분석한 개선된 종합 지구시스템 모델
- 현장 관측, 유지 등의 기술뿐만 아니라 원격/자율 관측을 위한 실측을 포함한 향상된 샘플 검색 기술

- 분야별 수요 기술 도출

- 대기과학 : 튼튼한 센서와 무인 배치가능 기술을 포함한 관측 센서 및 원격 기상 관측 기술
- 해양학 : 관측의 자동화/정박플랫폼 의존도 완화 및 고효율 관측 기술
- 빙상과 해수면 : 직접 관측한 방대한 자료들을 종합하여 미래 빙하 변화 예측이 가능한 모델 개발
- 남극 빙하 아래의 지구 : 빙하 시추, 퇴적물 샘플링, 해저 시추 등의 기술
- 생명과학 : 생명시스템의 기능을 유전학적으로 분석하기 위한 관측 및 센싱 기술
- 지구 주변 공간 관측 : 무인으로 원거리까지 이동하여 극한 환경을 견뎌내며 다양한 지구 물리학적 현상들, 대류권 등의 지구 바깥을 관측하는 기술
- 정보 접근 : 과학연구를 통해 얻는 기술, 정보들에 대한 접근 기술

4) 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR*)

* Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources

□ 개요(국제 거버넌스 소개)

- 남극 주변해역을 관할구역으로 하여 남극해양생물, 남극과 인접한 해양 생태계 환경 보

존 및 합리적 이용을 위해 1982년 국제 협약에 의해 설립된 국제기구

- 1977년에서 1980년까지 3년에 걸친 남극조약 협의당사국의 특별회의 결과로 1980년 5월 '남극 해양 생물 자원의 보존에 관한 협약*'이 체결되었고, 1982년 5월 정부간 국제 기구로 출범

* 남극의 평화적인 이용, 국제 협력, 영토권의 동결 등을 규정함과 동시에 남극지역 생물 자원 보존에 대한 조치를 취함

- 남극조약 체제의 연례 남극조약협의 당사국회의(ATCM)에서 관찰자 지위
- 호주 호바트에 본부가 있으며 남극 해양 생물과 생태계에 대한 조사 및 연구, 국제감시제도운영 등의 업무를 수행하고 있음

○ 남극해양생물자원의 보존에 관한 협약의 시행기관으로 남극해양생물자원의 보존 및 합리적 이용을 위한 국제협력, 자원에 대한 과학적 조사 및 국제 감시제도의 운영을 목적으로 함

- 남극해에서 급속히 증가하고 있는 남극 크릴새우(남극해 크릴새우)를 포획하는 상업 조업에 대응하기 위함
- 생태계 기반 관리 접근 방식으로 1989년에 생태계 모니터링 프로그램(CEMP)을 설정하여 해당 지역의 어획과 수중 수확의 영향을 추가로 모니터링 중이며 다른 구성 요소들에 대한 어업의 영향을 고려하고 지속 가능한 방식으로 수확되는 한 어업을 배제하지 않음

○ CCAMLR은 매년 다양한 주제로 1982년부터 매년 CCAMLR 위원회와 과학위원회(SC-CAMLR)의 연례 회의가 호바트 호주에서 개최됨

- 동시통역을 이용하여 CCAMLR의 네 가지 공식 언어(영어, 프랑스어, 러시아어, 스페인어)로 진행되며 보고서도 네 가지 언어로 출판하여 공개함

□ 최근 현황

(1) 제40차 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR) 주요 내용

- 제40차 남극해양생물자원보존위원회 회의에서 설립 40주년을 맞이해 남극해 해양환경 및 생물 보존, 불법·비보고·비규제 어업 근절, 과학 조사를 위한 국제 협력 강화, 기후변화 대응 등의 내용을 담은 공동 선언문 채택
 - 남극 해양생물 및 해양환경 보호를 위한 CCAMLR의 역할 강화 노력
 - 남극 해양보호구역 확대 지정, 기후변화 대응, 회원국의 준법·이행 검토 등 중점적 논의
 - 새로운 해양 보호 지역(MPA) 개발을 위한 다양한 제안 및 내년에 이 문제에 대한 고려를 진전시키기 위한 프로세스 동의
- 과학 위원회는 크릴새우 어업 관리에 대한 새로운 접근 방식의 과학적 작업이 완료되는 동안 크릴새우 어획량에 대한 하위 지역 제한(Convention Measure 51-07)을 1년 연장
- 위원회는 체약당사국의 보존 조치 준수가 전반적으로 높은 수준에 있다고 언급하고

CCAMLR 과학 장학금 프로그램을 포함하여 역량 구축에 대한 지속적인 지원 승인

(2) 제41차 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR) 주요 내용

- 제41차 남극해양생물자원보존위원회는 2022년 10월 신규회원으로 가입한 에콰도르를 환영하며 27개 국제 대표단이 참석하여 남극 해양 생태계를 보전하고 관리하기 위한 현재의 관행을 검토하고 새로운 조치를 논의함
- 세계적인 기후 변화가 남극과 그 주변 해양에 직면한 가장 큰 도전 중 하나임을 인식하고 새로운 기후 변화에 대한 결의안을 채택
 - 결의안은 협약 지역에서 긴급한 조치를 취하는 중요성을 강조하며 CCAMLR의 과학 작업 그룹들은 모든 조언에서 기후 및 환경 변화의 영향을 고려해야 함
- 위원회는 새로운 해양 보호구역(MPA) 개발을 위한 세 가지 제안을 접수하였으며 이를 진행하기 위해 2023년 상반기에 칠레에서 특별 회의를 개최하기로 함
- 남극 반도 주변 관리에 대한 종합적인 접근 방식을 진전시키기 위한 작업 계획을 논의하였으며 남극 주변 수역에서 어업과 해양 포유류 및 해조류에 미치는 영향에 관한 새로운 자료 수집 프로토콜 합의
 - 잠재적인 신규 어획 한도, 해당 지역에 대한 MPA 제안 및 크릴 어업을 위한 새로운 과학적 모니터링, 자료 수집 및 관리 접근 방식을 고려함
 - 위원회는 이 작업이 진행되는 동안 크릴 어업 어획에 대한 현재 하부지역 제한(보전 조치 51-07)을 1년 더 연장함
 - 남극 주변 수역에서 어업이 해양 포유동물과 해조류에 미치는 영향은 계속해서 감소하고 있으나 인과 요인과 완화 조치를 더 잘 이해하기 위해 새로운 자료 수집 프로토콜이 합의됨
- 과학위원회는 크릴 어업의 관리에 대한 과학적 근거를 발전시켰으며 크릴의 분포와 풍부성, 그리고 포식자와 생태계의 요구사항을 고려한 수정된 접근 방식을 제시함
- 위원회의 준수평가는 계약 당사자들에 의한 보전 조치의 전반적인 준수 수준이 높다는 결과 도출
 - 준수 모니터링 및 불법, 보고되지 않은 어업에 대항하기 위한 능력을 향상시킬 수 있는 몇 가지 보전 조치를 개선함
- 새로운 4년간의 전략 계획을 승인했으며, 과학위원회는 2023년부터 2027년까지의 작업에 대한 전략적 우선 순위를 합의함

□ 남극 내륙과 관련한 의제 또는 연구(국제공동프로젝트) 현황

(1) 프로그램

- (과학위원회) CAMLR 협약이 발효되었을 때 과학위원회(SC-CAMLR)가 설립되었으며 위원회의 모든 구성원은 과학위원회의 구성원임

- 과학 위원회는 수확 수준 및 기타 관리 문제에 대해 이용 가능한 최상의 과학적 정보를 위원회에 제공하며 CCAMLR 회원 국가 프로그램의 연구 결과를 고려
 - CCAMLR은 남극해의 효과적인 관리에 필요한 데이터를 수집하기 위해 다음과 같은 여러 프로그램을 수립
- (CCAMLR SISO) 국제 과학적 관찰 체계(CCAMLR Scheme of International Scientific Observation)로서 대상 개체군과 관련 종 및 종속 종의 상태를 포함하여 어업이 생태계에 미치는 영향을 평가함
- 협약 제24조에 따라 1992년에 채택되었으며 완화 조치의 효과에 대한 데이터를 수집하여 어업이 생태계에 미치는 영향을 줄이기 위한 접근 방식을 개발하는 데 중요한 역할
 - CCAMLR 어장에서 조업하는 모든 선박은 모든 조업 작업에 관찰자를 동반해야 함
 - 관찰자는 어구 구성(바닷새 및 해양 포유류의 우발적 폐사를 줄이기 위한 조치 포함), 어업 작업(어획 구성 포함), 목표 종 및 부수 종의 생물학적 측정, 물고기 꼬리표 부착 및 꼬리표 재포획 세부 정보, 선박 목적에 대한 정보를 기록
 - 취약한 해양 생태계 지표에 대한 데이터. 이 모든 데이터는 관찰자가 연승, 트롤(어류 및 크릴) 및 통발(게 및 어류) 어업을 위해 설계된 표준화된 일지 형식으로 CCAMLR 사무국에 제출함
 - 사무국은 회원국이 지정한 국가 기술 코디네이터 네트워크를 통해 계획의 구현을 조정함
 - CCAMLR 회원이 관측 프로그램을 계획하고 데이터를 기록하는 데 도움을 주기 위해 사무국은 과학 위원회, 실무 그룹 및 현장 관찰자와 협의하여 과학 관찰자 매뉴얼을 개발하였으며 매뉴얼에는 포괄적인 범위의 과학적 관찰 지침과 참조 자료가 포함되어 있음
- (CEMP) 생태계 모니터링 프로그램(CCAMLR Ecosystem Monitoring Program)로서 1989년 설립되어 종속 종에 대한 어업의 영향에 대한 정보를 제공함
- CAMLR 협약 제2조에 반영된 '생태계 접근법'에 따라 남극 해양 생물 자원의 상업 어업을 관리하기 위해서는 어획 종(목표 종)뿐만 아니라 의존 종 및 연관 종에 대한 어업의 영향을 고려해야 함
 - (CEMP 목표) 다음 두 가지 목표를 기반으로 진행함
 - 협약 지역 내 해양 생태계의 중요 구성 요소에서 중대한 변화를 감지하고 기록함으로써 남극 해양 생물 자원 보전의 기초로 활용
 - 상업 종 어획과 환경적 변동(물리적 및 생물학적)으로 인한 변화를 구분
 - (CEMP 주요 기능) 선택된 의존 종의 주요 생애 역사 매개변수를 모니터링하여 어획 종의 풍부도 변화를 감지하는 것임
 - '의존 종'은 상업 어업의 대상 종이 그들의 식이의 주요 성분인 해양 포식자입니다. CEMP에서 사용되는 '크릴 의존 종'의 경우, 표범과 펭귄과 같은 육지 기반 종을 포함

- (CEMP 지표) CEMP 프로그램에 사용되는 지표 종은 다음과 같음
 - 아델리펭귄(Pygoscelis adeliae)
 - 턱끈펭귄(P. antarctica)
 - 젠투 펭귄 (P. papua)
 - 마카로니 펭귄 (Eudyptes chrysolophus)
 - 검은눈썹알바트로스(Thalasarche melanophrys)
 - 남극 제비 (Thalassoica antarctica)
 - 케이프 제비꽃 (Daption capense)
 - 남극물개(Arctocephalus gazella).
 - 게잡이바다표범(Lobodon carcinophagus)과 같은 일부 크릴새우 종속 종은 크릴 가용성의 변화에 대응할 가능성이 있는 것으로 간주되지만 유빙에 서식하므로 반복/연간 모니터링이 불가능하기 때문에 모니터링에 사용되지 않았음
- (CCAMLR 과학 장학금 제도) 2010년에 CCAMLR은 CCAMLR 과학 장학 제도를 설립하여 초기 경력 과학자가 과학 위원회 및 작업 그룹의 작업에 참여할 수 있도록 지원함
- (CCAMLR 데이터) 데이터 센터는 위원회 결정의 구현 및 모니터링을 지원하는 데이터임
 - CCAMLR의 과학 위원회, 전문 그룹 및 과학자 커뮤니티, 자원 관리자, 어업 담당자 및 정책 입안자가 사용
 - CCAMLR 데이터는 표준 양식으로 제출되며 다음의 데이터를 포함
 - 협약 지역의 어업
 - 어선에서의 과학적 관측
 - 연구 조사 및 생태계 모니터링
 - 준수 활동 및 절차
 - 일부 CCAMLR 데이터는 공개 도메인에서 무료로 사용할 수 있으며 취약한 해양 생태계(VMEs, Vulnerable Marine Ecosystems) 및 위험 지역 등록, 통계 게시판에 매년 게시되는 어업 및 무역 요약이 포함됨
 - 항해 황혼 계산기(Nautical twilight calculator), 태그 중첩 계산기(Tag overlap calculator), 어종 평가 모델(Stock assessment models) 등 공통 소프트웨어 도구와 분석 애플리케이션을 유지 관리함
- 남극해 보호 방안 중 하나로써, 해양보호구역* 네트워크 지정 및 관리
 - * 해양보호구역(Marine Protected Area, MPA): 해양생물과 생태계 보호를 목적으로 인간의 특정 활동을 제한하는 보호 구역
 - 해양보호구역 내 특정 활동은 특정 보전, 서식지 보호, 생태계 모니터링 또는 어업 관리 목표를 달성하기 위해 제한되거나 완전히 금지됨

- 해양보호구역은 다목적 지역으로 어업이 허용되거나 다른 용도로 허용될 수도 있기 때문에 어업이 가능한 지역과 제한된 지역과의 상대적 영향에 대하여 과학자들이 기후 변화의 영향을 포함하여 해양 생태계의 전반적인 상태와 건강에 영향을 미치는 변수의 범위를 이해하는 데 도움이 될 수 있음
- CCAMLR 회원들이 남극해의 여러지역에서 해양보호구역을 제안하면 CCAMLR의 과학 위원회 및 위원회에서 검토, 동의하여 진행됨
 - 발효된 최초의 CCAMLR 해양보호구역이자 세계 최초의 국제 해양보호구역은 South Orkney Islands 남부 대륙붕 해양보호구역이며 이며 2016년에는 로스해 지역이 진행
- 우리나라 극지연구소 해양보호구역 조사팀은 로스해 내 지정된 해양보호구역에서 생태계 및 해양생물자원 보존을 위한 연구 수행
- 아델리 펭귄 5만여 쌍이 번식하는 케이프 할렛(Cape Hallett)의 조사를 담당하여 매년 남극해양생물자원보존위원회에 환경 변화 보고



제4절 해외 남극과학기술 동향 분석

1. 주요 국가별 남극과학기술 현황

1) 미국

□ 남극내륙기지 구조 안정화 기술

- 미국 아문센-스콧기지는 기존 건설방식인 돔형태의 초창기 기지가 빙상의 흐름과 적설량에 의해 눈에 묻히는 단점을 극복하기 위해 총 36개의 기둥이 동시에 움직여 기지를 상승시킬 수 있는 Jacking System을 적용
 - 겨울에는 최대 75명, 여름에는 250명이 거주가능하고 건설자재의 운송은 미국에서 쇠빙선을 이용해 남극 로스해에 있는 맥머도 기지까지 운송하고 다시 항공기를 이용해 남극점까지 운송

□ 남극내륙 육상운송루트 개척

- 2006년부터 해안과 내륙 기지를 연결하는 1,600km 거리의 육상 트래버스 루트를 확보하고 1회 트래버스로 항공수송 1회의 약 40배에 해당하는 물류를 보급
 - ※ 기존 수송 수단과의 비용절감액 비교 시 약 30억 원의 비용을 절감하는 효과

□ 빙저호 시추 기술

- 미국은 서남극 로스빙붕 가장자리에 있는 월란스 빙저호를 열수시추 기술을 이용하여 빙저호 시추를 실시('13)하였으며, 최초로 빙저호 시료와 퇴적물 시료채집을 통해 생명체의 존재를 확인하고 발표
 - ※ 현재, 빙저호수물을 오염되지 않게 회수할 수 있는 열수시추*기술은 미국과 영국에서 보유하고 있음
 - * 열수시추: 섭씨 90° 이상으로 끓인 물을 얼음에 고압으로 뿌려 구멍을 만들어서 빠르게 바닥까지 뚫는 고난도 기술

□ 친환경 시스템 및 환경영향평가

- '남극조약 환경보호 의정서(The Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty)'에 근거하여 아문센-스콧기지 건설의 포괄적 환경영향평가 제출
 - 미국 아문센-스콧기지 건설에 대한 환경영향평가를 실시하였으며, 1996년 남극 과학, 관광 및 보 존법에 명시된 대로 국가 환경정책법(NEPA*)에 따라 환경영향평가 보고서를 작성하여 아문센-스콧 남극기지의 재건축과 핵심 시설교체를 통한 현대화 제안에 대한 4가지 대안을 고려하여 최종적으로 대안 C를 채택

* NEPA: The National Environmental Policy Act

- (대안 A: No Action) 현재의 기지는 자본 개선을 수반하는 대규모 보수 없이 필요에 따라 계속 유지 및 보수

- (대안 B) 기존 시스템과 유사한 새로운 구성 요소의 기능과 기능으로 기존 기지를 복구
- (대안 C) 확장 가능한 110인용 기지를 건설하고, 현대화된 기지는 주거지, 사무실 및 과학 지원을 위한 모듈식 건물의 높은 단지와 산업 지원 시설을 위한 반원형 금속 아치의 단지를 가질 것이며 기존 기지의 구성요소를 최대한 많이 사용
- (대안 D) 기본적으로 대안 C와 동일하지만 추가 원격 과학 실험실이 있고 호주 여름 동안 총 150명을 수용할 수 있는 정박지가 존재

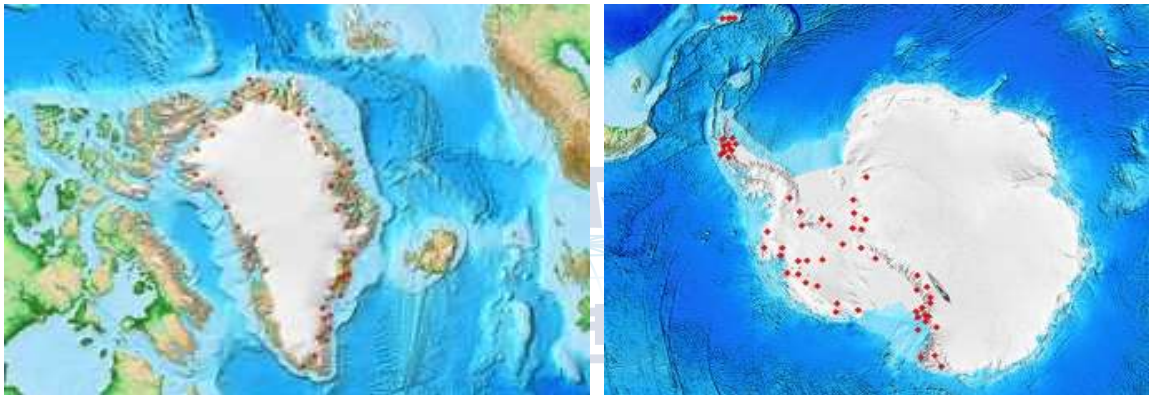
<아문센-스콧기지의 재건 및 유지관리사업의 환경영향 완화 방안>

이슈	대안A	대안B	대안C	대안D
과학 지원		주요 부품의 단계별 재구성 및 재사용을 통한 중단 없는(지속적인) 과학 지원	과학을 뒷받침하는 최적화된 디자인	
건강 및 안전		기지 구성요소를 현재 코드로 점진적으로 교체 건물 교체에 따른 화재 진압 장치 설치	현재 코드에 따른 모든 주요 기지 구성 요소 건설	
		제한된 공간 요구 사항을 충족하는 지하 유틸리티 구축		
에너지보존		건물 교체에 따른 구조적 열 특성 증가를 통한 난방 효율 향상	향상된 구조적 열 특성을 통해 주요 기지 건물의 난방 효율 극대화	
			발전소 폐열 회수 확대로 난방연료 사용량 감소	
			단일 우물 공급원을 사용하여 물 생산 효율성 향상	
			제설을 위한 장비 사용 감소	
			새로운 청정 연소 장비로 교체하여 장비 효율성 향상	
대기배출		에너지 보존 조치를 통해 대기 배출을 제한적으로 통제	에너지 보존 조치를 통해 대기 배출을 최대한 제어	
쓰레기 처리		적절한 임시 저장 및 해체된 모든 구성 요소 제거	접안구역 통폐합을 통한 하수구 감소	
			복구할 수 없는 지하 유틸리티 배치 감소	
연료 관리 및 유출 방지		연료 저장고, 차량 급유 구역 봉쇄	난방 연료 저장 및 배송이 필요한 건물 수 감소	
	새로운 차고, 발전소 및 연료 저장 시설을 통합하기 위한 SPCC 계획 및 유출 대응 계획 수정	새로운 시설과 새로운 설계 기능을 통합하기 위해 SPCC 계획 및 유출 대응 계획을 수정	새로운 시설 설계 및 기능을 반영하도록 SPCC 및 유출 대응 계획 수정	

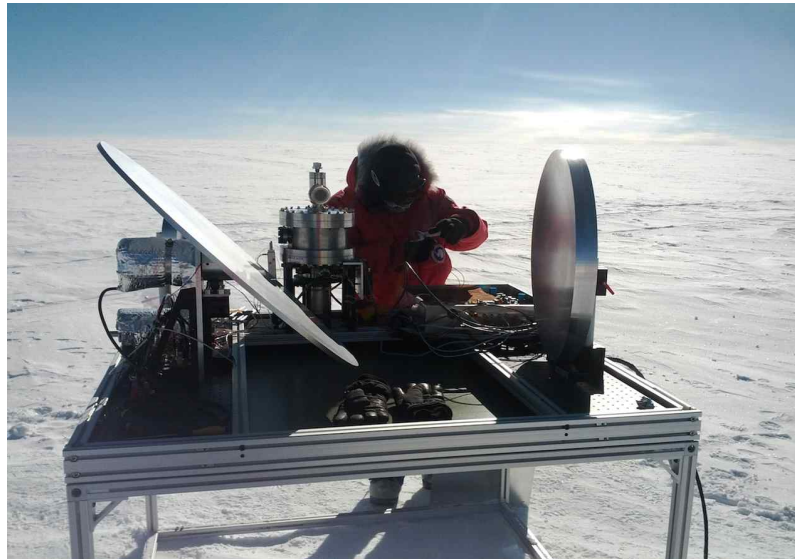
출처: NSF(1998), 'FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT MODERNIZATION OF THE AMUNDSEN-SCOTT SOUTH POLE STATION ANTARCTICA'

□ 우주진출을 위한 연구개발

- UNAVCO(University NAVSTAR COnsortium)는 지구과학 연구와 교육에 우주측지 관측 기술을 적용하기 위한 미국 대학과 정부가 결성한 비영리 협회로, 남극 중단산맥과 서남극에 주로 GNSS 상시관측소를 운영 중
- 또한, 맥머도 기지, 아문센-스콧 기지, 팔머 기지에서 태양-자기권-전리권-고층대기 상호작용 관측 연구를 위한 GNSS, 자기력계, HF/MF/VLF 레이더, 전천 카메라 등을 운영중
 - 미국은 무인관측 플랫폼인 AGO (Automated Geophysical Observatory)를 남극내륙에 설치하여 다양한 지구물리 및 우주환경 관측 장비를 장착하여 운영하고 있음
 - 미국 애리조나 대학교와 호주 뉴 사우스 웨일즈 대학교는 남극내륙 해발 4,053m Ridge A 지역에 별 탄생 연구를 위한 492, 809 GHz, 1.9 THz 우주전파 관측을 위한 HEAT (High Elevation Antarctic Terahertz telescope)를 설치함



〈미국 UNAVCO가 운영 중인 그린란드와 남극 GNSS 관측소 위치 분포〉



<남극내륙에서 관측 중인 THz 우주전파 망원경 HEAT>

□ 수자원 재활용 및 폐수처리 기술

- 미국 fluence社は 남극 맥머도 기지에 미국 표준에 따라 기지의 폐수를 처리하기 위한 600만달러 규모로 170×140피트 실내 분산형 폐수처리시설을 구축
 - Fluence사는 막기체화생물막 반응기(MABR) 기술을 표준 배송 컨테이너에 적용한 스마트 포장 폐수처리기술(Aspiral)을 개발

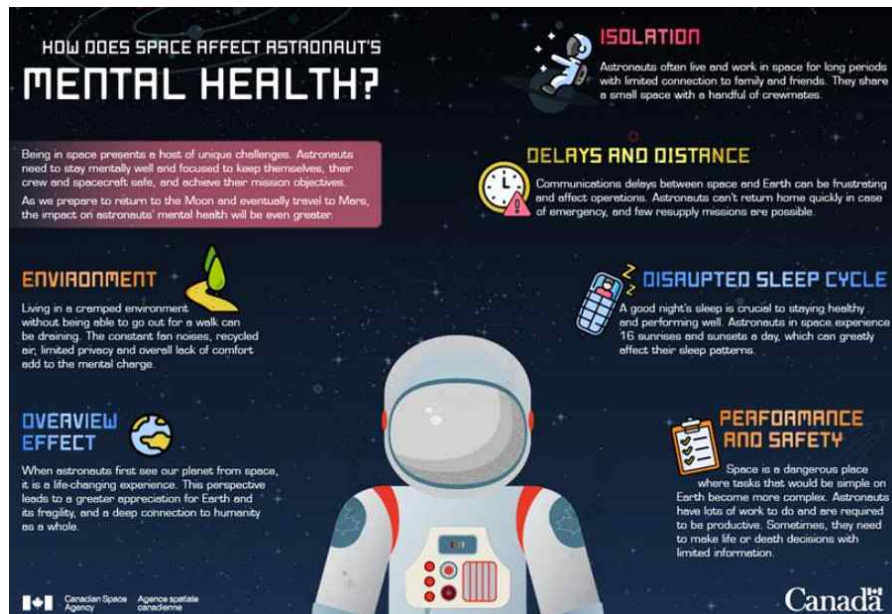


출처: <https://brr.fyi/posts/wastewater-plant>

<맥머도기지 폐수처리시설 전경>

[참고] 우주 진출을 위한 국제기구의 남극 환경 활용 사례

- SCAR에서 추진 중인 연구 프로그램 중 ‘인간 생물학 및 의학’(JEGHBM)그룹에서는 남극의 생물 의학 연구뿐 아니라 남극활동에 대한 의학 지원에 적극적으로 참여하고 있는 의사, 심리학자, 인간 생리학자, 생물학자의 지식과 국제적 경험을 조율하고자 하고 있음
- 우주 진출을 위한 연구개발이 활발한 가운데, 유인 우주탐사에 따른 우주인의 신체적, 정신적 건강관리가 임무 성공 가능성에 직결되면서, 이를 안정적으로 관리하기 위한 우주 의학 연구의 필요성이 대두되고 있으며, 유사 환경인 극한지에서의 실증 등에 관심이 쏠리고 있음
 - NASA(미), ESA(EU) 등의 우주개발 선도국에서는 이미 남극의 극한환경을 활용한 우주탐사 기술개발 실증연구 및 유인탐사 중 심리변화에 대한 임상연구 진행 중



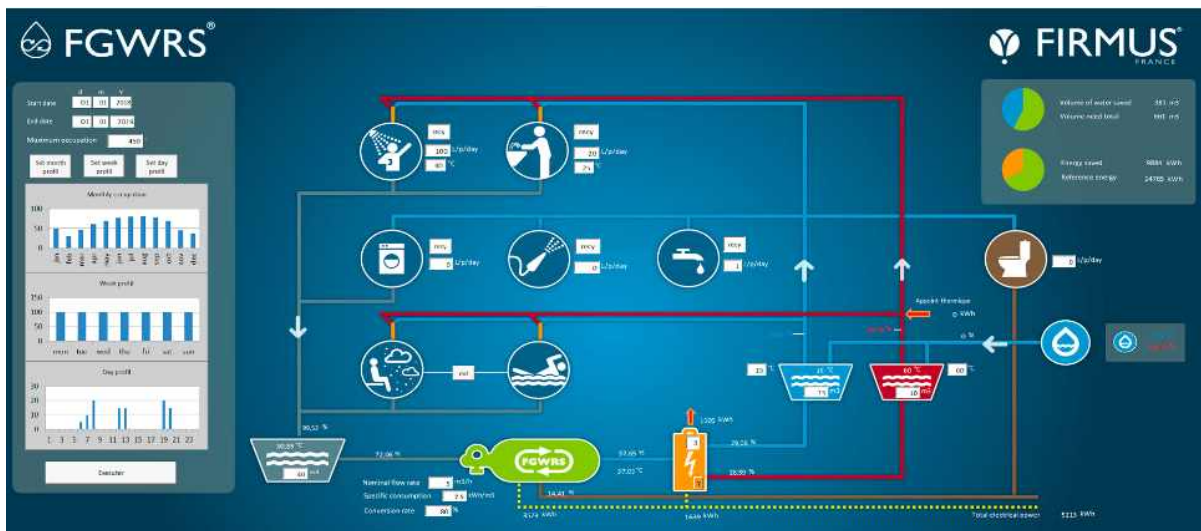
출처: 캐나다 우주국 홈페이지(<https://www.asc-csa.gc.ca/eng/multimedia/search/image/>)

<우주 환경이 우주인의 정신 건강에 미치는 영향>

2) EU

□ 수자원 재활용 및 폐수처리 기술

- 프랑스 극지연구소는 Firmus France, ESA와 협력하여 콘코르디아 기지에서 중수 재활용 기술을 최적화하는 프로젝트를 수행
 - '05년 콘코르디아 기지에 설치되었으며, 세라믹 필터와 역삼투압을 사용하여 중수를 정화하는 원리
 - 심우주 탐사를 위해 개발된 폐쇄 루프 생명 유지 장치인 ESA의 MELiSSA 이니셔티브(Micro-Ecological Life Support System Alternative)를 기반으로 하는 재생 가능 에너지 원으로 구동되는 혁신적인 중수 재활용 시스템 및 처리 프로세스를 제공
 - Firmus의 중수 재활용 시스템(FGWS®*)은 2005년부터 프랑스-이탈리아 남극 관측소 Concordia 에서 운영되고 있는 기술로, 수처리 장치는 최대 2,400 또는 2,800리터의 일일 처리 용량을 제공
- * FGWS: Firmus Gray Water Recycling System
 - 약 25명의 물 생산. 시스템을 처음 도입한 이후 기술적, 위생적 사고 없이 1,000명 이상의 사람들이 재활용된 중수를 사용



출처: Firmus社홈페이지(<https://www.firmus.net/en/grey-water-treatment/>)

<FGWS 원리>

- 벨기에의 엘리자베스 과학기지는 배출제로 목표에 따라 태양광 발전 패널 및 태양열 패널이 장착되어 있으며, 태양복사를 전기로 변환하지 않고 열로 변환하여 이를 급수시스템에 연결함으로써 온수공급
 - 프린세스 엘리자베스 과학기지는 생활하수를 100% 처리할 수 있는 고급 수처리 시스템을 갖추고 있으며, 현재 생활하수의 60%를 재활용 한 후 나머지는 기지 근처 크레바스에 폐기

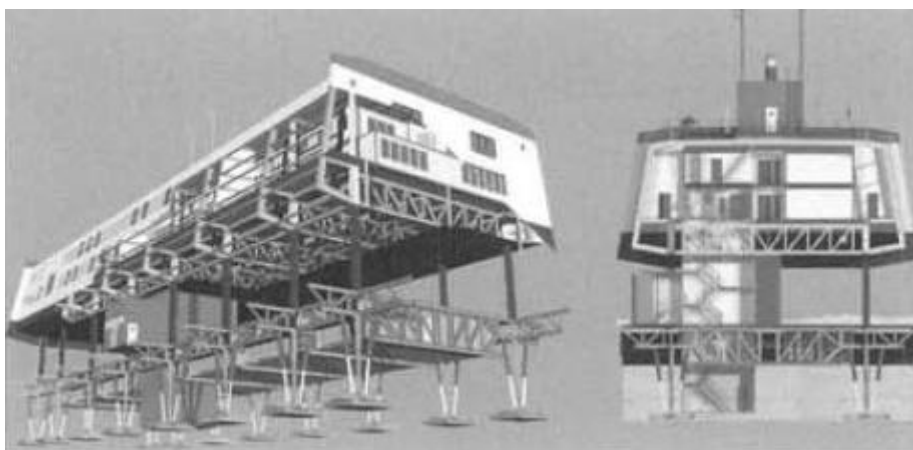
- 물은 폐기되기 전에 남극 조약의 환경 보호에 관한 의정서에 따라 남극의 깨끗한 환경을 오염시키지 않기 위해 광범위하게 처리

□ 탄소배출 저감기술

- 벨기에에는 최초의 탄소배출 제로 남극과학기지인 프린세스 엘리자베스 과학기지 건설 및 친환경 운영
 - 배출제로 프로젝트를 기반으로 설계된 엘리자베스 남극기지는 패시브 빌딩, 재생에너지, 스마트그리드, 수자원 관리 등의 기술이 통합되어 설계
 - (패시브 빌딩) 재생 가능 에너지로 구동될 뿐만 아니라 에너지 수요를 최소화하도록 설계
 - (재생에너지) 남극 여름의 24시간 햇빛과 고원에서 부는 바람을 활용하여 기지의 주요 전력인 재생에너지를 제공
 - (스마트그리드) IPF(International Polar Foundation)는 Schneider Electric* 및 GDF Suez**와 협력을 통해 기존 에너지 네트워크보다 3배 더 효율적인 스마트그리드 개발
 - * Schneider Electric: 프랑스의 세계적인 에너지 관리 및 자동화 전문기업
 - ** GDF Suez: 프랑스의 공영 에너지 기업
 - (수자원 관리) 우주정거장을 모티브로 설계된 수자원 시스템을 통해 샤워실, 화장실 등에 재사용되고, 남은 물은 정화되어 근처 안전한 장소에 최종 폐기

□ 남극기지 구조 안정화 기술

- 독일
 - 독일의 Neumayer III 기지는 에너지 소모 감축을 위한 집약적 배치 및 동/하절기 숙소를 구분하여 설계되었고, 빙붕위에 계획된 기지로 지하공간을 효율적으로 활용할 수 있도록 강설 시 기지의 높일 수 있는 Jacking System이 적용됨
 - 본 기지는 적설수준에 맞게 기지의 높이를 높일 뿐만 아니라 기초의 위치를 바꿔 강설에 대한 근본적인 대책을 마련



출처: 김명석 외 (2010), 한국지반공학회지 “남극 제2과학기지(장보고) 건설”

<독일 Neumayer III 기지 설계 개념도>

○ 영국

- 영국의 Halley VI 기지는 독일의 Neumayer III 기지와 유사하게 빙붕위에 계획된 기지로 상부구조부터 기초까지 하나의 완벽한 모듈형식으로 계획
 - 강설에 대비하여 변위 대응형 지지시스템인 상부구조물을 들어올릴 수 있는 Jacking System을 빙원위에 얹어 놓은 형식인 스키발 구조 기초에 적용하였으며, 각 모듈들을 연결할 수 있어 강풍에도 견딜 수 있도록 설계
- (벨기에) 프린스 엘리자베스 기지는 최소의 인력과 소형장비를 사용하여 남극의 극한 작업환경에서 기초구조물의 시공을 수행하였으며, 기초형식은 남극에서의 시공성과 장비운반 문제 등을 감안하여 얇은 기초에 앵커로 보강하는 방법을 선택
 - 또한 작업성 및 현지여건을 감안하여 국내에서 미리 제작하고 운반하여 현장에서 조립하는 방식을 수행
 - 신재생에너지 사용비용을 극대화하기 위해 태양광 발전기와 풍력발전기 활용

□ 남극내륙 육상운송루트 운영

- 프랑스는 동남극 해안가에 있는 뒤몽 드 우르비(Dumont d'Urville) 기지로부터 약 1,100km 거리의 콘코르디아 기지까지 연 3회 연료 및 물자 보급을 위한 육상 트래버스 수행

□ 심부빙하코어 시추기술

- 프랑스와 이탈리아는 1997년부터 2005년까지 EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) Dome C 다국적 남극 심부빙하 프로젝트를 주도적으로 수행하여, 3,270m 깊이의 빙하 코어를 시추
 - 과거 82만 년간 기후·환경변화 기록을 복원하여 현재까지 빙하코어 기록으로 부터 복원된 가장 오래된 과거의 기후·환경 변화의 연구 결과를 취득
- 유럽의 Beyond EPICA 프로젝트는 남극 대륙의 Little Dome C 캠프에서 세 번째 시추 캠페인을 성공적으로 완료
 - '25년 1월, 총 2,800m 깊이의 심부빙하시추를 완료하였으며, 예비 연령추정 결과 과거 120만년의 기후변화 기록 복원 예상

□ 심부 빙저호 시추기술

- 영국은 2012년 엘스워스(Ellsworth) 빙저호를 대상으로 열수시추 기술을 이용하여 시추를 추진하였으나 실패하였으며 현재는 시추 실패 원인 분석 및 대응방안을 마련하기 위한 추가적인 연구 수행

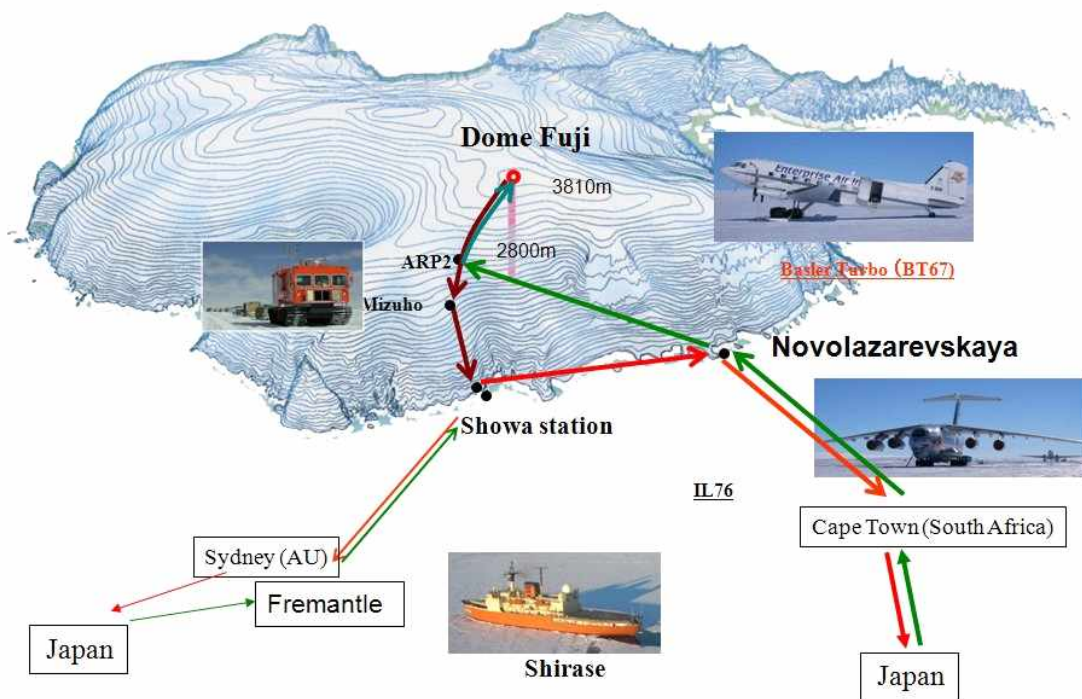
3) 일본

□ 심부빙하코어 시추기술

- 동남극 Dome F 지역에 돔 후지 하계기지를 운영하면서 3,035m 깊이의 심부빙하 시추를 통해 과거 78만년 기후변화 기록 복원
- 2024년부터 Dome F 지역에서 과거 150만년 기후변화 기록 복원을 위한 제2 심부빙하 시추 진행 중

□ 남극내륙 육상보급로 운영

- 해안 지역의 쇼와(Showa) 기지로부터 미즈호(Mizuho) 기지를 경유하여 남극내륙의 돔 후지(Dome Fuji) 기지까지 연 1회 1100km 남극내륙 육상탐사 수행



<일본의 남극내륙 육상탐사 개요>

□ 극한지 공학기술

- 일본 극지연구소 극지 엔지니어링 그룹은 과학적 관찰 및 물류 활동과 관련된 기술적 과제를 해결하기 위해 향후 내륙기지 운영을 위한 물류 문제 연구, 현장에너지 생산에 대한 조사, 디젤 에너지와 재생에너지 간 상호 연결된 전력시스템에 대한 연구, 잉여 전력의 저장 및 활용 시스템에 대한 연구, 물 만들기에 대한 연구, 제한된 연료, 식품 및 재료를 효과적 사용 연구 등 수행

□ 독자적 남극용 설상차 제작 및 운행

- 지난 40여 년간, 일본에서는 남극에서 범용적으로 활용되는 피스텐불리 설상차와 함께 자국의 오히라(Ohara)공업에서 독자적으로 제작한 SM100 시리즈의 차량을 활용하여 남극내륙 탐사 수행



<일본의 SM100 시리즈 설상차>

4) 중국

□ 남극내륙 육상탐사

- 중국은 남극 내륙에 곤륜 기지와 태산 기지 두 개의 기지를 운영하고 하고 있으며, 두 기지 모두 하계기간에만 운영되는 기지로 해안가에 있는 중산(Zhoungshan) 기지를 기점으로 태산 기지를 거쳐 곤륜 기지까지 약 1,280km 거리의 육상루트를 운영
 - 장보고 기지 인근 로스해에 신규 건설된 친링 기지로부터 남극내륙의 곤륜기지를 거쳐 중산기지에 이르는 남극횡단루트 개척 및 해양·내륙 복합연구 추진 예정

□ 환경영향평가 대응

- 중국이 '18년 이후 중단되었던 남극 제5기지 건설 공사를 재개하는 등 남극 지역에서의 활동을 늘리고 있음
 - '24년, 중국은 장보고기지 인근 남극 로스해 인익스프레서블(Inexpressible) 섬에 제5기지를 건설하였으며, ' 25년부터 월동대 상주
- 제 5기지 건설을 위해 중국은 '18년 남극 빅토리아랜드지역에 새로운 연구기지 건설 및 운영제안을 위해 종합환경평가보고서를 작성하여 제출하였으며 ATCMXXXI에서 아래의 결과 도출
 - CEE 초안은 일반적으로 남극 조약 환경 보호 의정서 부속서 I 제3조의 요구 사항을 준수

- 중국이 제안된 활동을 진행하기로 결정했다면 최종 CEE는 여러 측면에 대한 추가 정보와 설명을 포함함으로써 가장 강화될 수 있음
- 중국은 ICG 참가자들이 제공한 상세한 의견과 ICG 보고서에 요약된 주요 문제 요약, 최종 보고서에 요약된 CEP XXI 토론 중 회원국들이 제기한 문제를 고려하도록 권장
- CEE 초안에 제공된 정보는 프로젝트 내 일부 활동의 영향이 사소하거나 일시적인 영향 이상을 가지며 이 수준의 EIA가 이 프로젝트에 적합했다는 결론을 뒷받침
- CEE 초안은 잘 작성되었고 논리적으로 구성되었지만 일부 사소한 조정으로 인해 문서가 더욱 강화될 수 있음

<최종 CEE에 담긴 내용>

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - 신 기지 건설, 운영 및 유지보수 - 신기지까지의 화물 및 인원 운송과정 - 잠재적인 환경영향 분석 - 환경 영향을 최소화하기 위한 예방 및 완화 조치 - 지식과 불확실성의 격차 |
|---|

□ 심부빙하 시추기술

- 중국은 남극 최고점인 Dome A 지역의 곤륜 기지에서 심부빙하 시추와 천체관측 연구수행
 - 중국은 '09년 1월 곤륜기지 건설과 함께 심부빙하시추 계획을 수립하고, 정밀 빙하 레이더 탐사를 통해 초기에 3,139m 얼음 두께에 최대 연령 120만년을 추정했으나, 추후 지열모델에 의거해 최대연령 80만년 정도로 수정된 바 있음
 - '2009년에 착수하여 900여m 까지 시추가 진행되었으나 이후 장비 문제 및 COVID-19 등의 영향으로 현재는 시추 중단

□ 우주진출을 위한 연구개발

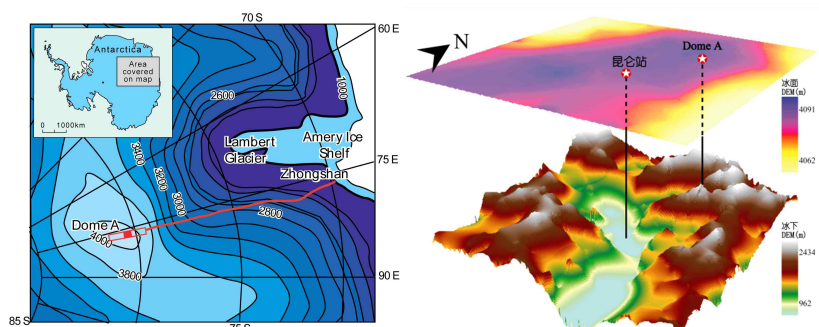
- (우주진출을 위한 연구개발) '09년 곤륜기지 건설 후 중국극지연구소는 고원관측소 (PLATO)를 설치하고 호주와 공동으로 천문관측장비 설치
 - 그후 관측 시설을 점차 확대해 현재는 호주, 영국 등과 함께 CSTAR, Gattini, PreHEAT, Snodar, Nigel, PLATO camera 등을 설치하여 운영 중



<곤륜기지 천문 우주관측 시설>

□ 남극 빙하레이더 관측 및 빙상진화연구

- 중국에서는 남극 빙상의 심층 탐지에 적합한 지상, 항공 및 무인 관측 플랫폼을 성공적으로 구축했으며, 심층 탐지용 얼음 레이더를 성공적으로 개발
 - 탐지 깊이 3,000m 이상으로 국내 최초로 남극 빙상의 얇은 부분에 대한 수직 해상도 15cm의 고해상도 얼음 탐지 레이더 시스템 개발에 성공
 - 남극 빙하의 가장 높은 지역인 Dome A 지역의 빙하두께와 빙하 지형을 측량하고 도식화하여 감베르체프 빙하산맥의 초기 산지 빙하 지형의 특징을 밝혀내 남극 빙하의 기원과 진화에 중요한 근거를 제공
 - 지구상에서 백만 년 이상 된 가장 오래된 심부빙하 코어를 찾기 위한 연구에서 빙하 탐사를 기반으로 Dome A의 심부빙하 시추 위치를 결정하여 중국 최초의 남극 내륙 과학 실험소인 곤륜기지의 건설을 촉진하고 빙상 모형과 결합하여 Dome A 심부빙하의 연대를 평가

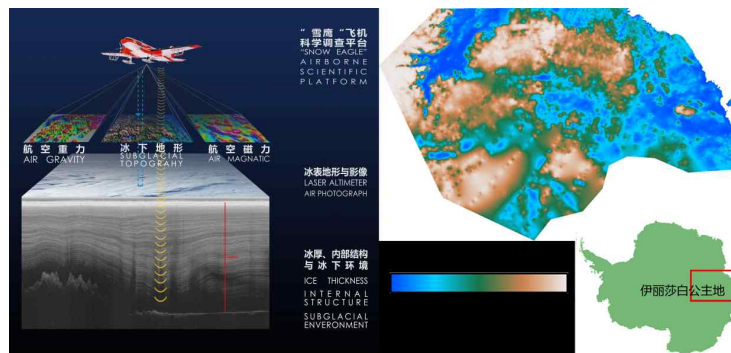


출처: 중국 극지연구센터 홈페이지(<https://www.pric.org.cn/index.php?c=category&id=44>)

<중국 심층 탐지용 빙하 레이더>

- '15년부터 중국 최초의 남극 탐사용 항공기에 레이더 시스템을 포함한 연구 플랫폼을 탑재한 항공탐사 시스템 구축

- 공중 열음 레이더, 중력, 자기력, 고도계 등을 통합한 남극 빙하 탐지 과학 연구 시스템을 통해 빙저 환경과 빙상 불안정성, 에머리 빙봉의 기하학, 엘리자베스 랜드, 남극 대륙에서 가장 큰 데이터 공백 영역 특성 및 해저 수심 측량, Ice Ridge B에서 가장 오래된 깊은 빙하코어의 위치 선택 및 기타 주요 과학 연구 최전선에서 5년 동안 대규모 항공 과학 관측을 성공적으로 완료(총 측량선 길이는 약 180,000km)
 - 공간 해상도가 500m에 달하는 남극 엘리자베스 랜드의 미세한 빙하 지형 수치 고도 모델을 컴파일하여 생성하였으며, 이 지역의 빙하 지형을 처음으로 밝혀내고, 빙하의 불안정성에 중요한 영향을 미치는 지형적 특징을 다수 발견
- ※ 성과는 국제 남극 빙하 지형도 계획인 Bedmap3과 Bedmachine Antarctica에 등재
- 또한, 항공자기법으로 데이터를 관측하고 열전도 방정식을 사용하여 엘리자베스 랜드의 등온거리의 깊이와 빙하 지표의 열 흐름을 계산하여 엘리자베스 랜드의 전체 깊이가 과거에 추정했던 것 보다는 얕다는 것을 최초로 발견하는 등 큰 성과를 거둠



출처: 중국 극지연구센터 홈페이지(<https://www.pric.org.cn/index.php?c=category&id=44>)

<중국 남극 탐사 고정익 항공기에 대한 과학 시험 플랫폼>

5) 러시아

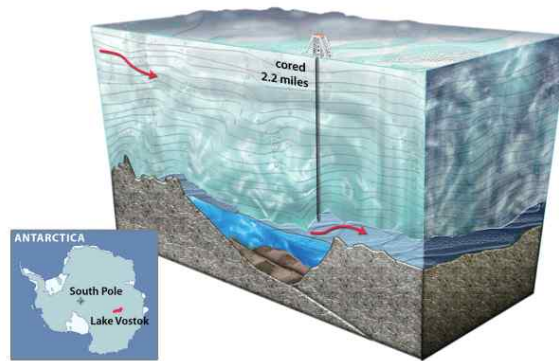
□ 심부빙하코어 시추기술

- 러시아의 보스톡 기지에서 1970년대부터 심부빙하코어 시추를 시작하였으며, 1996년 3,623m의 심부빙하를 시추하여 과거 42만년 기후변화 기록 복원 성공
 - 현재 러시아의 보스톡 심부빙하코어 시추기록은 세계 최장 빙하코어 시추 기록으로 남아있음

□ 심부빙저호 시추기술

- 1975년 항공 레이더 탐사를 통해 러시아 보스톡 기지 하부에 남극에서 가장 큰 보스톡 빙저호가 존재하는 것으로 확인
 - 1990년부터1998년까지 열수시추(Hot water drilling) 기술을 이용하여 3,580m 깊이까지 도달하였으나, 빙저호 시료 오염 방지를 위해 시추 중지

- 2011년 시추를 재개하여 얼음과 물의 경계면까지 도달하였으나, 얼음층이 뚫리자마자 압력에 의해 호숫물이 시추공으로 분출되었으며 시추에 사용한 부동액이 빙저호를 오염시켰다는 의혹 발생
- 시추공 내부로 올라온 뒤 얼어버린 빙하코어에서 미생물을 발견하였으나, 빙저호 물과 퇴적토는 채취하지 못한 상황으로 발표된 바 있음



<남극 보스톡 빙저호 시추 단면>

□ 남극내륙 육상보급로 운영

- Mirny기지를 기점으로 육상 트래버스를 이용한 기지 보급을 수행하였으나, 최근 Progress 기지로 보급기점을 이동하여 1200km 거리의 남극내륙 육상보급로 운영 중

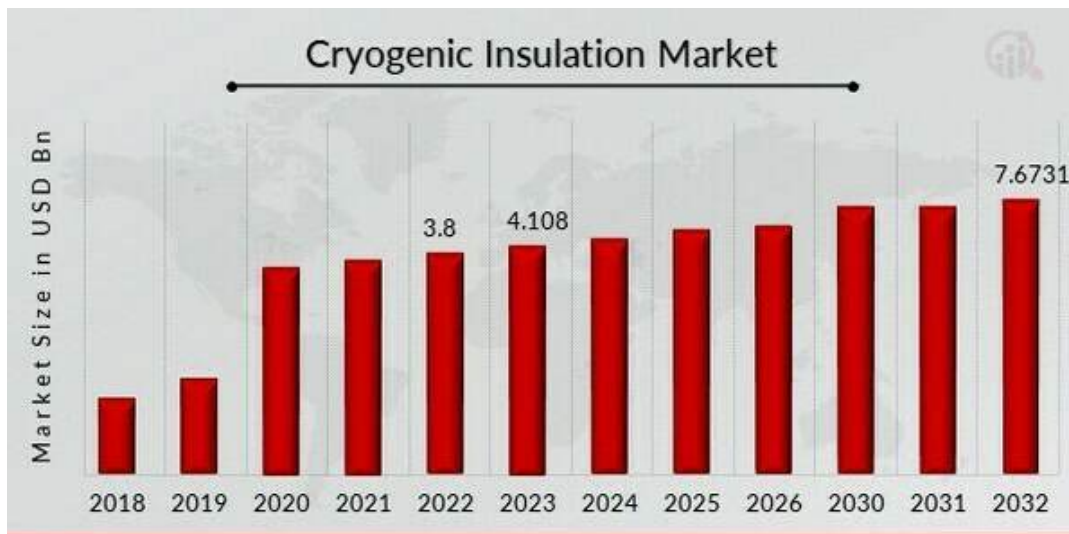
□ 수소기반 신재생 에너지 기술

- 러시아는 '20년 수소에너지로 운영되는 친환경 북극기지 건설 계획 발표
 - 러시아는 친환경 북극기지인 ‘스노우플레이크(snowflake)’ 건설을 계획하고 있으며, 태양광과 풍력에너지를 통해 생산한 수소에너지로 기지가 운영될 것으로 예상

제5절 산업 동향 분석

1. 극저온 단열재 시장 동향

- 최근 몇 년 동안 많은 산업에서 극저온 기술을 점점 더 많이 수용하면서 이와 관련된 시장 동향이 빠르게 변화하고 있으며, 이에 따라 극저온 단열재 시장이 크게 성장
 - 에너지 효율성을 높이고 운영 비용을 절감할 수 있는 단열재 도입 활발
 - 극저온 단열재 시장은 소재 유형에 따라 PU/PIR, 폴리스티렌, 셀룰러 글라스로 분류되며 PU/PIR 부문은 액화 및 재기화에 대한 수요 증가로 인해 가장 높은 수익을 창출
 - 극저온 단열재 시장 규모는 ‘23년 41억 1천만 달러로 평가되었고, ’ 32년에는 76억 7,310만 달러로 성장할 것으로 예상
- ‘24년~’32년 동안 7.07%의 연평균 성장률(CAGR)을 나타낼 것
- 극저온 단열재 시장은 북미 지역에서 가장 큰 시장 점유율을 차지하고 있으며, 아시아 태평양 시장은 의료, 화학 및 우주탐사 분야의 수많은 혁신과 에너지 수요의 지속적 증가로 ‘32년까지 가장 빠른 CAGR로 성장 예상



출처: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/cryogenic-insulation-market-8494>

<극저온 단열재 시장 규모>

- BASF SE(독일) 기업은 '22년 4월 특허받은 Elastopor Cryo(Elastopor) 기술을 사용하여 액화천연가스(LNG)와 같은 극저온 액체 화물을 운송하기 위한 극저온 단열 시스템을 개발
- Qatar Petroleum(카타르) 기업은 LNT Marine, ABS(American Bureau of Shipping) 및 SWS(Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding)와 다자간 계약을 체결하여 전 세계의 다른 저명한 LNG 회사와 새로운 중대형 LNG 운반선 설계 개발 협력

2. 모듈러 주택 시장 동향

- 모듈식 건물은 폐기물 감소, 내구성 향상, 비용 절감, 친환경적, 유연성 향상 등의 이유로 주택 시장에서 크게 성장
 - 세계 모듈식 건축 시장 규모는 ‘23년 844억 8천만 달러에서 ’ 30년 1,315억 8천만 달러에 달할 것으로 전망
 - ‘24년~’32년 동안 연평균 성장률(CAGR)은 6.5% 예상
 - 건설 폐기물을 줄이고 친환경 건물을 장려하기 위한 정부 이니셔티브 발전으로 시장 주도
 - 아시아 태평양 지역은 예측 기간동안 모듈식 건축 시장 점유율이 가장 빠르게 성장할 것으로 예상되면, 친환경 주택을 장려하기 위한 정부 계획이 증가함에 따라 개발도상국에서는 모듈식 건물에 대한 수요 증가
 - 영국 정부는 모듈식 프로젝트를 포함하여 주택용 토지를 개발하는 혁신가 지원을 위해 건설 프로그램과 주택 건축 자금을 가속화하는 정책 시행
 - ‘21년 8월 모듈형 블록 설계 및 제작업체인 SG Blocks Inc.와 ATCO Structures는 파트너십을 통해 미국 전역의 모듈식 차량 출시에 기여
 - ‘ 21년 7월 모듈형 공간 및 비즈니스 영역을 제공하는 글로벌 공급업체인 Modulaire Group은 유럽에서 이동식 모듈식 숙박 시설을 제공하는 Procomm Site Service Ltd.를 인수하여 Modulaire Group은 유럽시장에서의 입지 강화

3. 물 재활용(수처리) 시장 동향

- 물 부족 심화는 산업 성장의 주요 요인으로 작용하고 있으며, 세계 각국에서 물 보존을 촉진하고 재생한 물의 사용을 격려하는 규정을 실행
 - 물 재활용 시장 규모는 ‘22년 14억 달러를 넘어 ’ 32년까지 11.5%의 연평균 성장률을 보이며 43억 달러로 성장을 예상
 - 물 재활용 시장에서는 분산형 물 재활용 시스템에 중점을 두고 있으며, 이러한 지역적 접근 방식은 물의 품질과 용해도를 더욱 효율적으로 관리할 수 있게 하고 특정 용도에 맞춘 맞춤형 솔루션 제공 및 중앙 집중식 시스템에 대한 의존도 저감



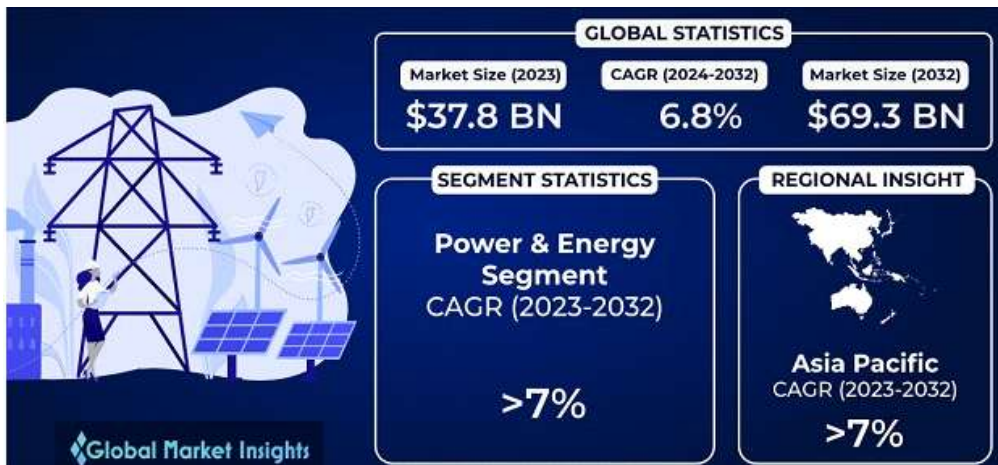
출처:

<https://www.gminsights.com/ko/industry-analysis/water-recycle-and-reuse-market#:~:text=%EB%AC%B4%EB%A3%8C%20%EC%83%98%ED%94%8C%20%EB%8B%A4%EC%9A%B4%EB%A1%9C%EB%93%9C-,%EB%AC%BC%20%EC%9E%AC%ED%99%9C%EC%9A%A9%20%EB%B0%8F%20%EC%9E%AC%EC%82%AC%EC%9A%A9%20%EC%8B%9C%EC%9E%A5%20%ED%81%AC%EA%B8%B0,%EC%9D%84%20%EB%AA%B0%EA%B3%A0%20%EC%A4%91%EC%9A%94%ED%95%9C%20%EC%9A%94%EC%86%8C%EC%9E%85%EB%8B%88%EB%8B%A4>

<물 재활용 시장 규모>

4. 에너지관리 시스템 시장 동향

- 에너지 관리 시스템(EMS) 시장은 주거용 건물에 대한 수요와 상업화 및 산업화에 대한 긍정적인 전망으로 시장 규모 확대 예상
 - 에너지 관리 시스템 시장 규모는 ‘23년 37.8억 원으로 평가되었으며, ’ 32년 6.8%의 연평균 성장률을 보이며 69.3억 원으로 성장할 것을 예상
 - 에너지 관리 시스템 시장의 주요 성장은 비OECD 국가, 특히 아시아 태평양 시장에서 활발하게 이루어질 것으로 예상
 - 건물 에너지 관리 시스템(BEMS) 시장은 ‘32년까지 27억 달러를 초과할 것으로 예상되며 EMS는 하드웨어, 소프트웨어, ICT 기술 및 서비스를 통합하여 에너지 효율성 관리를 위해 자동화된 건물 기능을 관리, 제어, 모니터링 수행
 - 전력 및 에너지 부문에서 에너지 관리 시스템 시장은 ‘ 32년까지 CAGR 7%를 기록을 예상



출처: <https://www.gminsights.com/ko/industry-analysis/energy-management-system-EMS-market>

<에너지 관리 시스템 시장 규모>



제 III 장
국내 여건 분석
극지연구소



제3장 국내 여건 분석

제1절 남극내륙 연구개발 여건 분석

1. 연구개발 투자 현황

○ 최근 5년간('19년~'23년) 남극 분야 R&D에 334개 과제, 약 3,930억 원의 예산을 투입했으며, '23년은 인프라(극지환경 재현 실용화 센터, 신규 쇄빙선, 노후시설 보수 등) 중심으로 투자

- 남극연구 관련 R&D과제 수는 매년 소폭 감소추세를 보이나, '23년 들어 과제당 투자 규모가 확대되어 상대적으로 규모가 큰 과제에 정부예산이 투입되는 것으로 조사
- 특히, '23년 시설 사업(노후시설 보수, 극지환경 재현 실용화센터 건립 및 남극장보고과학기지 중장비보관동 신축, 기지운영 필수시설 보수), 극지인프라운영사업(극지과학기지운영, 쇄빙연구선 아라온 운영 관리, 극지활동 국가간 국제협력 지원사업)에 약 470억 원을 투입



<최근 5년간 남극 관련 R&D 투자 규모>

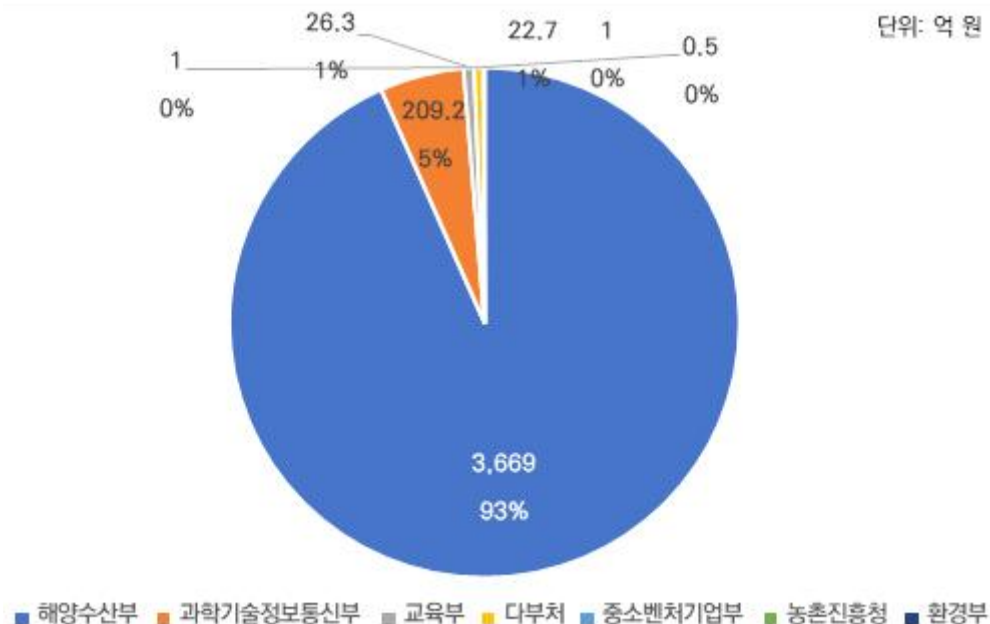
<연도별 R&D투자 규모>

연도	과제수	정부투자규모(억 원)	과제당 투자규모(억 원)
2019	74	837	11.3
2020	76	743	9.8
2021	67	828	12.4
2022	63	652	10.3
2023	54	870	16.1
총합계	334	3,930	11.8

출처: NTIS, 와이젠글로벌(주) 재구성

○ 최근 5년간 남극 관련 R&D는 전체 과제수의 약 50%, 예산은 약 93% 이상 해양수산부에서 투입 및 수행됨

- 과제수 기준으로 해양수산부 158건, 과학기술정보통신부 110건, 교육부 59건 순으로 과제를 수행하였으며, 투자액 기준으로는 해양수산부 3,669억 원, 과기부 209.2억 원 순으로 투자되어, 해양수산부와 과기부에서 대부분 남극 관련 R&D과제를 수행



<최근 5년간 부처별 정부예산 투입 규모>

<부처별 R&D투자 규모>

부처명	과제수	정부투자규모(억 원)	과제당 투자규모(억 원)
해양수산부	158	3,669	23.2
과학기술정보통신부	110	209.2	1.9
교육부	59	26.3	0.4
다부처	2	22.7	11.4
중소벤처기업부	2	1.0	0.5
농촌진흥청	2	0.5	0.3
환경부	1	1.0	1.0
총합계	334	3,930	11.8

○ 최근 5년 동안 ‘현재 남극 기후변화 연구’ 분야에 대한 과제가 68건으로, 약 656.6억원 규모로 정부투자가 이루어졌으며, 빙저 지질학, 우주탐사기술 개발연구, 극한지 공학기술 개발연구 등의 순서로 활발히 과제가 수행됨

- 주로 천문관측 연구와 우주탐사기술개발연구, 남극 기후변화 연구 등의 과제 규모가 타 과제에 비해 큰 것으로 도출

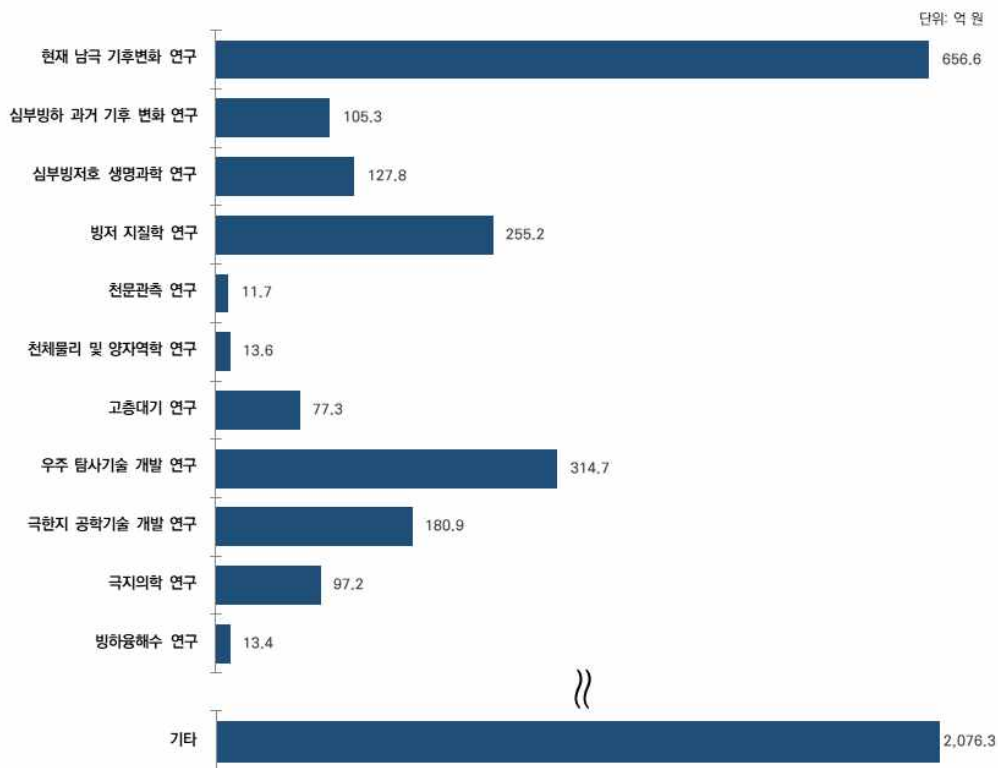
○ 기타연구분야로 분류된 과제들의 경우, 남극기지 관리(기지운영, 노후시설 관리 등)와 관련된 과제들의 규모가 매우 컸으며, 그 외 남극 생태연구, 극지환경보호 기술 등과 관련

된 과제들로 구성됨

- 최근 5년 간('19-'23년) 시설사업(노후시설 보수, 극지환경 재현 실용화센터 건립 등), 극지과학기지운영, 쇄빙연구선 아라온 운영관리, 극지활동 국가간 국제협력 지원 사업 등과 같은 과제들은 매년 300억원 이상 규모로 투입된 것으로 조사됨

<연구분야별 R&D투자 규모>

연구분야	과제수	정부투자규모(억 원)	과제당 투자규모(억 원)
현재 남극 기후변화 연구	68	656.6	9.7
심부빙하 과거 기후변화 연구	17	105.3	6.2
심부빙저호 생명과학 연구	27	127.8	4.7
빙저 지질학 연구	35	255.2	7.3
천문관측 연구	1	11.7	11.7
천체물리 및 양자역학 연구	11	13.6	1.2
고층대기 연구	22	77.3	3.5
우주 탐사기술 개발 연구	30	314.7	10.5
극한지 공학기술 개발 연구	47	180.9	3.8
극지의학 연구	21	97.2	4.6
빙하융해수 연구	11	13.4	1.2
기타	44	2,076.3	47.2
총합계	334	3,930	11.8



<최근 5년간 연구 분야별 정부예산 투입 규모>

2. 주요 극지연구 국가R&D 사업 현황

□ 급격한 남극빙상용융에 따른 근미래 전지구 해수면 상승 예측기술개발 (해양수산부)

- (연구기간) 2023~2031
- (연구목표) 기후변화에 따른 남극 빙상의 급격한 용해 원인 규명과 이에 따른 전지구 해수면 상승 기여도 예측기술개발
- (연구 내용) 남극 빙권 종합 관측망 고도화 및 해수면 및 기후재난 발생 예측 연구 수행
 - (남극 빙권 종합 관측망 고도화) 관측자료 기반 빙상용융 과정 원인규명
 - (해수면 및 기후재난 발생 예측) 남극 빙상 용융에 따른 전 지구 해수면 상승 예측 기술 개발
- (기대효과)
 - (영향력 확대) 우리나라 주도 국제협력 연구 수행, 해수면 예측 정확도 제고 연구성과 확대를 통해 국제사회 영향력 유지·강화
 - * LIONESS 관측협력기반 SCAR-RINGS와 EU OCEAN:ICE 협력 파트너로 참여 및 국제협력에 참여
 - ** 예측 오차 50% 및 예측 시점 고도화(연도별 시나리오 도출)로 보다 정확한 정책 결정이 가능하고 국민 불안감 해소 및 능동 대응 가능
 - (경제적 효과) 해수면 상승에 대한 정확한 예측으로 미래에 발생할 수 있는 약 12조 7,488억원* 규모의 침수 피해비용의 예방이 가능
 - * RCP 8.5 시나리오 기반 해양환경공단에서 제공하는 DB를 활용하여 우리나라 재산손실비용, 이주비용, 정착비용, 침수지역 토지비용을 산출한 결과
 - ** 또한, 보다 정확한 해수면 상승 시나리오 시 방벽설치 방어비용 절감을 통한 편익(352억원)이 발생하며, 방벽설치 시점 단축에 따른 편익(1,591억원) 산출 기대
 - (사회·과학적 효과) 기후변화에 따른 급격한 빙상 용융 원인규명 및 예측으로 전 지구 및 한반도 주변 해수면 상승 예측 정확도 향상
 - * 현재 한반도 지역규모 해수면 상승 수치모델에는 남극 용빙 영향이 반영되어 있지 않아, 국내 기후변화 연구기관에서 남극 빙상 관측·예측 자료에 대한 수요 존재
 - (기술적 효과) 유·무인 남극 탐사기술 확보 및 예측 결과 시각화 톨 구축 기술 등 산·학·연 협력기반 실용기술 개발 활성화
- (동사업과의 중복성) 중복성 없음

□ 극한지 개발 및 탐사용 협동 이동체 시스템 기술개발 (다부처(해수부, 과기부, 산업부))

- (연구기간) 2021~2025
- (연구목표) 극한지에 초 연결, 자율협력, 지능형 기술을 적용하여 극한 환경에서 광대역 자원탐사 및 정찰이 가능한 극한지 사물인터넷(IoET, Internet of Extreme Things) 기반 협동 이동체 및 장비 기술 개발

- (연구 내용) 초 연결, 자율협력, 지능형 기술을 적용하여 광대역 자원탐사 및 정찰이 가능한 극한지 사물인터넷 기반 협동 이동체 및 장비 기술 개발
 - (해양수산부) 극한지 관측 및 정보처리 기술개발
 - (산업통상자원부) 극한지 탐사용 로봇시스템 및 운용 기술 개발
 - (과학기술정보통신부) IoET를 위한 극한지 통신 및 장비 기술 개발

협업 부처	협업 대상	협업 기술	연차별 협업 내용
해수부 산업부	관측소 이동 로봇	· 이동 로봇을 이용한 관측소 전원 공급	'21년 · 인터페이스 사양정의 및 개념설계 : 운용 시나리오 및 운용 사양 정의 : 전원/통신/기계/데이터/제어 인터페이스 개념 설계
	관제거점 이동 로봇	· 관제거점 내 이동 로봇 운용기술 (충전, 모니터링 등)	'22년 · 인터페이스 상세 설계, 제작 및 기능 시험 : 전원/통신/기계 인터페이스 상세설계
	지반탐사레이더 이동 로봇	· 지반 탐사 레이더 운용 및 크레바스 회피 기술	'23년 · 저온환경 연동시험 및 남극 현장 연동시험 : 저온환경 및 현장에서 인터페이스 기능별 연동 시험 : 인터페이스 기능별 연동 시험
			'24년 · 남극현장 실증시험 : 시스템 통합, 통신, 전원공급, 안정성 등 현장 실증
해수부 과학기술정보통신부	관측소 IoT 통신장비	· 관측소 내 통신장비 설치 및 운용	'21년 · 통신장비 사양 정의 및 개념설계 : 배치, 센서종류 등에 따른 사양정의 및 장비 설계
	관제거점 무선 백홀 기반 네트워크 장비	· 관제거점 내 통신장비 설치 및 운용	'22년 · 통신장비 상세설계 : 광역 고속 전송 및 IoT 디바이스, 게이트웨이 설계 : 남극 무선통신 시험 표준화 방안 검토
		· 극한지 무선 백홀 기반 네트워크 개발	'23년 · 저온환경 연동시험 및 남극 현장 연동시험 : IoT 시작품 제작 및 단계별 통신 실증 테스트 : IoT 통신장비와 무선백홀 네트워크간 통신 연동 실증
			'24년 · 남극현장 실증시험 : 관측소 및 관제거점 IoT 장비 남극 현장 실증
산업부 과학기술정보통신부	이동 로봇 SDR 기반 무선통신 장비	· 이동 로봇-관제거점 간 통신 및 로봇 제어 기술	'21년 · 인터페이스 사양정의 및 개념설계 : 기계/전자 인터페이스 설계(안테나 설치 규격, 커넥터, 전원 규격, 통신 프로토콜 등)
			'22년 · 제어 및 데이터 전송용 무선통신장비 설계 및 검증 : 설계 타당성 검증 및 IoT 통신 장비 초기 테스트
	이동 로봇 IoT 통신장비	· 데이터 수집을 위한 이동 로봇-관측소 간 통신 기술	'23년 · 저온환경 무선통신 실증 시험 : 실증 시험을 통한 초기 성능 검증 및 개선방안도출 : 무선통신 장착 및 저온환경 연동시험 : 연동동작 테스트(기계적 결속, 전원노이즈, 핀업 등)
			'24년 · 남극현장 실증 시험 및 안정화 : 장착 통신장비 남극현장 동작 테스트 및 안정화
해수부 산업부 과학기술정보통신부	극한지 스마트 관측 시스템		'21년 · 통합시스템 개념설계 : 극지 현장 설치 후보지 방문조사 : 운영&테스트 시나리오 수립 및 시스템 개념 설계
			'22년 · 설계 보완 및 저온환경 연동시험계획 수립
		· 통합 시스템 구현 및 연동 운영	'23년 · 연동시험 : 시나리오에 따른 국내 연동시험 및 남극현장설치
			'24년 · 남극 현장 실증시험 : IoT 네트워크 구현 및 남극 현장 실증 시험
			'25년 · 남극 현장 운영 및 결과분석 : 시스템 고도화 방안 협의 및 유지보수 지원

출처: 부산일보(2023), '극한지 개발탐사용 협동이동체 시스템 기술개발사업' 다부처 통합 시연회 개최 (<https://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2023072622422696886>)

<극한지 개발 탐사용 협동이동체 시스템기술개발사업 부처간 연계·협업 내용>

- (동사업과의 중복성) 중복성 없음
- (동사업과의 차별 및 연계성)

□ 극지 및 대양과학연구 (해양수산부)

- (연구기간) 2011 ~ 2023(일몰)
- (연구목표) 양극해 환경변화 관측, 극지 빙권 변화 분석과 대양연구를 통한 우리나라 해양기후변화 예측, 대양자원 발굴 및 활용기반 구축
- (연구 내용) 남극 장보고기지 활용 기반기술 및 대양활용연구 수행
 - (남극 장보고기지 활용 기반기술) 전 지구 기후예측모델 정확도를 향상시켜 기후변화 문제 해결 및 신기후 체제에 선제적 대응
 - (대양 활용 연구) 심해저 탐사기술 확보로 해양과학 국제경쟁력제고, 대양기반 태풍·고수온 기후예측 정확도 향상
- (기대효과) '23년 11월부터 남극에서 수행할 탐사용 로봇 실증시험 실시
- (동사업과의 중복성) 중복성 없음

□ 해양극지 기초원천기술개발 (과학기술정보통신부)

- (연구기간) 2010~ 2024
- (연구목표) 해양 및 극지 분야 기초·원천기술 확보를 통한 해양 신산업창출 기반 마련 및 미래 환경예측 원천기술 선도
- (연구 내용) 해양기초원천기술개발 및 극지기초원천기술개발지원 수행
 - (해양기초원천기술개발) 해양생명, 해양신소재/신약, 해양환경 등 기술개발
 - (해양생명) 해양미세조류 융합오믹스 기반 무세포 유용물질 생합성 시스템개발 연구 및 해양 원생생물 생명현상 융합 프로세스 연구
 - (해양 신소재/신약) 해양 생물기반 소태아혈청(FBS) 대체 바이오 소재 원천기술개발, 해양유래 생리활성 물질을 이용한 신의약소재 연구
 - (해양환경) 유해 미세조류 발생 메커니즘 규명 및 제어를 위한 해양기초원천기술개발 및 해산식물 포자 피막화 원천기술개발 연구
 - (극지기초원천기술개발지원) 극지환경변화 및 극지지형변화 및 기후변화복원기술개발
 - (극지환경변화) 환북극 동토층 환경변화 분석을 통한 미래예측 및 유용생물 응용 기술 개발
 - (극지지형변화 및 기후변화복원기술개발) 스발바르 피오르드 환경변화에 대한 생태계변화 감지 및 영향 모니터링 및 기후변화에 의한 피오르드 생태계 변화와 영향 및 생지화학적 물질순환 변화과정을 통한 극지 환경 미래 예측
- (동사업과의 중복성) 중복성 없음

<유관사업 현황>

구분	급격한 남극빙상용융에 따른 근미래 전지구 해수면 상승 예측기술개발	극한지 개발 및 탐사용 협동 이동체 시스템 기술개발	극지 및 대양과학연구	해양극지 기초원천기술개발
추진부처	해양수산부	다부처 (해수부, 과기부, 산업부)	해양수산부	과학기술정보통신부
사업기간	2023~2031	2021~2025	2011~2023(일몰)	2010~2024
사업비	428.5억 원	271억 원	1,532.83억 원	938.16억 원(~' 23년까지)
사업목표	기후변화에 따른 남극 빙상의 급격한 용해 원인 규명과 이에 따른 전지구 해수면 상승 기여도 예측기술개발	극한지에 초 연결, 자율협력, 지능형 기술을 적용하여 극한 환경에서 광대역 자원탐사 및 정찰이 가능한 극한지 사물인터넷(IoET, Internet of Extreme Things) 기반 협동 이동체 및 장비 기술 개발	양극해 환경변화 관측, 극지 빙권 변화 분석과 대양연구를 통한 우리나라 해양기후변화 예측, 대양자원 발굴 및 활용기반 구축	해양 및 극지 분야 기초·원천기술 확보를 통한 해양 신산업창출 기반 마련 및 미래 환경예측 원천기술 선도
사업내용	- (남극 빙권 종합 관측망 고도화) 관측자료 기반 빙상용융 과정 원인규명 - (해수면 및 기후재난 발생 예측) 남극 빙상 용융에 따른 쉰 지구 해수면 상승 예측 기술 개발	- 초 연결, 자율협력, 지능형 기술을 적용하여 광대역 자원탐사 및 정찰이 가능한 극한지 사물인터넷 기반 협동 이동체 및 장비 기술 개발	- (남극 장보고기지 활용 기반기술) 전 지구 기후예측모델 정확도를 향상시켜 기후변화 문제 해결 및 신기후 체제에 선제적 대응 - (대양 활용 연구) 심해저 탐사기술 확보로 해양과학 국제경쟁력제고, 대양기반 태풍·고수온 기후예측 정확도 향상	- (해양기초원천기술개발) 해양생명, 해양신소재/신약, 해양환경 등 기술개발 - (극지기초원천기술개발지원) 극지환경변화 및 극지지형변화 및 기후변화목원기술개발
동 사업과의 중복성	중복성 없음			
동 사업과의 연계성				

3. 연구개발 기관 및 인력

□ 극지연구소(KOPRI)

○ (역할)

- 기후변화에 의한 극지 환경 변화 감시와 원인 규명
- 극지역 온난화가 초래하는 국가·사회 문제해결
- 극지연구 신성장 동력 및 실용화 성과 창출
- 극지 미답지 개척 및 탐사 기술 개발

○ (조직 및 인력)

- 극지연구소 내 5개 본부와 6개의 부서, 2개의 연구단 등 극지 연구 분야에 따라 총 453명의 전문인력을 확보하고 있음

〈극지연구소 연구인력〉

	부서	담당 업무	인원(수)
극지 연구소 (총 453명)	소장	극지연구소 소장	1
	부소장	극지연구소 부소장	1
	대기연구본부	극지 기후변화 연구, 대기관측, 극지 에어로졸 관측, 우주과학, 해빙모델링, 기상자료 분석 등	45
	빙하환경연구본부	빙권지진학, 고기후/고해양/고환경 연구, 빙권모델링, 빙하시료 전처리 및 분석, 빙하동역학 등	42
	생명과학연구본부	극지 생물에 관한 분자공학적 연구 및 개발, 극지 미생물 생태 연구, 극지생물 연구, 토양의 물리화학적 분석, 생명과학 연구, 극지식물 연구 등	81
	원격탐사빙권정보센터	인공위성 원격탐사, 레이더 원격탐사, 지질원격탐사, 에너지지원 원격탐사, 해빙 원격탐사, 극지위성 원격탐사 등	11
	지권연구본부	지구화학 연구, 극기 지질학 연구, 극지 지질시료 분석, 고생물학 연구, 남극운석연구, 지진자료 분석 등	30
	해양연구본부	해양 생태학, 극지 해양 연구, 해양 물리 관측, 해양퇴적물 분석, 해양생물 현장관측 지원, 해양유기화합물 분석, 해양물리, 식물플랑크톤 생태 연구, 해양생태 연구 등	40
	저온신소재연구단	구조생물학, 저온 얼음의 화학적 특성 연구, 극지생물 유전체 분석, 극지유래 천연물연구 등	19
	남극내륙연구사업단	남북극 미답지 탐사, 남극내륙 연구캠프 운영, 남극내륙 지출루트 설계, 남북극 미답지 탐사 등	11

미래기술개발부		4
기술개발지원실	연구장비 유지보수, 극지 연구 장비 개발 등	9
데이터관리실	극지통합정보시스템 구축, 한국극지데이터센터 운영 등	4
전략기획부		2
정책개발실	정책개발, 극지정책 및 중장기 발전 의제 발굴, 전략 수립, 정책정보 생산 및 관리, 극지정책 수립지원, 극지법 및 정부부처 요청자료 대응	6
연구기획실	연구 성과관리, 연구성과확산, 연구사업 기획 등	4
연구사업관리실	해양수산부 국가 R&D 사업관리, 정부 용역(해양수산부 등), 연구정책지원사업관리, PAP/PIP 인프라공동활용사업관리 등	5
글로벌협력부		1
문화홍보실	언론홍보, 대외협력, 학술 및 문헌정보, 기업협업 등	8
국제협력실	국제기구 협력, 국제행사 기획, 해외 협력센터 운영지원 등	5
KOPRI-NPI 극지연구협력센터	극지정책 및 한국북극연구컨소시엄(KoARC) 운영	1
한·칠레 남극 협력센터	한·칠레 남극협력센터 운영	1
한·뉴질랜드 남극협력센터	극지 지구물리 관측망 구축 및 자료 분석	1
인프라운영부		1
기지운영실	남극과학기지 운영지원, 극지 피복 관리, 남극과학기지 보급 및 시설유지, 월동연구대 구성 및 선발 등	15
쇄빙선운영실	쇄빙선 운영 업무	4
남극세종과학기지	남북극 고층대기 관측장비 운영 및 자료분석, 보안업무 추진계획 수립 및 시행 등	15
남극장보고과학기지	빙하 고기후/고환경 연구	12
경영기획부	기획예산실/정보전산실	9
행정부	인사/재무/총무자재/시설보안	60
차세대 쇄빙연구선 건조사업단	차세대 쇄빙연구선 건조사업단 운영	5

□ 한국해양과학기술원(KIOST)

- (역할) 국내 유일의 종합해양과학기술 연구기관으로, 해양특성 조사연구와 해양과학기술 개발, 해양자원 개발, 해양환경 보전과 지구환경 연구, 남극환경과 자원조사 등 해양과 남극에 관련된 광범위한 연구사업을 추진
 - 해양과학기술 및 해양산업 발전에 필요한 원천 연구, 응용 및 실용화 연구

- 해양 및 극지과학기술 정책, 제도 연구
 - 해양분야 우수 전문인력 양성 및 대국민 서비스
 - 해양관련 기기·장비기술개발과 검·교정
 - 해양과학기지 등 해양인프라 구축 및 운영
 - 국내·외 대학, 연구기관, 산업체 등과 수탁·위탁 공동연구 및 기술제휴
- (조직 및 인력) 한국해양과학기술원 내 8개 본부를 포함하여 13개 부서로 조직이 구성되어 있으며, 총 732명('21년 1분기 기준)의 전문인력 보유
- 국제협력부, 경영본부, 연구개발부, 해양환경·기후 연구본부, 해양자원연구본부, 해양공학연구본부, 해양영토연구본부, 해양연구기반부와, 해양정책연구소, KIOST스쿨, 남해연구소, 동해연구소, 제주연구소 등으로 조직 구성



4. 연구개발 시설 및 장비

1) 국내 남극연구 기반 인프라 현황

□ 남극세종과학기지

- 우리나라는 1986년 11월 남극조약에 가입한 후, 본격적인 남극 연구를 위해 1988년 2월 남극 세종과학기지를 건설
- (위치) 62° 13' S, 58 ° 47' W 서울에서 17,240km
 - 서남극 남극반도에 평행하게 발달한 남셰틀랜드 군도(South Shetland Islands)의 킹조지섬에 위치
 - 남극세종과학기지가 위치하고 있는 남셰틀랜드 군도의 킹조지섬은 남극에서 문명세계(남미)와 가장 가까이 위치하여, 남극세종과학기지 이외에도 아르헨티나, 러시아, 칠레, 우루과이, 브라질, 폴란드, 중국 (총 8개국)의 상주 기지 존재
- (주요 업무)
 - 기후변화, 해양, 대기, 오존층, 고기후, 유용생물자원 연구
 - 세계기상기구 전송, 기상청·대학·출연(연)과 공유
 - 남극조류에 대한 생태계모니터링
- (기온) 평균온도: -1.8℃, 최저온도: -25.6℃
- (최대 수용인원) 약 78명
- (규모) 16개동 5,864m²



<남극세종과학기지 건물 현황>

□ 남극장보고과학기지

- 남극세종과학기지에 이어 남극 대륙 중심부로 진출하기 위해 '14년 남극장보고과학기지 준공
- (위치) 74° 37.4' S, 164° 12.0'E 서울에서 12,740km
 - 동남극 북빅토리아랜드(Northern Victoria Land) 테라노바 만(Terra Nova Bay) 연안에 남극장보고과학기지를 준공
- (주요 업무)
 - 남극장보고과학기지는 남극 중심부와 해안으로의 접근성이 용이하여 기후변화 연구, 지형 및 지질 조사, 고층대기, 우주과학연구 등 다양한 자료 확보와 특성화된 연구 수행이 가능한 첨단 연구시설
 - 우주, 천문, 빙하, 운석 등 대륙기간 연구
 - 빙권 변화 기작 파악 및 예측을 통한 기후변화 연구
 - 극지분야 융복합 연구테스트베드 역할
- (기온) 평균온도: -15.1℃, 최저온도: -38.3℃
- (최대 수용인원) 약 80명
- (규모) 16개동 4,661m²
- (건물현황) 본관동, 유지보수동, 독립연구동으로 구분
 - 본관동: 연구실, 월동대숙소, 하계대숙소, 통신실, 식당, 도서관 등
 - 유지보수동: 발전동, 정비동, 비상대피동, 비상발전동
 - 독립연구동: 라디오존데 비양동, 위성통신안테나, 위성영상수신안테나, 지구물리 장비시험동, 기상관측시스템 등



<남극장보고과학기지 건물현황>

□ 쇄빙연구선 아라온호

- (쇄빙선 역할) '부술 쇄(碎)', '얼음 빙(氷)', '배 선(船)' 즉, '얼음을 깨는 배'로 남극 해와 북극해처럼 얼어있는 바다에서 독자적인 항해 가능한 선박으로 극지 포함 결빙지역을 자력으로 항해할 수 있을 뿐 아니라 일반선박이 항해할 수 없는 결빙지역에서 항로를 개척해줌으로써 화물 수송이 가능하도록 돕거나 얼음에 갇힌 선박을 구조하는 역할 등을 수행
- (주요 역할) 남북극 결빙해역에서의 독자적인 극지연구 수행 및 남북극 기지에 대한 보급 및 인원 수송
- (주요연구분야) 극지 환경변화 모니터링, 대기환경 및 오존층 연구, 고해양 및 고기후 연구, 해양생물 자원 개발 연구, 지질환경 및 자원특성 연구 등
- (아라온호 특징)
 - 아라온호는 1미터 평탄빙을 3노트로 항해가 가능한 성능으로 건조되어 남북극 결빙지역에서의 독자적인 항해 뿐 아니라 다른 선박을 위해 항로를 개척하는 임무를 수행하기 때문에 일반 선박에 비해 쇄빙하는 선수부 또는 선미부의 폭이 넓음
 - 얼음을 깨고 전진해야 하므로 일반선박에 비해 구조적으로 튼튼하며 엔진출력이 대단히 크고 얼음을 쉽게 깰 수 있도록 선형의 돌출부가 없는 경사진 선수형상을 하고 있으며, 얼음에 부딪쳐도 안전하도록 선체의 외벽이 매우 두꺼운 저온용 특수 철판으로 구성
 - 아라온호에는 51종의 연구장비가 설치되어 있어 극지 환경변화 모니터링, 대기환경 및 오존층 연구, 고해양 및 고기후 연구, 해양생물자원 개발연구, 지질환경 및 자원특성 연구 등 다양한 연구활동 지원이 가능

- 또한 남극 과학기지의 보급품을 운반하기 위하여 컨테이너 31 TEU 적재가 가능한 공간이 확보되어 있으며, 최대 25톤 및 10톤, 3톤의 용량의 크레인 설비

- (최대 항속거리) 17,000해리
- (승선 인원) 85명(승무원 25명, 연구원 60명)
- (쇄빙 능력) KR PL-10 극지운항온도 - 30℃, 1m 두께의 평탄빙을 시속 3노트로 쇄빙
- (컨테이너 적재량) 20피트 컨테이너 31TEU(개)



<쇄빙연구선 아라온호>

<남극연구 기반 인프라 현황>

	시설 이름	특징
1	남극세종과학기지	'88년 2월 본격적인 남극연구를 위해 남극 세종과학기지를 건설하였으며 매년 약 18여명으로 구성된 월동연구대가 1년간 상주하여 기지유지 업무 수행
2	남극장보고과학기지	남극 중심부와 해안으로의 접근이 용이하여 기후변화, 지형 및 지질, 고층대기, 우주과학연구 등 특성화된 연구 수행 가능
3	쇄빙연구선 아라온호	51종의 연구장비가 설치되어 있어 독자적이고 다양한 극지 연구를 수행하고, 남북극 기지에 대한 인원 수송 및 보급 업무 수행

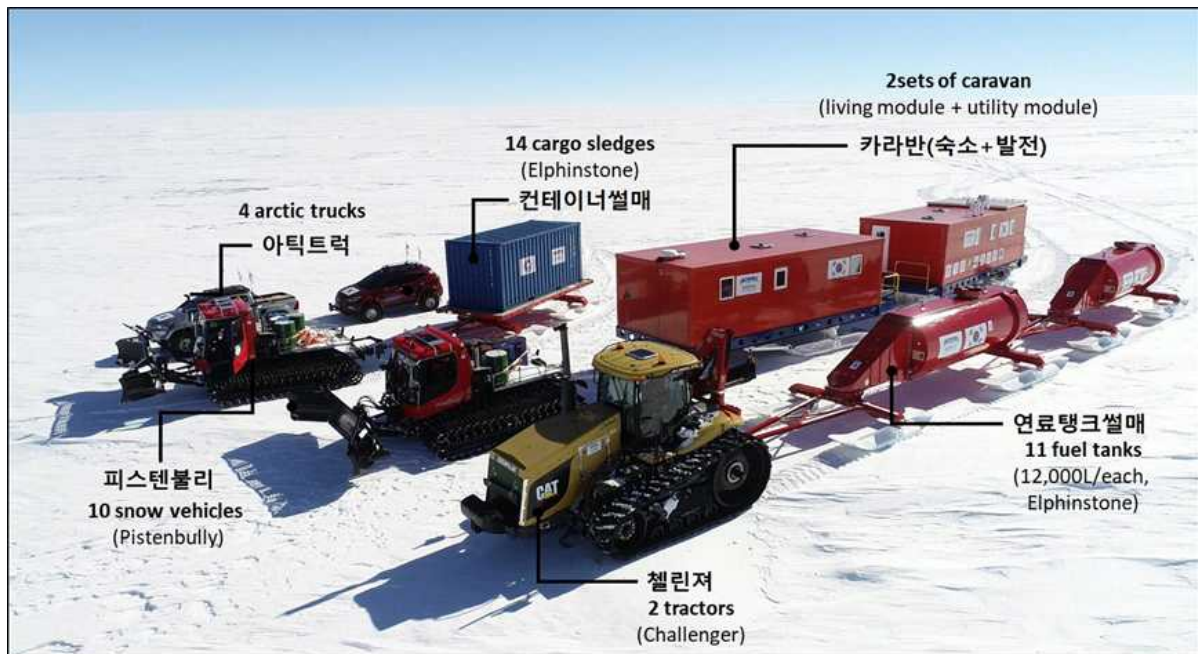
2) 남극내륙 탐사선단

□ 탐사장비 현황

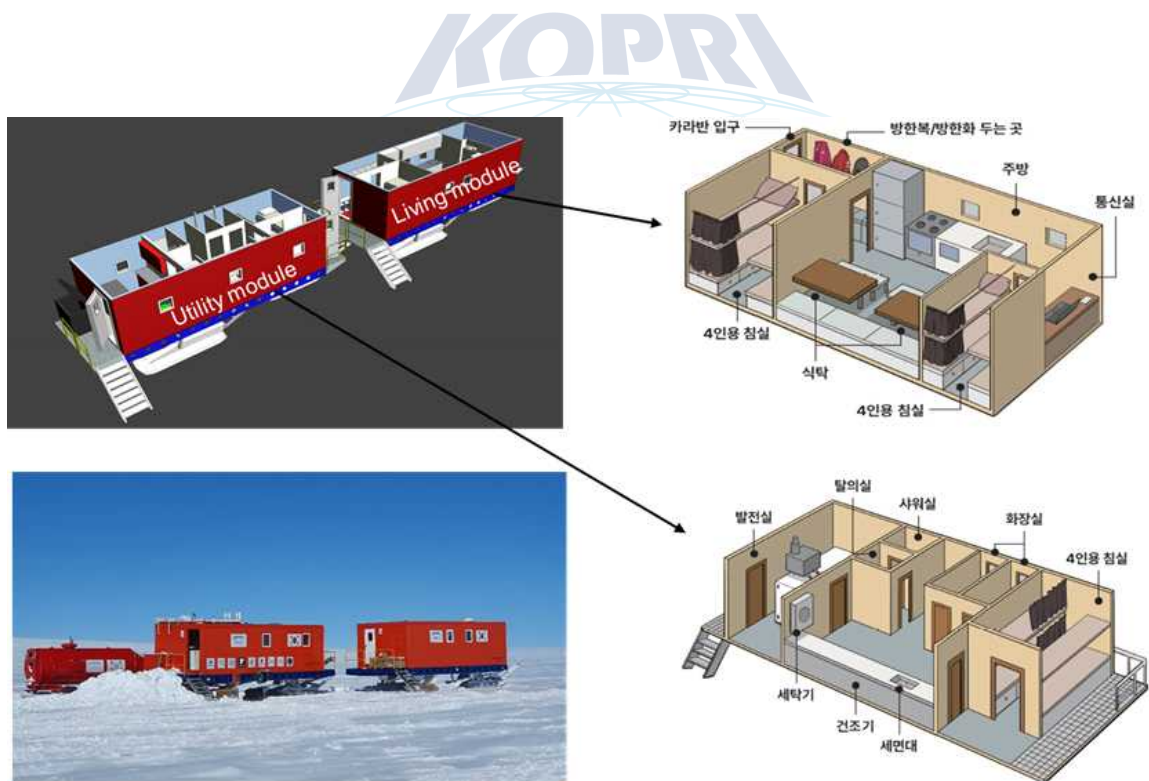
- (탐사차량) 피스텐블리 설상차 10대, 챌린저 트랙터 2대 및 아틱트릭 4대 보유
- (화물 플랫폼) 일반 화물썰매 15대, 연료탱크 썰매 11대 및 ISO탱크 2대를 보유하여 총 300톤의 화물과 150톤의 연료 운송능력 확보
- (이동캠프시설) 발전동과 생활동으로 이루어진 캐러반 2세트를 보유하여 총 24명까지 체류 가능

<25년도 남극내륙 탐사장비 보관현황>

보유 위치	보유장비명	수량
장보고 기지	- 화물운송썰매	7 대
	- 클린랩 컨테이너	1 대
	- 100kw 발전기 컨테이너	2 대
	- 피스텐블리	8 대
	- 연료탱크	6 대
	- 24/25보급ISO 2만리터	1 대
	- 23/24보급ISO 2만리터보유	1 대
	- 아틱트릭 (히어로) 싼타페	1 대
	- 고단열컨테이너/열수시추	1
	- 폐기물 보관 컨테이너	1
	- 폭약컨테이너	1
K루트 베이스캠프 (JBS 110 km)	- 연료탱크썰매	5 대
	- ISO 연료탱크	1 대
	- 캐러반 1호	1 세트
	- 캐러반 2호	1 세트
	- 식자재컨테이너	1 대
	- 공구보관컨테이너	1 대
	- 안전장구류 보관 컨테이너	1 대
	- 아틱트릭컨테이너	1 대
	- 아틱트릭 컨테이너	1 대
	- 아틱트릭 컨테이너	1 대
	- 챌린저 1호	1 대
	- 챌린저 2호	1 대
	- 피스텐블리 8호	1 대
90km경유지	- 피스텐블리 (7호)	1 대
돔 C	- ISO 연료탱크	1 대



<남극내륙 탐사선단 탐사차량 종류>



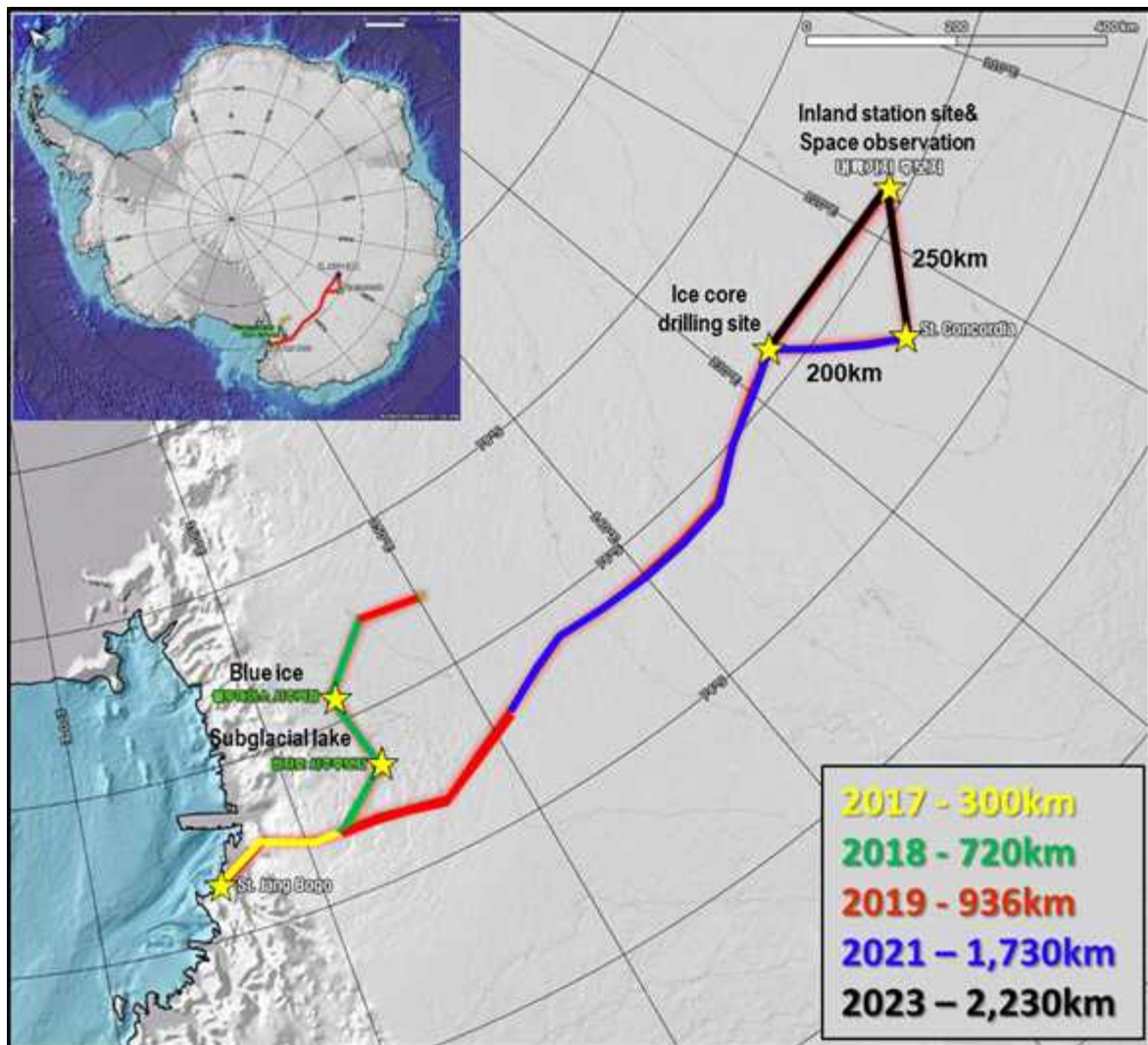
<남극내륙 탐사선단의 캐러반 이동캠프 시설>



<캐러반 이동캠프시설>

□ 남극내륙 진출루트 개척 현황

- (육상 보급로) 장보고기지로부터 심부빙하 시추거점과 콘코르디아 기지를 거쳐 남극내륙기지 후보지인 천문우주 관측거점에 이르는 1800km의 탐사루트와 빙저호 시추 후보지 및 블루아이스 연구거점을 잇는 430km의 과학루트 등 총 2200km의 남극내륙 진출루트 개척 완료
- (연구거점) K루트 베이스캠프와 남극내륙 3대 연구거점 및 심부 빙저호 시추 후보지 등의 연구거점 구축
 - (베이스캠프) 장보고기지 기점 110km 지점에 위치한 베이스캠프는 남극내륙 진출루트 초입에 분포한 크레바스 위험구간을 벗어난 지점으로써, 대부분의 탐사 장비 보관과 정비 수행
 - (남극내륙 3대 연구거점) 3,000m급 심부빙하시추를 위한 심부빙하 시추거점과 남극내륙 천문관측연구 수행을 위한 천문우주 관측거점, 가장 오래된 이산화탄소 변화기록 복원을 위한 블루아이스 연구거점 등 구축
 - (심부빙저호 시추 후보지) 장보고기지 기점 450km 지점에 위치한 데이비드 빙하 상류지점에서 2,000m 빙상 하부에 심부 빙저호 존재 확인



<연차별 남극내륙 진출루트 개척 진도 및 주요 연구거점 위치>

제2절 남극내륙연구 기술수준 분석

1. 국내 기술수준

□ 극지해양과학 분야 기술수준

- 극지해양과학 분야는 극지의 자연현상과 환경변화를 이해하고 예측하며, 극지에 존재하는 다양한 자원을 활용하기 위한 제반 기술을 포함하며 3개의 중분류로 구분

<극지해양과학 분야 정의 및 하위분류체계>

하위 중분류	정의
(1)극지해양기초연구	극지의 해양을 비롯한 자연환경의 특성을 규명하고, 다른 지구시스템에 미치는 영향을 이해하기 위한 감시 및 예측기술
(2)극지해양자원탐사	극지해양생물 다양성과 생명현상 규명 및 보존, 관리를 위한 생명공학 기반 응용 기술과 극지역의 해저, 해상 및 하층토에 부존하는 유용광물자원을 효율적으로 획득이용하기 위한 탐사개발 기술
(3)극지공학인프라	극지연구를 위한 공학기술 및 연구기반 시설의 구축과 관련한 기술

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

- (1)극지해양기초연구 분야는 5개의 소분류로 구분됨

<극지해양기초연구 분야 정의 및 하위분류체계>

하위 소분류	정의
극지해양	극지해양의 물리적인 성질과 생지화화학적 역할 (해양순환 및 해양·대기·해빙 상호작용 등)을 현장 및 원격관측을 통해 측정하고 탐사하는 연구
극지생명과과학	극한지 생물의 다양성과 생명현상을 파악하고, 생태계의 구조와 기능을 규명하기 위한 연구
극지지질/지구물리	극지 해저 및 육상에서 관찰되고 있는 다양한 지질현상을 지질/지구물리학적으로 조사하는 연구
극지대기/기후	기후변화에 의한 극지역 고·저층 대기 및 해양환경 관측 및 자료 분석을 통한 이해 및 상관관계를 연구
빙하연구	남북극과 고산지대에 분포하는 모든 형태의 얼음을 대상으로 기후학적, 대기화학적, 지질학적, 기상학적, 지구물리학적, 지리/지형학적, 결정학적 특성을 규명하는 연구

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

- (2)극지해양자원탐사 분야는 2개의 소분류로 구분됨

<극지해양기초연구 분야 정의 및 하위분류체계>

하위 소분류	정의
극지 생물자원 탐사 및	극한 환경에 서식하는 생명자원으로부터 신소재 및 신물질 등을

활용기술	개발하여 자원화할 수 있는 기술개발
극지 광물자원 탐사 및 활용기술	극지역 해저 에너지·광물자원의 부존 지역과 매장량 파악 및 개발에 관련된 제반 기술

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

○ (3)극지공학인프라 분야는 4개의 소분류로 구분됨

〈극지해양기초연구 분야 정의 및 하위분류체계〉

하위 소분류	정의
극지 공학	극한지 공학(동토학 등) 및 해양조선 개발 및 운용기술 등 극지과학 연구로 파생된 제반 공학기술
극지 인프라 구축 및 활용기술	극지 구조물을 건설하기 위해 필요한 신재료, 시공 및 공사용 장비개발, 연구시설 및 장비 등 극지연구에 활용되는 제반 인프라의 구축 및 활용기술
극지통신 기반기술	극한지에서의 통신 안정성 제고에 필요한 공학기술
극지 정책 및 국제협력	남북극 활동 및 거버넌스 관련 국제협약과 국가별 법제도 및 정책, 국제 공동연구와 인프라 활용 등 국제협력 관련 연구

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

- 한국의 기술수준은 최고기술보유국(미국) 대비 70.0%로 추격그룹에 해당 되고, 기술 격차는 5년 5개월로 평가
 - 극지해양과학 분야의 최고기술보유국은 미국으로, 뒤를 이어 EU, 일본, 중국, 한국 순으로 평가
 - 기술격차는 EU(1년 4개월)가 가장 가깝게 추격하고 있으며, 일본은 3년 3개월, 중국 2년 2개월, 한국 5년 5개월로 나타남

〈극지해양과학 분야 주요국 기술수준 및 기술격차〉

구분	한국	중국	일본	EU	미국
기술수준	70.0%	78.3%	83.3%	95.0%	100%
기술수준 그룹	추격	추격	선도	선도	최고
기술격차	5년 5개월	4년 2개월	3년 4개월	1년 4개월	

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

- 한국의 '20년 최고기술 보유국 대비 기술수준은 '16년 대비 0.4%p 하락하였고, 기술격차는 1년 5개월 감소한 것으로 나타남

〈한국의 극지해양과학 분야 기술수준 및 기술격차 비교〉

'16년 분석 결과			'20년 분석 결과			증감		
순위	기술 수준	기술 격차	순위	기술 수준	기술 격차	순위	기술 수준	기술 격차

5	70.4%	6년 10개월	5	70.0%	5년 5개월	-	0.4% 하락	1년 5개월 감소

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

○ 극지해양과학 분야 내 3개 중분류의 기술 수준은 70%로 동일하게 평가

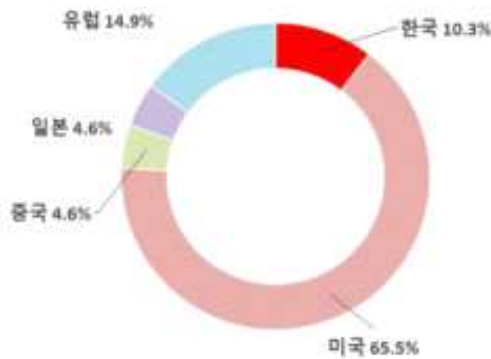
- 기술격차는 극지공학인프라(5년) 분야가 가장 작고, 극지해양기초연구(6년) 분야가 가장 큰 것으로 분석
- 한국은 다른 국가 대비 극지연구 분야의 후발 주자이지만 빠른 속도로 연구 성과를 나타내고 있으며, 극지해양기초연구 분야에서 초기에는 선진연구기관과 공동연구형태로 연구를 수행하였으나 최근에는 독자적인 연구로 좋은 성과를 보이고 있음
- 극지해양자원탐사 분야의 연구는 타국 대비 연구자 그룹 규모가 작고 연구인프라(연구장비, 연구선)가 충분하지 않고 짧은 연구경험으로 인해 축적 데이터가 다소 부족한 현실
- 극지에서 과학활동(해양, 우주, 환경, 생물 등)을 지속적으로 전개하고 있으나, 극지공학인프라 분야의 공학적 기술은 타 국가에 의존적인 상황으로 대부분의 장비 및 시스템을 수입하여 쓰고 있는 실정

<극지해양과학 분야 중분류별 한국의 기술수준>

구분	기술 수준	기술 격차	기술 그룹	기술발전단계
극지해양기초연구	70.0%	6년	추격	성장기
극지해양자원탐사	70.0%	5년 3개월	추격	성장기
극지공학인프라	70.0%	5년	추격	성장기

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

- 한국 극지해양과학 분야의 5년간('14~'18년) 특허 점유율은 주요 5개국 중 4위로 나타났으며, 특허 영향력은 2위로 분석됨
- 한국의 특허 점유율은 과거 5년('09~'13년) 대비 소폭 증가하였으나, 순위는 4위로 한 단계 하락하였고 특허 영향력의 경우 두 단계 상승한 모습을 보임
 - 특허 영향력에서 한국과 미국의 영향력은 과거 5년 대비 증가하였고, 중국과 EU의 경우 과거 5년 대비 감소한 것으로 나타남



[국가별 특허출원 점유율 ('09~'13)]

국가	특허 점유율 (순위)	특허 영향력 (순위)
한국	10.3% (3)	0.33 (4)
중국	4.6% (4)	0.76 (2)
일본	4.6% (4)	0.00 (5)
EU	14.9% (2)	0.52 (3)
미국	65.5% (1)	1.30 (1)

[국가별 특허 경쟁력 ('09~'13)]



[국가별 특허출원 점유율 ('14~'18)]

국가	특허 점유율 (순위)	특허 영향력 (순위)
한국	10.6% (4)	0.53 (2)
중국	12.9% (3)	0.00 (4)
일본	1.2% (5)	0.00 (4)
EU	14.1% (2)	0.32 (3)
미국	61.2% (1)	1.33 (1)

[국가별 특허 경쟁력 ('14~'18)]

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

<극지해양과학 분야 특허 경쟁력>

극지연구소

- 전체 극지해양과학 분야의 특허 출원인 Top10에서 가장 높은 비중을 차지하는 국가는 미국으로, 한국의 경우 Top10에 진입하여있으나 비중은 다소 낮은 편

순위	출원인	국가	점유율
1	엑손모빌업스트림리서치 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO)	미국	4.8%
2	대우조선해양(주) (DAEWOO SHIPBUILDING & MARI)	한국	4.8%
3	ANADARKO PETROLEUM CORP	미국	4.8%
4	3D SYSTEMS INC	미국	3.6%
5	POLAR TECHNOLOGY, LLC	미국	2.4%
6	GW SERVICES, LLC	미국	2.4%
7	ARCTIC CAT INC	미국	2.4%
8	한국해양과학기술원 (KOREA OCEAN RES DEV INST)	한국	2.4%
9	UNIV DALIAN TECH	중국	2.4%
10	아이에이치아이(IHI CORP)	일본	2.4%

[Top10 특허 출원인 ('09~'13)]

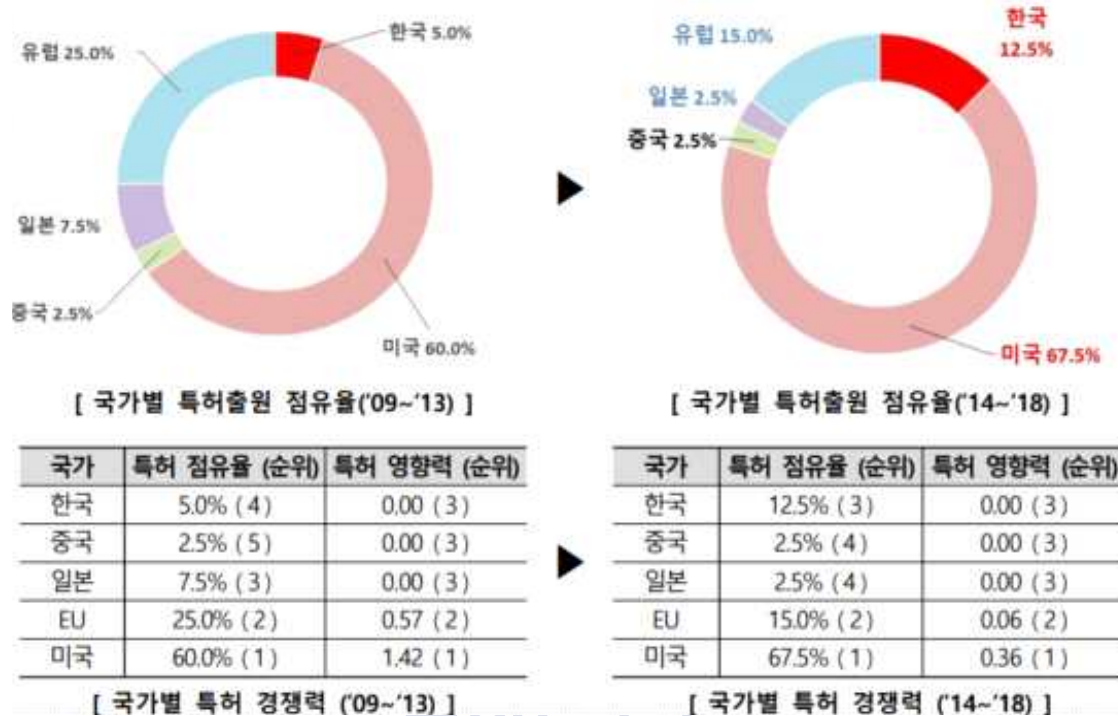
순위	출원인	국가	점유율
1	엑손모빌업스트림리서치 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO)	미국	3.6%
2	CONOCOPHILLIPS CO	미국	3.6%
3	CHINA INSTITUTE OF WATER RESOURCES AND HYDROPOWER RESEARCH	중국	3.6%
4	POLAR TECHNOLOGY, LLC	미국	2.4%
5	US NAVY	미국	2.4%
6	프린스턴유니버시티(UNIV PRINCETON)	미국	2.4%
7	AMP-THERAPEUTICS GMBH	독일	2.4%
8	G-LAND	한국	2.4%
9	ION GEOPHYSICAL CORP	미국	2.4%
10	KOREA ASTRONOMY AND SPACE SCIENCE INSTITUTE	한국	2.4%

[Top10 특허 출원인 ('14~'18)]

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

<극지해양과학 분야 Top10 특허 출원인>

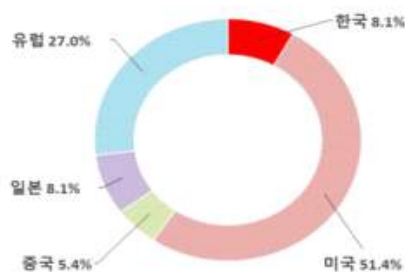
- 한국의 극지해양과학 분야 중 극지해양기초연구 부분은 5년간('14~'18년) 특허 점유율과 영향력이 모두 주요 5개국 중 3위를 기록
 - 극지해양기초연구 분야에서 한국의 특허 점유율은 과거 5년('09~' 13년) 대비 7.5%p 증가하여 순위로 3위로 한 단계 상승



출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

<극지해양기초연구 분야 특허 경쟁력>

- 국내 극지해양자원탐사 분야의 5년간('14~'18년) 특허 점유율은 주요 5개국 중 4 위, 특허 영향력은 2위로 분석
 - 극지해양자원탐사 분야에서는 한국의 특허 점유율과 영향력이 과거('09~' 13년)에 비해 감소한 것으로 나타남
 - 특허 점유율에서 가장 큰 변화를 보인 국가는 중국으로, 과거 대비 25.4%p 증가하여 5위에서 2위로 상승한 모습을 보임



[국가별 특허출원 점유율('09~'13)]

국가	특허 점유율 (순위)	특허 영향력 (순위)
한국	8.1% (3)	0.99 (3)
중국	5.4% (5)	1.39 (1)
일본	8.1% (3)	0.00 (5)
EU	27.0% (2)	0.59 (4)
미국	51.4% (1)	1.25 (2)

[국가별 특허 경쟁력 ('09~'13)]



[국가별 특허출원 점유율('14~'18)]

국가	특허 점유율 (순위)	특허 영향력 (순위)
한국	7.7% (4)	0.00 (2)
중국	30.8% (2)	0.00 (2)
일본	0.0% (5)	0.00 (2)
EU	10.3% (3)	0.00 (2)
미국	51.3% (1)	0.36 (1)

[국가별 특허 경쟁력 ('14~'18)]

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

[극지해양자원탐사 분야 특허 경쟁력]

- 국내 극지공학 인프라 분야의 5년간('14~'18년) 특허 점유율은 주요 5개국 중 2위, 특허영향력은 3위로 분석
- 한국은 특허 점유율과 영향력이 과거 5년('09~' 13년)에 비해 모두 증가



[국가별 특허출원 점유율('09~'13)]

국가	특허 점유율 (순위)	특허 영향력 (순위)
한국	8.9% (3)	0.14 (3)
중국	2.2% (4)	0.00 (4)
일본	2.2% (4)	0.00 (4)
EU	11.1% (2)	0.57 (2)
미국	75.6% (1)	1.25 (1)

[국가별 특허 경쟁력 ('09~'13)]



[국가별 특허출원 점유율('14~'18)]

국가	특허 점유율 (순위)	특허 영향력 (순위)
한국	13.2% (2)	0.43 (3)
중국	5.3% (4)	0.00 (4)
일본	0.0% (5)	0.00 (4)
EU	13.2% (2)	0.64 (2)
미국	68.4% (1)	1.34 (1)

[국가별 특허 경쟁력 ('14~'18)]

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”

<극지공학인프라 분야 특허 경쟁력>

제3절 연구 성과(논문) 분석

1) 분석 개요

□ 남극 인프라 확충에 따른 연구 성과 향상 수준을 파악하기 위하여, 논문 기반의 성과분석 수행

○ 남극기지 등 연구인프라의 확충과 이에 따른 연구 성과의 양적·질적 수준 향상과의 상관관계를 파악하고, 이에 따른 남극내륙기지 구축·운영의 당위성을 확보하기 위한 목적으로 분석 수행

- 남극 연구는 기초연구 분야로 이의 핵심 성과인 논문을 대상으로 성과분석을 수행하며, 전문 DB를 활용한 논문검색 및 통계분석을 통해 연구 성과의 양적·질적 수준 향상을 파악

○ 동 분석은 최근 16년간('08~'23) 게재된 논문(SCIE, SSCI, AHCI)을 대상으로 검색식을 활용해 논문 데이터를 확보, 데이터 클렌을 통해 유효 데이터를 확정하였음

- (검색 결과) 검색식 기반의 논문검색 결과 총 58,646건의 논문 데이터를 도출

- (1차 노이즈 제거) Web of Science 내 주제별 카테고리 중 남극 연구와 관련이 낮은 분야의 논문 카테고리는 검색 결과에서 제외

• (제외 카테고리) 의학, 병리학, 전염병 등 의학 관련 카테고리, 경영, 정책, 역사 등 인문학 카테고리, 문학, 음악, 체육 등 예술 카테고리

※ 단, 남극기지 연구원 대상 신체적 및 정신적 건강 관리 등에 대한 의학 카테고리는 포함

- (2차 노이즈 제거) 비교분석 대상 국가(19개국)의 논문 데이터를 추출하고, 논문 제목(Title) 및 요약문(Abstract)의 내용과 남극 연구의 관련성을 검토하여, 무관한 논문을 제외

• 제1저자 주소지에 따른소속 국가를 기준으로 남극 연구활동이 활발한 19개 국가*를 선별

* 미국, 중국, 독일, 프랑스, 일본, 이탈리아, 영국, 호주, 캐나다, 한국, 러시아, 뉴질랜드, 칠레, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 덴마크, 핀란드, 아이슬란드

• 논문 데이터의 제목, 요약문, 세부 내용의 직접 검토를 통해 남극 연구와 무관한 논문 제외

- (유효 데이터 확정) 최종적으로 총 41,917 건의 논문을 분석 대상으로 설정

○ 동 분석은 유효 데이터를 활용한 국가별·연도별 논문 게재 현황 등 정량 분석을 통한 양적 분석 및 피인용 수가 높은 주요 논문의 주요 내용 분석을 통한 정성 분석을 수행하였음

- (정량 분석) 국가별·연도별 논문 게재 현황, 국내 논문 게재 현황 및 추이 등

- 대한민국 남극 인프라 확충(아라온호('09), 세종기지('14) 등)에 따른 논문 증가 수준
- (정성 분석) 주요 국가별 피인용 수가 높은 상위 5개 남극 연구 논문 및 남극 내륙 관련 연구의 연구 주제 및 주요 내용, 연구 결과 분석

<남극 연구 성과분석 개요>

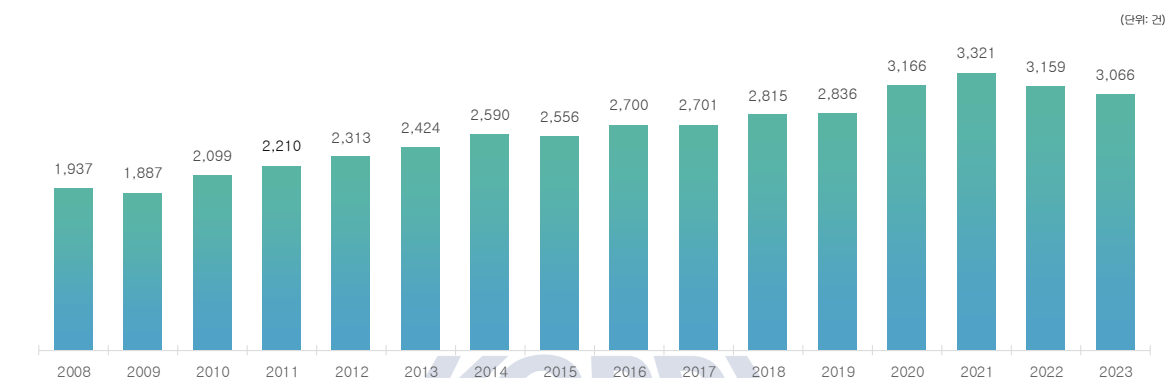
구분	방법
검색 DB	Web of Science
검색 및 분석범위	2008년 1월 1일 ~ 2023년 12월 31일 (16년)
핵심 키워드	"antarctic", "south pole", "south polar", "deep ice core", "subglacial lake" 등
제외 키워드	Arctic, "antarctic lipase", "moon", "lunar", "venus", "mars", "jupiter", "saturn", "titan", "mercury's polar", "Enceladus", "candida antarctic" 등
검색식	TS= ("antarctic" OR "antarctic*" OR "south pole" OR "south polar" OR "deep ice core" OR "subglacial lake") OR (TS=("antarctic" OR "antarctic*" OR "south pole" OR "south polar" OR "polar region" OR "polar*") AND TS=("extreme environments test" OR "ecolog*" OR "eco-system*" OR "ecosystem*" OR "food web" OR "meteorolog*" OR "acidifi*" OR "sea level" OR "phytoplankton" OR "zooplankton" OR "mesozooplankton" OR "plankton" OR "chlorophyll*" OR "benthos" OR "black carbon" OR "euphausiid*" OR "amphipod*" OR "arthropod*" OR "holocene" OR "genomic*" OR "fungal" OR "glacier*" OR "ice cover" OR "ice core" OR "ice zone" OR "drift ice" OR "ice-tethered" OR "tundra" OR "snowpack" OR "snow cover" OR "microbial" OR "biodiversity" OR "bio-diversity" OR "vegetation" OR "marine litter" OR "biomass" OR "nutrient*" OR "benthic" OR "south magnetic pole" OR "polar science" OR "polar research*" OR "polar desert" OR "polar weather" OR "polar atmosphere" OR "polar mesopher*" OR "polar stratospher*" OR "polar ionospher*" OR "ozone hole" OR "polynya*" OR "antarctic tundra" OR "ice shelf" OR "ice shelves" OR "retrogressive thaw slump*" OR "Antifreeze protein*" OR "ice binding protein*" OR "cold active enzyme*" OR "low temperature adaptation*" OR "chemistry in ice" OR "ice sheet" OR "ice sheets" OR "sea ice" OR "glacier*" OR "polar glacier*" OR "lake ice" OR "frozen ground" OR "polar low" OR "polar lows" OR "Southern Annular Mode*" OR "ozone hole*" OR "Antarctic Oscillation*" OR "polar vortex" OR "polar ocean" OR "polar marine" OR "circumpolar" OR "polar ecosystem" OR "antarctic marine living resource*" OR "Antarctic Treaty System" OR "Committee on Environmental Protection" OR "Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources" OR "Scientific Committee on Antarctic Research" OR "polar biogeochemistry" OR "Polar ocean circulation" OR "antarctic fish*" OR antarctic fish* OR "giant petrels" OR "continental glacier*" OR "transpolar drift" OR "weddell gyre" OR "ross sea gyre" OR "beaufort gyre" OR "giant petrel*" OR "Circum-Antarctic Ridge" OR "Pacific-Antarctic Ridge" OR "Australi an-Antarctic Ridge" OR "polar dome" OR "south pole dome" OR "Terrestrial analog* site*" OR "space analog*" OR "antarctic analog*" OR "lunar analog* site" OR "earth's polar region*" OR "polar region* of earth" OR "polar region* of the earth")) NOT (TS=("Arctic" OR "Arctic*" OR "lipase" OR "moon" OR "lunar" OR "venus" OR "mars" OR "jupiter" OR "saturn" OR "titan" OR "mercury's polar" OR "giant planet" OR "uranus" OR "neptune" OR "Enceladus" OR "candida antarctic*" OR "antarctic* lipase" OR "pseudozyma antarctic*" OR "dicksonia antarctic*" OR "nothofagus antarctica" OR "antarcticite" OR "greenland hali but*" OR "nectarine" OR "arctic mutation*" OR "arctic express" OR "arctic warbler" OR "arctic bramble" OR "arctic loon") OR TI=("Arctic" OR "Arctic*"))

2) 연도별/국가별 논문 게재 현황

(1) 주요국 논문 게재 현황

□ 주요국의 남극 연구 논문은 최근 2년간 코로나19에 따른 감소 외에 꾸준히 증가하는 추세

○ 주요국의 남극 연구 논문은 '23년 기준 3,066건으로 최근 2년('22~'23)간 코로나19 영향에 따른 감소가 있었으나, 연평균 증가율 3.1%를 보이며 꾸준히 증가하였음



출처: Web of Science, 와이젠글로벌 구성

<주요국 전체 남극 관련 논문 게재 추이('08~'23)>

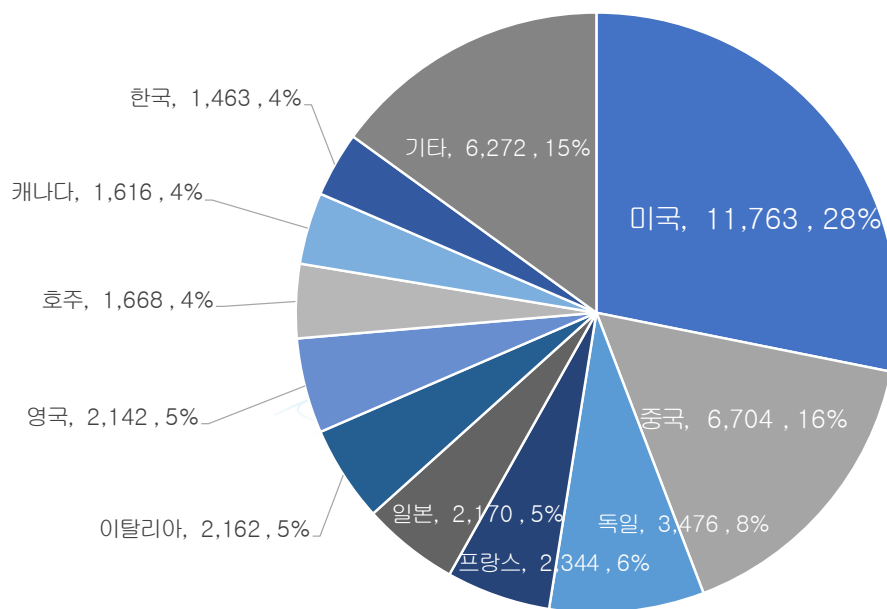
<국가별·연도별 논문 게재 현황>

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	합계
미국	704	633	650	743	757	748	819	744	790	770	747	733	808	786	686	645	11,763
중국	99	120	171	183	191	258	303	353	418	401	502	592	686	714	842	871	6,704
독일	195	164	181	207	216	221	218	228	242	227	255	227	251	254	213	177	3,476
프랑스	125	127	141	161	160	156	171	152	152	146	149	136	147	168	118	135	2,344
일본	109	103	151	136	138	149	139	129	144	155	123	118	137	154	139	146	2,170
이탈리아	118	153	134	114	131	122	108	128	124	157	117	118	154	178	167	139	2,162
영국	115	119	133	106	126	140	143	113	118	133	149	158	157	151	147	134	2,142
호주	72	77	95	85	71	89	107	116	131	110	107	118	133	130	110	117	1,668
캐나다	82	82	104	96	109	109	102	114	92	102	105	97	102	114	118	88	1,616
대한민국	38	35	38	38	59	63	84	91	106	103	108	136	135	161	143	125	1,463
러시아	58	58	49	67	63	61	63	76	75	83	110	96	120	129	133	155	1,396
뉴질랜드	57	62	88	82	83	84	80	92	61	57	57	54	58	70	58	62	1,105
칠레	27	21	28	26	47	43	57	51	75	89	91	84	99	109	93	90	1,030
네덜란드	42	41	46	59	60	55	68	58	45	50	60	44	48	49	49	51	825
노르웨이	27	35	33	29	25	38	49	35	47	38	48	39	43	53	47	54	640
스웨덴	41	22	28	35	38	40	24	32	37	31	39	46	40	41	32	32	558
덴마크	12	10	13	23	17	23	32	17	25	26	28	21	25	34	30	29	365
핀란드	13	20	14	20	21	22	21	22	17	20	18	17	21	25	31	14	316
아이슬란드	3	5	2		1	3	2	5	1	3	2	2	2	1	3	2	37
합계	1,937	1,887	2,099	2,210	2,313	2,424	2,590	2,556	2,700	2,701	2,815	2,836	3,166	3,321	3,159	3,066	41,781

○ 국가별로 미국이 전체의 28%(11,763건)로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 중국, 독일, 프랑스, 일본, 이탈리아 등 남극 내륙기지를 운영하는 국가 순으로 논문 게재 비중이 높았음

- 미국 28%(11,763건), 중국 16%(6,704건), 독일 8%(3,476건), 프랑스 6%(2,344건), 일본 5%(2,170건), 이탈리아 5%(2,162건), 영국 5%(2,142건) 순
- 우리나라는 주요국 중 10번째로 많은 논문을 게재하였으며, 전체의 4%(1,463건)를 차지

(단위: 건)

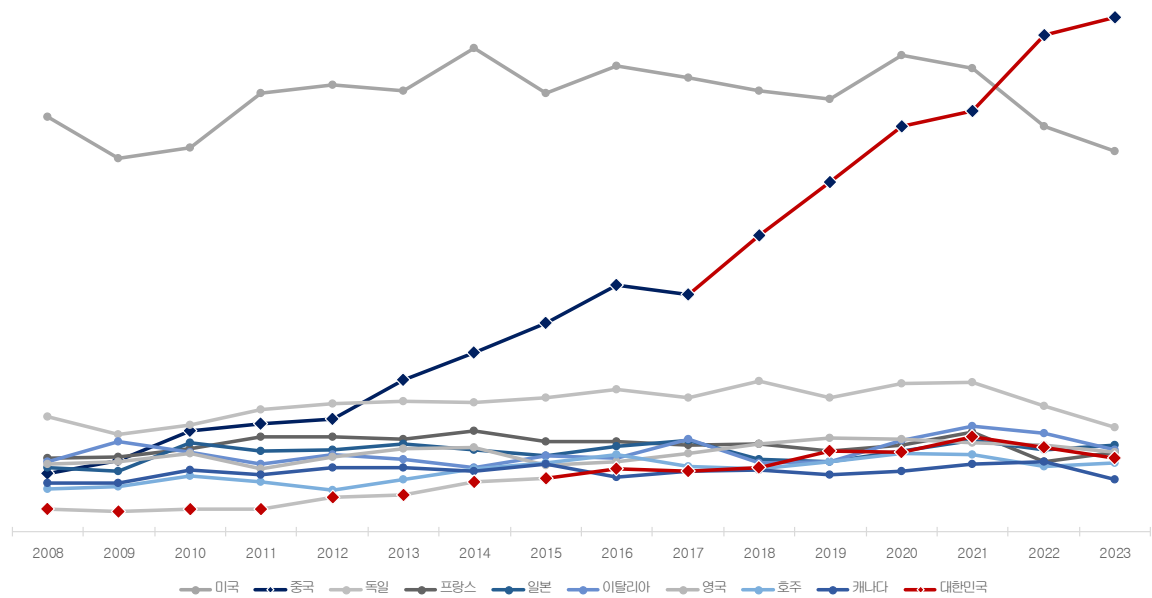


출처: Web of Science, 와이젠글로벌 구성

<주요국 남극 관련 논문 게재 비중>

○ 논문 게재 추이는 미국을 포함한 국가 대부분이 일정 수준을 유지하며 점진적으로 증가했으나, 중국, 러시아, 칠레, 대한민국은 급격한 증가 추이를 보임

- 중국은 논문 게재 추이가 높은 폭으로 증가하며, '22년 전체 논문 수에서 선두인 미국을 추월



<주요국의 연도별 남극 논문 게재 추이('08~'23)>

- 국가별 논문 게재 연평균 증가율은 중국이 15.6%로 가장 큰 폭의 증가세를 보였으며, 칠레에 이어 대한민국이 8.3%로 세 번째로 높은 증가율을 보임
- 주요국의 전체 논문 게재 연평균 증가율은 3.1%이며, 미국, 독일, 프랑스, 일본 등 논문 게재 상위 국가 대부분이 평균 이하의 증가율을 보였으나, 중국, 호주, 칠레, 대한민국 등의 국가는 평균 이상의 연평균 성장률을 보임

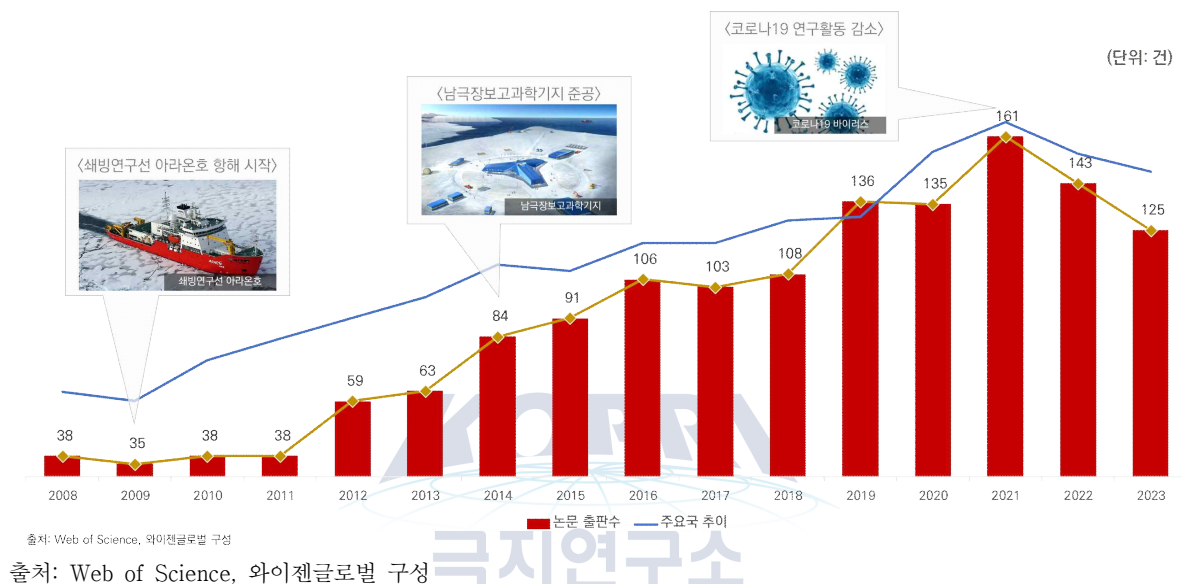
<주요국 남극 관련 논문 출판수 연평균 증가율>

국가	미국	중국	독일	프랑스	일본	이탈리아	영국	호주	한국	주요국 전체
연평균 증가율	-0.6%	15.6%	-0.6%	0.5%	2.0%	1.1%	1.0%	3.3%	8.3%	3.1%

(2) 국내 논문 게재 현황

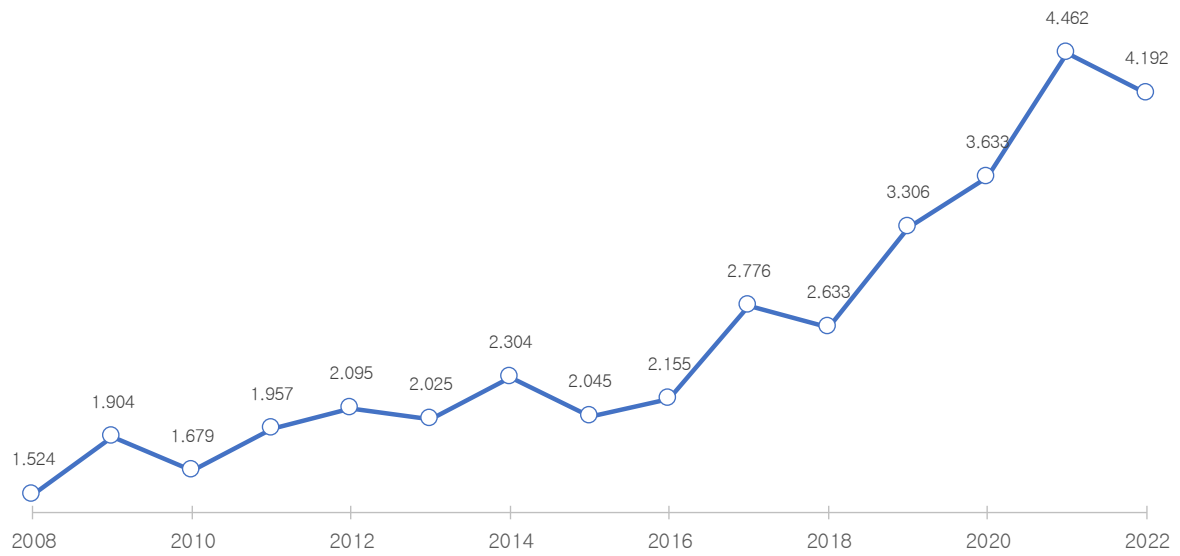
- 국내 남극 연구 논문성과는 '08년 이후 양적 및 질적으로 모두 성장, 인프라 구축 후 증가세가 뚜렷
- 국내 남극 연구 논문은 '08년 38건에서 '23년 125건으로 약 3배이상 성장(연평균 증가율 8.3%)

- 쇄빙연구선 아라온호의 항해 시작('09) 5년 이후 연구 논문 게재가 약 2배 이상(84건)로 증가했으며, 남극장보고과학기지 준공('14) 5년 이후 연구 논문 게재가 137건으로 증가하는 등 남극 연구인프라 확충에 따라 논문 성과의 양적 증가가 있는 것으로 보임
- 타 국가의 남극 연구 논문 게재의 증가율이 둔화되는 양상에도 우리나라는 남극 연구인프라 구축 이후 높은 증가율을 보였으며, '21년 코로나19 시기는 연구활동 위축에 따라 소폭 감소



<국내 남극 관련 연구 논문 게재 추이('08~'23)>

- 국내 남극 연구 논문이 게재된 저널의 영향력 지수(Impact Factor)의 평균값은 '08년 1.524에서 '21년 4.462로 약 3배 성장
- 쇄빙연구선 아라온호의 항해 시작('09) 5년 이후 연구 논문의 영향력 지수가 약 1.5배 이상(2.304)로 증가했으며, 남극장보고과학기지 준공('14) 5년 이후 영향력 지수가 3.633을 기록하는 등 남극 연구인프라 확충에 따라 논문 성과의 질적 성장이 있는 것으로 보임



출처: Web of Science, 와이젠클로벨 구성

<국내 남극 관련 연구 논문의 영향력 지수(IF) 추이('08~'23)>



<주요국의 남극 논문 게재 수 순위 변화(' 08~' 23)>

구 분	' 08	' 09	' 10	' 11	' 12	' 13	' 14	' 15	' 16	' 17	' 18	' 19	' 20	' 21	' 22	' 23
1	미국 (704)	미국 (633)	미국 (650)	미국 (743)	미국 (757)	미국 (748)	미국 (819)	미국 (744)	미국 (790)	미국 (770)	미국 (747)	미국 (733)	미국 (808)	미국 (786)	중국 (842)	중국 (871)
2	독일 (195)	독일 (164)	독일 (181)	독일 (207)	독일 (216)	중국 (258)	중국 (303)	중국 (353)	중국 (418)	중국 (401)	중국 (502)	중국 (592)	중국 (686)	중국 (714)	미국 (686)	미국 (645)
3	프랑스 (125)	이탈리아 (153)	중국 (171)	중국 (183)	중국 (191)	독일 (221)	독일 (218)	독일 (228)	독일 (242)	독일 (227)	독일 (255)	독일 (227)	독일 (251)	독일 (254)	독일 (213)	독일 (177)
4	이탈리아 (118)	프랑스 (127)	일본 (151)	프랑스 (161)	프랑스 (160)	프랑스 (156)	프랑스 (171)	프랑스 (152)	프랑스 (152)	이탈리아 (157)	프랑스 (149)	영국 (158)	영국 (157)	이탈리아 (178)	이탈리아 (167)	러시아 (155)
5	영국 (115)	중국 (120)	프랑스 (141)	일본 (136)	일본 (138)	일본 (149)	영국 (143)	일본 (129)	일본 (144)	일본 (155)	영국 (149)	한국 (136)	이탈리아 (154)	프랑스 (168)	영국 (147)	일본 (146)
6	일본 (109)	영국 (119)	이탈리아 (134)	이탈리아 (114)	이탈리아 (131)	영국 (140)	일본 (139)	이탈리아 (128)	호주 (131)	프랑스 (146)	일본 (123)	프랑스 (136)	프랑스 (147)	한국 (161)	한국 (143)	이탈리아 (139)
7	중국 (99)	일본 (103)	영국 (133)	영국 (106)	영국 (126)	이탈리아 (122)	이탈리아 (108)	호주 (116)	이탈리아 (124)	영국 (133)	이탈리아 (117)	이탈리아 (118)	일본 (137)	일본 (154)	일본 (139)	프랑스 (135)
8	캐나다 (82)	캐나다 (104)	캐나다 (104)	캐나다 (96)	캐나다 (109)	캐나다 (109)	호주 (107)	캐나다 (114)	영국 (118)	호주 (110)	러시아 (110)	일본 (118)	한국 (135)	영국 (151)	러시아 (134)	영국 (134)
9	호주 (72)	호주 (77)	호주 (95)	호주 (85)	뉴질랜드 (83)	호주 (89)	캐나다 (102)	영국 (113)	한국 (106)	한국 (103)	한국 (108)	호주 (118)	호주 (133)	호주 (130)	프랑스 (118)	한국 (125)
10	러시아 (58)	뉴질랜드 (62)	뉴질랜드 (88)	뉴질랜드 (82)	호주 (71)	뉴질랜드 (84)	한국 (84)	뉴질랜드 (92)	캐나다 (92)	캐나다 (102)	호주 (107)	캐나다 (97)	러시아 (120)	러시아 (129)	캐나다 (118)	호주 (117)
11	뉴질랜드 (57)	러시아 (58)	러시아 (49)	러시아 (67)	러시아 (63)	한국 (63)	뉴질랜드 (80)	한국 (91)	러시아 (75)	칠레 (89)	캐나다 (105)	러시아 (96)	캐나다 (102)	캐나다 (114)	호주 (110)	칠레 (90)
12	네덜란드 (42)	네덜란드 (41)	네덜란드 (46)	네덜란드 (59)	네덜란드 (60)	러시아 (61)	네덜란드 (68)	러시아 (76)	칠레 (75)	러시아 (83)	칠레 (91)	칠레 (84)	칠레 (99)	칠레 (109)	칠레 (93)	캐나다 (88)
13	스웨덴 (41)	한국 (35)	한국 (38)	한국 (38)	한국 (59)	네덜란드 (55)	러시아 (63)	네덜란드 (58)	뉴질랜드 (61)	뉴질랜드 (57)	네덜란드 (60)	뉴질랜드 (54)	뉴질랜드 (58)	뉴질랜드 (70)	뉴질랜드 (58)	뉴질랜드 (62)
14	한국 (38)	노르웨이 (35)	노르웨이 (33)	스웨덴 (35)	칠레 (47)	칠레 (43)	칠레 (57)	칠레 (51)	노르웨이 (47)	네덜란드 (50)	뉴질랜드 (57)	스웨덴 (46)	네덜란드 (48)	노르웨이 (53)	네덜란드 (49)	노르웨이 (54)
15	칠레 (27)	스웨덴 (22)	스웨덴 (28)	노르웨이 (29)	스웨덴 (38)	스웨덴 (40)	노르웨이 (49)	노르웨이 (35)	네덜란드 (45)	노르웨이 (38)	노르웨이 (48)	네덜란드 (44)	노르웨이 (43)	네덜란드 (49)	노르웨이 (47)	네덜란드 (51)
16	노르웨이 (27)	칠레 (21)	칠레 (28)	칠레 (26)	노르웨이 (25)	노르웨이 (38)	덴마크 (32)	스웨덴 (32)	스웨덴 (37)	스웨덴 (31)	스웨덴 (39)	노르웨이 (39)	스웨덴 (40)	스웨덴 (41)	스웨덴 (32)	스웨덴 (32)
17	핀란드 (13)	핀란드 (20)	핀란드 (14)	덴마크 (23)	핀란드 (21)	덴마크 (23)	스웨덴 (24)	핀란드 (22)	덴마크 (25)	덴마크 (26)	덴마크 (28)	덴마크 (21)	덴마크 (25)	덴마크 (34)	핀란드 (31)	덴마크 (29)
18	덴마크 (12)	덴마크 (10)	덴마크 (13)	핀란드 (20)	덴마크 (17)	핀란드 (22)	핀란드 (21)	덴마크 (17)	핀란드 (17)	핀란드 (20)	핀란드 (18)	핀란드 (17)	핀란드 (21)	핀란드 (25)	덴마크 (30)	핀란드 (14)

3) 국가별 피인용 수 상위 논문 주요 내용

(1) 미국

□ 남극 관련 논문

<인용 횟수 상위 10개 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	The Last Glacial Maximum (2009)	본 연구에서는 지난 10,000년~50,000년 전 사이 마지막 빙하의 최대치(LGM) 시기의 최대 지역 얼음 범위에 대한 기록을 개발하기 위해 5,000개 이상의 방사성 탄소 및 우주 발생 표면 노출 연대를 수집 및 분석	2,768
2	Climate Change Impacts on Marine Ecosystems (2012)	기후 변화로 인한 해수 온도, 흐름, 영양소 유입 등의 변화가 해양 생물에 영향을 미치고 있으며 특히 극지방과 열대 지방에 미치는 영향이 두드러짐을 강조	2,145
3	The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine 'winners' and 'losers' (2010)	본 논문은 기후 변화가 남극 해양 생물에 미치는 영향을 단백질 수준의 생리적 반응 통해 연구	1,474
4	A simple and efficient method for the solid-phase extraction of dissolved organic matter (SPE-DOM) from seawater (2008)	본 연구에서는 해수로부터 용해 유기물 (DOM)을 추출하는 새로운 방법을 제안하고 있으며, 다양한 해역 중 남극 해역을 시료로 사용하여 남극 해역의 DOM 추출	1,389
5	Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise (2016)	해수면 상승의 주요 원인으로 남극 빙상이 지목되었으며, 남극 빙상의 과거, 현재, 미래 상태를 기후변화와 연계하여 연구	1,322
6	Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise (2011)	지난 20년 동안의 그린란드와 남극의 빙하 질량 균형을 평가하고 이 변화가 해수면 상승에 미치는 영향을 조사	1,090
7	Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation (2012)	본 연구는 남극 빙하 코어 기록에서 이산화탄소 농도와 온도 변화가 플라이스토세(Pleistocene) 빙하기 동안 CO2와 기후 사이의 연관성을 시사	1,070
8	Ice-Shelf Melting Around Antarctica (2013)	본 연구에서는 2007년과 2008년 남극 빙붕 부피 유량 변화를 1979~2010년의 표면 축적과 2003~2008년의 얕아짐을 비교하여 빙붕의 녹는 속도와 질량 균형을 분석	989
9	Wind-Driven Upwelling in the Southern Ocean and the Deglacial Rise in Atmospheric CO2 (2009)	남극 대륙 주변 바다 바람에 의한 용승 현상이 마지막 빙하기 동안 대기 중 이산화탄소 수준에 미치는 영향을 연구	987
10	Ice Flow of the Antarctic Ice Sheet (2011)	국제 극지연구기간(2007~2009년) 동안 획득한 다중 위성 간섭 합성 개구 레이더 데이터로 남극 대륙의 얼음 움직임에 대한 고해상도 디지털 모자이크 제시	936

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠클로벨(주) 가공

□ 남극내륙 관련 논문

<내륙기지 관련 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	The 10 Meter South Pole Telescope (2011)	본 연구는 아문센-스콧 기지에 위치한 남극 망원경(SPT)을 통해 우주 탐사 연구를 수행	521
2	The IceCube data acquisition system: Signal capture, digitization, and timestamping (2009)	IceCube 뉴트리노 검출기는 아문센-스콧 기지에 설치되어 남극 내륙의 특수한 환경에서도 효과적으로 시스템 설계 및 성능 목표를 달성	338

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

○ The 10 Meter South Pole Telescope (2021)

- 아문센-스콧 기지에 위치한 남극 망원경(SPT)은 직경 10m의 광시야 망원경으로 966픽셀, 멀티컬러, 밀리미터와 볼로미터 카메라를 탑재
 - 남극은 밀리미터 및 서브밀리미터 파장에서 뛰어난 대기 투명성과 안정성을 지닌 높고 건조한 지역 조건을 지님
 - CMB(cosmic microwave background) 이방성 측정의 다음 개척지는 소규모 2차 이방성과 B모드 편광 특성으로 해당 차세대 신호를 측정하는 것이 남극 망원경의 주요 과학적 동기
- SPT의 첫 번째 주요 프로젝트는 SZ(Sunyaev-Zel'dovich) 효과를 통해 은하단을 찾고 CMB의 미세한 이방성을 측정하기 위해 3mm, 2mm, 1.3mm 파장에서 하늘에 대한 대규모 조사를 수행하는 것
 - SZ수신기는 세 가지 관측 대역에서 모두 background-limited 성능으로 작동 중
- 현재 CBM 관측을 통해 우주 모습을 연구하기 위해 특정 종류의 빛 패턴을 측정할 수 있는 새로운 장치 제작 중
- 남극 망원경(SPT)은 아문센-스콧 남극 관측소에 성공적으로 배치되어 유출 및 산란된 방사선을 잘 제어할 수 있는 저손실 광학 시스템을 갖추고 있으며 남극 대기의 높은 투명성 및 안정성을 기반으로 측량 작업과 CMB와 같은 낮은 표면 밝기 방출 관측에 이상적

○ The IceCube data acquisition system: Signal capture, digitization, and timestamping (2009)

- IceCube는 깊은 얼음(InIce)과 표면(IceTop) 모두에 센서를 갖춘 킬로미터 규모의 중성미자 관측소로 미국의 아문센-스콧 기지에 설치
 - IceCube는 최소 100GeV에서 최대 EeV까지의 에너지를 가진 중성미자를 관측하고 연구하도록 설계됨

- InIce와 IceTop을 결합하면 광범위한 에너지에 대한 우주선 구성 연구 가능하고, InIce는 디지털 광학 모듈(DOM)이라고 불리는 일련의 광학 센서로 구성
- AMANDA 어레이는 IceCube 내에 포함되어 있으며, 탐지기는 2,800m 두께의 극빙층을 사용하여 표적, 광학적으로 투명한 라디에이터 및 안정적인 장비 배치 플랫폼을 제공
- IceCube 검출기의 핵심 부품인 디지털 광 모듈(DOM) 메인보드(DOM MB)는 기존 AMANDA 검출기의 프로토타입 DOM 메인보드 회로 설계를 발전시킨 것으로, 이를 통해 고성능 CPU-FPGA 구현, 유연하고 강력한 독립 LC 트랜시버, 정교한 인터페이스를 선택하게 됨
- 프로토타입 DOM CPU는 FPGA 메모리에서 8비트 이벤트 데이터를 가져오는 반면, IceCube FPGA의 DMA 엔진은 32비트 데이터를 CPU 메모리로 전송하여 CPU 부하를 줄이면서 더 높은 성능을 제공
- IceCube DOM 플래시 파일 시스템은 여러 프로그램과 FPGA 구성 파일을 저장하므로 DOM MB의 운영 체제는 데이터 수집 및 주기적인 시스템 테스트 필요에 따라 이들 사이를 전환
- 광범위하게 테스트하고 검증된 DOM의 설계와 성능은 깊은 얼음(InIce)과 IceTop 탱크의 표면에서의 작동을 위한 과학 중심 설계 요구 사항을 충족하고 성능 목표를 달성

극지연구소

(2) 러시아

□ 남극 관련 논문

<인용 횟수 상위 10개 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	New Magnetic Anomaly Map of the Antarctic (2018)	본 연구는 남극의 자기 이상 현상에 대한 새로운 데이터를 제공하고, 이를 통해 남극 반도 및 그 주변 해양에 대한 지질학적 이해를 제공	73
2	Alteration of rocks by endolithic organisms is one of the pathways for the beginning of soils on Earth (2018)	남극의 극한 환경에서의 지중 생물체계에 대한 연구로, 토양의 발생과 발달에 대한 통찰력 제공	66
3	The Moho depth map of the Antarctica region (2013)	본 연구에서는 새로운 모호 지도를 제작하여 세 가지 주요 지각 영역을 구분하고, 글로벌 지각 모델과 비교하여 남극 대륙의 지각 구조를 파악	54
4	Do microbes have macroecology? Large-scale patterns in the diversity and distribution of marine benthic ciliates (2013)	남극을 포함한 세계적인 해양 생물의 분포와 다양성을 조사하여 남극 지역의 해양 생물 다양성과 다른 지역과의 다른 점을 비교	54
5	A hydrographic section from South Africa to the southern limit of the Antarctic Circumpolar Current at the Greenwich meridian (2008)	남극 주변의 해양 흐름과 물의 특성에 대한 연구로, 특히 남극 순환 운동의 일부로서 남극 주변 해양에 영향을 미치는 다양한 해양 전류와 수송량 파악	53
6	Ancient fungi in Antarctic permafrost environments (2012)	본 논문은 남극 영구동토층 연구 프로젝트(ANTPAGE)의 일환으로 수집된 퇴적물 36개 샘플에서 사상성 진균(Filamentous fungi)을 연구	50
7	Metagenomic Analysis of Bacterial Communities of Antarctic Surface Snow (2016)	본 연구는 남극 동부의 러시아 기지 주변 눈 표면에 존재하는 박테리아의 다양성을 연구하기 위해 증폭된 16S rRNA 유전자 단편과 샷건 메타게놈 시퀀싱을 사용	48
8	Bottom water flows in the tropical fractures of the Northern Mid-Atlantic Ridge (2018)	본 논문은 2014~2016년까지의 전도-온도-깊이(Conductivity-Temperature-Depth, CTD) Lowered Acoustic Doppler Current Profiler 관측 자료를 이용하여 중앙 해령 북부 해곡 지대를 통과하는 남극 저층수의 흐름을 연구	40
9	Combined Gravimetric-Seismic Crustal Model for Antarctica (2018)	남극 대륙 아래 퇴적물과 지각 두께를 추정하기 위해 최신 지진 데이터와 빙하 바닥 지형 정보를 사용하여 남극 지역의 지질 및 지구과학적 특성 분석	39
10	Activity and bacterial diversity of snow around Russian Antarctic stations (2013)	본 연구에서는 러시아 남극기지 주변의 깨끗한 눈 속에 있는 박테리아 군집의 다양성과 시간적 역할을 조사	39

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠클로벨(주) 가공

□ 남극내륙 관련 논문

<내륙기지 관련 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Technological aspects of the final phase of drilling borehole 5G and unsealing Vostok Subglacial Lake, East Antarctica (2014)	러시아 보스토크 연구기지의 심부 빙하 시추공 5G가 보스토크 지표수에 침투한 후의 상태를 고찰하여 호수의 독특한 환경과 기술적 특징을 연구	27
2	Spatial-temporal dynamics of chemical composition of surface snow in East Antarctica along the Progress station-Vostok station transect (2014)	본 연구는 프로그레스에서 보스토크 기지까지 트랙터 트래버스를 이용하면서 수행된 러시아의 제53차 남극 연구 탐험에 대한 내용을 포함	16

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

○ Technological aspects of the final phase of drilling borehole 5G and unsealing Vostok Subglacial Lake, East Antarctica (2014)

- 본 연구에서는 러시아 보스토크 기지의 심부빙하 시추공 5G가 보스토크 하빙호 지표수에 침투한 후의 상태를 고찰
- 1998년 러시아 교육과학기술부는 심부 빙하 시추공 5G를 통해 보스토크 하빙호 표층의 생태학적으로 깨끗한 물 샘플링 기술을 개발하기 위한 공개 경쟁을 선언
 - 시추공 위로 올라오는 호수 표면의 물은 얼음 시추공 측면에서 결빙 조건을 만나면 얼어붙게 되고, 그 이후 지구화학적, 빙하학적, 미생물학적 연구를 위해 이 신선한 냉동 얼음 코어를 뚫고 표면으로 복구하는 작업을 수행
 - 제안된 연구 방법은 환경 영향을 최소화하고 kerosene - Freon® 혼합물이 호수층으로 유입되지 않도록 설계
- NGRIP 시추공을 위해 이전 개발된 기술에 따라 2012/13시즌에 빙하호의 ‘신선한 냉동’ 물로 형성된 어음 코어를 시추
 - 3181.9m 깊이에 도달
 - 물로 포화된 슬러지 코르크를 추출
- 2013/14 시즌에는 보스토크 시추공의 시추 작업이 3543.6m 지점에서 계속되었으며 ‘14년 2월 초 3724.3m에서 멈춤
- 시추공 5G의 유체 특성 측정에서 얻은 재료를 분석한 결과,
- 보스토크 빙하 호수 조사의 다음 단계는 물기둥과 바닥 퇴적물을 연구하는 프로젝트가 될 것이며 이는 과학 집약적이고 기술적으로 어려울 것으로 예상

○ Spatial-temporal dynamics of chemical composition of surface snow in East Antarctica along the Progress station-Vostok station transect (2014)

- 2008년 1월, 제53차 러시아 남극 탐험 중 프로그레스(Progress)에서 남극 동부의 보스토크 기지까지 첫 번째 트래버스 횡단을 따라 13개의 얇은(0.7~1.5m 깊이) 눈 구덩이에서 표면 눈 샘플을 채취
 - 해안에서 내륙 횡단까지의 총 길이는 1,280km 이상이며, 여기서 우리는 2006~2008년 기간 내에 퇴적된 눈의 황산염 이온 및 원소 농도와 플럭스의 공간적 변동성을 분석
 - 눈 샘플의 화학적 분석은 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC)와 유도 결합 플라즈마(ICP-MS)에 의한 원자화를 이용한 질량 분광학을 사용하여 수화학 및 대기 화학 연구소(LIN SB RAS, Irkutsk, Russia)에서 수행
- 공간 분포를 분석하면 Na 농도와 축적($r = 0.45$) 및 표면 경사 구배($r = 0.82$) 사이에 유의미한 양의 관계가 있는 것으로 나타남
 - Na 및 부분적으로 Mg 농도는 내륙 거리와 고도에 따라 거의 기하급수적으로 감소
 - K, Ca 및 Mg 농도는 해안으로부터의 거리나 고도와 어떤 중요한 관계도 나타나지 않음



(3) 프랑스

□ 남극 관련 논문

<인용 횟수 상위 10개 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH ₄ over the past 800,000 years (2008)	온실 가스의 역사를 지난 800,000년까지 확장한 EPICA Dome C 빙핵의 상세한 대기 중 메탄 기록을 제시	772
2	A spatially resolved estimate of High Mountain Asia glacier mass balances from 2000 to 2016 (2017)	위성 스테레오 이미지에서 파생된 디지털 고도 모델의 시계열을 사용하여 하이마운틴 아시아 빙하 지역의 약 92%에 대한 질량 균형을 계산	754
3	Region-wide glacier mass balances over the Pamir-Karakoram-Himalaya during 1999-2011 (2013)	Pamir에서 Hengduan Shan(히말라야 동부)까지 퍼져 있는 9개 연구 지역에 대한 지역 전체의 빙하 질량 균형을 추정하기 위해 2000년 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) 디지털 고도 모델(DEM)을 최근(2008~2011)과 비교하는 연구	617
4	Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century (2021)	독립적인 고정밀 측정에 대해 새로운 접근법을 광범위하게 검증하고 21세기 빙하 질량 변화에 대한 세계 최초의 완전하고 일관된 추정치를 제시하고, 2000~2019년 동안 빙하 질량 손실이 연간 총 266±16기가 톤에 이르렀다는 것을 시사	585
5	Pattern and timing of diversification of Cetartiodactyla (Mammalia, Laurasiatheria), as revealed by a comprehensive analysis of mitochondrial genomes (2012)	세타르티오닥틸라(Cetartiodactyla)의 128개의 새로운 완전한 미토콘드리아 게놈의 서열을 분석하고 뉴클레오타이드 데이터베이스에서 추출한 게놈과 정렬해 봄으로서 세타르티오닥틸라의 진화 역사가 신생대 동안 급속한 방사선의 네 가지 주요 단계로 구분되었음을 밝힘	444
6	The genome of the polar eukaryotic microalga Coccomyxa subellipsoidea reveals traits of cold adaptation (2012)	극지방의 엽록체(진핵 녹조류)의 유전적 및 대사적 다양성을 특성화하고 이러한 다양성이 다양한 서식지에 대한 적응을 어떻게 반영하는지 더 잘 이해하기 위해 우리는 trebouxioephyceaen Coccomyxa subellipsoidea C-169 NIES 2166의 서열을 분석	408
7	Impacts of local human activities on the Antarctic environment (2009)	지난 10년 동안의 인간 활동이 남극 환경에 미치는 영향에 관한 과학 문헌을 검토	361
8	The Antarctic ice core chronology (AICC2012): an optimized multi-parameter and multi-site dating approach for the last 120 thousand years (2013)	그린란드 NGRIP 기록과 함께 4개의 남극 얼음 코어, 즉 Vostok, EPICA Dome C(EDC), EPICA Dronning Maud Land(EDML) 및 Talos Dome(TALDICE)에 대해 개발된 새롭고 일관된 시간 척도인 남극 얼음 코어 연대기 2012(AICC2012)를 소개	358

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
9	Retreat of Pine Island Glacier controlled by marine ice-sheet instability (2014)	세 가지 최첨단 얼음 흐름 모델을 사용하여 Pine Island 빙하의 접지선이 불안정한 40km 후퇴에 관여하고 있음을 제시	344
10	A review of Antarctic surface snow isotopic composition:: Observations, atmospheric circulation, and isotopic modeling (2008)	남극 표면의 눈 동위원소 구성에 대한 데이터베이스를 데이터 품질 및 지역적 변동성에 대한 추정치와 함께 이용 가능한 측정값을 사용하여 구축	320

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

□ 남극내륙 관련 논문

<내륙기지 관련 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Transmission Electron Microscopy of CONCORDIA UltraCarbonaceous Antarctic MicroMeteorites (UCAMMs): Mineralogical properties (2012)	분석 전송 전자 현미경(TEM)을 통해 세 개의 극탄소질 남극 미세 운석(UCAMM)에 대한 광물학 및 석유학적 연구를 수행	82
2	New MIS 19 EPICA Dome C high resolution deuterium data: Hints for a problematic preservation of climate variability at sub-millennial scale in the oldest ice (2010)	EPICA DOME C 얼음 코어에 보관된 가장 오래된 간빙기인 MIS 19에 초점을 맞추어 수증 안정 동위원소 기록을 통해 천년기 변동성을 밝히는 연구 수행	48

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

○ CONCORDIA Ultra Carbonaceous Antarctic Micro Meteorite(UCAMMs)의 투과 전자현미경 : 광물학적 특성(2012)

- (주요 내용) 분석 전송 전자 현미경(TEM)을 통해 세 개의 극탄소질 남극 미세 운석(UCAMM)에 대한 광물학 및 석유학적 연구를 수행
- (주요 성과) UCAMM은 남극 중부 눈에서 회수된 쿡코드 마이크로 운석 컬렉션 (2002년과 2006년)에서 확인되었으며, 혜성 기원일 가능성이 높을 것으로 도출됨
 - UCAMM은 입자의 최대 90% 표면에 걸쳐 확장된 무질서한 탄소질 물질에 의해 지배되며, 이 탄소질 물질에 내장된 저희는 미세한 광물상, 고립된 광물, 금속과 황화물이 내장된 유리와 유사한 유리상, 유리와 결정질 물질을 모두 포함하는 둥근 물체의 작고 복잡한 집합체를 관찰
 - UCAMM의 저온 탄소질 물질과 고온 결정질 상의 밀접한 연관성은 초기 태양 성운에서 대규모 방사형 혼합이라는 가설을 뒷받침

○ 새로운 MIS 19 EPICA Dome C 고해상도 중수소 데이터: 가장 오래된 얼음에서

천년 이하 규모의 기후 변동성을 문제적으로 보존할 수 있는 힌트

- (주요 내용) EPICA DOME C얼음 코어에 보관된 가장 오래된 간빙기인 MIS 19에 초점을 맞추어 수중 안정 동위원소 기록을 통해 천년기 변동성을 밝히는 연구 수행
- (주요 성과) 해양동위원소 19단계(MIS 19얼음)이 200만년 이상 지속되는 온도 조건인 -10°C 이상의 온도에서 큰 얼음 결정과 관련된 수맥에 의해 발생한다는 것을 발견하였고, 그 결과 미래의 ‘가장 오래된 얼음’ 시추 장소를 선택하는데 영향을 미침



(4) 이탈리아

□ 남극 관련 논문

<인용 횟수 상위 10개 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): Occurrence, distribution and characterization by FTIR (2017)	이 연구의 목적은 공간 해상도가 높은 현미경(Reflectance mode)과 FPA 검출기가 장착된 FTIR에 의한 수분 샘플링 및 건조 필터 분석 후 여과로 구성된 비침습적 방법을 사용하여 로스해 연안 근해 및 근해의 MP 오염의 풍부함과 정도를 정량화하는 것	420
2	Environmental contamination in Antarctic ecosystems (2008)	남극 생태계의 비생물적 및 생물적 구획의 잔류성 오염물질 분포에 대한 최신 정보를 요약하고, 남극 대륙과 남반구에서 기후 변화 및 인간 활동 증가와 관련하여 가능한 생물학적 영향과 환경 오염 가능성에 대한 연구	335
3	The Gravity Field and Interior Structure of Enceladus (2017)	토성의 작은 위성인 엔켈라두스의 특성을 연구하여, 액체상태의 물이 풍부하고 복잡한 내부 구조를 가지고 있으며, 카시니 우주선이 수집한 장거리 데이터를 이용하여 엔켈라두스의 중력 모델을 구축함으로써 남극 지역에 음의 질량 이상이 존재한다는 것을 밝히고, 깊이가 30~40km인 거대한 지역 지하 바다가 있음을 발견함	324
4	Microplastics in the sediments of Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica) (2017)	이번 조사는 테라노바 만 (남극 로스해) 에서 채취된 퇴적물을 대상으로 플라스틱 오염 발생 여부와 정도를 조사한 첫 조사로, 31개의 퇴적물 샘플에서 추출한 플라스틱 잔해를 세고, 무게를 측정하고, 푸리에 변환 적외선 분광법(FT-IR)으로 식별	213
5	Exopolysaccharides from extremophiles: from fundamentals to biotechnology (2010)	극한 서식지의 미생물에 의해 합성된 EPS(엑소폴리사카라이드)의 상업적 가치 연구	193
6	Floating macro- and microplastics around the Southern Ocean: Results from the Antarctic Circumnavigation Expedition (2020)	2016/17년 남극 순회 탐사 중에 실시된 부유 거대 플라스틱, 중간 플라스틱, 미세 플라스틱 오염에 대한 조사를 통해 남극해 주변 부유 플라스틱의 풍부함에 대한 기본 추정치를 제시	141
7	Industrial contaminants in Antarctic biota (2009)	남극 유기체의 생체 이물질 존재에 관한 과학 문헌에 대한 조사 수행을 통해, 남극 대륙과 남극해 생물군의 산업 오염물질 수준 검토	127
8	Micrometeorites from the Transantarctic Mountains (2008)	빅토리아 랜드 남극 횡단 산맥에 있는 여러 고립된 누나타크의 미르오래된 빙하 침식 화강암 정상에서 대규모로 축적된 미세 운석의 발견을 보고	123

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
9	An assessment of Antarctic Circumpolar Current and Southern Ocean meridional overturning circulation during 1958-2007 in a suite of interannual CORE-II simulations (2015)	1958~2007년 기간 동안 남극 순환전류(ACC)와 남극 해양 자오선 역전 순환(MOC)의 평균, 변동성 및 추세에 초점을 맞추고 표면 강제력과의 관계를 논의	120
10	Aeolian dust in East Antarctica (EPICA-Dome C and Vostok):: Provenance during glacial ages over the last 800 kyr (2008)	지난 800,000년 동안 남아메리카에서 남극 대륙 내부로 먼지가 효율적으로 이동할 수 있도록 하는 지속적인 전체 서쪽 순환 패턴에 대한 증거를 제공하는 데이터를 획득	106

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠클로벨(주) 가공

□ 남극대륙 관련 논문

<대륙기지 관련 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	WMO/GAW “Concordia” 관측소(75° 06′ S, 123° 20′ E, 3280m asl - 남극 대륙)에서 다년간 지표 근처 오존 관측 분석 (2018)	콘코르디아 관측소 “Concordia” (Dome C-DMC: 75° 06′ S, 123° 20′ E, 3280m)에서 8년간(2006-2013년) 연속 관측한 오존의 변동성 연구 수행	15
2	저압성 저산소증에 대한 장기간 노출이 산화 스트레스에 미치는 영향: 남극 콩코르디아 관측소에서의 월동 (2022)	남극 Concordia 기지에서 열린 11차 겨울 월동(DC11-2015; 2015년 2월~2015년 11월)동안 13명의 건강한 팀 구성원을 연구하고 6개의 다른 시점에서 혈액 샘플을 수집하여 극한환경에서의 산화 스트레스 영향 연구	14
3	지자기 극지 관측소 : 남극 돔 C의 콩코르디아 관측소 역할 (2014)	2005년 관측소 설립 이후 10년의 시간 창에서 샘플링된 자기장의 수평 구성 요소 추세에 영향을 미치며, 관측소 기준점(즉, 방위각 표시, 기동 위치)의 가능한 변위와 고품질 데이터를 수집하는 데 필요한 모든 일반적이고 놀라운 조치를 추적하기 위해 채택된 전략을 설명	8
4	태양 코로나(Solar Corona)의 지상 관측을 위한 남극 대륙 돔 C의 Concordia 관측소에서 하늘 밝기 평가 (2022)	남극 Dome C에 있는 이탈리아-프랑스 Concordia 기지에서 ESCAPE(Extreme Solar Coronagraphy Antarctic Program Experiment)를 통해 Dome C에서 하늘 밝기 측정의 첫 번째 결과 제시	3
5	COCHISE: Concordia(남극 돔 C)에서 이탈리아 밀리미터 망원경의 첫 번째 빛 (2011)	COCHISE(소스 추출을 위한 고감도 장비를 갖춘 Concordia의 우주 관측)는 이탈리아-프랑스 Concordia 기지 근처 남극 고원에 위치한 2.6m 망원경으로, 천체물리학 및 우주론적 관측을 위한 준비 완료	0

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠클로벨(주) 가공

○ WMO/GAW “Concordia” 관측소(75°06′ S, 123°20′ E, 3280m asl - 남극 대륙)

에서 다년간 지표 근처 오존 관측 분석(2018)

- (주요 내용) 콘코르디아 관측소 “Concordia” (Dome C-DMC: 75° 06' S, 123° 20' E, 3280m)에서 8년간(2006~2013년) 연속 관측한 오존의 변동성 연구 수행
- (주요 성과) DMC에서 OEE(오존강화현상)의 연간 발생은 기단이 DMC에 도착하기 전에 남극 고원에서 보낸 총 시간과 관련이 있는 것으로 보이며, 이는 더 효율적인 지역 생산보다는 운송 중에 광화학적으로 생성된 O₃의 축적을 암시

○ 저압성 저산소증에 대한 장기간 노출이 산화 스트레스에 미치는 영향: 남극 콘코르디아 관측소에서의 월동 (2022)

* <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2022/4430032/>

- (주요 내용) 남극 Concordia 기지에서 열린 11차 겨울 월동(DC11-2015; 2015년 2월~2015년 11월)동안 13명의 건강한 팀 구성원을 연구하고 6개의 다른 시점에서 혈액 샘플을 수집하여 극한환경에서의 산화 스트레스 영향 연구를 수행
- (주요 성과) 본 연구에서는 처음으로 산화 스트레스/산화환원 상태 및 염증성 바이오마커 패널을 통해 잘 통제된 실험 조건에서 높은 고도에 노출된 피험자의 급성 및 만성 저압 저산소증의 영향을 평가했으며, 실제로 남극의 콘코르디아 관측소에서 피험자들은 고도 변화 없이 최대 10개월 동안 “중간 저산소증”에 노출
- 연구 결과가 특히 다른 향후 연구에서 생리학적 매개변수(예: 혈류, 환기, 폐의 가스 교환 측정, 내피 기능 및 심혈관 초음파 영상 측정)와 상호 연관되어 있는 경우 적절한 방법을 찾기 위한 전략을 개발하는 데 도움이 될 수 있다고 판단되며, 특히 우주 여행과 같은 극한/환경적 조건에서 인간의 건강과 웰빙을 위한 솔루션을 제공할 수 있다고 발표

○ 지자기 극지 관측소 : 남극 돔 C의 콘코르디아 관측소 역할(2014)

- (주요 내용) '05년 관측소 설립 이후 10년의 시간 창에서 샘플링된 자기장의 수평 구성 요소 추세에 영향을 미치며, 관측소 기준점(즉, 방위각 표시, 기둥 위치)의 가능한 변위와 고품질 데이터를 수집하는 데 필요한 모든 일반적이고 놀라운 조치를 추적하기 위해 채택된 전략을 설명

○ 태양 코로나(Solar Corona)의 지상 관측을 위한 남극 대륙 돔 C의 Concordia 관측소에서 하늘 밝기 평가(2022)

- (주요 내용) 남극 Dome C에 있는 이탈리아-프랑스 Concordia 기지에서 ESCAPE(Extreme Solar Coronagraphy Antarctic Program Experiment)를 통해 Dome C에서 하늘 밝기 측정의 첫 번째 결과 제시

○ COCHISE: Concordia(남극 돔 C)에서 이탈리아 밀리미터 망원경의 첫 번째 빛

(2011)

- (주요 내용) COCHISE(소스 추출을 위한 고감도 장비를 갖춘 Concordia의 우주 관측)는 이탈리아-프랑스 Concordia 기지 근처 남극 고원에 위치한 2.6m 망원경으로, COCHISE를 통한 관측 실시
- (주요 성과) COCHISE의 첫 번째 빛을 보고하였고, 300mK 볼로미터로 작동하는 2채널 밀리미터 광도계는 이미 사용 가능하며 펄스 튜브 극저온 냉각기와 결합된 라멜라 격자를 포함한 새로운 초점면의 최적화가 진행 중임에 따라 천체물리학 및 우주론적 관측을 위한 준비 완료



(5) 일본

□ 남극 관련 논문

<인용 횟수 상위 10개 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3-Model Description and Basic Performance (2012)	일본 MRI(기상연구소)에서는 새로운 지구 기후 모델인 MRI-CGCM3이 개발되어, 대기-육지, 에어로졸, 해양-얼음 모델로 구성하여 기존 모델의 성능을 업그레이드	705
2	MERIT Hydro: A High-Resolution Global Hydrography Map Based on Latest Topography Dataset (2019)	최신 지형데이터셋을 활용하여 글로벌 수문 지도를 개발하였으며, 지구 수로 묘사에 적용 가능한 준자동 알고리즘을 개발함으로써 흐름 방향 지도와 일치하도록 조정된 표고 및 강 폭 레이어 정보를 제공	376
3	Mapping of sea ice production for Antarctic coastal polynyas (2008)	이 연구는 위성 데이터에서 얻은 얼음 두께 데이터를 이용한 열유속 계산을 기반으로 남극해의 해빙 생산에 대한 최초의 매핑을 제공	272
4	Antarctic BottomWater production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley polynya (2013)	Cape Darnley 폴리냐(65° -69° E)에서 밀집된 대륙붕 수의 형성과 계류 및 장비를 갖춘 코끼리 물범의 데이터를 사용하여 저층수로의 후속 변환 과정을 연구	248
5	Distribution of antibiotic resistance genes in glacier environments (2013)	북극, 남극, 중앙 아시아, 북미 및 남미, 아프리카에서 수집한 54개의 눈과 얼음 샘플에서 항생제 내성 유전자의 유병률을 조사하여 인위적 요인의 영향을 받지 않는 것으로 추정되는 환경에서 이러한 유전자의 수준을 평가	174
6	Gravity Wave Characteristics in the Southern Hemisphere Revealed by a High-Resolution Middle-Atmosphere General Circulation Model (2012)	중력파를 명시적으로 시뮬레이션하는 고해상도 중대기 대순환 모델의 데이터를 사용하여 남반구 중위도 및 고위도에 대한 중력파의 기후학을 분석	167
7	Circumpolar Mapping of Antarctic Coastal Polynyas and Landfast Sea Ice: Relationship and Variability (2015)	이 연구는 남극 해안 폴리냐와 급속빙에 대한 최초의 일치하는 극지방 지도를 제공하며, 이 지도는 대부분의 폴리냐가 패스트 아이스의 서쪽에 형성되어 있음을 보여 주며, 이는 폴리냐 형성에서 패스트 아이스의 중요한 역할을 나타냄	156
8	Cryoseismology (2016)	극저온 지진원 검토휘 극저온학의 현재 및 새로운 방법을 모색하여 빙하지진학 연구 수행	153
9	Sea ice production variability in Antarctic coastal polynyas (2016)	1992-2013년 해빙 생산량의 경년 및 계절 변동성을 조사하고, 해안 빙하 지형의 확률적 변화도 경년 변동성을 높이는 중요한 요소임을 밝힘	130

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
10	Gravity Wave Generation around the Polar Vortex in the Stratosphere Revealed by 3-Hourly Radiosonde Observations at Syowa Station (2008)	남극 하부 성층권의 관성-중력과 특성을 조사하기 위해 2002년 3월, 6월, 10월, 12월 각각 약 10일에 걸쳐 Syowa 관측소(69.0° S, 39.6° E)에서 집중적인 라디오존데 관측 수행	111

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

□ 남극내륙 관련 논문

<내륙기지 관련 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Ice core record of ^{10}Be over the past millennium from Dome Fuji, Antarctica: A new proxy record of past solar activity and a powerful tool for stratigraphic dating(2008)	Dome Fuji 빙하 코어에서 얻은 지난 천년(700~1900년 CE) 동안의 ^{10}Be 기록을 제시	77
2	Site testing at Dome Fuji for submillimeter and terahertz astronomy: 220 GHz atmospheric-transparency(2010)	2006년 12월 18일부터 2007년 1월 14일까지 티핑 복사계(tipping radiometer)를 사용하여 남극의 Dome Fuji 관측소에서 220GHz 대기 투명도를 측정	17
3	Deep ice core drilling to a depth of 3035.22 m at Dome Fuji, Antarctica in 2001-07(2021)	한번에 드릴링할 수 있는 최대 코어 길이를 2.30m에서 3.84m로 늘리고, 효율성을 높이는 등의 개선된 시추 시스템을 적용한 일본의 2차 심부빙하 코어 드릴링 프로젝트 실시 현황 보고	12

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

- 남극 돔 후지에서 지난 천 년 동안 ^{10}Be *의 빙하 코어 기록: 과거 태양 활동의 새로운 대리 기록과 지층 연대 측정을 위한 강력한 도구(2008)

* ^{10}Be : 고에너지 우주선의 충격으로 인해 표면 암석에 형성되는 희귀 우주생성 핵종의 일종

- (주요 내용) 700~1900년동안 남극내륙의 돔 후지관측소에서 시추된 빙하코어의 우주 생성 핵종 ^{10}Be 의 농도 등을 조사하기 위한 가속기 질량 분석법 및 분석 도구를 개발
- (주요 성과) 본 연구에서는 Dome Fuji 코어의 ^{10}Be 플럭스와 ^{14}C 생산 신호의 명확하고 상세한 상관관계가 관찰되었으며, 이는 ^{10}Be - ^{14}C 연령 모델 구축을 크게 촉진시킨 것으로 판단
- 돔 후지 얼음 코어에 대한 고해상도 ^{10}Be 분석은 지난 수십만 년 동안 우주 방사선

강도의 역사에 대한 중요한 정보를 제공할 것으로 기대됨

○ 서브밀리미터 및 테라헤르츠 천문학을 위한 돔후지 현장실험 : 220GHz 대기-투명도(2010)

- (주요 내용) '06년 12월 18일부터 '07년 1월 14일까지 티핑 복사계(tipping radiometer)를 사용하여 남극의 Dome Fuji 관측소에서 220GHz 대기 투명도를 측정
 - 돔 후지기지에 천체 망원경을 건설할 예정에 따라 대기 투명성 측정은 관측소에서 서브밀리미터 및 테라헤르츠 천문학을 발전시키기 위한 첫 번째 단계로서, 돔후지 기지의 220GHz 대기 투명도 측정 실시
- (주요 성과) 전체 측정기간 동안 평균 광학 깊이는 0.045, 표준 편차는 0.007으로, 이 작은 편차는 돔 후지 기지에서 광학 깊이가 매우 안정적이라는 것을 의미
 - 연구 결과는 돔 후지 기지가 현재 이용 가능한 다른 사이트와 비교할 때 서브밀리미터 천문학에 잠재적으로 상당한 이점이 있음을 강력히 시사함

○ 2001-07 남극 돔후지에서 3035.22 m 깊이의 심부빙하 시추(2021)

- (주요 내용) 한번에 드릴링 할 수 있는 최대 코어 길이를 2.30m에서 3.84m로 늘리고, 효율성을 높이는 등의 개선된 시추 시스템을 적용한 일본의 2차 심부빙하 코어 드릴링 프로젝트 실시 현황 보고
- (주요 성과) 개선된 JARE 심부빙하 코어 드릴은 코어 길이와 더 빠른 드릴링으로 인한 시간 단축 및 안정성 측면에서 일본의 두 번째 심부빙하 코어링 프로젝트에서 상당한 진전을 보임
 - 드릴링 작업 시간 단축, 향상된 드릴로 고장 및 유지보수 감소 등의 심부빙하 코어 드릴링 기술의 향상

(6) 중국

□ 남극 관련 논문

<인용 횟수 상위 10개 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data (2013)	Landsat Thematic Mapper (TM) 및 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) 데이터를 사용하여 처음으로 30m 해상도의 전 세계 지형 지물지도 생성한 관한 연구	1,314
2	Gondwana to Asia: Plate tectonics, paleogeography and the biological connectivity of the Indian sub-continent from the Middle Jurassic through latest Eocene (166-35 Ma) (2008)	본 연구는 인도양 주변 대륙의 플레이트 테크토닉과 고생대 지리 모델을 개선하고, 곤트와나의 중간 쥐라기 분리부터 중생대 중기에 이르기까지의 과정을 살펴보는 것을 목적으로 함	488
3	Pre-Rodinia supercontinent Nuna shaping up: A global synthesis with new paleomagnetic results from North China (2012)	고대 슈퍼컨티넌트 Nuna 또는 Columbia의 존재와 그의 구성에 대한 불확실성을 탐구하기 위한 고품질의 페일로자성 결과를 보고	456
4	Configuration of the Late Paleoproterozoic supercontinent Columbia: Insights from radiating mafic dyke swarms (2008)	본 연구는 프리로디니아 슈퍼컨티넌트의 재구성을 위한 중요한 제약 조건을 제공하기 위해 거대한 방사형 다이크 스웜과 오로제닉 벨트의 기하학을 분석	430
5	Precambrian tectonic evolution of the Tarim Block, NW China: New geochronological insights from the Quruqtagh domain (2011)	Quruqtagh 지역의 가브로, 디오라이트 및 화강암의 지질연대 데이터를 보고	415
6	Strong asymmetry of hemispheric climates during MIS-13 inferred from correlating China loess and Antarctica ice records (2009)	지난 80만년 동안의 기후 연관성을 다루기 위해 중국 황토와 남극 대륙의 빙하 기록의 연관성 연구	193
7	The Gamburtsev mountains and the origin and early evolution of the Antarctic Ice Sheet (2009)	남극 대륙의 빙하 형성과 발전에 대한 연구로, 빙상 및 기후 모델링을 통해 남극 순환 해류 발달과 대기 중 이산화탄소 감소를 제안	167
8	Crystalline structure and thermal property characterization of chitin from Antarctic krill (Euphausia superba) (2013)	본 연구에서는 남극 크릴새우(Euphausia Superba)의 키틴 구조와 열적 특성을 조사	167
9	Earth science applications of ICESat/GLAS (2011)	얼음, 구름 및 육지 고도 위성(ICESat)은 2003년 발사 이후 지구 관측 임무를 위한 19개의 캠페인을 완료하였고, 이를 통해 그린란드와 남극 빙상 변화를 감지	136
10	Seasonal and spatial variations of Southern Ocean diapycnal mixing from Argo profiling floats (2011)	남극해는 세계 해양에서 가장 활력이 넘치는 지역으로, 혹독한 기후로 표본 추출이 어려우나, 대규모 해양 순환과 기후에 중요한 역할을 수행	117

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

□ 남극내륙 관련 논문

<내륙기지 관련 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Meteorological Data for the Astronomical Site at Dome A, Antarctica (2014)	중국의 Dome A, 남극에 위치한 Kunlun Automated Weather Station에서 수집된 기상 데이터를 분석	43
2	Ice radar investigation at Dome A, East Antarctica: Ice thickness and subglacial topography (2010)	본 연구는 Dome A를 중심으로 한 동남극 빙상(EAIS) 중앙의 높은 지점에 대한 연구	29

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

○ Meteorological Data for the Astronomical Site at Dome A, Antarctica (2014)

- 본 연구에서는 곤륜 자동 기상 관측소가 Dome A에서 수집한 기상 데이터 분석을 제시
 - 데이터에는 눈 표면 위 0m에서 14.5m 사이 8개 고도에서의 온도와 풍속을 포함
- 2m와 14.5m의 평균 기온은 각각 -54°C 와 -46°C 로, 70% 이상의 시간 동안 모든 높이에서 강한 온도 역전(temperature inversion)이 발생했으며, 온도 역전은 일반적으로 25시간 이상 지속되어 대기가 극도로 안정된 것을 확인
- 온도 구배(temperature gradient)는 높은 고도보다 낮은 고도에서 더 크게 나타남
 - 평균 풍속은 4m 고도에서 1.5ms^{-1}
 - 풍속이 낮을수록 온도 역전이 더 강하고, 고도별로 특정 풍속에서 온도 구배가 급격하게 감소하는 것으로 알 수 있었음
- 따라서 강한 온도 역전과 낮은 풍속으로 인해 그 위에 약한 대기 난류가 있는 얇고 안정적인 경계층이 생겨 Dome A는 천문 관측을 위한 최적의 장소임을 시사

○ Ice radar investigation at Dome A, East Antarctica: Ice thickness and subglacial topography (2010)

- 본 논문은 Dome A에서 레이더 조사를 통한 얼음 두께 및 빙하 지형에 대한 연구 수행
- 동남극 빙상 중앙에 위치한 Dome A는 남극 빙상의 가장 높은 정상으로, 빙상 진화 모델링 결과에 따르면 Dome A는 지구의 고기후 및 환경 기록을 100만 년 이상 보존할 가능성이 높으며 이상적인 심부 빙하 코어 시추 장소로 간주
- 제21차 및 제24차 중국 국가 남극 연구 원정(CHINARE 21, 2004/05; CHINARE 24, 2007/08) 동안 Dome A 중앙 $30\text{km} \times 30\text{km}$ 지역의 3차원 조사에 지상 기반 얼음 레이더 시스템이 사용

- 성공적으로 얻은 얼음 두께와 빙하기 지형에 대한 고해상도 및 정확도 데이터는 140.5m×140.5m의 일반 그리드 해상도를 사용하여 얼음 두께 분포와 빙하기 지형 디지털 표고 모델(DEM)에 보관
- 얼음 레이더 조사 결과, 돔 A 중앙 30km×30km 지역의 평균 얼음 두께는 2,233m이며, 곤륜 기지의 최소 얼음 두께는 1,618m, 최대 얼음 두께는 3,139m인 것으로 나타남
- 얼음 두께 분포와 빙하기 지형 특성을 기반으로 곤륜 기지의 위치가 최초의 고해상도, 장기간 규모의 심부 빙하 코어 시추를 수행하기 적합하지만, 곤륜 기지의 내부 구조와 기본 환경을 파악하기 위한 추가연구는 여전히 필요한 실정



(7) 대한민국

□ 남극 관련 논문

<인용 횟수 상위 10개 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Passive air sampling of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides at the Korean Arctic and Antarctic research stations: Implications for long-range transport and local pollution(2008)	극지방의 폴리염화비페릴 및 유기염소계 살충제의 수준과 패턴을 파악하기 위해 한국 극지 연구소에 1년간 설치한 XAD 수지 기반 공기 샘플러를 관찰하여, 해당 기술의 타당성을 검증함	173
2	Siple Dome ice reveals two modes of millennial CO2 change during the last ice age(2014)	남극의 Siple Dome 빙하 코어에서 추출된 이산화탄소의 기록을 통해 과거 급격한 기후 변화에 대한 이해를 증진함	146
3	Change in gene abundance in the nitrogen biogeochemical cycle with temperature and nitrogen addition in Antarctic soils(2011)	질소의 생지화학적 순환에 영향을 받는 미생물 군집(박테리아, 고세균, 곰팡이 등)과 8개의 유전자에 대한 정량적 연구를 통해 남극 토양 환경의 특성을 규명하는 연구 수행	136
4	On the Variability of Antarctic Circumpolar Current Fronts Inferred from 1992-2011 Altimetry(2014)	1992~2011년까지의 남극 순환 전류 전선의 장기적인 변화 및 변동성을 분석하여 주변 지역의 기후 변화 및 특성과의 관계를 규명하는 연구 수행	116
5	Three-Year Atmospheric Monitoring of Organochlorine Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Polar Regions and the South Pacific(2011)	남태평양 및 극지에 3년 동안 설치된 XAD-2 수지 기반 공기 시료 채취기를 통해 세 지역의 대기를 분석한 결과 HCH(α - 및 γ -HCH)의 감소 추세와 endosulfan-I의 증가 추세 등을 확인함	99
6	The genome sequence of the Antarctic bullhead notothen reveals evolutionary adaptations to a cold environment(2014)	남극 어류인 <i>Notothenia coriiceps</i> 의 게놈 분석을 통해 미토콘드리아 단백질과 헤모글로빈이 진화함으로써 환경에 적응했다는 것을 확인함	81
7	Antarctic blackfin icefish genome reveals adaptations to extreme environments(2019)	남극 어류인 <i>Chaenocephalus aceratus</i> 에 대한 게놈 분석을 통해 유전자 지도와 게놈 조합을 도출하여, 남극 어류의 광범위한 진화적 과정 및 맥락에 대한 이해를 증진함	78
8	Regional geology mapping using satellite-based remote sensing approach in Northern Victoria Land, Antarctica(2018)	남극 대륙의 북부 빅토리아 랜드 지역에 대한 Landsat-8 및 ASTER 등 위성 기반 원격 감지를 통해 암석 구조 및 광물학 정보를 도출하고 다른 자료와 비교하여 정확도를 확인함	69
9	Evidence of Global-Scale As, Mo, Sb, and Tl Atmospheric Pollution in the Antarctic Snow(2012)	남극 내륙에 위치한 Dome Fuji 기지에서 채취한 눈덩이(snowpack) 샘플을 분석하여 인간 활동에 의해 As, Mo, Sb, Tl 등 오염물질이 대기중에 얼마나 증가했는지를 추정하는 연구 수행	69
10	Lecanoric acid, a secondary lichen substance with antioxidant properties from <i>Umbilicaria antarctica</i> in maritime Antarctica(2009)	항산화 활성 평가를 위해 남극 킹 조지 섬에서 8종의 이끼류를 채집하여 실험을 수행하여 남극 지의류를 천연 항산화제로 활용할 수 있는 가능성을 확인함	68

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

□ 남극내륙 관련 논문

<내륙기지 관련 논문>

NO	논문제목	주요 내용	인용 횟수
1	Evidence of Global-Scale As, Mo, Sb, and Tl Atmospheric Pollution in the Antarctic Snow(2012)	남극 내륙에 위치한 Dome Fuji 기지에서 채취한 눈덩이(snowpack) 샘플을 분석하여 인간 활동에 의해 As, Mo, Sb, Tl 등 오염물질이 대기중에 얼마나 증가했는지를 추정하는 연구 수행	69
2	A 50-Year Record of Platinum, Iridium, and Rhodium in Antarctic Snow: Volcanic and Anthropogenic Sources(2011)	퀸모드랜드에서 채취한 눈 샘플에서 Pt, Ir, Rh 등 백금족 원소의 대기 퇴적의 시계열적 분석을 통해 특성과 그 원인을 추정하는 연구 수행	57

출처: web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

○ Evidence of Global-Scale As, Mo, Sb, and Tl Atmospheric Pollution in the Antarctic Snow(2012)

- (주요 내용) 남극 내륙 Dome Fuji 기지에서 채취한 눈덩이(snowpack) 샘플을 분석하여 인간 활동에 의해 As, Mo, Sb, Tl 등 오염물질이 대기중에 얼마나 증가했는지를 추정하는 연구 수행
- (주요 성과) 눈덩이 샘플의 분석 결과, As, Mo, Sb, Tl 등 오염물질의 농도가 유의미한 변화를 보이며, 인간 활동이 대기오염에 유의미한 영향을 준다는 것을 확인
 - 눈덩이와 지각에서 분석한 As, Mo, Sb, Tl 등 오염물질의 EF(enrichment factors)값을 비교한 결과, 전체적으로 눈덩이의 EF값이 높은 것을 확인할 수 있었으며, 이는 인위적 요인이 대기에 영향을 주었을 것이라는 가설을 뒷받침
 - 분석 시기 남미 지역의 해당 원소의 배출량이 급증하는 것과 분석 결과를 비교했을 때, 남미 지역에서의 배출이 대기 성분 변화에 주요 요인을 작용했을 것으로 추정

○ A 50-Year Record of Platinum, Iridium, and Rhodium in Antarctic Snow: Volcanic and Anthropogenic Sources(2011)

- (주요 내용) 퀸모드랜드에서 채취한 눈 샘플에서 Pt, Ir, Rh 등 백금족 원소의 대기 퇴적의 시계열적 분석을 통해 특성과 그 원인을 추정하는 연구 수행
- (주요 성과) 눈 샘플을 분석을 통해 남극의 백금족 원소의 퇴적 농도값을 측정하였으며, 평균적인 대륙 지각의 농축도와 비교하여, 백금족 원소의 농축의 원인으로 지각 활동은 미비하며 그 외 요인이 작용했을 가능성이 크다는 것을 확인
 - 눈 샘플에서 측정된 원소의 평균 농도는 Pt 17 fg g⁻¹, Ir 0.12 fg g⁻¹, Rh 0.71 fg g⁻¹로 나타났으며, 지각의 농축값과 비교하면 그 수치가 더 높다는 결과가 나온
 - 남극 대기 중 백금원소의 농축량을 증가시킨 요인으로 화산 활동과 자동차 배기가스 등 인위적 활동이 유력하며, 1980년 이후 추세를 고려했을 때, 인위적 활동에 의한 것일 가능성이 높은 것으로 추정

제4절 남극내륙기지 기반 국내 기술수요 조사

1) 기술수요조사

□ 응답자 현황

- 본 기술수요조사를 실시하여 기업, 연구기관, 학교, 기타 의원, 지자체, 학술단체 등에 소속된 총 428명의 유효응답을 획득
 - 소속기관 유형이 기타인 경우는 의원(병원), 지자체, 학술단체 등으로 도출

<응답자 현황>

기관유형	응답자수(명)	비중
연구기관	194	45.3%
학교	128	29.9%
기업	35	8.2%
기타	71	16.6%
합계	428	100%

□ 기술분야에 대한 인지도 및 유망기술 조사결과

- 현재 수행되고 있는 남극내륙연구 분야 중 응답자들의 인지도가 가장 높게 나타난 기술분야로는 '남극내륙 기상관측 네트워크를 활용한 남극대륙-전지구 간 기후변화 상호작용 연구', '남극대륙 심부빙하 시추를 통한 과거100만년 기후변화 기록복원 연구, 남극내륙 심부빙저호 시추를 통한 생물진화 및 우주생물학 연구' 등으로 도출
 - 상대적으로 남극내륙 천문관측, 외계 중성미자 관측, 우주비행사의 심리적/물리적 변화 등과 같은 극지의학 연구 분야에 대한 인지도는 높지 않은 것으로 도출됨

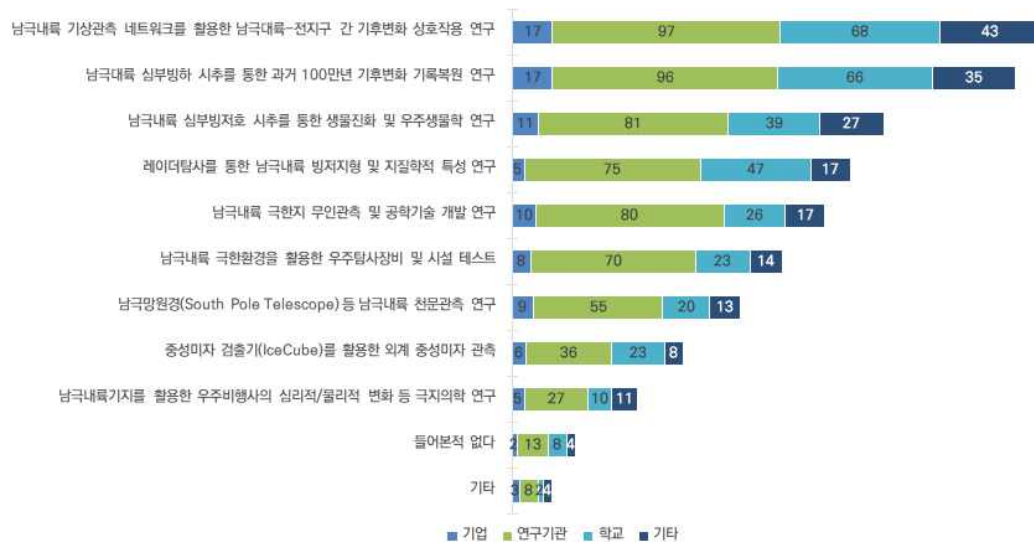
단위: 건수(중복)



<남극내륙연구 분야에 대한 인지도>

- 전반적인 비중은 유사하나, 상대적으로 기업과 연구기관이 타 기관에 비해 ‘남극내륙 극한지 무인관측 및 공학기술 개발연구’ 분야에 대한 인지도가 높게 나타났으며, 학교에서는 ‘레이더탐사를 통한 남극내륙 빙저지형 및 지질학적 특성 연구’에 대한 인지도가 높은 것으로 조사

단위: 건수(중복)



<기관 유형별 남극내륙연구 분야 인지도>

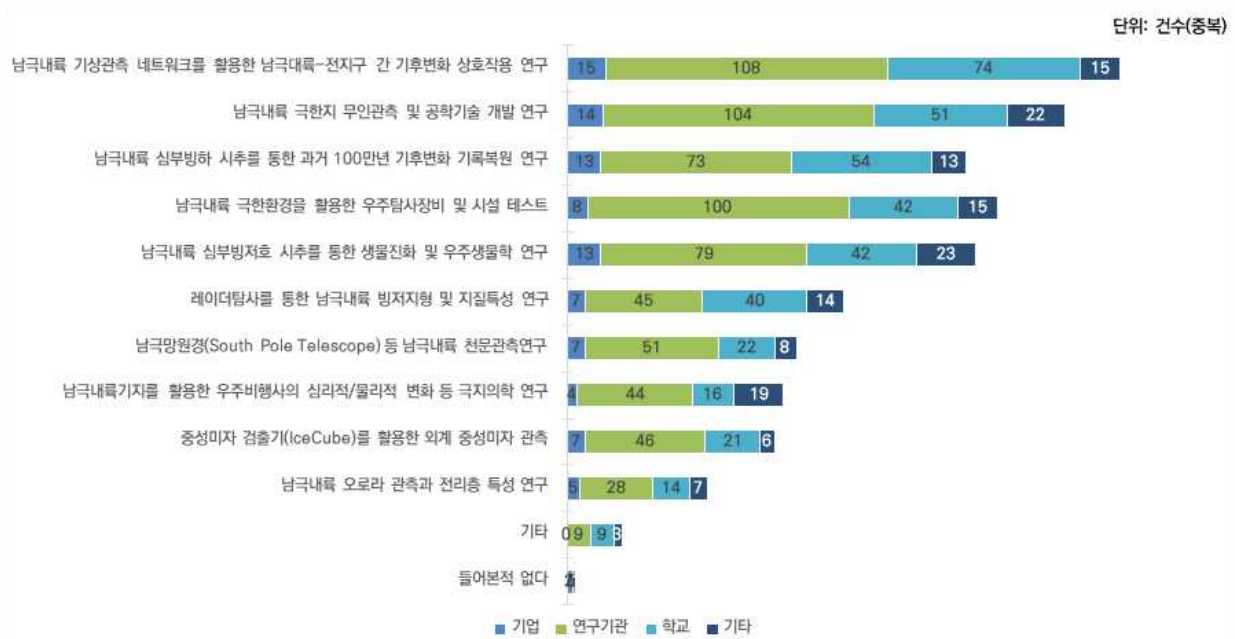
○ 남극내륙연구주제에 대한 유망 기술 분야 조사결과, ‘남극내륙 극한지 무인관측 및 공학기술 개발연구’, ‘남극내륙 극한환경을 활용한 우주탐사장비 및 시설 테스트’ 분야에 대한 유망성이 인지도에 비해 높게 도출

- 남극내륙연구 주제에 대한 인지도 조사와 마찬가지로 유망 기술 분야 또한 ‘남극내륙 기상관측 네트워크를 활용한 남극대륙-전 지구 간 기후변화 상호작용 연구’, ‘남극내륙 심부빙하 시추를 통한 과거 100만년 기후변화 기록복원 연구’ 등이 높게 도출



<남극내륙연구 유망기술 분야 조사 결과>

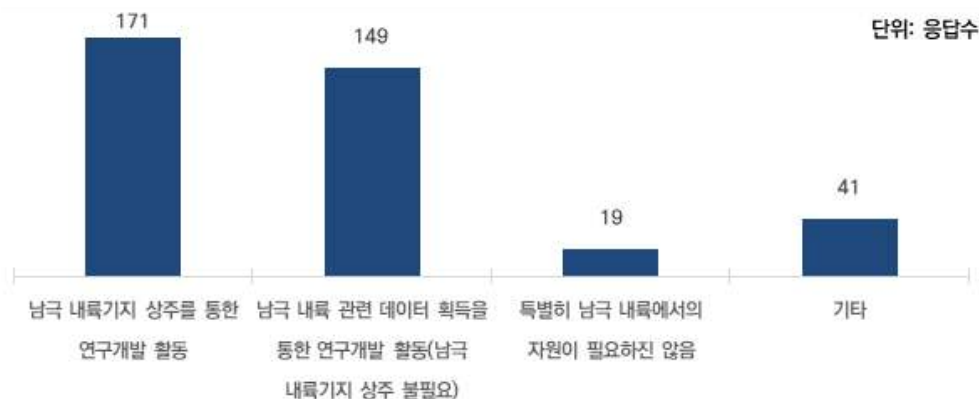
- 전반적으로 남극내륙연구 유망 기술 분야에 대해 기관 유형별로 유사한 결과를 도출하였으나, 연구기관에서는 상대적으로 ‘남극내륙 극한환경을 활용한 우주탐사장비 및 시설 테스트’ 분야를, 의원(병원), 지자체, 학술단체 등으로 구성된 기타 유형의 기관에서 ‘남극내륙 심부 빙저호 시추를 통한 생물진화 및 우주생물학 연구’, ‘남극내륙기지를 활용한 우주비행사의 심리적/물리적 변화 등 극지의학연구’가 유망하다는 의견이 도출됨



<기관 유형별 남극내륙연구 유망기술분야 조사 결과>

□ 남극 내륙연구를 위한 아이디어 및 연구 주제

- 남극 관련 전문가들 약 380명을 대상으로 남극내륙과 관련된 연구를 수행할 의향이 있는지 여부를 조사하는 질문에서 304명(약 80%)이 연구수행의향이 있다고 응답
 - 또한, 내륙연구를 위한 구체적인 아이디어 및 연구주제가 있는지 여부를 조사하는 질문에서 198명(약 52%)이 있다고 응답
- 앞서 응답한 아이디어 또는 연구주제 수행을 위해 '남극 내륙기지 상주를 통한 연구개발 활동', '남극내륙 관련 데이터 획득을 통한 연구개발 활동(내륙기지 상주 불필요)' 등의 지원이 필요하다고 응답



<남극 내륙연구를 위해 필요한 지원>

- ‘기타’ 응답의 경우, 인력지원, 시설 및 인프라 지원, 연구개발을 수행하기 위한 제반사항 마련 등에 대한 의견들이 도출되었으며, 연구개발수행을 위한 사전 연구에 대한 의견도 도출

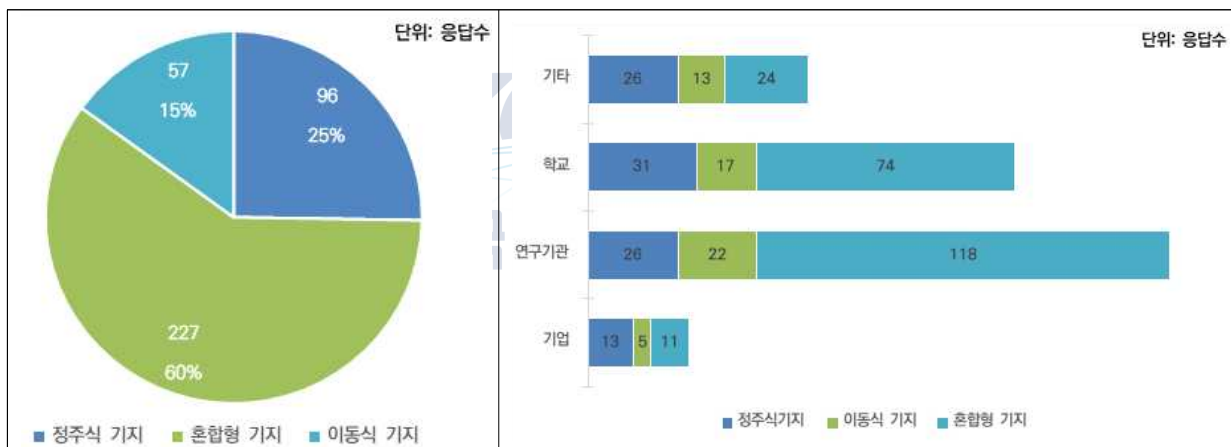
[참고] 기타 지원필요 사항

- 남극내륙 관련 데이터를 기반한 시뮬레이션 및 남극 내륙 환경에서의 실험
- 주기적 샘플링을 위한 단기간 기지 활용, 연관 장비 및 인력 지원
- 우주탐사를 위한 기술개발, 테스트, 유사임무 수행(Analog Mission)
- 남극내륙에서의 유사임무(Analog Mission)
- 상주하면서 지속적인 관찰
- 인력지원
- 장기취재 지원
- 시추탐사 및 방사성 동위원소를 통한 연대 측정
- 관련 인프라 구축
- 극지관련 연구자들의 활동을 홍보하고 알려주는 청소년 교육프로그램 개발
- 빙하연구
- 데이터 분석
- 개발 기술의 검증 및 효용성 분석을 위해 시제품 개발 및 적용 시험
- 상주연구 인력으로부터 지속적인 샘플 확보 및 데이터 기록 공유 가능한 장기 프로젝트 비용 지원
- 빙하나 기타 환경 시료 등의 남극 내륙 관련 시료 확보 및 빙하 연대 측정 데이터 및 기후 예측 데이터 등의 관련 데이터 공유
- 남극연구에 대한 홍보 및 홍보교육
- 무인체를 활용한 남극내륙 환경 모니터링 기술개발
- 건설재료가 극한환경에 노출될 수 있는 공간 및 구조물 응답을 확인할 수 있는 공간
- 주기적 샘플링을 위한 단기간 기지 활용, 연관 장비 및 인력 지원
- 남극의 여름에 현장에서의 저온 극한 미생물에 의한 온실가스 변환활성 변화 측정 및 연중 남극시료를 이용하여 국내 실험실에서의 저온 극한 온실가스 변환 미생물 자원 배양 및 특성 연구
- 무인관측장비 운영 및 자료다운로드를 위한 인터넷 통신, 무인관측장비 운영을 위한 전력, 장비설치 및 간헐적 유지보수를 위한 남극방문, 문제발생시 해결을 위한 현지인력의 협조
- 남극 환경매체 및 생물 시료 채취 및 보관
- 생물자원 채집 발굴 지원 및 생물자원 정보 공개를 통한 연구자들의 활용연구
- 연구수행을 위한 극지에서 자라는 미세조류
- "남극연구 및 활용을 위한 정책지원 플랫폼"운영과 연구활성화 및 저변확대를 위한 연구개발 공모사업의 확대
- 남극 내륙에서의 장비, 시료, 인원 운송 및 안전지원

- 남극지 생물의 조직/장기 단백질 발현 지도 구축을 통한 극한 지역 생명과학 기초연구 (예, 남극 펭귄의 특이 행동에 관련된 유전자 지도 구축 및 유전자 발현(mRNA, proteins) 지도 세계 최초 규명)
- 남극 내륙기지 상주를 통한 남극 중심부까지의 환경변화 연구. 상시 장비를 운용할 수 있는 전력필요
- 광학시스템 설치, 운영을 위한 로지스틱스, 위치선정 시 자문 등 수행 필요
- 남극내륙의 데이터확보를 위한 전기 및 네트워크 문제 해결

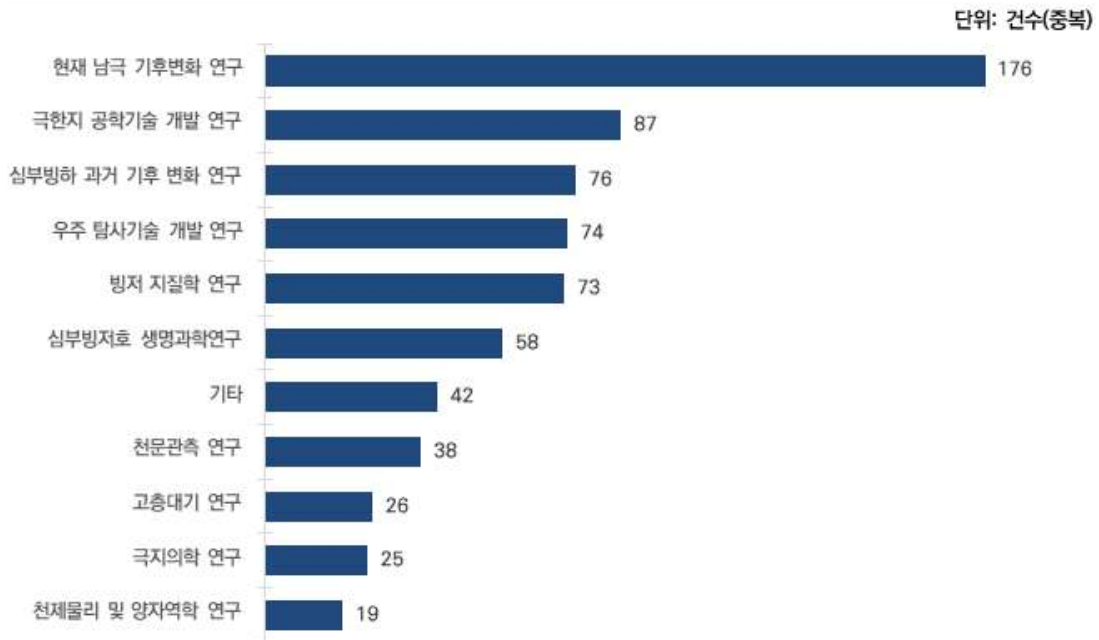
○ (내륙기지 형태) 앞서 응답한 남극내륙기지 관련 아이디어 및 연구주제 수행을 위해 혼합형 기지가 적절하다고 응답한 사람이 과반수 이상을 차지

- 전체 응답자 380명 중, 연구수행을 위해 필요한 기지형태로는 혼합형 기지 227명(약 60%), 정주식 기지 96명(약 25%), 이동식 기지 57명(약 15%) 순으로 응답
- 전체 응답자 중 혼합형 기지가 적절하다는 의견이 과반수를 넘었으나, 기업과 기타유형 기관(의원(병원), 지자체, 학술단체 등)에서는 정주식 기지에 대한 수요가 높게 나타남



<내륙기지 형태 조사결과>

- (연구개발 수요 주제) 380명의 남극연구 전문가들의 연구개발 수요를 조사한 결과, '현재 남극 기후변화연구'분야를 염두하고 있는 전문가들이 25% 이상인 것으로 조사
- 그 외, '극한지 공학기술 개발 연구' (12.5%), '심부빙하 과거 기후변화 연구' (11.0%), '우주 탐사기술 개발 연구' (10.7%), '빙저 지질학 연구' (10.5%) 등의 순으로 도출되었으며, 상대적으로 '천체물리 및 양자역학 연구' (2.7%), '극지 의학 연구' (3.6%), '고층대기 연구' (3.7%)에 대한 수요가 저조한 것으로 조사됨



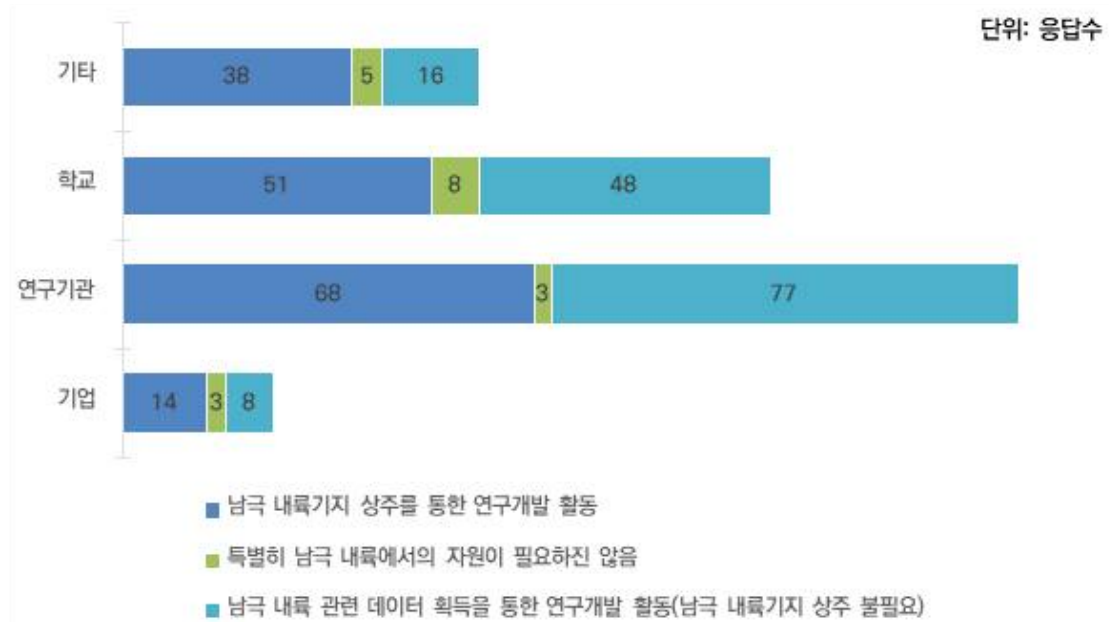
<연구개발 수요 분야>

- ‘기타’ 분야에 대한 연구분야는 정책연구, 미생물 및 생명과학분야, 해저환경 (지질학, 빙저연구), 등에 대한 연구로 조사됨

[참고] 기타분야 연구개발 수요

- 인프라사운드를 이용한 해저지진/화산 활동 감시, 빙하 균열 또는 움직임 모니터링, 대기 음파 속도 변화를 이용한 남극 기후 변화 연구
- 심부빙저호 생명과학연구 및 빙저 지질학 연구 방법론을 우주탐사에 활용 및 적용
- 남극과학 인류학적 접근
- 지상-해상-수중-극한지(오지)-LEO 통합 "행성권" 정보통신 기술 개발 및 표준화
- 남극 해양환경 교육자료 구축
- 온실가스 전환 저온 극한 미생물 연구
- 우주안보를 위한 우주위협감시 및 우주물체감시
- 남극에서의 유해물질 오염도 현황 조사
- 남극정책
- 극지생물 기초과학 연구
- 공학 연구장비 등
- 남극 해양 생물체 연구

- 남극내륙관련 연구 수행을 위해 기업, 학교, 기타유형의 기관은 남극 내륙기지 상주를 통한 연구개발활동 지원이 가장 필요하다고 응답하였으며, 연구기관의 경우 내륙기지 상주보다는 남극 내륙관련 데이터 획득을 통한 연구개발활동 지원이 필요하다는 응답을 취득함



<응답기관 별 필요한 지원>

극지연구소



제 IV 장
남극내륙기지 개념설계



제4장 남극내륙기지 개념설계

제1절 사업 기본방향

1. 비전 및 목표체계

□ 사업명: 남극내륙기지 건설 및 운영시스템 구축 사업

○ 사업 규모

- 사업 기간: 총 6년(' 27~' 32)
- 예산 규모: 총사업비 900억 원(정부출연 100%)



<사업 비전 및 목표체계>

2. 사업구성

- 3개 세부과제, 7개 세세부과제로 구성

<세부과제 구성>

세부과제명	세세부과제명
(세부과제1) 남극 내륙기지 모듈 개발 및 건설	(1-1) 이동식·정주식 내륙기지 모듈 개발
	(1-2) 남극 내륙기지 건설을 위한 운송 및 현장 구축 개발
	(1-3) 남극 내륙기지 원격 모니터링 및 제어 시스템 개발
(세세부과제2) 남극 내륙 친환경 기지 운영시스템 구축	(2-1) 재생에너지 활용시스템 구축
	(2-2) 극지환경 맞춤형 친환경 수처리 시스템 구축 및 운영기술 개발
	(2-3) 극지 환경 대응 발전 시스템의 유해물질 저감 기술개발
(세세부과제3) 환경영향평가 대응	(3-1) 환경영향평가 대응

- (세부과제1) 남극 내륙기지 모듈 개발 및 건설
 - (세부목표) 남극 내륙기지를 구성하기 위한 단위 모듈 개발
- (세부과제2) 남극 내륙 친환경 기지 운영시스템 구축
 - (세부목표) 극한지 에너지 효율 극대화 및 친환경 운영을 위한 시스템 구축
- (세부과제3) 환경영향평가 대응
 - (세부목표) 포괄적환경영향평가서(CEE) 제출을 통한 남극내륙기지 건설의 국제 사회(ATCM) 동의 획득

3. 사업추진체계

- 남극내륙기지 구축 및 운영을 위한 기획연구 사업은 해양수산부 주관 하에, 한국해양과학기술원 부설 극지연구소에서 사업을 운영·관리하는 체계로 추진하며 사업단 주도의 사업 운영관리 수행
- (주관부처) 해양수산부
 - 사업의 정책적 판단 및 사업 추진 방향 등 주요 사항에 대한 의사결정을 담당
 - (전문기관) 해양수산과학기술진흥원
 - 사업 관리·운영·점검의 주체 역할을 수행하며, 선정평가 및 과제평가(진도 점검, 결과평가 등) 실시
 - (사업 운영·지원 기관) 극지연구소
 - 전문기관의 기획·평가·관리 업무수행 지원 및 사업단 운영 지원 등
 - (전문가 협의체) 전문기관의 역할 수행 간 자문 및 협의 지원
 - 사업의 기획·관리·평가 업무수행에 필요한 실무사항 협의, 사업의 기본·시행 계획 수립, 사업단 관리 및 사업단에 연계한 과제 통합평가·사후 관리 등을 담당
 - (연구기관) 주관 및 공동연구기관은 사업에 참여하여 실제 연구과제를 수행



<사업추진체계>

4. 사업추진 절차 및 일정

<사업추진 절차>

추진절차		내용
1	시행계획 수립	- 당해연도 사업 시행계획 수립 · 사업추진방향, 분야별 예산지원계획 등
2	시행계획 심의	- 해양수산물과학기술위원회 시행계획 심의
3	시행계획 확정	- 해양수산부 방침
4	위수탁협약체결	- 해양수산부 방침 확정 후 전문기관과 사업관리 · 위수탁협약 체결
5	사업공고 및 접수	- 사업별 시행계획 공고 - 연구개발계획서 등 신청서 접수 ※ 과제별 특성에 따라 개별 진행
6	선정 평가	- 전문가로 구성된 평가위원회 평가 · 과제조정이 필요할 경우 운영위원회 개최 - 해양수산부 확정
7	협약 체결	- 최종 선정결과에 따른 과제별 협약체결
8	성과 평가	* 중간(단계)평가: 연구결과 및 차년도 계획 평가 - 최종평가: 최종 연구결과에 대한 평가
9	성과 관리	- 연구성과 활용 현황 조사 및 분석

출처: 해양수산물과학기술진흥원홈페이지(사업추진절차) (https://www.kimst.re.kr/u/rnd/process_01/content.do)

5. 성과목표 및 지표

□ 성과목표 및 지표

<성과목표 및 지표 총괄표>

구 분	내 용			
사업목표	대한민국 주도의 기후위기 대응 및 우주탐사 기술개발에 대한 국제 R&D 연구협력 체제를 구현하는 남극내륙 국제공동연구 플랫폼 조성			
(최종) 성과목표	남극내륙기지 기반의 국제 R&D 협력연구를 주도하고, 남극내륙 미답 영역 기후변화 관측 및 우주개발 연계 극한지 탐사기술개발 선도			
단계별 성과목표 및 지표	1단계 (27년도~32년도)			
	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	이동식 모듈형 남극 내륙연구 기반인프라 확보	0.3	남극내륙기지 모듈 제작 진척률	양
		0.2	남극내륙기지 모듈 현장 구축 진척률	양
	남극내륙기지 친환경 운영 시스템 구축	0.2	재생에너지 발전 시스템 개발 진척도	질
		0.1	수자원 재활용 시스템 개발 진척도	질
		0.1	대기오염물질 저감 시스템 개발 진척도	질
	국제사회 공감대 확보를 위한 남극 내륙기지 건설의 환경영향 최소화	0.1	환경영향평가 대응 진척도	질

□ 성과지표 및 목표치

성과목표명	가중치	성과지표명	단위	구분	목표치						지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
				연도	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
이동식 모듈형 남극 내륙 연구기반 인프라 확보	0.3	남극내륙기지 모듈 제작 진척률	%	목표	13	26	53	80	100		산출	양	본 사업의 최종 목표인 남극 내륙기지를 구성하는 총 15개 모듈과 15개 하부셀매의 제작 진척도를 성과지표로 설정
	0.2	남극내륙기지 모듈 현장 구축률	%	목표				40	80	100	산출	양	남극내륙기지 후보지 및 연구거점 내 모듈 운송 및 기지 구축률을 성과지표로 설정
친환경 남극내륙기지 운영 시스템 구축	0.2	재생에너지 발전 시스템 개발 진척도	%	목표	10	15	20	60	70	100	산출	질	화석연료 발전량의 30% 대체율 달성을 위한 시스템 개발 공정 진척도를 성과지표로 설정
	0.1	수자원 재활용 시스템 개발 진척도	%	목표	10	15	20	60	70	100	산출	질	콘코르디아 기지의 물 재활용 시스템 효율(60%) 달성을 위한 국내 시스템 개발공정 진척도를 성과지표로 설정
	0.1	대기오염물질 저감 시스템 개발 진척도	%	목표	10	15	20	60	70	100	산출	질	초미세먼지 95%, 질산화물 90% 등 Tier4 배기가스 규제 기준에 맞는 대기오염 시스템 개발공정 진척도를 성과지표로 설정
국제사회 공감대 확보를 위한 남극 내륙기지 건설의 환경영향 최소화	0.1	환경영향평가 대응 진척도	건	목표	IP 1건	현장 조사 1회	현장 조사 1회	CEE 1건	사후 보고 서 1건	사후 보고 서 1건	결과	질	남극내륙기지 건설 전주기에 걸친 환경영향평가 수행 여부를 측정하기 위해, 초기, 종합 및 사후 환경영향평가 보고서(안) 제출을 지표로 설정
계													

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거								측정산식 및 방법, 시기	
남극내륙기지 모듈 제작 진척률	- 동 사업에서 남극내륙기지를 구성하는 총 15개 모듈*과 15대의 하부설매 제작 진척률을 성과 목표치로 설정 * 숙소동 5개 모듈, 생활동 4개 모듈, 발전동 2개 모듈, 급수동 1개 모듈, 연구동 2개 모듈, 의료지원동 1개 모듈의 총 15개 모듈구성								- 측정방법: 본 사업의 로드맵에서 목표로 제시한 총 15개 모듈 및 15개 하부설매 제작 건수 중 당해연도에 완료된 모듈의 제작 건수를 통해 진척률 측정	
	모듈 및 설매 제작	목표 건수	실적치 및 진척률(%)						- 측정산식: $\frac{\sum(\text{당해연도 완료된 모듈 제작 건수})}{\sum(\text{최종년도까지 설정된 각 모듈의 목표 제작 건수})} \times 100$	
			'27	'28	'29	'30	'31	'32	- 측정시기: 당해연도 말	
	모듈제작	15			6 (20%)	6 (20%)	3 (10%)			
하부설매	15	4 (13%)	4 (13%)	2 (7%)	2 (7%)	3 (10%)				
남극내륙기지 모듈의 현장 구축률	- 총 15개 모듈과 15대의 하부설매로 이루어진 이동식 모듈의 남극내륙기지 후보지 및 남극내륙 연구거점 내 운송 및 현장 구축률을 성과 목표치로 설정								- 측정방법: 모듈과 하부설매로 구성된 각 모듈의 현장 구축 건수 중 당해연도에 현장구축이 완료된 모듈 건수를 통해 진척률 측정	
	모듈 및 설매 제작	목표 건수	실적치 및 진척률(%)						- 측정산식: $\frac{\sum(\text{당해연도 현장구축 완료된 모듈 개수})}{\sum(\text{최종년도까지 설정된 기지 모듈 구축건수})} \times 100$	
			'27	'28	'29	'30	'31	'32	- 측정시기: 당해연도 말	
	모듈구축	15				6 (40%)	6 (40%)	3 (20%)		

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거							측정산식 및 방법, 시기		
재생에너지 발전 시스템 개발 진척도	- 본 사업에서 구축되는 친환경 기지운영시스템을 통해 기존 화석연료 사용량의 30%를 재생에너지로 대체하기 위한 개발공정의 진척도를 목표치로 설정									
	시스템 개발 공정	가중 치(%)	실적치 및 진척률(%)							
			'27	'28	'29	'30	'31	'32		
	설계	10	1 (10%)						- 측정방법: 연차별 공정 단계 수행완료 여부와 각 단계 가중치를 곱하여 시스템 개발 진행률 측정	
	시제품 제작	5		1 (5%)					- 측정산식: $\frac{\sum(\text{당해연도 개발공정 수행률})}{\sum(\text{당해연도 개발공정 목표})} \times 100 \times \text{가중치}(\%)$	
	시험 운영	5			1 (5%)				- 측정시기: 당해연도 말	
	제작	40				1 (40%)				
	납극운송	10					1 (10%)			
현장 구축	30						1 (30%)			

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거							측정산식 및 방법, 시기		
물 재활용 시스템 개발 진척도	- 세계 최고 수준인 프랑스-이탈리아의 콘코르디아 기지 내 물 재활용율 60%와 동일한 수준의 물 재활용 시스템 개발 공정 진척도를 목표치로 설정									
	시스템 개발 공정	가중 치(%)	실적치 및 진척률(%)							
			'27	'28	'29	'30	'31	'32		
	설계	10	1 (10%)						- 측정방법: 연차별 공정 단계 수행완료 여부와 각 단계 가중치를 곱하여 시스템 개발 진행률 측정	
	시제품 제작	5		1 (5%)					- 측정산식: $\frac{\sum(\text{당해연도 개발공정 수행률})}{\sum(\text{당해연도 개발공정 목표})} \times 100 \times \text{가중치}(\%)$	
	시험 운영	5			1 (5%)				- 측정시기: 당해연도 말	
	제작	40				1 (40%)				
	납극운송	10					1 (10%)			
	현장 구축	30						1 (30%)		

성과지표명		목표치 설정방법 및 근거						측정산식 및 방법, 시기		
대기오염물질 저감 시스템 개발 진척도	- 초미세먼지 95%, 질산화물 90% 등 Tier4 배기가스 규제 기준 대비 저감을 위한 시스템 개발공정 진척률을 성과지표로 설정									
	시스템 개발 공정	가중 치(%)	실적치 및 진척률(%)							
			'27	'28	'29	'30	'31	'32		
	설계	10	1 (10%)						- 측정방법: 연차별 공정 단계 수행완료 여부와 각 단계 가중치를 곱하여 시스템 개발 진행률 측정	
	시제품 제작	5		1 (5%)					- 측정산식: $\frac{\sum(\text{당해연도 개발공정 수행률})}{\sum(\text{당해연도 개발공정 목표})} \times 100 \times \text{가중치}(\%)$	
	시험 운영	5			1 (5%)					
	제작	40				1 (40%)			- 측정시기: 당해연도 말	
	납극운송	10					1 (10%)			
현장 구축	30						1 (30%)			

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기																															
환경영향평가대응 진척도	- 본 사업 로드맵에 명시한 1~3차 년도 IP 제출 및 현장조사를 통해 포괄적 환경영향평가 초안 작성 후 4차년도에 ATCM 포괄적 환경영향평가 보고서 제출 국제사회 승인을 목표치로 설정 - 4~6차년도 남극내륙기지 현장구축 시 대기, 빙설 모니터링을 통해 남극내륙기지 건설 전주기에 걸친 환경영향평가 수행을 목표치로 설정	- 측정방법: 본 사업에서 목표로 제시한 환경영향평가 일정 및 절차에 따른 진행률에 가중치를 고려하여 측정 - 측정산식: 기지건설에 따른 연차별 환경영향평가 보고서 진척도 - 측정시기: 당해연도 말																															
	<table><tr><td></td><td>'27</td><td>'28</td><td>'29</td><td>'30</td><td>'31</td><td>'32</td></tr><tr><td rowspan="4">포괄적 환경 영향 평가</td><td>IP 제출</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td colspan="2">환경조사</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>CEE 승인</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">사후평가</td></tr></table>		'27	'28	'29	'30	'31	'32	포괄적 환경 영향 평가	IP 제출							환경조사								CEE 승인						사후평가		
	'27	'28	'29	'30	'31	'32																											
포괄적 환경 영향 평가	IP 제출																																
		환경조사																															
				CEE 승인																													
				사후평가																													

제2절 (세부과제1) 남극 내륙기지 모듈 개발 및 건설

1. 세부과제1 개요

〈세부과제1 요약표〉

세부과제명: 남극 내륙기지 모듈 개발 및 건설								
개념	- 이동식 남극내륙기지 모듈 개발 및 현장 구축							
범위	- 고단열 구조의 이동식 남극내륙기지 모듈 개발 - 장기간 안정적으로 기지 구조물을 지지하기 위한 모듈 하부구조 개발 - 내륙기지 임무와 거주 편의성을 고려한 모듈의 기능별 내부 구조 개발 - 국내 인프라를 활용한 남극내륙기지 모듈 현장운송 - 남극내륙기지 무인운영 및 유지보수를 위한 원격운영 시스템 개발							
핵심 성과물	- 내륙기지 모듈 총 15개 (이동식 모듈 8, 정주식 기반 모듈 7 동 및 하부 구조물 1기) 제작 - 남극내륙기지 후보지 내 이동식 모듈형 남극내륙기지 1개소 건설 - 남극내륙기지 무인원격운영 시스템							
세세부과제 구성 및 주요 내용								
세세부과제명		목표 성능				TRL 단계 (목표)	연구 기간	
(1-1) 이동식 · 정주식 내륙기지 모듈 개발 내륙기지 모듈 개발		- (패시브 에너지 기술) 극한 환경에서 난방부하를 저감할 수 있는 고단열 이동식 모듈 기술 개발 - (액티브 에너지 기술) 친환경 시스템 구축을 위한 정주식 모듈 기술 개발 - (구조기술) 남극내륙의 바람과 적설에 대비할 수 있는 하부 구조 시스템 개발 - (기지모듈) 이동식 남극내륙기지 모듈 15동 제작				8	6년	
(1-2) 남극 내륙기지 건설을 위한 운송 및 현장 구축 개발		- 15개 기지모듈 및 하부 구조물의 남극내륙기지 후보지 및 심부빙하 시추거점 운송 - 심부빙하 시추거점 내 연구캠프 구축 및 운영 - 남극내륙기지 후보지 내 기반시설 및 친환경 시스템 구축				7	6년	
(1-3) 남극 내륙기지 원격 모니터링 및 제어 시스템 개발		- 남극내륙기지 내 무인원격 시스템 구축 및 운영				7	6년	
예산 및 인력 투입계획(1-1)								
구분		‘27	‘28	‘29	‘30	‘31	‘32	합계
인력 투입계획	책임연구원	6	7	8	8	8	7	44
	연구원	6	8	11	13	10	7	55
	연구보조원	5	7	8	11	11	7	49

	소계	17	22	27	32	29	21	148
예산 투입계획 (억 원)	정부	42.3	60.9	98.3	105.5	91.6	50.3	448.9
	소계	42.3	60.9	98.3	105.5	91.6	50.3	448.9
예산 및 인력 투입계획(1-2)								
구분		'27	'28	'29	'30	'31	'32	합계
인력 투입계획	책임연구원	2	2	2	3	3	3	15
	연구원	4	4	4	4	4	4	24
	연구보조원	5	5	5	14	14	14	57
	소계	11	11	11	21	21	21	96
예산 투입계획 (억 원)	정부	15.5	15.5	14.7	31.1	30.3	31.1	138.1
	소계	15.5	15.5	14.7	31.1	30.3	31.1	138.1
예산 및 인력 투입계획(1-3)								
구분		'27	'28	'29	'30	'31	'32	합계
인력 투입계획	책임연구원	4	5	5	4	3	3	24
	연구원	5	8	8	6	4	3	34
	연구보조원	5	6	6	5	4	4	30
	소계	14	19	19	15	11	10	88
예산 투입계획 (억 원)	정부	4.4	9.8	11.5	7.7	3.6	2.9	39.9
	소계	4.4	9.8	11.5	7.7	3.6	2.9	39.9

2. 과제 구성 및 주요 내용

<세부과제1의 세세부과제 구조>

세세부과제	연구 목표
(1-1) 세세부과제1 이동식·정주식 내륙기지 모듈 개발	- 남극내륙 현장에서 신속하게 조립이 가능한 표준화된 규격의 이동식 모듈형 기지 개발 - 화석연료 고갈 시 자체 재생에너지 발전에너지로 30일 이상 최소한의 생존 시스템의 가동 및 운영 가능
(1-2) 세세부과제2 남극 내륙기지 건설을 위한 운송 및 현장 구축 개발	이동식 모듈형 남극내륙기지 건설을 위해 기지모듈의 개발지로부터 남극내륙에 이르는 해상, 육상운송과 현장 작업을 위한 기술인력의 항공 수송 계획 수립 및 실행
(1-3) 세세부과제3 남극 내륙기지 원격 모니터링 및 제어 시스템 개발	남극 내륙기지의 디지털 트윈 기반 생활환경 센서 데이터를 원격 모니터링하고 제어하는 기술 개발

<세세부과제1 연구설계도>

목표 성능	주요 연구활동	산출물	TRL
열관류율 0.15W/m ² ·K 이하 고단열 구조의 이동식 내륙기지 모듈 설계	- 진공단열 기술(vacuum insulated panel)을 적용한 고단열 벽체 설계 - 0.8W/m²·K 이하의 단열성능과 영하 60도 이하에서 내구성을 가진 창호 설계	설계서	2
	- 독립형 공조설비 설계 - 전력/통신 설비 및 센서 장치 설계 - (습식모듈) 급수 및 하수 설비 설계	설계서	
현장에서 2.5시간 내 모듈 간 연결이 가능한 docking부 설계	- docking부 및 단열/기밀성 유지 장치 설계 - 1/4 scale 목업제작	설계서 스케일 목업	4
	- 현장에서 신속하고 안전한 구축(docking)을 위한 지그 설계 및 작업절차 수립	설계서 작업절차서	
제작 및 테스트베드, 보완설계	- 실scale 목업 제작 및 실험실 성능테스트 - Prototype 제작 및 남극현장 성능테스트 - 성능고도화를 위한 보완설계	테스트결과서 (보완)설계서	8
	- 연구실모듈 2기, 숙소모듈 5기, 공용모듈 4기, 발전모듈 1기 제작 (연차별 제작)	이동식 모듈 12기	
화석연료 고갈 시 자체 재생에너지 발전에너지로 30일 이상 최소한의 생존 시스템의 가동 및	- 액티브 에너지 기술: 폐열 재활용 등을 통한 에너지 소비 효율화 시스템, 극한의 환경에서 내구성을 확보할 수 있는 풍력발전설비 및 헬터에 보관 가능한 접이식 태양광 발전설비 등 - 패시브 에너지 기술: 극한 환경에서	현장답사 보고서	
		정주식 모듈 프로토타입 1식 (파워플랜트 유닛 1, 숙소유닛 1,	

운영 가능	난방부하를 저감할 수 있는 건물 형상, 외피 디자인, 단열재 및 창호 계획, 열교 방지 및 기밀성 확보 계획 등 - 구조 기술: 동결지반의 융해침하, 지반의 부등침하, 지표침식 등 바람과 적설에 대비할 수 있는 구조시스템 및 기술 등 - 시공성을 고려한 건물 및 구조 시스템: 극한의 환경에서 건축자재의 운송 및 시공성을 고려한 건축 및 구조 시스템 등 - 오염 방지 기술: 시공, 운영 및 폐기 단계에서 폐기물 및 오염물을 최소화하여 오염으로 인한 피해가 확산되지 않을 수 있는 시스템 및 관리계획, 연구원 상주 시 오폐수 처리 시스템 등	연구시설 유닛 1, 지원 유닛 1, 총 4개 유닛 1식 및 재생에너지 설비 1)	

<세세부과제2 연구설계도>

목표 성능	주요 연구활동	산출물	TRL
14개 기지모듈의 남극내륙기지 후보지 및 심부빙하 시추거점 운송	- 1~5차년도에 걸쳐 기지모듈 육상운송에 필요한 하부 썰매 확보 및 운송 - 3~5차년도에 걸쳐 국내에서 장보고과학기지까지 아라온호 및 차세대 쇄빙선을 활용하여 총 14동의 기지모듈 해상운송	독자적인 남극내륙 보급로 확보	
심부빙하 시추거점 내 연구캠프 구축 및 운영	- 4~6차년도에 걸쳐 장보고과학기지에서부터 내륙기지 후보지 및 심부빙하 시추거점까지 남극내륙 보급선단을 활용하여 총 14동의 기지모듈 육상운송		
남극내륙기지 후보지 내 기반시설 및 친환경 시스템 구축	- 항공기를 활용한 남극내륙기지 후보지 및 심부빙하 시추거점 내 기지모듈 설치 및 유지관리 기술인력 투입	육상-항공을 연계한 입체적인 연구지원 시스템 구축	

<세세부과제3 연구설계도>

목표 성능	주요 연구활동	산출물	TRL
남극 내륙기지 원격 모니터링 및 제어 시스템 개발	- 남극 내륙기지 생활환경 데이터 수집 시스템 개발	생활환경 수집 장치	7
	- 남극 내륙기지 환경 데이터 모니터링 S/W 개발	남극 내륙기지 생활환경 데이터 모니터링 S/W	7

1) 정주식·이동식 내륙기지 모듈개발

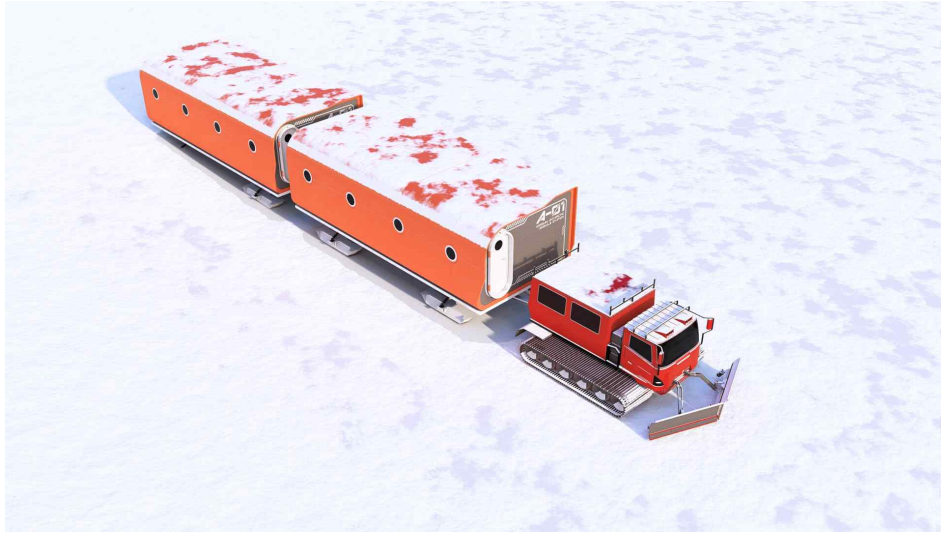
(1) 개념 및 범위

□ 연구개념

- 이동식 모듈형 남극내륙기지는, 극한의 환경조건에서 기지 구축 및 운영의 효율성과 경제성을 극대화하기 위한 형태임
- 표준화된 규격의 모듈을 국내에서 완성한 후, 남극 장보고기지까지 해상을 통해 운송하고 기존 확보된 K-route 장비와 트래버스 경험을 활용하여 대상지까지 운송함
- 현장에서는 최소한의 인력과 건설장비로 신속한 조립이 가능하며, 차후 기지의 활용도에 따라 모듈을 추가, 이동 또는 제거함으로써 기지의 유연한 변형이 가능함
- 천문우주 관측거점에 정주식 기반시설을 구축함과 동시에 일부 모듈을 분리하여 심부빙하시추거점, 블루아이스 연구거점 등 타 남극내륙 연구거점에서 소규모 위성기지로 활용할 수 있는 하이브리드 기지



<남극내륙 천문우주 관측거점에 구축될 이동식 모듈형 남극 내륙기지 예상도>



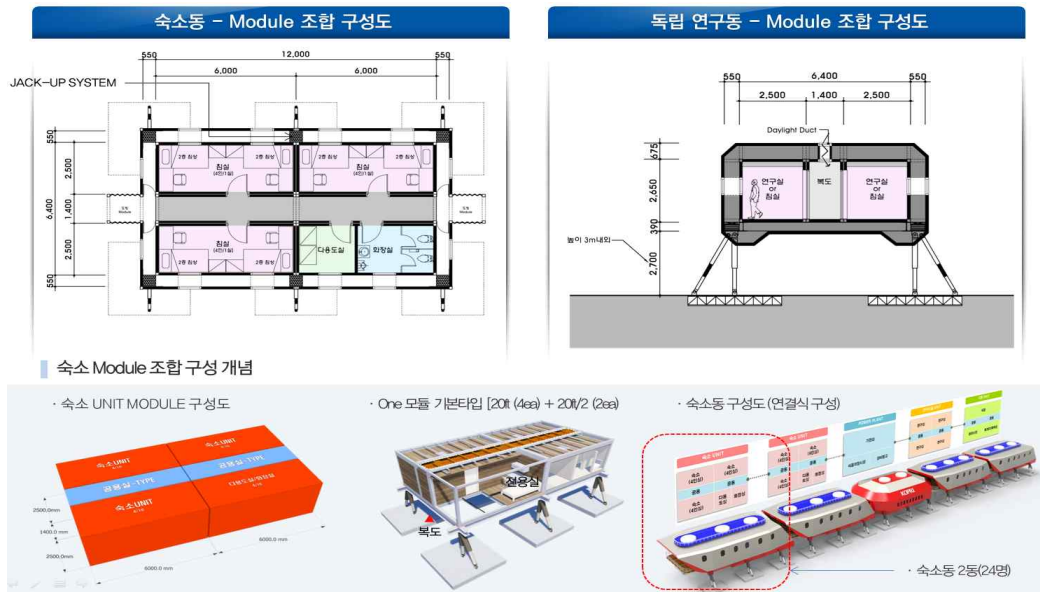
<이동식 모듈을 활용한 기지 이외의 연구거점 활용 예상도>

□ 배경 및 필요성

- 남극내륙기지 구축에 있어 극복해야 할 조건은 크게, ① 대상지까지의 자재 수송의 한계, ② 대상지에 건설장비/인력 확보의 한계, ③ 극도로 짧은 작업가능 시간의 한계, ④ 혹한지에서의 작업의 안전 문제의 4가지를 들 수 있음
- 이러한 한계를 극복하기 위해서는 남극내륙기지를 구성하는 각각의 모듈을 국내에서 제작한 후 현장에서 최소한의 기간 동안 최소의 인력으로 조립하는 모듈식 기지 건설 추진 필요
- 현재 국내에 모듈 개념의 건축물 축조방식으로 모듈러 주택 또는 컨테이너 건물 등의 공법이 보급되어 있으나 남극의 특수한 환경과 기능을 고려할 때 그대로의 적용이 불가능
- 또한 남극내륙기지의 운영을 위해서는 수집한 데이터를 기반으로 안정적인 연구를 수행할 수 있도록 ① 남극의 혹한 환경*, ② 에너지 자립**, ③ 불안정한 지반*** 등의 3가지 주요 고려 사항에 대응할 수 있어야 함.
- * 동절기 영하 70도를 넘나드는 혹한 환경으로부터 연구 인력과 인프라를 보호하고 에너지 사용량을 최소화 하여야 함
- ** 태양광, 바람등을 활용한 재생에너지를 적극 활용하고 높은 효율의 에너지 설비를 사용함과 동시에 사용한 에너지를 재활용 할 수 있는 시스템 구축이 필요함
- *** 두꺼운 빙하로 덮여있어 기초공사 수행이 어려우며, 지속적으로 이동하는 빙하 흐름에 대응할 수 있는 설계 필요
- 이러한 고려 사항에 대응하기 위해서는 통신설비, 발전설비, 에너지 저장설비, 기상관측 시설 등의 기반시설과 갑작스러운 극한 환경변화로부터 연구진들을 보호할 수 있는 비

상시설 필요

- 또한 효과적인 국제협력연구 수행을 위해서는 다수의 국내외 연구진이 서로간의 소통을 통해 활발한 연구 활동을 수행할 수 있는 대형 공용 공간 구축 필요
- 남극내륙기지 내 다양한 기반 시설 및 대형 공용 공간의 안정적인 구축 운영을 위해서는 정주식 기초 시설물 위에 기반시설 설치 필요



출처: 「남극내륙연구를 위한 기반시설 구축 기획연구」 극지연구소 연구정책지원사업(PE19480) 보고서
 <고상식 유닛모듈러 공법을 적용한 연구동 계획>



출처: 호주 Elphinstone 사 홈페이지 (<http://elph.com.au/antarctic/>)
 <해외에서 개발한 남극 인프라 기초 구조물>

- 남극내륙기지 이외의 연구거점을 지원하기 위해서는 숙소동, 연구실, 비상 발전동 등 일부 모듈을 독립적 운영시스템을 갖춘 모듈로 제작하여 이동기지로 활용 필요

□ 연구범위

○ 본 기획과제에서는 아래와 같이 남극내륙기지 모듈의 연구개발 범위 설정

- 표준화 : 기존의 남극내륙 탐사장비를 활용하여 모듈의 운송 및 설치가 가능한 규격의 모듈 개발
- 효율성 : 최소한의 장비 및 인력으로 최단기간에 구축할 수 있는 모듈 제작 및 운송·구축 계획 수립
- 안정성 : 빙하가 녹아 기초의 레벨이 달라지거나 이동될 수 있으며, 장기간 적설로 인해 기지가 묻히는 등 변화하는 환경에 대응할 수 있는 기술 및 시스템 개발
- 내한성 : 에너지 효율을 극대화함과 동시에 기지의 안정성, 내구성, 거주 쾌적성 확보할 수 있는 패시브 기술 적용
- 확장성 : 발전동, 수처리동, 의료/통신동, 주방/식당 등의 정주식 모듈과 숙소동, 연구동, 비상 발전동 등 필요시 연결/분리를 통해 다수의 연구거점에서 동시 활용이 가능한 이동식 모듈이 혼합된 하이브리드 기지 건설
- 스마트화 : 실시간 관측 자료를 기반으로 동계기간 동안 무인 혹은 원격으로 기지를 운영할 수 있는 무인원격 운영시스템 개발



<남극내륙기지 모듈 구성 예시. 7개의 정주식 모듈(회색)과 8개의 이동식 모듈(파란색) 구성>

○ (설계 고려사항) 본 기획과제에서는 남극내륙의 환경요건 및 기지 활용성을 검토하여 아래와 같이 설계 고려사항을 제시

- 환경적 측면

- 남극 하계기간 동안 최대 영하 50도에서 최소한의 에너지로 내부 실온 유지(0도~20도)를 위한 고단열 구조
- 기지 구조물의 기반이 될 빙하의 흐름에 대해 위치 변동이 없으며, 구조적으로 견고함 유지
- 적설로 인해 구조물이 매몰되는 현상을 방지할 수 있는 구조
- 20m/s 이상의 강풍(블리자드)에 대한 내구성을 가지는 구조

- 내부 공간계획

- 최대 40인이 5개월간 거주할 수 있는 규모의 기지 건설
- 정주식 모듈은 발전동 1모듈, 수처리동 1모듈, 의료/통신동 1모듈 및 2개 모듈을 연결한 주방/식당 공용공간 2개 동 등 총 7개 모듈 제작
- 이동식 모듈은 2인실 4개로 구성된 숙소동 5모듈, 건식 연구동 1모듈, 습식 연구동 1모듈 및 이동 기지 운영시 전력 공급을 위한 비상발전동 1모듈 등 총 8개 모듈 제작

- 에너지 공급 기능

- 기지의 주요 에너지는 디젤 발전기를 가동하여 생산하되, 태양광, 풍력 등 친환경 에너지 발전시스템을 통한 화석연료 에너지 대체율 극대화
- 동계기간에도 극한온도로 인해 발생하는 문제를 대비하기 위해 최소한의 온도를 유지할 수 있도록 통신 시스템을 통해 전력 생산 및 에너지 사용 원격 제어

- 이동 및 구축

- 모듈 운송 단계를 (1단계) 국내-중간 보급지, (2단계) 중간 보급지-장보고 기지, (3단계) 장보고 기지-내륙기지 후보지로 구분
- 단위 모듈의 사이즈는 남극 썰매로 운송 가능한 최대 사이즈인 9m*4m로 설계
- 1단계와 2단계는 선박을 이용해 수송 예정으로 수송 중 충격 또는 진동으로 인한 구조적 결함 및 해수로 인한 부식이 없어야 함
- 3단계의 남극내륙 탐사장비를 이용한 육상 운송 시, 극저온, 강풍 등 가혹한 환경 조건에 견뎌야 하며, 썰매의 전복 등에도 대처 가능한 구조적 강도와 장치를 가져야 함
- 남극내륙기지 후보지 내 기지 구축 시 필요한 건설 장비는 최소화해야 하며, 장비

의 종류, 규모, 운송 방법 등에 대한 계획 필요

<기지모듈 운송 단계>

단계	출발	도착	운송수단	요구사항	비고
1단계	기항지	중간 보급지	선박 (아라온호)	자재를 최대한 규격화물로 Packaging하여 운송	기항지 (예: 인천)
2단계	중간 보급지	장보고 기지	선박 (아라온호)	일부 자재, 인력, 장비 등은 중간 보급지에서 획득	중간보급지 (호주 또는 뉴질랜드)
3단계	장보고 기지	내륙 목표지점	K-Route 운송장비 (썰매, 견인차 등)	장보고 기지에서 모듈단위에서 최대한 조립함으로써, 내륙 목표지점에서의 공사소요 최소화	

(2) 기존 기술의 한계와 극복 방안

□ 일반 건축기법의 한계

○ (일반 건축기법의 한계) 기존 건축물 단열설계 및 공법의 한계

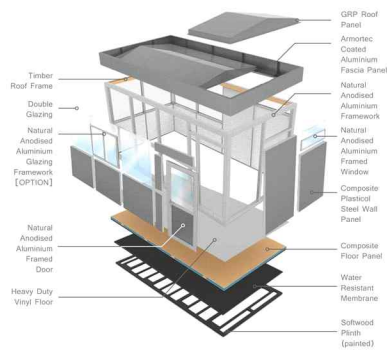
- 주요 건축용 단열재로는 스티로폼, 압출보온판, 아이소핑크, 경질우레탄보드, 열반사 단열재, PF보드, 글라스울, 미네랄울, 우레탄폼 등이 있는데, 기존 건축물은 건축용 단열재를 수공(手工)으로 일일이 적층하며 단열구조를 구성하는 방식으로 시공함
- 극저온의 작업환경에서 인력에 의존하는 방식은 비효율적이며 안전사고의 위험이 높으며, 원재료 상태로의 수송 시 파손, 변형 등의 우려가 있음
- 구조 또는 형상에 따른 열교 현상 발생
- 일반적으로, 30~34%정도의 열손실이 창호를 통해 발생하기 때문에 극한의 기온에서는 열손실과 열교현상을 방지하기 위한 고단열 고기밀의 창호 및 문이 필요함
- 기지 내외부에 서브시스템을 운영하기 위해 구조물의 천공이 불가피한데, 이러한 부분에 대한 특수한 열교 최소화 설계가 필요함

○ 반 모듈러 건축공법의 한계

- 기본 골조, 전기배선, 창호와 문, 욕실 등 건축물의 70~80퍼센트를 공장에서 미리 만들고 현장에서 조립하는 방식으로 표준화가 가능하고 시공기간이 매우 짧다는 장점이 있음
- 그러나 이 역시 현장에는 적지 않은 장비와 인력이 소요되어 남극 내륙에서의 작

업에서는 여전히 비효율적이며, 모듈러 골조와 부자재를 packaging화 한다고 하여도 내륙 수송에 어려움 존재

- 모듈러 주택의 시공에도 건설장비(굴삭기, 크레인 등)가 소요되나, 내륙까지 대형 장비의 이송도 어려움



<모듈러 주택 시공 현장>

○ 빙하 상부에 구조물 건축 경험의 부재

- 우리나라는 3개의 극지 과학기지(세종, 다산, 장보고) 구축 경험이 있으나, 이는 모두 지반에 건설된 구조물임
- 남극 내륙기지는 빙하 상부에 구축하는 구조물로서 이에 대한 경험과 데이터가 전무함
- 빙하(氷河)는 흐르는 얼음이란 뜻으로, 상부에 놓여진 구조물은 장기적으로 위치가 변경되는데, 이에 대한 대응이 필요함

□ 극한지에 적용되는 장비/시스템 기술의 한계

○ 극지 대상 장비/시스템 개발에 필수적인 극지환경 기초 데이터의 부재

- 극지에서의 연구는 지질, 생물, 천문, 미생물, 기상, 해양 등 자연과학 부문의 연구가 주로 수행되는데, 이러한 연구에도 소재, 장비, 시스템 등 공학부문의 연구가 밀착되어야 함
- 최근 국내에도 극지공학이라는 분야의 분류가 시도되고 있고, 본사업인 남극 내륙기지 구축에도 공학부문의 참여와 지원이 필수적임
- 그러나 남극 내륙의 연구와 시스템 구축을 위한 시스템, 장비의 개발에 필요한 기초 데이터가 절대적으로 부족한 상황으로, 외국의 자료나 경험치에 의존해야 하는 실정

○ 극지에서 무인원격운영을 고려한 ICT 기술개발 사례 전무

- 우리나라 ICT기술은 전세계 선도국으로, VR/AR(가상현실), 영상데이터 딥러닝, 사물인터넷(IOT), 디지털트윈, 스마트그리드 등 첨단기술이 다양한 도메인에 적용되고 있으며,
- 극지 과학기지와 국내 간 일부 첨단 정보통신 시스템이 활용되고 있음
- 그러나 통신체계가 열악하고 영하 60도까지 내려가는 혹독한 남극 내륙환경에서의 실시간 모니터링 센서, 장비, 시스템에 대한 기술개발이 경험이 미진함
- 남극 내륙의 특수 환경과 남극 내륙기지의 임무와 기능을 고려한 고유 시스템의 개발 사례가 없음

□ 기술 외적 한계

○ 가혹한 작업환경, 제한된 작업일수 및 안전사고 발생 가능성 등

- 기술로만 극복할 수 없는 남극의 특수한 상황들이 연구개발, 인프라 구축의 장애요인으로 작용
- 남극에서의 연구개발의 활동기간은 매우 제한적이며, 또한 예상하지 못한 상황 발생 시 현장에서 해결이 불가능한 경우가 많음 (예, 자재/장비 부족, 전문인력 부족 등)
- 특히 남극 내륙기지 건설에는 건설자재의 수송, 에너지(연료) 수송, 장비/인력 수송 등 물류부문은 사업의 성공을 좌우하는 요소라 할 수 있음

□ 기존 건축물 축조 공법의 한계 극복 방안

○ 모듈러 건축 공법의 극복 방안

- 단위 모듈을 국내에서 90퍼센트 이상 사전 제작하여 남극 내륙 현장에서 간편하고 속성으로 시공이 가능하도록 연구개발함
- 모듈의 개념을 기존 건축공법이 아닌 기계장치 개념으로 설계하여 현장에서 조립하는 방식으로 설계
- 최소한의 인력과 최소한의 장비, 공구, 부자재로 조립 가능하도록 설계
- 단위 모듈의 규격은 거주공간의 최대확보를 고려하되, 쇄빙선 아라온호 화물구역, 기존 K-Route 운송장비의 규격을 고려하여 설정함
- 2가지 모듈 타입 설계
기본형 모듈(L/W/H: 9.0m/4.0m/2.5m 이내): 숙소, 연구실, 발전동 등 일반 공간
확장형 모듈(L/W/H: 9.0m/8.0m/2.5m 이내): 주방, 식당 등 대형 공용 공간

※ 기본형 모듈은 건식, 확장형 모듈은 습식으로 설계함

※ 확장모듈은 2개의 반쪽 모듈을 현장에서 나란히 연결하여 확장된 하나의 공간을 구성하는 개념으로서, 단열구조, 운송시 규격과 타 모듈과의 연결부 등 기본사항은 기본모듈과 동일

- 상기 조건 및 내구성, 안정성, 단열성, 기밀성, 거주편의성, 확장의 유연성을 고려하여 모듈 간 연결부 설계
- 특히 강풍(블리자드) 및 적설에 대비하여 실제 데이터에 의한 풍속, 수직 최심적설 깊이, 및 눈의 평균 중량을 검토하여 설계
- 내륙기지에서 원격지 연구 활동이 필요한 경우, 일부 모듈을 기지에서 분리하여 이동식으로 견인하여 일정기간 활용하고 기지에 복귀 후 재 연결
- 기능적 설계 외에도, 심미성 및 우리나라만의 독창성 있는 고유 디자인으로 개발

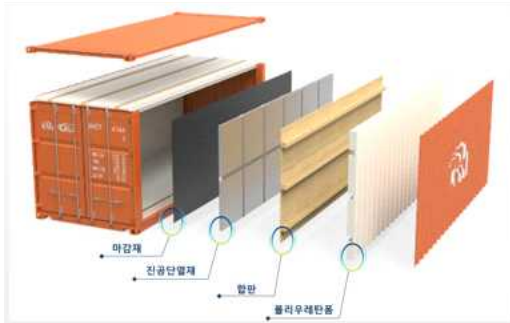
○ 단열설계 및 공법의 극복 방안

- 현 기술수준에서 가장 높은 단열성능을 가진 진공단열재(VIP, Vacuum Insulated Panel)를 적용한 외벽 단열구조 설계
- VIP를 채택함으로써, 여타 단열재 구조에 비해 같은 단열성능을 내더라도 더 얇은 벽체구성이 가능하여 기지의 공간 활용도 증대
- VIP는 우수한 단열재이나, 규격화로 생산하고 자유로운 자재 가공이 어려운 재료이기 때문에, 모듈의 기본설계 단계부터 일체형 벽체구조로 설계 필요
- prefabricated로 제작하는 일체형 벽체구조는 설계가 까다로운 단점이 있지만, 현장 시공이 불필요하며 파손이 쉬운 VIP가 외피(금속 또는 합성재)로 보호됨으로써 국내에서 남극 내륙까지의 수송 중 발생할 수 있는 훼손 방지 가능
- 단위 모듈을 경량화 설계하여 현장에서 최소한의 장비*로 기지를 구축하도록 함

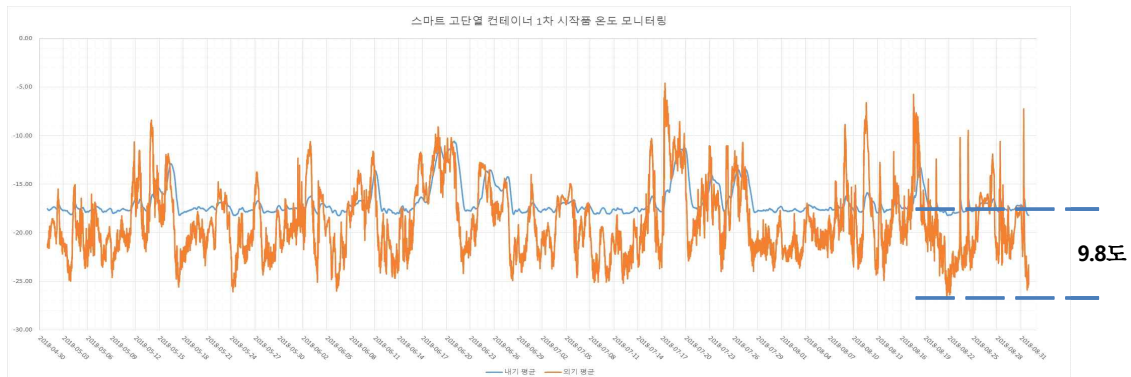
※ 굴삭기를 현장으로 이송하여 구축사업에 투입하고, 이후에도 상시 보유하도록 하여 필요 시 외부 작업과 유고(有故)상황에 대비 필요. 크레인의 경우 썰매 견인차(첼린저)에 소형 크레인이 장착되어 있으나, 최대 인상력이 3t에 불과해 기지 구축에 활용은 극히 제한적

<단열재 종류별 단열성능>

구 분	분 류	열전도율 (U, W/mK)	KS규격
무기 단열재	진공단열재(VIP)	0.023	L9102
	글라스울	0.034~0.038	
	미네랄울	0.036~0.038	L9104
	세라믹화이버	0.081~0.090	
유기 단열재	XPS(특-3호)(아이스핑크)	0.027~0.031	M3808
	EPS(1~4호)(2종:네오펜)	0.031~0.034	
	EPS(1~4호)(1종:스티로폼)	0.036~0.043	
	폴리에스테르	0.034~0.045	F5660
	발포폴리에틸렌(PUF)	0.043	M3862



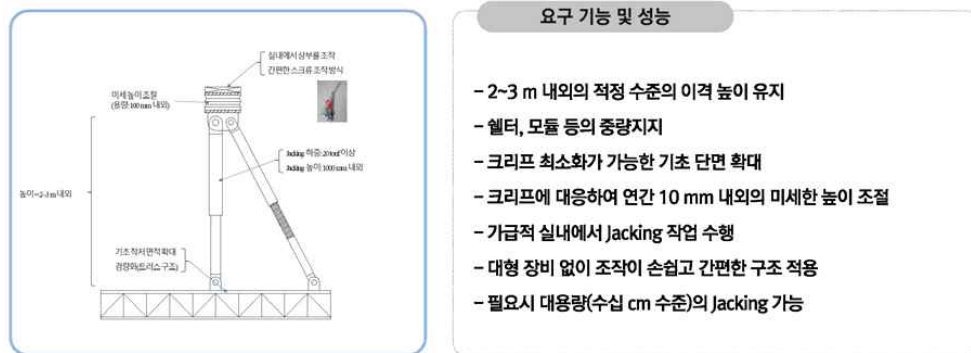
<VIP 단열구조의 스마트 고단열 컨테이너와 장보고기지 성능테스트 장면>



<성능테스트를 통한 실내온도 유지 성능 검증>

○ 빙하 상부에 구조물 건축 기술의 극복 방안

- 지반이 없으므로 해외의 기존 내륙기지 사례를 참고하여 빙하 상부에 얹혀지는 고상식 기초 형식 적용
- 모듈을 썰매차로 현장으로 수송 후 그대로 안착하여 anchoring하는 방식 채용
- 적설(積雪)로 인해 기지 구조물이 파묻히는 상황에 대비하여, 하부구조에 jacking 장치를 적용하여 기지를 인상하는 시스템 고려
- 하부구조에 센서를 설치하여 구조물의 변위를 실시간 모니터링하여 기지 구조물의 안정성 확보



<남극 내륙기지 하부구조 jacking 시스템 예시>

□ 극한지에 적용되는 장비/시스템 기술의 한계 극복 방안

○ 남극내륙기지 운영을 통한 기초 데이터 확보

- 남극내륙기지 설계 시 기초 데이터(기상, 환경, 에너지, 구조물 안정성 등) 수집 장치 또는 서브시스템 설치 계획을 반영
- 기초 데이터는 기지의 계획 수립, 설계, 구축, 유지보수, 개량 등 전주기의 의사결정에 필요
- 활용목적에 따라 다양한 데이터가 요구될 수 있으며 대부분 장기간에 걸친 시계열 데이터의 통계적 분석이 필요하므로, 데이터 수요에 따라 단계별로 구축
- 데이터의 활용 범위 확대
- 기초데이터는 공학적 장비/시스템 개발 뿐만 아니라, 내륙에서의 고유 임무 수행에도 활용되도록 database 구축
- 향후 우주탐사 관련 극한지 공학 기술 개발 연구에 필요한 데이터로서도 활용되도록 연관기관과 협의하여 DB 구축

□ 기술외적 한계 극복 방안

○ 작업 환경, 작업 일수, 사고 발생 등

- 본 기획연구에서 설정한 모듈 형태의 내륙기지 구축 방식은 이러한 기술 외적 한계를 최대한 극복하기 위해 고안한 방안임
- 연간 짧은 작업일수(해빙 후 65일 수준)에 대비하여 신속한 작업이 가능하며, 작업 중 짧은 외부 시간으로 인해 작업자 안전사고 저감
- 남극 내륙 수송의 용이성, 기존 내륙탐사 장비의 활용성 제고 가능

3) 연구개발 상세 계획

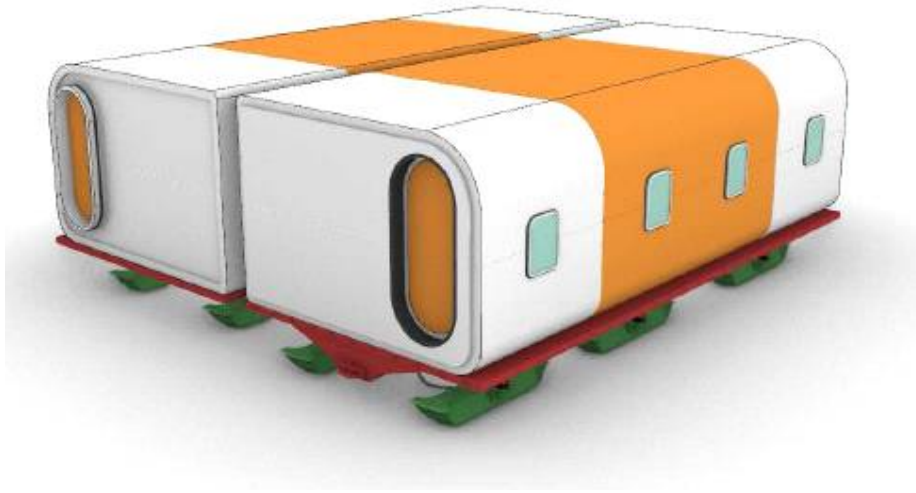
□ 주요 연구개발 내용

○ 고단열 구조의 남극내륙기지 모듈 개발

- 모듈의 외형 디자인 개발
 - SE 요구조건을 만족하는 기본 모듈 외형 디자인 설계
 - 확장형 모듈 구성을 위한 연결 장치 개발
- 기밀성 및 열교 최소화를 위한 고단열 벽체 구조 개발
 - VIP를 적용한 prefabricated 벽체 구조 개발
 - 벽체 간 연결 구조 개발
- 부가 시스템 설계
 - 창호, 출입문 설계
 - 난방 시스템 설계
 - 조명 시스템, 케이블(전력/통신) 및 배관 시스템(청수/중수/하수), 점검구 설계

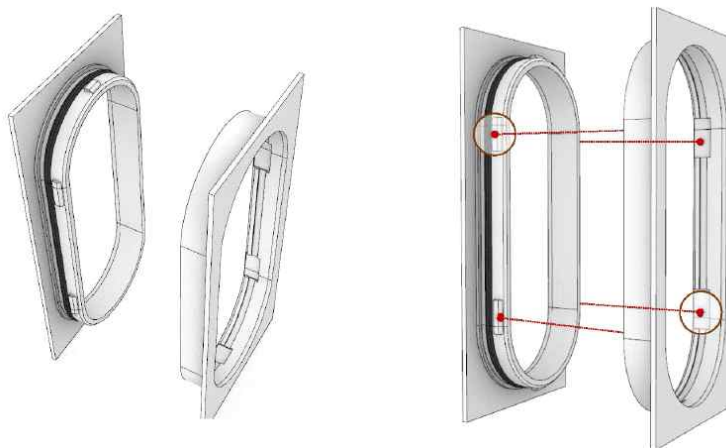


<남극내륙기지 기본형 모듈 디자인 예시>



<기본형 모듈 2개를 결합한 확장형 모듈 디자인 예시>

- 최소한의 장비와 인력으로 신속한 조립이 가능한 모듈 연결부 개발
 - 우주선 Docking 방식에서 차용한 형태의 연결부 개발
 - 결합 후 단열성, 기밀성, 내구성, 내한성 유지 구조
 - 빙하의 흐름, 강풍, 적설 등의 환경에도 구조적 안정성 유지 가능한 구조
 - 기본모듈/확장모듈의 연결부 설치 방안 설계
 - 위치, 수량, 연결부의 도어 형식 등
 - 현장의 모듈 조립 소요 장비 및 인력 검토
 - 조립을 위한 특수 장치 필요시 개발



<남극 내륙기지 이동식 모듈 연결부 디자인 예시>

- 장기간 안정적으로 기지 구조물을 지지하기 위한 모듈 하부구조 개발
 - 모든 기지 모듈이 안착될 수 있는 단일 구조물 형태의 하부 구조 개발
 - 모듈의 안착 후 풍하중 및 적설하중으로 인한 부등침하에 대비하기 위해 각 기둥 별로 변위 센서 설치
 - 일정 수준 이상의 변위 발생 시 이를 조정할 수 있는 jacking 시스템 설치
 - 하부구조가 안착되는 대상지 빙하 상부의 지지력 강화 방법 개발



<남극내륙기지 모듈 하부구조 디자인 예시>



<남극내륙 콘코르디아 기지 하부구조>

○ 내륙기지의 임무와 거주편의성을 고려한 모듈의 기능별 내부구조 개발

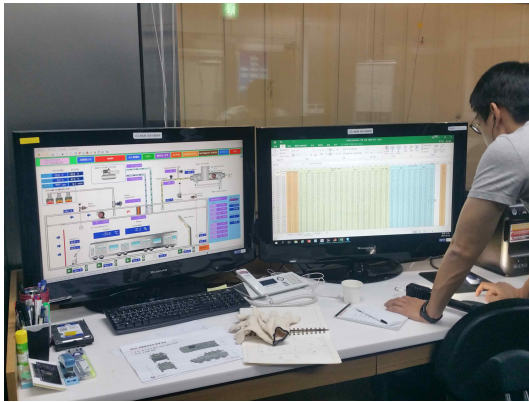
- 정주식 모듈 내부 구조 및 설치물 설계
 - 발전동, 수처리동 등 친환경 시스템 개발기관과의 협업을 통해 해당 시스템에 적합한 구조 설계
 - 주방/식당 등 대형 공용 공간 활용효율 극대화를 위한 주방시설 및 내부 집기 배치
- 이동식 모듈 내부 구조 및 설치물 설계
 - 숙소, 연구실 및 비상발전동 등 각 모듈 활용 목적에 적합한 내부 설계



<이동식 숙소동 모듈의 내부 평면도 및 조감도>

○ 성능 검증 및 남극내륙기지 구축

- 극지공학 연구개발 산출물의 목표 설정 및 검증 방법론 개발
 - 국내 환경에서의 남극용 장비/시스템의 성능 검증
 - 현장 구축 전 남극 장보고 기지에서의 성능 검증
- 최종적으로 남극 내륙기지 구축



<실내 냉동챔버에서 스마트 고단열 컨테이너 성능테스트 장면>

□ 최종 산출물

- 현장답사 보고서
- 목업 3기
 - 모듈 연결부 목업 1기
 - 패시브 에너지 기술 적용 모듈 목업 1기
 - 안정화 기술 적용 하부 구조물 목업 1기
- 시제품 2기
 - 정주식 모듈 1기, 이동식 모듈 1기
- 남극내륙기지 모듈 15기
 - 연구실 모듈 2기(건식 1기, 습식 1기), 숙소동 모듈 5기, 공용 모듈 4기(2동), 발전 모듈 1기, 수처리 모듈 1기, 의료/통신동 모듈 1기, 비상발전동 모듈 1기
- 남극내륙기지 하부구조물 1기
- 각 모듈 설계도 및 제작 절차서

□ 연차별 연구개발 계획

- 1차년도
 - 시스템 엔지니어링 체계 구축
 - 남극 내륙기지 모듈의 성능 요구조건, 기능 요구조건 설정
 - 최종 산출물의 세부 성능목표 설정 및 검증 방법론 개발
 - 작업 분류체계 수립을 통한 공정 관리체계 마련

- 남극내륙기지 모듈 기본설계
 - 모듈의 외형 디자인 개발
 - 단열 벽체 구조 및 벽체 간 연결구조 기본설계
 - 모듈 연결부 기본설계 및 실증 시험을 위한 목업 제작
 - 패시브 에너지 기술을 적용한 모듈 설계 및 시뮬레이션 기반 성능 기준 개발
 - 지반 조건에 따른 하부 구조물의 주요 구조기술 검토 및 설계
- 남극내륙기지 후보지 현장조사 및 기초 데이터 수집
 - 남극내륙기지 후보지 기상자료 수집
 - 물자운송 및 작업조건 분석을 통한 안전관리 체계 수립
- 남극내륙기지 모듈 운송을 위한 하부설매 4대 제작 및 남극 운송
 - 해외 전문 업체를 통한 하부설매 4대 제작

○ 2차년도

- 남극내륙기지 모듈 실시설계
 - 단열 벽체, 모듈 연결부, 창호, 출입문, 난방 시스템 및 조명 시스템 등 패시브 에너지 기술을 적용한 모듈 실시설계
 - 현장조사 결과 시뮬레이션을 통한 하부 구조물 실시 설계
 - 각 기지 모듈의 내부 구조 및 내부 집기 배치 설계
- 목업 제작 및 국내 실증
 - 남극내륙기지 모듈의 목업 제작 및 국내 실증연구
 - 하부 구조물 목업 제작 및 국내 실증연구
- 시제품 제작 및 성능 평가
 - 정주식 모듈 1기 제작
 - 이동식 모듈 1기 제작
 - 시제품의 국내 성능평가 및 남극 장보고 기지 극지현장 시험운영
 - 테스트 결과 분석 및 보완사항 도출
- 남극내륙기지 모듈 운송을 위한 하부설매 4대 제작 및 남극 운송
 - 해외 전문 업체를 통한 하부설매 4대 제작

○ 3차년도

- 극지현장 시험운영 결과에 따른 기지 모듈 및 하부 구조물 보완 설계

- 남극내륙기지 모듈 제작 및 남극 운송
- 이동식 모듈 5기 제작 (보완설계 적용) : 숙소모듈 4기, 이동식 발전모듈 1기
- 제작 모듈 남극 장보고 기지 운송 및 기 확보한 하부셀매에 상차
- 남극내륙기지 모듈 운송을 위한 하부셀매 3대 제작 및 남극 운송
- 해외 전문 업체를 통한 하부셀매 3대 제작

○ 4차년도

- 남극내륙기지 모듈 및 하부구조물 제작 및 남극 운송
- 이동식 모듈 3기 제작 : 숙소모듈 1기, 연구모듈 2기(건식/습식)
- 정주식 모듈 5기 제작 : 대형 공용 모듈 4기(2동), 의료/통신 모듈 1기
- 남극내륙기지 모듈 하부 구조물 1기 제작
- 제작된 모듈과 하부구조물 남극 장보고 기지 운송 및 기 확보한 하부셀매에 상차
- 기지 모듈 남극내륙 운송 및 현장 구축
- 3차 년도에 남극으로 운송한 숙소모듈 4기와 이동식 발전모듈 1기를 심부빙하 시추거점으로 운송하여 심부빙하 시추캠프 구축 및 운영
- 남극내륙기지 모듈 운송을 위한 하부셀매 2대 제작 및 남극 운송
- 해외 전문 업체를 통한 하부셀매 2대 제작

○ 5차년도

- 남극내륙기지 모듈 제작 및 남극 운송
- 정주식 친환경 시스템 모듈 2기 제작 : 친환경 발전모듈 1기, 수처리모듈 1기
- 제작 모듈 남극 장보고 기지 운송 및 기 확보한 하부셀매에 상차
- 기지 모듈 남극내륙 운송 및 현장 구축
- 4차 년도에 남극으로 운송한 숙소모듈 1기, 공용모듈 4기와 하부구조물을 내륙기지 후보지로 운송하여 정주식 기반시설 1차 구축
- 연구모듈 2기 심부빙하 시추거점 내 추가 구축
- 남극내륙기지 모듈 운송을 위한 하부셀매 2대 제작 및 남극 운송
- 해외 전문 업체를 통한 하부셀매 2대 제작

○ 6차년도

- 남극내륙기지 구축 완료
- 5차 년도에 남극으로 운송한 친환경 시스템 모듈 2기를 내륙기지 후보지로 운송하여 정주식 기반시설 구축 완료

- 원격운영 시스템 구축 완료
- 시범운영
- 남극내륙기지 친환경 시스템 및 원격운영 시스템 시험운영
- 시험운영을 통한 보완사항 도출 및 수정

<연차별 모듈 제작 계획>

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
이동식 모듈	하부 설매	4대	4대	3대	2대	2대		15대
	숙소 모듈			4모듈	1모듈			5모듈
	연구 모듈			1모듈 (발전동)	2모듈 (간식/습식)			3모듈
정주식 모듈	공용 모듈				4모듈 (2동)			4모듈
	의료/ 통신모듈					1모듈		1모듈
	수처리 모듈					1모듈		1모듈
	친환경 발전모듈					1모듈		1모듈
	하부 구조물				1기			1기

<연차별 예산 소요 계획(내륙기지 모듈 개발)>

(단위: 억 원)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	내륙기지 모듈 개발	정부	42.3	60.9	98.3	105.5	91.6	50.3	448.9
		민간	0	0	0	0	0	0	0
	소계		42.3	60.9	98.3	105.5	91.6	50.3	448.9

<연차별 인력 투입 계획(내륙기지 모듈 개발)>

(단위: 명)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	내륙기지 모듈 개발	책임	6	7	8	8	8	7	44
		연구원	6	8	11	13	10	7	55
		보조원	5	7	8	11	11	7	49
	소계		17	22	27	32	29	21	148

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역(내륙기지 모듈 개발)>

(단위: 백만원)

품명	규격	수량 (식)	단가 (억 원)	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
정주식 모듈 제작비	4*9M	8				1350	1350	900		3,600
모듈 이동형 하부 썰매	4*9M	8				600	600	400		1,600
정주식 모듈 현장 공사비		8				900	900	600		2,400
정주식 모듈 하부 플레이트		1				500				500
정주식 모듈 목업 제작	4*9M	3		300	600					900
기타 소모품비, 예비비		-		120	200	350	350	1,000	1,000	3,020
목업 제작(Full scale 모듈 및 1/4 scale docking 장치 목업)		2	320	320	320					640
테스트용 모듈 제작(성능테스트 시작품)		3	715	715	715	715				2,145
하부장치 제작(견인썰매 4기/모듈 당)		8	242	968	484	484				1,936
이동식 모듈 본체 제작	4*9M	8	750		750	750	2250	1500	750	6,000
이동식 모듈 설비(공조, 전력, 통신, 급수, 하수, 조명, 센서장치 등)		8	90		90	90	270	180	90	720
모듈 내부 Amenity(가구, 장비 등)		8	35		35	35	105	70	35	280
부가장치 제작(docking장치, jacking장치, 지그 등)		8	120		120	120	360	240	120	960
성능테스트		3	75	75	75	75				225
연구시설·장비 및 연구재료비 합계				2,498	3,389	5,969	6,185	4,890	1,995	24,926

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역(내륙기지 모듈 개발)>

(단위: 백만 원)

구분	내역	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
연구활동 비	전문가 활용비, 회의비 등	509	789	1109	1289	1389	1189	6,274
출장비	남극내륙 현장 출장							
연구수당	인건비의 15% 이하	109	172	252	282	270	183	1,268
간접비	직접비의 10% 이하 수준	385	554	822	916	808	447	3,932
소계		1,003	1,515	2,183	2,487	2,467	1,819	11,474



<과제 카드(내륙기지 모듈개발)>

세부과제명	내륙기지 모듈 개발
연구개발 목적	○ 남극 내륙연구를 위한 기반시설을 구축함에 있어, 대상지까지의 자재 수송의 한계, 대상지에 건설장비/인력 확보의 한계, 극도로 짧은 작업가능 시간의 한계, 혹한지에서의 작업의 사고위험 등의 한계를 극복하여 최대한 신속하고 경제적으로 기지를 구축함을 목적으로 함
연구개발 목표	○ 남극내륙 현장에서 신속하게 조립이 가능한 표준화된 규격의 이동식 모듈형 기지 개발
연구개발 필요성	○ 남극 내륙의 환경과 수송조건, 작업 가능일수 등을 고려할 때 일반 건축물이나 해안의 지반상에 건설된 기존 남극기지(세종기지, 장보고기지)의 건설방식과는 다른 접근이 필요함 ○ 따라서, 기지를 일정한 규격의 모듈 단위로 구성하는 방식으로(modular-unit 공법) 국내에서 90% 이상 사전 제작하고 내륙까지 안전하게 수송하여 현장에서 신속하게 조립하는 이동식 모듈형 기지에 대한 연구개발이 필요함
기술동향	○ 남극 내륙기지(해안에서 최소 100km 이상 이격)는 월동기지 7개국 6개소, 하계기지는 7개소 운영 중 ○ 한국의 내륙기지 대상지와 위치적으로 가장 가까운 콘코르디아 기지(2005, 프랑스-이탈리아 공동)는, 원통형 주건물 2동, 창고, 임시숙호 텐트 등으로 구성. 항공을 운영하고 있으나 중량물은 육상 트래버스로 운송. 기초는 눈을 녹여 단단하게 얼린 후 목재지지원과 철제기둥으로 구조물을 지지하는 형식임 ○ 남극의 최저온 지역에 설치된 일본의 돔후지기지(1995)는 건설자재 수송량을 절감하기 위해 눈표면 하부 7m에 건설을 검토하였으나, 안전과 주거환경 문제로 100mm 단열벽체를 가진 지상 철골구조로 축조함. (총 작업인일수: 539인일, 투입장비: 굴삭기, 크레인, 불도저) ○ 벨기에의 프린세스 엘리자베스 기지(2008)의 벽체는 9겹(스테인리스 스틸, 폼, 실리콘, 나무, 폴리스테렌, 종이 등 서로 다른 재료)의 단열구조, 효율적 열분배와 에너지 사용, 에너지 하베스팅 시스템으로 남극 유일의 탄소제로 기지로 운영 중 ○ 가장 최근에 구축된(2010) 내륙기지는 중국의 곤륜기지로 육상 트래버스를 통해 자재를 운송하였으며 620m ² 규모의 컨테이너 건물 및 조립식 건물 형식으로 축조하고 최대 20명 수용규모의 하계기지로만 활용
연구개발 내용	○ 단열 구조의 남극 내륙기지 모듈 개발 ※ 기본조건: ① 기본형모듈(개별공간) L9m*W4m, 확장형모듈(공용공간) L9m*W8m 이내, ② 숙소모듈 수용인원 8인, ③ 아라운호 등 선박 및 K-route 이송장비로 수송 가능, ④ 5톤급 굴삭기 1기, 12톤급 크레인 1기로 설치 가능 - 모듈의 외형 및 부가시스템 (창호, 출입문, 난방, 조명, 배선/배관 등) 설계 - 기밀성 및 열교 최소화를 위한 고단열 벽체 구조 개발 ○ 최소한의 장비와 인력으로 신속한 조립이 가능한 모듈 연결부 개발 - 단열성, 기밀성, 내구성, 내한성을 가진 모듈 연결부 개발

	○ 장기간 안정적으로 기지 구조물을 지지하기 위한 모듈 하부구조 개발 - 썰매차 하부(썰매)가 빙하에 안정적으로 안착하기 위한 구조 개발 - 적설 또는 부등침하에 대응을 위한 하부 jacking 시스템 개발 ○ 내륙기지의 임무와 거주편의성을 고려한 모듈의 기능별 내부 구조 개발 - 기본형 모듈 내부 구조 및 설치물 설계 - 확장형 모듈 내부 구조 및 설치물 설계 - 연구모듈은 습식과 건식 각각 설계				
연구 추진전략	○ 시스템 엔지니어링(SE) 체계 구축 - WBS 기반 공정관리 시스템 가동 - PoC를 통한 기술개발 개념 및 구현 가능성 검증 - 분기별 마일스톤 점검 및 연차별 시스템 통합 ○ 기술개발 성과물의 철저한 성능 검증 및 제작 - 최종산출물의 성능목표 설정 및 검증 방법 확립 - 실용화(TRL8)를 목표로 연차별 테스트 수행 ○ 극한 환경에서 실사용을 전제로, 기술적 미비점 및 시행착오에 대한 대비 마련 - 설계, 목업, 테스트베드용 시작품, 실 구축용 모듈 단위로 구분하여 개발 - 테스트 결과에 따른 반복적 보완설계로 완성도 제고				
연구 추진체계	<pre> graph TD A[사업총괄] --> B["1세부 (주관연구기관)"] B --> C["1-1세세부 (공동연구기관)"] C --- D["용역 기관 • 설계도서 작성 • HW 제작"] C --- E["시험인증 기관 • 성능검증 • 시험성적서 발급"] C --- F["자문 그룹 • 분야별 전문가 자문 * 기계, 소재, 구조해석, 열성 능, 건축, 설비, 테스트 방 법론, 운송 등"] </pre>				
연구개발 기간 및 소요예산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>총연구기간</th><th>총예산</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6년</td><td>150억원</td></tr> </tbody> </table>	총연구기간	총예산	6년	150억원
총연구기간	총예산				
6년	150억원				
최종 성과물 (정성·정량적 성과)	○ POC(Proof of Concept)용 목업 2기 - 기본형 모듈(연구, 숙소, 발전): Full scale 목업 1기 - Docking 장치(모듈 결합부) * 1/4 scale 목업 1기 ○ 성능테스트용 시작품 총 4기 - 기본형 모듈(연구, 숙소, 발전): 2기 - 확장형 모듈(공용): 1동(2기) ○ 내륙기지 구축용 이동식 모듈 총 12기 - 연구모듈 2기: 습식 1기, 건식 1기 - 숙소모듈 5기: 8인 수용				

	- 공용모듈 4기(2*2): 4기의 모듈을 결합하여 2동의 공용모듈 구성 - 발전모듈 1기 ○ 설계서 각 1식 ○ 성능테스트 시험성적서 1식 ○ 매뉴얼(작업절차서) 1식
연구개발성과 의 활용방안 및 기대효과	○ 남극 내륙연구를 위한 인프라 구축에 활용 ○ 우주 진출을 위한 기술 기반 마련 (기초데이터 확보, 미답지의 정보통신시스템 기술 확보 등)



2) 남극내륙기지 건설을 위한 모듈운송 및 현장구축

(1) 개념 및 범위

□ 연구개념

- 남극내륙기지의 건설비용과 건설기간을 최소화하기 위해 국내에서 기지를 구성하는 모듈의 조립을 완료한 후 해당 모듈을 남극으로 운송하여 현장에서 조립하는 모듈공법을 적용
- 국내에서 남극 장보고과학기지까지 극지연구소에서 운영하고 있는 쇄빙연구선 아라온호와 차세대 쇄빙연구선을 최대한 활용하여 모듈을 운송하되 필요 시 남극해 항해에 필요한 내빙기능을 갖춘 화물선 임차
- 남극 장보고과학기지로 운송된 기지모듈은 육상이동을 위해 남극 빙원용 화물썰매에 상차한 후 K루트 남극내륙탐사선단을 활용하여 육상운송
- 3~4차년도에 제작된 이동식 모듈은 심부빙하 시추거점으로 이송하여 해당 거점에서 연구캠프로 활용
- 심부빙하 시추거점에서의 연구 사업이 종료되면 해당 모듈을 남극내륙기지로 이송하여 기지 운영에 활용
- 4~6차년도에 제작된 정주식 모듈은 남극내륙기지 후보지로 이송한 후 최소한의 공정을 통해 현장에 기반시설 구축
- 현장 조립에 필요한 전문 인력은 남극내륙 항공기를 임차하여 투입 및 철수함으로써, 건설현장 인력활용 효율 극대화



<화물썰매에 상차한 기지모듈 예상도>



<K루트 탐사선단을 활용한 모듈운송 예상도>



<모듈 현장조립 개념도>



<현장조립 완성 예상도>

<남극내륙기지 모듈 운송 및 현장 구축 계획>

□ 배경 및 필요성

- 이동식 모듈형 남극내륙기지 건설을 통해 건설비용 및 건설기간 최소화 및 인력 활용 효율 극대화 필요
 - 남극내륙은 기존의 세종과학기지 및 장보고과학기지과 달리 기지건설자재 및 인력의 해운 운송 이후 추가로 1500km가 넘는 남극 빙원을 가로지르는 육상운송 필요
 - 장보고기지에서부터 남극내륙기지후보지까지 이동기간이 최소 1개월 이상이 소요되기 때문에 기존의 기지건설 방식으로 건설자재와 인력을 수송하여 현장에서 기지를 건설할 경우 기하급수적인 운송비용 증가 발생
 - 남극내륙기지 건설현장 투입인력의 체류기간이 장기화될 경우 현장인력을 위한 식자재 및 물자보급으로 인해 남극내륙탐사선단의 화물수송능력이 제한되며, 이로 인한 사업기간의 증가가 예상됨
 - 국내에서 모듈 조립을 완료하고 현장에서는 모듈 간 연결에 필요한 최소한의 현장인력만을 항공기를 활용하여 투입하는 방식으로 남극내륙기지 건설을 진행할 경우 인력 활용효율을 높일 수 있음
 - 남극내륙 극한 환경에서의 안전한 현장연구 수행을 위해서는 남극내륙기지 각 시설에 대한 충분한 검증작업이 필수적으로 요구되기 때문에 국내에서 모듈 개발과 동시에 모듈에 대한 실증을 통해 기지운영의 시행착오를 최소화 할 수 있음
 - 제4차 남극연구진흥기본계획에 따르면 향후 다수의 남극내륙 연구거점에서 동시에 연구 수행이 계획되어 있는 바, 남극내륙기지 건설사업을 통해 개발한 기지모듈을 우선적으로 연구캠프에 활용함으로써 연구 인프라 운영효율을 높일 수 있음

□ 연구범위

- 남극내륙기지 모듈 운송 및 현장구축 연구범위

- 쇄빙연구선 아라온호와 남극장보고과학기지 등 기 보유한 극지 인프라 및 차세대 쇄빙연구선 등의 신규 극지 인프라를 활용한 기지모듈의 대륙 간 해상운송 계획수립 및 실행
- 쇄빙연구선 아라온호 남극항해와 연계한 기지모듈 해상운송
- 차세대 쇄빙연구선 건조 진행상황에 따른 신규 인프라 활용 해상운송
- 차세대 쇄빙연구소 활용 불가 시, 상용 화물선을 활용하여 해상운송 실시
- 남극장보고과학기지, 남극내륙 연구거점 및 남극내륙기지 간 남극내륙 탐사선단을 활용한 기지모듈의 육상운송 계획수립 및 실행
- 기지모듈 육상운송을 위한 화물 썰매 추가확보 등 탐사선단 구성 및 보강
- 남극내륙기지 건설을 위한 건설장비 현장투입, 활용 및 철수
- 기지모듈의 남극내륙 연구거점 활용 및 추후 남극내륙기지 운송
- 남극내륙기지건설 및 운영을 위한 현장인력 투입과 철수 및 건설현장 연구캠프 운영계획 수립 및 실행
- 연차별 남극내륙기지건설 전문 인력확보 및 현장투입
- 현장건설인력 수송을 위한 남극장보고과학기지~남극내륙기지 간 항공기 운영
- 건설현장 내 현장인력의 체류를 위한 식자재 및 물자 운송과 현장연구캠프 운영



신형 카라반의 등장

<남극내륙탐사 캠프장비 해상운송>



<남극내륙탐사 중 캠프장비 육상운송>



<남극내륙탐사 중 현장연구캠프 운영>



<남극내륙 항공기 운영>

<남극내륙탐사를 위한 해양, 육상 및 항공 인프라 운영 현황>

(2) 기존 기술의 한계와 극복 방안

□ 현재 남극내륙에 위치한 5개의 기지 중 2000년대 이후 건설된 3개 기지의 로지스틱스 사례 분석을 통해 기존 기술의 한계 및 극복 방안 제시

○ 프랑스-이탈리아 콘코르디아 기지

- 2005년, 해발 3233m의 Dome C 지역에 18면체의 3층 건물 2개동으로 건설되었으며, 각 층당 200m²의 규모로 총 1200m²의 실내공간을 제공하여 하계기간에 최대 50명까지 체류할 수 있음
- 기지 건설을 위한 육상보급선단은 7대의 트랙터와 3대의 설상차, 14대의 연료탱크, 1대의 생활 캐러반, 1대의 발전 캐러반, 1대의 저장 캐러반, 3대의 궤도형 화물 트레일러와 7대의 화물썰매 및 7대의 컨테이너용 썰매로 구성
- 1회 육상 운송 시 4명의 중장비 기술자와 4명의 일반 기술자, 1명의 통신대원, 1명의 의료대원, 1명의 보급선단 대장 등 12~13명의 인원 투입
- 기지 건설을 위한 자재 운송은 1997년 1월부터 2000년 2월 까지 1100km 거리의 육상보급로를 따라 총 10회의 내륙횡단을 통해 운송
- 1회 내륙횡단 시 소요된 기간은 20.8~27.1일로써 건설자재의 육상 운송에 총 236일 소요
- 기회 횡단 시 운반한 화물은 374~486톤 규모로 총 운반한 화물은 4194톤임
- 기지 건설 시 총 육상운송 비용은 8.4백만 USD (약 117억원) 소요
- 보급선단 장비구축: 4.2백만 USD
- 보급선단 장비 유지보수: 1.7백만 USD
- Cape Prudhomme(육상운송 출발지점) 선단 상차비용: 2.0백만 USD
- Dome C 하역 비용: 0.5백만 USD 등 총 운송 화물 규모와 비용을 고려할 때 2.5~3.0 USD/kg 의 운송 단가 산출
- 경량 화물 및 현장인력 수송을 위해 이탈리아 마리오주켈리 기지와 프랑스의 뒤몽 드 우르빌 기지, Dome C 간에 트윈오퍼 항공기를 활용한 항공망 구축 운영
- 1000~1200km의 항속거리를 고려하여 1회 항공운송 시 최대 1톤 이하로 화물 제한
- 매년 40여회의 항공기 운영
- 해안 지역의 Cape Prudhomme와 Dome C 간의 육상보급로 상에 크레바스 등의 위험지대가 많지 않아서 매 시즌 3회에 걸친 육상 운송을 통해 단 기간에 고중량의 화물 운송 가능
- 매 시즌 3회에 걸친 육상 운송 외에도 40여회에 달하는 항공 운송을 통해 현장 인력

을 투입함으로써 효율적으로 기지건설 수행

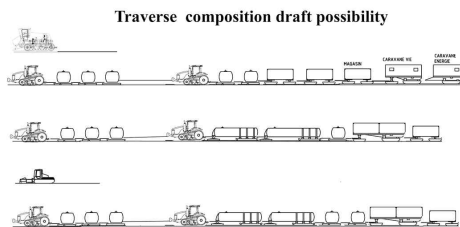
- 우리나라 남극내륙 진출루트인 K루트의 초반 구간에 다수의 크레바스가 분포하고 있어 남극내륙기지 건설 시 다수의 육상운송은 어려움
- 다만, 육상운송을 장보고과학기지에서부터 K-루트 베이스캠프까지 물자를 운송하는 1단계와 K-루트 베이스캠프에서 내륙기지 후보지까지 물자를 운송하는 2단계로 나누어 동시에 진행할 경우 최대 2회의 육상운송이 가능할 것으로 예상됨
- 아울러 콘코르디아 기지와 같이 적절한 항공기 운영을 통해 인력을 투입할 경우 기지건설 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료됨



<콘코르디아기지 기저부 책업 시스템 시공>



<콘코르디아기지 공사현장>



<육상 보급선단 구성>



<콘코르디아기지 육상보급 모습>



<육상 보급선단의 캐러반 장비>



<콘코르디아기지 트윈오퍼 항공기 운영>

<남극내륙 콘코르디아 기지 건설 및 운영 현황>

○ 러시아 보스톡 기지 리모델링

- 세계에서 2번째로 1957년 남극내륙에 건설된 러시아 Vostok 기지의 시설 노후화로 2019~2024년 기간 동안 리모델링 진행
- 36개의 3m 높이 지지대위에 고정식 철골 프레임 구조물 설치 후 내부시설은 모듈로 제작하여 프레임에 끼워 넣었으며 다시 기지 전체를 80cm 두께의 외벽으로 덮는 방식으로 기지 건설
- 리모델링된 Vostok 기지는 140m(L)×13.5m(W)×17.5m(H)의 규모로 총 1911m²의 면적을 제공하며, 동계기간 15명, 하계기간에는 최대 35명까지 체류할 수 있음
- 2019~2020년에 걸쳐 내부 모듈 제작 후 러시아 국내에서 가 조립 및 검증 작업 실시
- 20/21시즌, 총 4대의 쇄빙선 및 화물선을 활용하여 러시아의 Saint Petersburg에서 동남극 Progress(러) 기지까지 기지모듈과 건설자재 해상운송
- 21/22시즌 ~ 23/24시즌의 3개 시즌 동안 Progress 기지로부터 남극내륙의 Vostok 기지까지 1400km 거리의 육상운송 및 현장 조립
- 총 51대의 설상차와 45대의 화물썰매, 51대의 연료탱크 및 12대의 캠프차량과 90여명의 건설인력 투입
- 매년 3개월의 기간 동안 13~18회의 내륙 수송을 통해 총 5300톤의 기지 모듈 및 건설물자 운송
- 기존 화물썰매 이외에 2가지 형태의 화물썰매를 러시아에서 자체 개발하여 활용
- 육상보급을 위해 Progress 기지로부터 550km와 1100km 떨어진 지점에 연료보급기지 구축 운영
- 동계기간에도 15명의 월동대원들이 체류할 수 있는 길이 140m의 대규모 기지를 건설하기 위해 연중 150대 이상의 탐사장비와 90명의 건설인력, 5,000톤의 건설자재가 투입됨.
- 기지를 구성하는 모듈단위 시설 이외에 적설에 대비한 3m 높이의 기저부와 기지내부 단열을 위해 80cm 두께의 건물 외벽을 추가로 시공하기 위해 대규모 건설자재의 운송이 불가피 함.
- 향후 우리나라에서 추진하는 남극내륙기지는 동계기간에 무인원격으로 연구를 수행할 수 있는 시스템을 도입함으로써 러시아 Vostok 기지에 비해 작은 규모로 효율적으로 남극내륙 연구를 지원할 수 있는 기지 건설을 추진함으로써 건설비용과 기간을 최소화 할 예정임.
- 우리나라의 남극내륙기지는 단위 모듈의 단열 기능을 강화하고 하단부에 썰매 기능을 추가하여 적설 시 기지 자체를 이동할 수 있는 이동식 모듈형 기지로 건설함으로써 Vostok 기지의 기저부 시설과 건물 외벽 등의 추가적인 보강시설 시공에 필요한 건설자

재 운송을 최소화 할 예정임.



<구 Vostok 기지 전경>

<5m 높이의 눈으로 덮인 구 Vostok 기지>



<러시아 국내에서 모듈 검증 진행>



<남극내륙 현장건설>



<기지건설을 위한 현장캠프 전경>

<구 보스톡 기지 및 신규 보스톡 기지 리모델링 현황>

○ 중국 곤륜 기지 건설

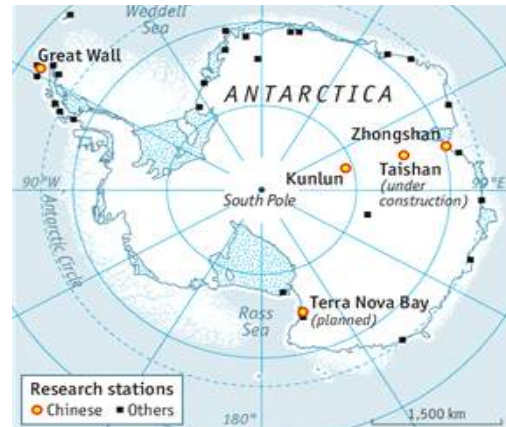
- 2009년, 남극 최고원인 Dome A 지역에 건설된 중국의 하계기지인 곤륜 기지는 매년 12월 말부터 다음 해 1월말까지 1개월 간 운영되며, 최대 25명까지 수용 가능함.
- 216m² 규모의 컨테이너 건물과 404m² 규모의 조립건물 등 총 620m²의 실내공간

으로 구성된 곤륜 기지 건설을 위해 ' 08/09시즌과 ' 09/10시즌 동안 총 500톤의 건설자재를 1235km 길이의 육상보급로를 통해 운송

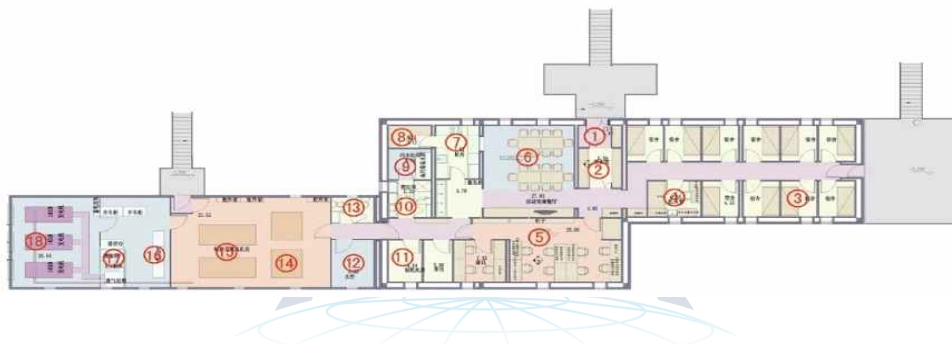
- 육상운송에 활용된 중국의 남극내륙탐사선단은 트랙터 4대, 중형 설상차 2대 및 소형 설상차 3대 등 총 9대의 차량과 컨테이너 썰매 26대 및 연료탱크 썰매 16대 등 총 42대의 썰매로 구성되어 있으며, 140톤의 연료와 500톤의 화물 수송 능력 보유
- 2015년에 중국은 곤륜기지 지원을 위해 Basler 기종의 자체 항공기를 확보하여 운영 중
 - ‘스노우이글’로 명명된 중국 항공기는 항속거리 1300km를 최대 시속 380km/hr로 최대 5.9톤의 화물을 항공 운송할 수 있는 능력을 보유하고 있으며, 아이스 레이더, 중력 및 자력 측정계가 탑재되어 있어 항공과학탐사 수행 가능
 - 스노우이글의 운영 및 정비는 해당 항공기의 제조사인 캐나다 Kenn Borek 사가 맡고 있으며, 매년 하계기간 동안 캐나다에서 남미를 거쳐 영국 로테라 기지, 미국 아문젠-스콧 기지를 경유하여 중국의 중산기지로 이동
- 중국은 남극연구역량 강화와 남극내륙 곤륜기지 보급 지원을 목적으로 제2 쇄빙선인 ‘설룽2호’를 건조하여 2019/20 시즌부터 남극항해 및 남극과학기지 보급에 활용 중
- 중국의 곤륜 기지는 2개의 대형 컨테이너 건물을 기반으로 다수의 조립식 건물을 활용하여 기지 시설을 분산시킴으로써 2개 시즌 동안 기지 건설 완료
- 제2 쇄빙선 설룽 2호 건조와 자체적인 스노우이글 항공기 보유로 인해 남극내륙 곤륜 기지 운영효율 증가
- 다만, 곤륜 기지가 Dome A 지역에 고정식으로 건설되어 있어, 연안지역의 중산 기지와 남극내륙 곤륜 기지 중간지점에 위치한 Grove Mountains 지역에서 블루아이스 및 지질연구 수행을 위해 별도의 태산(Taishan) 기지 건설
- 중국의 선행사례를 비추어볼 때 우리나라의 남극내륙기지 운영 및 보급을 위해서는 차세대 쇄빙연구선 건조 및 자체적인 항공망 확보 등 기반 인프라의 보강이 불가피함
- 이동식 모듈형 기지를 건설함으로써 다수의 연구지역 현장연구 지원이 가능하도록 하여 연구 인프라 활용효율 향상



<중국 남극내륙 곤륜기지 전경>



<중국 곤륜기지 위치>



<곤륜기지 설계 평면도: ①입구 ②탈의실 ③침실 ④의무실 ⑤연구실 ⑥거실 ⑦주방 ⑧창고 ⑨오수처리기 ⑩화장실·세탁실 ⑪산소공급장비 ⑫급수장비 ⑬화장실 ⑭환기장치 ⑮보일러 ⑯기계실 ⑰창고 ⑱발전기>



<곤륜기지 지원을 위한 중국의 스노우이글 항공기 및 항공망 운영 현황>



<중국 남극활동 지원을 위해 2019년 신규 건조된 쇄빙선 설롱 2호>

<중국의 남극내륙 곤륜기지 운영 현황>

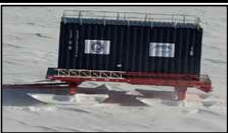
(3) 연구개발 상세계획

□ 주요 연구개발 내용

- 국내와 남극 장보고과학기지 간 해상운송 계획 수립 및 실행
 - 연차별 쇄빙연구선 아라온호 운항일정 및 내륙기지 건설 관련 물자 선적 조율
 - 쇄빙연구선 아라온호의 남극항해 일정 중 해빙하역이 가능한 1항차를 통해 기지모듈 및 고중량 건설물자 해상운송
 - 남극내륙 육상보급 일정이 아라온호 1항차 입남극 이전에 출발하는 것을 고려하여 6차년도 이전에 기지모듈 보급 완료
 - 사업기간 동안 아라온호 내 기지모듈 및 하부설매 등의 내륙기지 건설 관련 물자 적재 공간의 고정적 확보
 - 연차별 해상운송 상황에 따라 국내 기지모듈 개발공정 및 하부설매 확보계획 조정
 - 차세대 쇄빙선 건조 완료 후 신조 선박을 추가 활용하여 사업기간 내 기지모듈 해상운송 완료
 - 차세대 쇄빙선 건조 상황에 따라 내빙기능을 보유한 상용 화물선을 활용한 기지모듈 해상운송 계획 수립 필요
 - 다만, 상용 화물선을 활용할 경우, 사업비 증액 불가피
- 남극 장보고과학기지과 내륙기지 후보지 간 육상운송 계획 수립 및 실행

- 남극내륙 육상운송을 위한 보급선단 구성
 - 인력구성 : 탐사대장 1명, 중장비 기술자 6명, 일반 기술자 2명, 안전관리인력 4명 및 의료대원 1명의 총 14명으로 남극내륙 보급팀 구성
 - 장비구성 : 1회 최대 기지모듈 6동 운반 시, 설상차 6대, 트랙터 2대, 화물셀매 3대, 캐러반 2세트 및 연료탱크 6대의 보급선단 구성
- 남극내륙 보급선단의 출발 일정과 아라온호 남극항해 일정의 차이로 인해 모듈 제작 연도에 장보고과학기지로 운송된 기지모듈을 차년도에 내륙으로 운송
- 남극내륙 보급선단의 운영효율 향상을 위해 별도의 중간 보급선단 구성 및 운영
 - 남극내륙 보급선단의 내륙운송 기간 동안 별도의 중간 보급선단을 통해 장보고과학기지와 K루트 베이스캠프 간 화물 및 연료 수송
 - 중간 보급선단을 통해 차년도 수송화물 및 보급선단 운영에 필요한 연료를 K루트 베이스캠프로 이송함으로써 육상운송에 소요되는 기간 단축
 - 중간 보급선단 운영을 위한 탐사캠프장비(캐러반) 1세트 신규 확보
- 남극내륙 보급선단 및 항공기 연료 중간급유를 위한 연료보급캠프 구축 운영
 - 연료보급캠프 내 ISO 탱크 4대를 활용하여 최대 8만 리터 유류 저유
 - 중간보급선단을 활용하여 격년으로 연료보급캠프 내 유류 추가 보급(4만 리터/회)
- 3~4차 년도에 개발되는 이동식 모듈은 심부빙하 시추거점 등의 남극내륙 연구거점에 우선적으로 투입하여 거점 내 연구캠프시설로 활용
- 4~5차 년도에 개발되는 공용모듈 및 친환경 모듈은 기지후보지로 운송하여 남극내륙 기지 기반시설 구축
- 각 남극내륙 연구거점 현장연구 종료 시, 해당 거점의 숙소모듈 및 연구모듈을 내륙기지로 이송하여 활용

<남극내륙 보급선단 장비 구성(안)>

순번	동력장비	견인화물1	견인화물2	견인화물3
	내용	내용		
1			-	-
	설상차	연구 컨테이너	-	-

2				
	설상차	리빙 캐러반	발전 캐러반	
3				
	설상차	리빙 캐러반	발전 캐러반	
4				-
	설상차	공구 컨테이너	식자재 컨테이너	-
5				
	설상차	기지모듈	기지모듈	기지모듈
6				
	설상차	기지모듈	기지모듈	기지모듈
7				
	트랙터	연료 1만리터	연료 1만리터	연료 2만리터 (iso tank + sled)
8				
	트랙터	연료 1만리터	연료 1만리터	연료 2만리터 (iso tank + sled)

○ 남극내륙 항공기를 활용한 인력투입 계획 수립 및 실행

- 각 연구거점 내 숙소모듈 및 연구모듈 설치 및 남극내륙기지 후보지 내 기반시설 구축 시, 전력, 수처리 시스템 및 모듈 현장조립을 위한 전문인력 투입
- 남극내륙 연구거점 내 연구캠프 설치 운영 시, 고정익 항공기를 통해 5명 내외의 인력을 해당 연구거점 투입
- 남극내륙기지 후보지 내 기반시설 구축 시, 고정익 항공기를 통해 8명 내외의 인력 투입

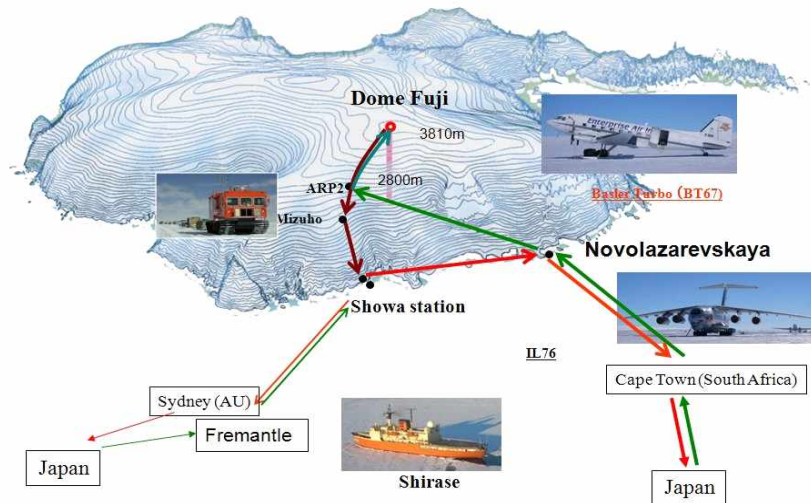
- 연차별 공정에 따라 매년 3~4회 항공기 운항
- 남극내륙 항공기 운항은 이탈리아 마리오주켈리기지와의 공동운항 혹은 중국과의 국제협력을 통한 스노우이글 항공기 활용을 원칙으로 추진하되 해당 국가의 상황에 따라 Polar Service 등의 항공기 에이전시와 독자적인 계약 수립
- 장보고과학기지-남극내륙기지 간 항공기 운항을 위해서 이탈리아 마리오주켈리기지의 해빙활주로 및 육상활주로 활용에 대한 국제협력 추진
- 항공기 운항에 필요한 연료 및 기타 물자는 육상 보급선단을 통해 기지후보지 및 각 남극내륙 연구거점으로 수송

<선행사례를 통한 항공기 운항 예상비용>

항목	이태리와 공동활용 (23/24 시즌)	항공사와 독자적 계약 (25/26 시즌)
시간당 운항비	5,100 euro (5,654 USD)	5,627 USD
Mobilization /Demobilization	총 260,086 euro 중 49,503 euro 분담 (54,906 USD)	199,282 USD
합계 (약 40시간 기준)	260,089 euro (288,477 USD)	424,362 USD

□ 최종 산출물

- 독자적인 남극내륙 보급로 확보
 - 장보고과학기지와 다수의 남극내륙 연구거점 및 남극내륙기지를 잇는 독자적인 정기 보급로 운영을 통해 해당지역의 남극내륙연구 주도권 확보
- 육상-항공을 연계한 입체적인 연구지원 시스템 구축
 - 고충량의 연구시설 및 물자 수송을 위한 육상 보급선단과 현장연구 인력 및 경량의 화물 수송을 위한 항공망을 연계한 입체적인 연구지원 시스템 운영을 통해 남극내륙 현장연구 효율 극대화
 - 선진화 된 연구지원 시스템 구축을 통해 대형 국제협력 남극내륙사업 참여 및 개발



<일본의 남극내륙 육상-항공 연계 지원시스템 운영 현황>

□ 연차별 연구개발 계획

○ 1차년도

- 중간 보급선단 운영을 위한 탐사캠프 캐러반 추가 확보
- 국내 제작 혹은 외자 구매를 통해 탐사캠프 캐러반 1세트 신규 제작
- 아라온호를 통해 남극장보고과학기지 해상운송
- 기지모듈 상차를 위한 신규 하부설매 4대 남극장보고과학기지 해상운송
- 극지용 화물설매 전문업체인 Elphinstone 사(호주)로부터 기지모듈 규모(4m × 9m)에 맞는 하부설매 4대 외주제작
- 일반화물선을 통해 호주 호바트로부터 아라온호 기항지인 뉴질랜드 크라이스트 처치 리틀턴항으로 해상 운송
- 뉴질랜드 크라이스트처치 리틀턴항으로부터 남극장보고과학기지까지 아라온호를 통해 해상 운송
- 장보고과학기지 내 보관
- 남극내륙 항공기 운항 및 육상 보급선단 운영을 위한 유류보급캠프 1개소 구축
- 장보고과학기지 기점 600 km 지점에 기지모듈 육상수송을 위한 유류보급캠프 구축
- ISO 탱크 2대를 활용하여 해당 유류보급캠프 내 4만 리터 규모의 유류 저유

○ 2차년도

- 기지모듈 상차를 위한 신규 하부설매 4대 남극장보고과학기지 해상운송

- 기지모듈 하부셀매 4대 신규 제작
- 호주 호바트~뉴질랜드 크라이스트처치 간 일반 화물선을 통한 해상 운송
- 뉴질랜드 크라이스트처치~남극장보고과학기지 간 아라온호를 통한 해상 운송
- 장보고과학기지 내 보관
- 유류보급캠프 내 유류 추가 저유
- 1차 년도에 구축한 유류보급캠프 내에 ISO 탱크 2대를 활용하여 4만 리터의 유류 추가 저유

○ 3차년도

- 기지모듈 5동 남극장보고과학기지 해상운송
- 3차 년도에 제작한 기지모듈 5동을 아라온 및 차세대 쇄빙선을 활용하여 남극장보고과학기지 해상운송
- 남극장보고과학기지 내 기 보관 중이던 화물셀매에 상차
- 차세대 쇄빙선 활용이 불가할 경우 아라온을 이용하여 기지모듈 2동만 운송
- 기지모듈 상차를 위한 신규 하부셀매 3대 남극장보고과학기지 해상운송
- 기지모듈 하부셀매 3대 신규 제작
- 호주 호바트~뉴질랜드 크라이스트처치 간 일반 화물선을 통한 해상 운송
- 뉴질랜드 크라이스트처치~남극장보고과학기지 간 아라온호를 통한 해상 운송
- 장보고과학기지 내 보관

○ 4차년도

- 기지모듈 7동 및 하부 구조물 1기 남극장보고과학기지 해상운송
- 4차 년도에 제작한 기지모듈 7동과 하부 구조물 1기를 아라온호 및 차세대 쇄빙선을 활용하여 남극장보고과학기지 해상운송
- 남극장보고과학기지 내 기 보관 중이던 화물셀매에 상차
- (차안) 차세대 쇄빙선 활용이 불가할 경우 내빙기능을 갖춘 화물선을 임차하여 3, 4차년도에 제작된 기지모듈을 남극장보고과학기지로 해상운송
- 화물선 임차 시 약 50억 원의 추가비용 발생 예정
- 기지모듈 상차를 위한 신규 하부셀매 2대 남극장보고과학기지 해상운송
- 기지모듈 하부셀매 2대 신규 구매
- 호주 호바트~뉴질랜드 크라이스트처치 간 일반 화물선을 통한 해상 운송

- 뉴질랜드 크라이스트처치~남극장보고과학기지 간 아라온호를 통한 해상 운송
- 장보고과학기지 내 보관
- 기지모듈 5동 심부빙하 시추거점 육상운송 및 현장 설치
- 숙소모듈 4동과 발전모듈 1동 등 3차 년도에 남극장보고과학기지로 운송된 이동식 모듈 5동의 심부빙하 시추거점 이동 및 연구캠프 활용
- 모듈조립 및 유지관리 기술인력 5명을 항공기로 심부빙하 시추거점 현장 투입
- 유류보급캠프 내 유류 수송
- 2~3년차 내륙탐사 및 보급을 통해 소모한 유류보급캠프 내 유류 추가보급(4만 리터)

○ 5차년도

- 기지모듈 3동 남극장보고과학기지 해상운송
- 5차 년도에 제작한 기지모듈 3동 및 하부 구조물을 아라온호를 활용하여 남극장보고 과학기지 해상운송
- 남극장보고과학기지 내 기 보관 중이던 화물셀매에 모듈 상차
- 기지모듈 상차를 위한 신규 하부셀매 2대 남극장보고과학기지 해상운송
- 기지모듈 하부셀매 2대 신규 제작
- 호주 호바트~뉴질랜드 크라이스트처치 간 일반 화물선을 통한 해상 운송
- 뉴질랜드 크라이스트처치~남극장보고과학기지 간 아라온호를 통한 해상 운송
- 장보고과학기지 내 보관
- 기지모듈 6동 남극내륙기지 후보지 육상운송 및 현장 설치
- 4차 년도에 남극장보고과학기지로 운송된 공용모듈 4동과 하부 구조물의 내륙기지 후보지 운송 및 현장 설치
- 공용모듈 현장조립을 위한 기술인력 8명을 항공기로 기지 건설현장 투입

○ 6차년도

- 기지 모듈 4동 남극내륙기지 후보지 운송 및 정주식 기반시설 구축 완료
- 5차 년도에 남극장보고과학기지로 운송된 숙소모듈 1동과 친환경모듈 2동, 의료/통신모듈 1동 등 총 4동의 기지모듈을 내륙기지 건설현장으로 육상 운송
- 남극내륙기지 내 발전, 통신 및 친환경 시스템 등의 기반시설 구축 완료
- 남극내륙기지 기반시설 구축을 위한 기술 인력을 항공기로 남극내륙기지 건설현장 투입
- 심부빙하 시추거점 확장 및 연구캠프시설 유지보수

- 4차 년도에 제작한 연구모듈 2동을 심부빙하 시추거점으로 운송 후 기존 연구캠프에 추가 연결
- 모듈 유지관리 기술인력 5명 심부빙하 시추거점 항공기 투입
 - 유류보급캠프 내 유류 수송
- 4~5년차 내륙탐사 및 보급을 통해 소모한 유류보급캠프 내 유류 추가보급(4만 리터)

<연차별 기지모듈 해상운송 계획(안)>

	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
아라온호	하부썰매 4대	하부썰매 4대	하부썰매 2대 2모듈	하부썰매 2대 2모듈	하부썰매 2대 3모듈	
차세대쇄빙 선			3모듈	5모듈/ 하부구조물		
화물선*				(8모듈)		

* 차세대 쇄빙선 활용 불가 시, 4차년도에 내빙기능을 보유한 화물선 1회 임차하여 기지모듈 수송

<연차별 기지모듈 육상운송 계획(안)>

	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
장보고기지 보관			5모듈	6모듈/ 하부구조물	2모듈	
심부빙하 시추거점				5모듈		2모듈
내륙기지 후보지					4모듈/ 하부구조물	3모듈

<연차별 남극내륙 항공기 인력투입 계획(안)>

	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
심부빙하 시추거점	-	-	-	건설기술자 5명 연구원 25명*	건설기술자 5명 연구원 25명*	건설기술자 5명 연구원 25명*
내륙기지 후보지	-	-	-		건설기술자 8명	건설기술자 8명

* 심부빙하시추를 위한 국내외 연구인력 수송, 숙소모듈 4동에 최대 32명 거주 가능

<연차별 예산 소요 계획(모듈운송 및 현장구축)>

(단위: 억 원)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	모듈운송 및 현장구축	정부	15.5	15.5	14.7	31.1	30.3	31.1	138.2
		민간	0	0	0	0	0	0	0
	소계		15.5	15.5	14.7	31.1	30.3	31.1	138.2

<연차별 인력 투입 계획(모듈운송 및 현장구축)>

(단위: 명)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	모듈운송 및 현장구축	책임	2	2	2	3	3	3	15
		연구원	4	4	4	4	4	4	24
		보조원	5	5	5	14	14	14	57
	소계		11	11	11	21	21	21	96

극지연구소

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역(운송 및 현장 구축 개발)>

(단위: 백만원)

품명	규격	수량 (식)	단가	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
탐사용유류				200	200	200	200	200	200	1,200
보급용유류				80	80	-	80	-	80	320
식자재				50	50	50	100	100	100	450
안전장비				50	50	50	100	100	100	450
장비유지관리				150	150	150	200	200	200	1,050
항공기임차				-	-	-	600	600	600	1,800
연구시설·장비 및 연구재료비 합계				530	530	450	1,280	1,200	1,280	5,270

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역(운송 및 현장 구축 개발)>

(단위: 백만원)

구분	내역	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
연구활동비	전문가 활용비, 회의비 등	250	250	250	400	400	400	1,950
출장비	남극내륙 현장 출장	313.5	313.5	313.5	620	620	620	2,800. 5
연구수당	인건비의 15% 이하	75.5	75.5	75.5	135	135	135	631.5
간접비	직접비의 10% 이하 수준	0	0	0	0	0	0	-
소계		639	639	639	1,155	1,155	1,155	5,382



<과제 카드(세세부과제 1-2)>

세부과제명	남극 내륙기지 건설을 위한 운송 및 현장 구축 개발	
연구개발 목적	○ 이동식 모듈형 남극내륙기지 건설을 위해 기지모듈의 개발지로부터 남극내륙에 이르는 해상, 육상운송과 현장 작업을 위한 기술인력의 항공 수송 계획 수립 및 실행	
연구개발 목표	○ 14개 기지모듈의 남극내륙기지 후보지 및 심부빙하 시추거점 운송 ○ 심부빙하 시추거점 내 연구캠프 구축 및 운영 ○ 남극내륙기지 후보지 내 기반시설 및 친환경 시스템 구축	
연구개발 필요성	○ 기지모듈 해상운송을 위해 아라온호와 차세대 쇄빙선의 효율적인 활용 필요 ○ 남극내륙기지 건설을 위해서는 1개월 간 1500km가 넘는 남극빙원을 가로지르는 육상운송이 불가피하므로 체계적인 물자운송 및 현장인력 투입 필요 ○ 남극내륙 보급선단을 활용하여 남극내륙기지 건설과 남극내륙 연구거점 현장연구 지원을 동시에 수행하기 위한 일정관리 필요	
기술동향	○ 현존하는 5개 남극내륙기지는 모두 건설자재를 현장으로 수송한 후 조립하는 방식으로 건설 ○ 프랑스와 이탈리아가 운영하는 콘코르디아 기지는 4년간 10회의 육상 운송 및 연 40회의 항공기 운행을 통해 기지 건설 ○ 최근 러시아는 4년간 총 42회의 남극내륙 육상운송을 통해 보스톡 기지의 리모델링 완료 ○ 매년 1개월간 운영되는 중국의 곤륜기지는 2년에 걸쳐 500톤의 건설자재를 육상보급로를 통해 운송하여 건설	
연구개발 내용	○ 1~5차년도에 걸쳐 기지모듈 육상운송에 필요한 하부 썰매 확보 및 운송 ○ 3~5차년도에 걸쳐 국내에서 장보고과학기지까지 아라온호 및 차세대 쇄빙선을 활용하여 총 14동의 기지모듈 해상운송 ○ 4~6차년도에 걸쳐 장보고과학기지에서부터 내륙기지 후보지 및 심부빙하 시추거점까지 남극내륙 보급선단을 활용하여 총 14동의 기지모듈 육상운송 ○ 항공기를 활용한 남극내륙기지 후보지 및 심부빙하 시추거점 내 기지모듈 설치 및 유지관리 기술인력 투입	
연구 추진전략	○ 아라온호와 차세대 쇄빙선 등 기 보유한 쇄빙선박을 활용한 해상운송 수행 ○ 당해연도 장보고과학기지로 운송된 기지모듈을 K루트 베이스캠프로 운송하기 위한 중간 보급선단과 남극내륙 보급선단 및 항공기 운행을 위한 중간급유캠프 구축 운영 ○ 이태리 혹은 중국과의 국제협력을 통한 항공기 공동 활용 추진	
연구 추진체계	○ 남극내륙 기지모듈 운송에 필요한 극지인프라를 운영 중인 극지연구소 관련부서들 간의 내부협의를 통해 물류계획 수립 및 실행 ○ 다수의 전문기관으로 이루어진 극지공학 컨소시엄 구성을 통해 남극내륙기지 모듈의 현장 조립 및 유지관리 실시	
연구개발 기간 및 소요예산	총연구기간	
	6년	
	총예산	
	138 억원	
최종 성과물 (정성·정량적)	○ 심부빙하 시추거점 내 총 6개 모듈로 이루어진 연구캠프 구축 운영 ○ 남극내륙 기지후보지 내 총 8개 모듈로 이루어진 기지 1단계 건설 완료	

성과	
연구개발성과 의 활용방안 및 기대효과	○ 남극내륙기지 후보지 내 구축예정인 천문우주 관측거점 운영을 위한 연구기반 활용 ○ 과거 150만년 기후변화 기록복원을 위한 심부빙하코어시추 현장연구의 연구캠프 활용 ○ 빙저생태계 특성파악을 위한 남극내륙 3000m급 심부빙저호 시추 현장연구의 연구캠프 활용



3) 남극내륙기지 원격 모니터링 및 제어 시스템 개발

(1) 개념 및 범위

□ 연구개념

- 극한 환경에서 안전한 생활환경 유지를 위한 환경 데이터 모니터링 및 자동제어 시스템 개발
 - 남극 내륙기지는 기온이 극도로 낮고, 기후 변화가 급격하게 일어나며, 기지 내의 환경은 인간의 생존을 위해 매우 중요한 요소로 작용됨
 - 기지의 안전성과 생활환경을 유지하기 위해 정확한 환경 데이터의 모니터링과 실시간 제어 시스템이 필수적임
 - 기지 내 공기 질, 온도, 습도 등의 실시간으로 모니터링하고 자동으로 제어하여 기지 생활환경의 질을 향상시키고 인력의 건강을 보호함
 - 기지 내부와 외부의 다양한 환경 요소(온도, 습도, 산소 농도, 기압, 미세먼지 등) 데이터를 실시간으로 통합하여 모니터링하고, 수집된 데이터의 이상 상황 감지하여 자동화된 제어를 통해 쾌적한 생활환경 유지 및 에너지 효율을 최적화함
- 극한 환경 기지 구조의 안전성 확보를 위한 구조상태 데이터 모니터링 및 경보
 - 남극 내륙기지는 영하 60도에 달하는 극한 기온과 변화도가 높은 강한 풍하중 등 기지 모듈의 위치 및 자세 유지에 악영향을 미치는 요인이 상존함
 - 정주식과 모듈 그리고 모듈간의 연결부는 극한 환경에서 내륙기지의 안정적 구성에서 가장 중요한 부분으로 연결부의 건전성 평가 및 보장이 요구됨
 - 따라서 이를 위해 요구되는 데이터의 정의 및 이에 대한 수집과 관리의 필요성이 높음
 - 모듈의 위치 및 자세의 확보를 위해서는 연결부 이격, 모듈 수평도, 기초 및 고정장치, 바람, 빙하의 이동/균열 등에 대한 데이터 수집 및 관리가 요구됨
 - 상기 인자들에 대한 센서 기반 감지와 취득 데이터에 대한 검증 및 분석 그리고 분석에 기반한 경고 발생을 통해 기지 구조와 상주 인력의 안전성 확보를 위한 모니터링 및 경보 체계가 요구됨

(2) 기존 기술의 한계와 극복 방안

□ 극한지에 적용되는 장비/시스템 기술의 한계

- 극지에서 무인원격 운영을 고려한 ICT 기술개발 사례 전무
 - 우리나라 ICT기술은 전세계 선도국으로, VR/AR(가상현실), 영상데이터 딥러닝, 사물인터넷(IOT), 디지털트윈, 스마트그리드 등 첨단기술이 다양한 도메인에 적용되고

있으며,

- 극지 과학기지와 국내 간 일부 첨단 정보통신 시스템이 활용되고 있음
 - 그러나, 통신체계가 열악하고 영하 60도까지 내려가는 혹독한 남극 내륙환경에서의 실시간 모니터링 센서, 장비, 시스템에 대한 기술개발의 경험이 미진함
 - 남극 내륙의 특수 환경과 남극 내륙기지의 임무와 기능을 고려한 고유 시스템의 개발 사례가 없음
- 기존의 모니터링 시스템은 데이터를 종합적으로 통합하여 시각화하는 기능 부족으로 환경 데이터의 효율적 제어를 위한 의사결정이 어려움
- 환경 데이터의 통합 대시보드 시각화를 통해 직관적으로 데이터를 파악하고, 이상 상황에 신속한 대응 가능
- 구조 인자에 대한 모니터링은 극지환경 및 극지환경과 기지 구조의 상호작용에 대한 데이터 부족으로 상황에 적합한 의사결정 제공에 어려움이 있음
- 따라서 환경 및 구조 인자에 대한 모니터링 데이터의 축적이 요구되며
 - 축적 데이터에 대한 분석과 이에 대한 시각화를 통해 기지 모듈의 구조적 상태에 대한 직관적 이해를 도모하여 이상 상황에 신속한 대응이 가능하도록 해야 함

□ 기술 외적 한계

- 가혹한 작업환경, 제한된 작업일수 및 안전사고 발생 가능성
- 기술로만 극복할 수 없는 남극의 특수한 상황들이 연구개발, 인프라 구축의 장애요인으로 작용
 - 남극에서의 연구개발의 활동기간은 매우 제한적이며, 또한 예상하지 못한 상황 발생 시 현장에서 해결이 불가능한 경우가 많음 (예, 자재/장비 부족, 전문인력 부족 등)

□ 극한지에 적용되는 장비/시스템의 한계 극복 방안

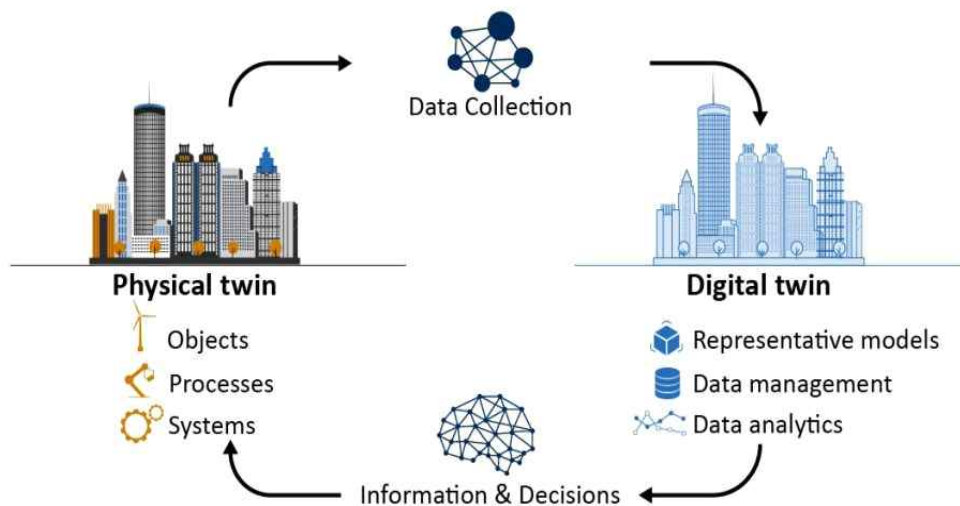
- 남극내륙기지 운영을 통한 기초 데이터 확보
- 남극 내륙기지 설계 시 기초 데이터(기상, 환경, 에너지, 구조물 안정성 등) 수집 장치 또는 서브시스템 설치 계획을 반영
 - 기초 데이터는 기지의 계획 수립, 설계, 구축, 유지보수, 개량 등 전주기의 의사결정에 필요함
 - 활용목적에 따라 다양한 데이터가 요구될 수 있으며 대부분 장기간에 걸친 시계열 데이터의 통계적 분석이 필요하므로, 데이터 수요에 따라 단계별로 구축
 - 데이터의 활용 범위 확대
 - 기초데이터는 공학적 장비/시스템 개발뿐만 아니라, 내륙에서의 고유 임무 수행에

도 활용되도록 database 설계

- 향후 우주관련 연구 및 진출에 필요한 데이터로서도 활용되도록 연관기관과 협의하여 DB 구축

○ 남극에서 무인 원격 운영을 고려한 ICT 기술개발 추진

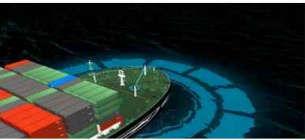
- 디지털 트윈(Digital Twin), 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 등 첨단 정보통신 기술을 적용하여 세계 최초의 디지털 기지로 구축
- 디지털 트윈은 현실세계에 객체를 컴퓨터상에 디지털 데이터 모델로 똑같이 복제하여 실시간으로 서로 반응할 수 있도록 하는 기술임
- 일반적으로 디지털 트윈 시스템의 목적은, ①문제상황 실시간 인지¹⁾, ②문제발생 원인분석, ③원격제어, ④문제발생 사전예측, ⑤유지보수 최적기 도출, ⑥HW개선 모델 도출, ⑦최적 운영모델 도출에 활용됨
- 적용사례로는 대규모 인프라 시설(댐, 고층빌딩, 터널, 교량 등), 산업시설(플랜트, 발전소, 항만 등), 대형장비(대형선박, 항공기 등), 심지어는 도시 전체나 해양, 기상을 디지털화하기도 함
- 디지털 트윈을 개방형 플랫폼으로 구성하여, 내륙기지의 에너지 관리, 환경 관리, 안전 관리, 로지스틱스 등에 활용



출처: <https://www.gao.gov/assets/820/817486.png>

<디지털 트윈의 개념>

1) 실시간 모니터링 기술은 센싱된 데이터를 통해 발생하는 문제점을 실시간 인식하는데 주목적이 있다면, 이에 진일보한 디지털 트윈은 자유로운 가상현실에서 현실세계와 데이터를 교환하면서 다양한 모델을 구성하고 시뮬레이션을 통해 조금 더 다양한 결과를 얻을 수 있다는 차이가 있음

프로젝트	구축 및 운영, 효과	구축 화면	주요 시사점
현대중공업 선박운전 최적화 시스템	• 통합스마트선박솔루션 자체 개발(17) • 선박운전최적화 시스템은 독자 개발한 엔진에 시, 빅데이터, IoT 정보를 융합하여 개발 • 선박엔진의 빅데이터와 실시간 정보를 AI 분석한 최적 연비 방안 (연료비 10% 절감)		대형선 수주시장에서 한국 조선업체들이 스마트 기술력을 바탕으로 선전
디아블로 스마트 댐 플랫폼	• 디아블로 댐은 1930년 완공 • 시애틀시 디아블로 댐 디지털트윈 모델 구축(20) • 드론 촬영과 항공측량을 통한 구조물 상태 표현 • AI 기반 콘크리트 균열 및 이상상태 자동식별 • 댐 손상부위 유지관리 우선순위 지정 • 추후 센서 데이터와 GPR 데이터 통합 예정		댐 안전관리 분야에 적용된 세계 최초의 디지털트윈 사례로 수자원공사의 스마트댐 안전관리와 경쟁
버추얼 상가몰	• '16~18 기간 구축 • 다산시스템의 3DS 플랫폼으로 시작 후 교체 • 모든 건물, 도로 구조물, 인구, 날씨 등 구축 • 일사량, 풍향, 기온 변화 등 데이터 수집 • 지역별 태양광 패널 설치 시뮬레이션 • 도심 이파드 유독가스 시뮬레이션 등 재난 대응		도시형 디지털트윈의 경우 장시간의 과정과 높은 비용이 요구 비용(약 1,000억) 대비 효과에 대한 분석자료 조사 필요 개인정보의 유출과 데이터에 기반한 사회 통제와 감시 문제 발생 우려

<디지털 트윈 기술 적용 사례>

○ 극지 구조의 구조상태 데이터 모니터링 및 정보기술 개발

- 극지 구조에 대한 디지털 트윈(Digital Twin) 구축과 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 등을 적용하여 상태 모니터링과 이상 상황에 대한 경보 시스템 구축
- 디지털 트윈은 극지 구조의 상세 설계에 준하여 구축
- 계측된 구조상태 데이터와 디지털 트윈 연계
- 구조상태 데이터 기반 이상 상태에 대한 경보 의사결정

<남극 내륙기지 디지털 트윈 활용방안 예시>

에너지 부문	안전 부문
◆ 내륙기지의 부문별 에너지 사용 시뮬레이션 및 실시간 모니터링 ◆ 주 에너지원(연료)보급 계획 수립 및 운영모델 수립 ◆ Supplementary 에너지 시스템(에너지 하베스팅 등)구축 및 운영을 위한 데이터 수집 및 HW 개선방안 도출 ◆ 전력 peak 분석 및 비상상황(단전 등)에 데이터를 기반으로 한 적절한 대응체계 가동 <마이크로 스마트 그리드 예시>	◆ 구조물 안정성 시뮬레이션 및 상태 모니터링 ◆ 화재 시뮬레이션 및 실시간 모니터링 ◆ 대원의 안전 모니터링(위치 추적, 사고, 고립, 신체이상 등 비상상황) ◆ 비상상황 시 원격진료 ◆ 이상 발생 시 비상 대응(관제, 후송 등) 모델구축 및 시뮬레이션 가동 <남극 내륙기지 적설 시뮬레이션 예시>
환경 부문	물류 부문
◆ Emission (CO2 등) 및 오염원(생활폐기물, 오폐수 등) 발생 시뮬레이션 및 실시간 모니터링 ◆ 인적오류/사고로 인한 비상상황(용량초과, 대규모 누출 등) 시 대응체계 가동 ◆ 환경개선을 위한 기존시스템 개량, 신규 시스템 도입 등의 효과분석 시뮬레이션 ◆ 폭설, 강풍 등 이상기후 예측 및 대응 시뮬레이션 <벨기에의 Zero-emission 기지>	◆ 기지 내 식량 및 물자 소비량 시뮬레이션 및 예측 모델 구축 ◆ 물류 Supply-chain 시뮬레이션 및 실시간 재고 및 보급관리 모델 구축 ◆ 수송 계획 수립 및 시뮬레이션 ◆ 수송 장비 상태 파악 모니터링 및 배치 계획 수립 <한국의 내륙 트래버스 물자 수송>

(2) 연구개발 상세 계획

□ 주요 연구개발 내용

○ IoT 기반 남극내륙기지 생활환경 모니터링 및 제어장치 개발

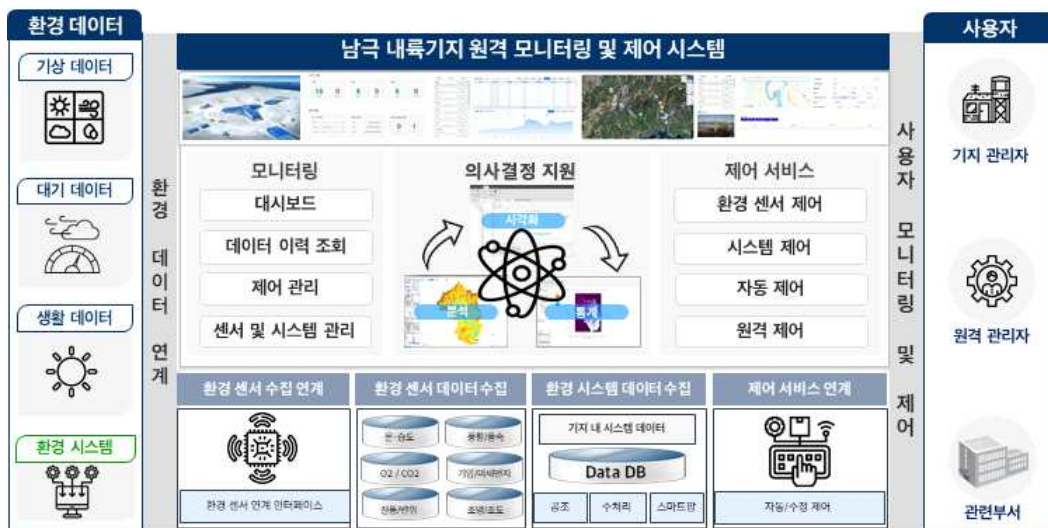
- 남극 내륙기지 생활전력 모니터링 장치 개발
 - 전력 발전량 및 소비량 모니터링 장치 개발
 - 전력 소모 장비 위치 및 상태 정보 모니터링 장치 개발
- 용수, 폐기물 모니터링 및 제어 장치 개발
 - 용수 생산 및 소비량 모니터링 장치 개발
 - 배관 내 수온, 수압 모니터링 장치 개발
 - 역물류(폐기물) 중량 모니터링 장치 개발
- 실내 공조 모니터링 장치 개발
 - 모듈 내 온습도, CO2 농도 등 대기질 모니터링 장치 개발
- 기상 데이터 및 모듈 내 대기질 실측 데이터 기반 공조기 제어 최적 효율 시뮬레이션 데이터 구축
- 시뮬레이션 정보와 실제 데이터 비교를 통한 모듈 내 기밀 정상 유지 여부 판단
- 기지 안전 모니터링 시스템 개발
 - 기지 자세 및 위치, 상태 모니터링 장치 개발



<기지 생활환경 모니터링 및 제어 시스템>

○ 디지털 트윈 기반 남극내륙기지 생활환경 데이터 모니터링 및 제어시스템 개발

- 내륙기지 디지털 트윈 구축 및 생활환경 데이터 가시화
 - 남극 대륙기지 내·외부 3차원 모델링 구축
 - 디지털 트윈 기반 생활환경 데이터의 가시화 시스템 개발
- 생활전력 데이터 모니터링 및 제어 시스템 개발
 - 전력 발전량 및 소비량 데이터 모니터링 시스템 개발
 - 기상 데이터 및 전력 발전-소비 실측 데이터 기반 연간 에너지 계획 수립
 - 전력 소모 장비 실 사용 여부 판단 및 제어 시스템 개발
- 용수 및 폐기물 데이터 모니터링 및 제어 시스템 개발
 - 용수 생산 및 소비량 모니터링 및 제어 시스템 개발
 - 역물류 발생량 모니터링 시스템 개발
- 기지 실내 공조 모니터링 및 제어 시스템 개발
 - 기지 내 온·습도, CO2 농도 등 대기질 모니터링 시스템 개발
 - 출입문 및 공조기 제어로 모듈 내 대기 순환을 통한 생활 최적 환경 유지 시스템 개발
- 기지 안전 모니터링 시스템 개발
 - 기지 위치 및 자세 정보 모니터링 시스템 개발
 - 모듈형 기지의 연결부, 지지부 등의 데이터를 이용한 자세 데이터 분석
 - 기지 상주 대원 위치 및 건강상태 모니터링 시스템 개발



<모니터링 SW 구성도>

□ 최종 산출물

- 기지 내-외부 생활환경 모니터링 및 제어 시스템
 - 남극 내륙기지 내 생활전력 모니터링 및 제어 장치
 - 남극 내륙기지 내 용수 및 폐기물 모니터링 장치
 - 남극 내륙기지 실내 공조 모니터링 및 제어 장치
 - 남극 내륙기지의 안전정보 모니터링 장치
- 디지털 트윈 기반 기지 생활환경 데이터 모니터링 및 제어 S/W
 - 남극 내륙기지 디지털 트윈 모델
 - 기지 내 생활전력 모니터링 및 제어 시스템
 - 기지 내 용수 및 폐기물 모니터링 및 제어 시스템
 - 기지 실내 공조 모니터링 및 제어 시스템
 - 기지 안전정보 모니터링 및 제어 시스템

□ 연차별 연구개발 계획

- 1차 년도
 - 생활환경 모니터링 장치 기초 설계
 - HW 필요 기능 정의 및 구조 설계
 - SW 통신 프로토콜, 개발 환경 선정
 - 시뮬레이션 필요 데이터 및 방식 정의
 - 남극 내륙기지 생활환경 데이터 모니터링 S/W 설계
 - 내륙기지 생활환경 데이터 조사 및 분석
 - 내륙기지 생활환경 데이터 연계 및 수집 방안 수립
 - 생활환경 데이터 모니터링 S/W 설계
 - 기지안전 데이터 조사 및 분석
- 2차 년도
 - 기지 생활환경 모니터링 장치 개발 환경 구축 및 설계 고도화
 - 모니터링 및 제어 장치 HW 테스트 모듈 제작
 - HW 센서 보드 및 PC 사양 선정
 - 장치 제어 알고리즘 디자인
 - 시뮬레이션 알고리즘 디자인

- 기지 생활환경 데이터 연계 기술 개발
- 생활전력 모니터링 데이터 연계 및 제어 기술 개발
- 용수 및 폐기물 모니터링 데이터 연계 기술 개발
- 실내공조 데이터 모니터링 데이터 연계 및 제어 기술 개발
- 기지안전 데이터 모니터링 데이터 연계 기술 개발
- 모듈형 기지의 구조상태 분석 모델 및 이상치 검출 기술 개발

○ 3차 년도

- 기지 생활환경 모니터링 및 제어 시스템 개발
- 센서 제어 및 데이터 수집용 임베디드 보드 제작
- 메인 PC의 다수 임베디드 보드 통합 제어 인터페이스 개발
- 시계열 데이터 기반 딥러닝 시뮬레이션 개발
- 디지털 트윈 기반 기지 생활환경 데이터 모니터링 S/W 개발
- 남극 내륙기지 디지털 트윈 3차원 공간정보 모델 구축
- 생활전력, 용수 및 폐기물, 실내공조, 기지안전 모니터링 데이터 가시화 S/W 개발
- 생활전력, 실내공조 장치 제어 S/W 개발
- 기지 위치 및 자세에 대한 이상상태 기준 수립 및 적용

○ 4차 년도

- 모니터링 및 제어 시스템 테스트 및 최적화
- 실제 모듈에 시스템 HW 장착 및 데이터 수집
- 수집 데이터 기반 시뮬레이션 성능 테스트 및 최적화
- 모니터링 및 제어 시스템 성능 테스트 및 최적화
- 기지 생활환경 데이터 모니터링 S/W 테스트 및 최적화
- 기지 생활환경 모니터링 시스템 연계 및 데이터 가시화 기능 최적화
- 기지 생활환경 모니터링 시스템 제어 기능 테스트 및 최적화
- 기지안전 분석 모델 성능 테스트 및 최적화

○ 5차 년도

- 모니터링 및 제어 시스템의 남극 내륙 기지 현장 적용 및 시범 운영
- 생활환경 모니터링 시스템의 남극 내륙 기지 내 설치 및 연동
- 생활환경 모니터링 시스템 운영 및 데이터 전송 안정성 확인

- 실시간 모니터링 및 제어 시험 운영 및 최적화
- 모니터링 S/W의 현장 데이터 연계를 통한 시범 운영
- 생활전력, 용수 및 폐기물, 실내공조, 기지안전 모니터링 데이터 연계 운영
- 생활전력, 실내공조 장치 제어 시스템 연계 운영
- 생활환경 데이터 모니터링 S/W의 개선사항 도출

○ 6차 년도

- 모니터링 및 제어 시스템의 남극 내륙 기지 시범 운영 및 고도화
- 남극 내륙 기지 내 설치 시스템 운영 및 고도화
- 생활환경 모니터링 데이터 전송 기능 고도화 및 안정화
- 모니터링 S/W의 시범 운영 및 고도화
- 디지털 트윈 기반 생활환경 데이터 가시화 S/W 시범 운영
- 생활환경 데이터 모니터링 관리 기능 고도화
- 생활환경 데이터 제어 관리 기능 고도화
- 기지안전 분석 모델 성능평가 및 고도화

<연차별 예산 소요 계획(원격관리 시스템 개발)>

(단위: 억 원)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	원격관리 시스템 개발	정부	4.4	9.8	11.5	7.7	3.6	2.9	40
		민간	0	0	0	0	0	0	0
	소계		4.4	9.8	11.5	7.7	3.6	2.9	40

<연차별 인력 투입 계획(원격 모니터링 및 제어시스템 개발)>

(단위: 명)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	원격관리 시스템 개발	책임	4	5	5	4	3	3	24
		연구원	5	8	8	6	4	3	34
		보조원	5	6	6	5	4	4	30
	소계		14	19	19	15	11	10	88

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역(원격 모니터링 및 제어시스템 개발)>

(단위: 백만원)

품명	규격	수량 (식)	단가	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
WEB 서버		5	20				100			100
DB 서버		5	20				100			100
데이터연계 서버		5	20				100			100
센서류		14	10		20	120				140
임베디드 보드		14	2		4	24				28
테스트 모듈제작		2	50		100					100
메인 PC		2	5		10					10
계측기		14	10		20	120				140
케이스 제작		15	5		15	60				75
잡기재		3	2		2	2	2			6
통신장비		1	1		1					1
연구시설·장비 및 연구재료비 합계					172	326	302			800

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역(원격 모니터링 및 제어시스템 개발)>

(단위: 억 원)

구분	내역	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
연구활동비	전문가 활용비, 회의비 등	20	30	30	30	20	20	150
연구수당	인건비의 15% 이하	51	92	92	72	41	32	380
간접비	직접비의 10% 이하 수준	34	78	94	60	28	21	315
소계		105	200	216	162	89	73	845

<과제 카드(원격 모니터링 및 제어시스템 개발)>

세부과제명	남극 내륙기지 원격 모니터링 및 제어 시스템 개발	
연구개발 목적	○ 남극 내륙기지 최적 생활 환경 유지를 위한 모니터링 및 제어 시스템 개발	
연구개발 목표	○ 남극 내륙기지 생활환경 모니터링 및 제어 시스템 구축 ○ 디지털 트윈 기반 기지 생활환경 데이터 모니터링 및 제어 S/W 개발 ○ 남극 내륙기지의 위치 및 자세 안정성 분석 및 평가 모델 개발	
연구개발 필요성	○ 남극 내륙기지는 극한의 자연환경으로 안정적인 기지 운영과 인명 보호를 위해 실내외 생활환경을 자동으로 모니터링하고 제어 할 수 있는 시스템 개발이 필요 ○ 극한의 외적 환경에 노출된 남극 내륙기지의 구조 안전성 평가 및 이상 상태의 평가를 통해 기지 안전 확보	
기술동향	○ 최근 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 원격 통신 및 자율 제어 기술의 발전을 통해 모니터링 시스템이 빠르게 진화하고 있음 ○ 구조상태 계측 등 최첨단 센서 등을 적용한 모니터링 시스템이 대규모로 채용되고 있으며, 이를 위한 디지털 트윈(DT) 기술이 많은 부분에서 개발 적용되고 있음	
연구개발 내용	○ IoT 기반 남극 내륙기지 생활환경 모니터링 및 제어 시스템 개발 - 남극 내륙기지 생활환경 모니터링 장치 조사 및 분석 - 남극 내륙기지 생활환경 모니터링 및 제어 장치 설계 - 남극 내륙기지 생활환경 모니터링 및 제어 장치 개발 - 남극 내륙기지 생활환경 모니터링 및 제어 장치 시범 운영 - 남극 내륙기지 생활환경 모니터링 및 제어 장치 고도화 - 수집 데이터 기반 최적 효율 계산 시뮬레이션 모델 개발 ○ 디지털 트윈 기반 남극 내륙기지 생활환경 데이터 모니터링 및 제어 S/W 개발 - 남극 내륙기지 생활환경 데이터 디지털 트윈 시각화 기술 개발 - 기지 생활환경 데이터 모니터링 SW 설계 - 기지 생활환경 데이터 연계 및 제어 기술 개발 - 기지 생활환경 데이터 모니터링 시스템 개발 - 기지 생활환경 데이터 제어 서비스 기능 개발 - 남극 내륙기지 환경 데이터 연계 및 시범 운영 - 기지 위치 및 자세안전 분석 및 평가 모델 개발	
연구 추진전략	○ 기획, 기술개발, 시스템 통합, 현장 검증 등 단계별 명확하게 추진하여 각 단계에서 필요한 기술적 요소를 검증하고 개선함	
연구 추진체계	○ (출연연/기업/시험기관) 내륙기지 환경 데이터 맞춤형 모니터링 및 제어 시스템 구축 및 성능평가	
연구개발 기간	총연구기간	총예산

및 소요예산	6년	40억 원
최종 성과물 (정성·정량적 성과)	○ 내륙기지 맞춤형 환경 데이터 모니터링 및 제어 시스템 ○ 내륙기지 구조 모듈의 구조상태 모니터링 시스템 ○ 소프트웨어 인증 1건 등	
연구개발성과 의 활용방안 및 기대효과	○ 극지 내륙기지의 실시간 생활환경 모니터링 및 제어를 통해 기지 운영 및 안정적 생활환경 유지 기여 ○ 환경 데이터 모니터링과 제어 기술을 통해 자원의 효율적인 사용으로 에너지 및 운영 비용 절감 ○ 구조상태 데이터 기반 모니터링과 경보체계를 통해 기지 모듈 안전 운영 및 대원 안전 확보	

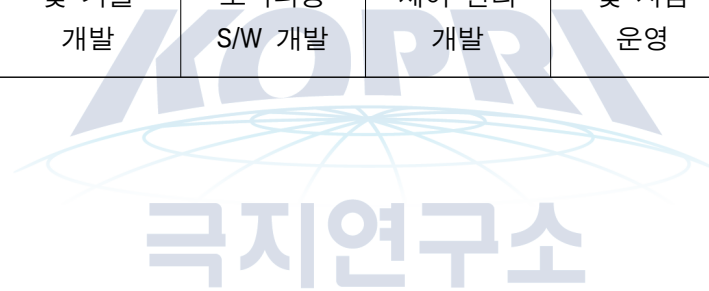


3. 세부과제1 연구개발 로드맵

<연구개발 로드맵(세부과제1)>

세부과제	주요 연구활동	1차년도 (2027)	2차년도 (2028)	3차년도 (2029)	4차년도 (2030)	5차년도 (2031)	6차년도 (2032)	산출물	목표성능
1-1 이동식·정 주식 내륙기지 모듈 개발	이동식 모듈 제작	모듈 기본설계	모듈 실시설계 및 시제품 성능평가	숙소모듈 4동 및 발전모듈 1동 제작	숙소모듈 1동 및 연구모듈 2동 제작	현장 조립	현장 운영	숙소모듈 5개 연구모듈 2개 발전모듈 2개 공용모듈 4개 친환경 모듈 2개 의료모듈 1개 하부구조물 1기	· 총 40명이 5 개 월 간 체류 가능 한 남극내 륙기지 모듈 제작
	정주식 기반 모듈 제작	모듈 기본설계	모듈 실시설계	시제품 성능평가	공용모듈 2동 (4모듈) 제작	친환경 모듈 및 의료모듈 3동 제작	현장 조립 및 운영		
	하부 구조물 제작	-	기본설계	실시설계 및 시제품 성능평가	하부 구조물 1기 제작	현장 조립	기지 구축 완료		
1-2 남극 내륙기지 건설을 위한 운송 및 현장 구축 개발	장보고기지 모듈 해상운송	하부셀매 4대	하부셀매 4대	하부셀매 2대 기지모듈 5동	하부셀매 2대 기지모듈 7동 하부구조물 1기	하부셀매 2대 기지모듈 3동	-	-	· 심부빙 하 시추 연구 캠프 32명 체류 · 남극내륙 기 지 8 명 체류 및 친 환 경 시 스템 운영
	남극내륙 모듈 육상운송	-	-	-	기지모듈 5동	기지모듈 6동 하부구조물 1기	기지모듈 4동	-	
	현장구축 및 유지관리	-	-	-	심부빙하 시추거점 연구캠프 구축	남극내륙기지 기반시설 구축	남극내륙기지 친환경시스템 구축	남극내륙기지 기반시설/ 심부빙하시추 연구캠프	

1-3 남극 내륙기지 원격 모니터링 및 제어 시스템 개발	남극 내륙 기지 모니터링 및 제어 장치 개발	모니터링 및 제어 장치 기초 설계	개발 환경 구축 및 설계 고도화	모니터링 및 제어 장치 개발	모니터링 및 제어 장치 최적화	남극 내륙 기지 현장 적용 및 시범 운영	모니터링 및 제어 시스템 고도화	IoT 제어 디바이스 및 SW, 시뮬레이션 모델	남극 기지 모니터링 및 원격 제어 시스템 구축
	남극 내륙기지 생활환경 데이터 모니터링 S/W 개발	기지 생활환경 데이터 모니터링 S/W 설계	기지 생활환경 데이터 연계 및 기술 개발	기지 생활환경 데이터 모니터링 S/W 개발	기지 생활환경 시스템의 제어 관리 개발	기지 생활환경 데이터 연계 및 시범 운영	모니터링 및 제어 S/W 고도화	남극 내륙기지 환경 데이터 모니터링 S/W	극지 환경 데이터 모니터링 및 제어 기술 확보



제3절 (세부과제2) 남극내륙 친환경 기지 운영시스템 구축

1. 세부과제2 개요

<세부과제2 요약표>

세부과제명: 남극 내륙 친환경 기지 운영시스템 구축							
개념	- 극한지 에너지 효율 극대화 및 친환경 운영을 위한 시스템 구축						
범위	- 남극내륙기지의 화석연료 발전량 30% 대체 가능 재생에너지 공급 시스템 구축 - 남극내륙기지 내 생활폐수 재활용 비율 50% 이상의 통합 물관리 시스템 구축 - Tier 4 기준을 충족하는 남극내륙기지 대기오염물질 저감 시스템 구축						
핵심 성과물	- 남극내륙기지 친환경 운영 시스템						
세세부과제 구성 및 주요 내용							
세부과제명	목표 성능				TRL 단계 (목표)	연구기간	
(2-1) 재생에너지 활용시스템 구축	- 남극 내륙기지 화석연료 발전량 30% 대체 가능 재생에너지 공급 시스템 구축 - 남극 내륙기지 하이브리드 전력망 최적 운영 기술 확보				7	5년	
(2-2) 극지환경 맞춤형 친환경 수처리 시스템 구축 및 운영기술 개발	- 용설 시스템 친환경 에너지 자립률 30% 이상 - 정수처리 공정 농축수 무방류 목표 - 재이용수 활용 비율 50% 이상 - 소변 분리 70%, 소변 농축 30% 이상 - 통합 물관리 시스템 구축 및 모니터링 기술 확보				7	5년	
(2-3) 극지 환경 대응 발전 시스템의 유해물질 저감 기술 개발	- 친환경 발전 유해물질 저감기술 * PM2.5 95%, NOx 90% 이상 제거 * Tier 4 충족 (PM 0.02, NOx 0.4 g/kW·hr)				7	4년	
예산 및 인력 투입계획(2-1)							
구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	합계
인력 투입계획	책임연구원	3	5	5	3	1	17
	연구원	4	8	8	4	3	27
	연구보조원	4	5	5	4	2	20

	소계	11	18	18	11	6	64
예산 투입계획 (억 원)	정부	6.0	15.0	15.0	7.0	2.0	45.0
	소계	6.0	15.0	15.0	7.0	2.0	45.0
예산 및 인력 투입계획(2-2)							
구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	합계
인력 투입계획	책임연구 원	2	2	2	2	2	10
	연구원	3	3	3	3	3	15
	연구보조 원	3	3	3	3	3	15
	소계	8	8	8	8	8	40
예산 투입계획 (억 원)	정부	7.5	12.5	10.5	6.5	4.0	45.0
	소계	7.5	12.5	10.5	6.5	4.0	45.0
예산 및 인력 투입계획(2-3)							
구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	합계
인력 투입계획	책임연구 원		2	2	2	2	8
	연구원		4	4	4	4	16
	연구보조 원		5	5	5	5	20
	소계		11	11	11	11	44
예산 투입계획 (억 원)	정부		10.0	10.0	10.0	10.0	40.0
	소계		10.0	10.0	10.0	10.0	40.0

2. 과제 구성 및 주요 내용

<세부과제2 세부과제 구조>

세부과제	연구 목표
(2-1) 재생에너지 활용시스템 구축	남극 내륙기지 화석연료 사용의 30%를 대체가능한 재생에너지 기반 에너지 공급 시스템 및 최적 운영 기술 개발
(2-2) 극지환경 수자원 재활용 시스템 구축 및 운영기술 개발	고립된 극지환경에서 안정적이며 고품질의 수원을 제공하고, 인간의 활동에 따른 발생 폐기물을 자체 처리를 통해 무방류, 무배출을 목표로 하는 친환경 수처리 시스템을 구축하고 최적 운영기술을 개발하는 것을 목표로 함.
(2-3) 극지 환경 대응 발전 시스템의 유해물질 저감 기술 개발	극지 환경 발전 시스템의 오염 배출 저감 기술 개발 * 재생형 초미세먼지 저감 시스템 개발 (PM2.5 95% 이상) * 질소산화물 저감 시스템 개발 (NOx 90% 이상) * Tier 4 이상 배기 규제 만족

<세부과제2 연구설계도>

목표 성능	주요 연구활동	산출물	TRL
(2-1) 재생에너지 활용시스템 구축	- 남극 내륙 기지 후보지 환경 데이터 기반 재생에너지 전력 시스템 설계 - 시뮬레이션 프로그램을 이용한 기초 설계 데이터 도출	남극 내륙기지 전력시스템 구성도	7
	- 남극 내륙 환경을 고려한 P-HILS(Power Hardware In the Loop Simulator)기반 사전검증 테스트베드 개발	전력시스템 사전검증 테스트베드	7
	- 극한 환경에서의 재생에너지 시스템 주요 장비 기능·성능 및 내구성 확보 기술 개발	극한 환경 재생에너지 시스템	7
	- 시뮬레이션 모델을 이용한 상황별 최적 운영계획 수립 - 재생 에너지원과 저장 시스템에 대한 최적 조합 연구	시나리오별 시뮬레이션 모델	7
	- 남극 내륙기지 하이브리드 전력시스템 최적 운영 기술 개발	전력운영 제어시스템	7
(2-2) 극지 맞춤형 친환경 수처리 시스템	- 에너지 저감형 응설 시스템 설계 및 운영기술 개발	에너지 저감형 응설 시스템	7

구축 및 운영기술 개발	- 안전한 음용수 공급을 위한 정수처리 시스템 설계 및 운영기술 개발	극지 맞춤형 정수처리 시스템	7
	- 폐수 재이용 공정 시스템 설계 및 운영기술 개발	극지 맞춤형 폐수 재이용 시스템	7
	- 자원순환형 소변 분리 및 농축 시스템 설계 및 운영기술 개발	소변 분리 및 농축 시스템	6
	- 시스템 제어 및 모니터링을 위한 스마트 물관리 시스템 구축	통합 물관리 시스템	7
(2-3) 극지 환경 발전 시스템의 오염 배출 저감 기술 개발	- 극지 극한 환경용 초미세먼지/질소산화물 저감 시스템 개발 • 필터 시스템 구성 요소 개발 • 작동 온도, 연료 대응 구성 재질 선정 • 극지 운전 조건 대응 최적화	극지 환경 발전용 초미세먼지/질소산화물 저감 장치	7

1) 재생에너지 활용 시스템 구축

(1) 개념 및 범위

□ 연구개념

- 친환경 남극내륙기지 운영을 위한 극한지용 재생에너지 공급 시스템 개발
 - 벨기에를 필두로 호주, 중국, 미국, 영국, 독일 등 주요 남극 연구 국가에서 남극기지 친환경 운영 시스템 개발 진행 중
 - 최근 남극조약 협의당사국 회의 등 국제사회에서 신규 극지 인프라 구축 시 친환경 운영에 대한 암묵적인 공감대 형성
 - 남극 내륙기지는 지구상에서 가장 극한의 환경 중 하나로, 낮은 온도, 강풍, 눈보라 등의 극한 조건 속에서 운영되기 때문에 신뢰성과 안정성 높은 전력시스템이 요구됨.
- 남극내륙기지 화석연료 발전량의 30%를 대체할 수 있는 재생에너지 공급 시스템 구축
 - 현재 운용 중인 각국의 남극 내륙기지는 대부분 에너지를 화석연료에 의존
 - 최근 친환경 운영에 대한 중요성이 부각되고 기술 수준이 높아지면서 주요 남극 연구 국가에서 남극기지에도 친환경 운영 시스템을 적용하려는 움직임이 나타남.
 - 이러한 추세에 맞추어 내륙기지에서도 재생에너지를 활용하여 화석연료 사용을 30% 이상 줄이는 도전적인 목표 설정

- 남극 내륙의 극저온, 눈보라, 강풍과 같은 극한 환경에서 신뢰성 있게 구동되는 재생에너지 시스템 필요
 - 재생에너지 시스템에 사용되는 주요 상용품들은 대부분 일상적인 환경을 기준으로 개발되어 극지와 같이 극한 환경에서 사용하기 위해서는 추가적인 보완 및 기술개발이 선행 필요
 - 신규 개발하는 친환경 에너지 기술에 대해 국내에서 시뮬레이션과 테스트베드를 활용한 충분한 검증 수행
- 디젤발전기와 재생에너지를 연계한 하이브리드 전력망 최적 운영기술 개발
- 남극과 같이 날씨 변동이 심한 지역에서의 재생에너지 사용 비중이 높을수록 전압, 주파수 등 전력 공급 등에 변동 초래
 - 변동성이 높은 전력망에서는 배터리와 같은 에너지 저장 장치를 이용하여 수요와 공급의 불일치를 완화할 수 있으며, 최근에는 수소 저장 또한 새로운 옵션으로 활용할 수 있으므로 이에 대한 최적 운용 기술 개발
 - 생산된 에너지 사용을 최적화하기 위해 다른 에너지 형태로 변환 저장하거나 유연하게 소비할 수 있는 시스템 구축 필요
 - 예를 들어 잉여 에너지를 사용한(얼음, 눈 등) 담수 생산 혹은 온수 저장 탱크의 온도를 유지하는 등 시스템이 최대한 효율적으로 작동할 수 있는 전력망 및 운영 시스템 개발
 - 남극내륙기지의 전력계통의 신뢰성 및 안정성을 유지하면서 재생에너지의 효율성과 신뢰성을 극대화하고 디젤발전기와의 원활한 연계를 위한 통합 시스템 설계 요구
 - 남극의 극한상황에서 전력시스템의 안정적인 운영이 되도록 우선순위, 동적 부하 분배, 비상상황 대처 등 다양한 상황에 대한 대응능력이 확보된 기술
 - 디젤 발전기의 비효율적 가동(저부하 운전 등)을 방지하고, 재생에너지와의 균형적 운영을 통해 친환경에너지 모델 제시 및 탄소배출저감 효과 실현

(2) 기존 기술의 한계와 극복 방안

□ (기술적 한계1) 극한 환경에서의 재생에너지 발전장비 파손

- 남극의 강설, 강풍, 극저온과 같은 극한 환경이 태양광 패널 운영에 부정적인 영향 초래
- 바람으로 인하여 태양광 패널 앞에 눈이 쌓여 패널을 덮는 경우, 강한 돌풍에 의해 얼음이나 자갈이 패널에 부딪혀 패널이 파손되거나 보호 유리가 손상되면서 전력 생산량이 감소하는 사례 발생

- 남극의 낮은 온도와 기후 조건은 풍력 터빈의 오일, 유압 셀, 기어박스, 블레이드 등에 손상을 입힐 수 있으며 이를 예방하기 위해서는 유지 관리 비용이 많이 소요
- 결빙이 형성되면 기계 부품의 냉각 통로를 막아 제품의 과열 또는 오작동을 유발하거나 녹은 눈이 제품 내부로 유입되어 전기 단락 등의 문제를 일으킬 수 있음
- 결빙은 풍력 터빈 로터의 불균형을 초래하여 진동을 발생시키고 터빈의 내구성에 부정적인 영향을 미칠 수 있음
- 낮은 기온은 일반적으로 재료 특성에 상당한 영향을 미치며 결빙과 같은 다른 영향을 초래하여 풍력 블레이드에 진동을 초래할 수 있으며 이러한 진동은 공진을 일으켜 블레이드를 완전히 파괴하는 결과로 이어질 수 있음

□ (기술적 한계2) 에너지 생산과 수요의 불일치

- 남극은 백야와 극야의 극단적인 계절변화와 돌풍 등의 갑작스러운 기상 변화로 인하여 재생에너지 생산이 일정치 않으며 수요 또한 기지 체류 인원이나 연구 활동, 소비 패턴 등에 따라 불규칙적이므로 에너지 생산과 수요의 불일치 발생
- 이러한 생산과 수요의 불일치를 대처할 방안으로는 배터리와 같은 에너지 저장 장치를 이용하여 잉여 에너지를 저장하는 방법이 있으나 남극의 저온 환경에서는 배터리의 저장 효율이 떨어지거나 동작하지 않는 경우도 발생하기 때문에 향상된 에너지 저장 기술 개발 필요

□ (기술적 한계3) 운송 및 건설 인프라 활용 제한

- 남극과 같은 극지에서 사용할 수 있는 운송 장비 또는 건설 기계는 제한적이기 때문에 사용할 수 있는 장비에 따라 운송하거나 설치할 수 있는 전력 장비의 크기나 부피가 제한됨
- 남극 내륙으로 장비를 운송하기 위해서는 썰매에 장비를 싣고 설상차로 견인하거나, 경비행기를 이용하여 운송할 수 있으나 두 가지 방법 모두 운송할 수 있는 장비의 크기와 무게에 제한이 있으며 운송 가능한 경우라 하더라도 비용이 과도하게 발생할 수 있음
- 남극 내륙에서 활용 가능한 자재나 장비는 제한적이기 때문에 남극 내륙에서의 건설 프로젝트는 모든 것이 세부사항까지 잘 계획되어야 하며 설치되어야 하는 장비들 또한 현지 활용 가능한 인프라들을 고려하여 계획 수립 필요

□ (극복 방안1) 남극 환경을 고려한 장비 보호 기술 개발

- 남극 환경에서 신뢰성 있게 동작할 수 있는 재생에너지 발전 장비 개발
- K 루트 탐사를 통해 획득한 남극 내륙 기초 환경 자료들을 토대로 장비 설치 환경에 대한 분석 및 목표 사양 설정

- 기존 상업용 장비에 추가 개발이 필요한 기술 식별 및 관련 기술 개발
- 세부적인 장비 보호 기술은 표 5-45 참조

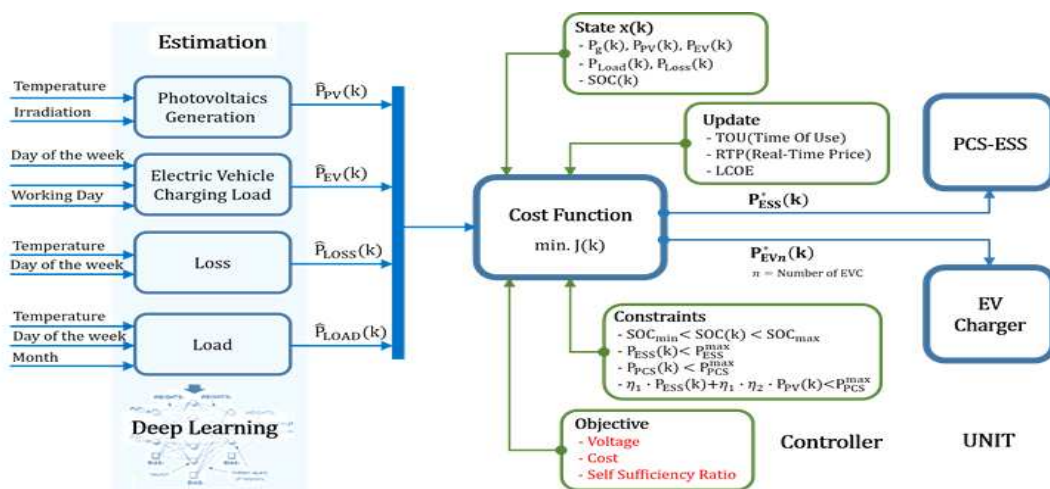
<장비 보호 기술>

	문제점	해결방안	설명
풍력	윤활유 변형	구동부 최소화 (예: 기어박스를 없앴 터빈 구조)	낮은 온도로 인하여 오일이나 유압유 같은 윤활유의 점도가 높아지며, 이로 인해 움직이는 부품에 윤활유가 공급되지 않아 고장 발생. 구동 부품을 줄이는 설계를 통해 이러한 현상 예방 가능
	블레이드 결빙	코팅	블레이드에 얼음이 형성되면 공기 역학이 바뀌고 터빈 효율이 감소. 다양한 수동적 또는 능동적 결빙 방지 방법을 사용할 수 있음. 수동적 방법은 외부 전원이 필요하지 않지만 효율성이 떨어짐. 따라서 결빙 발생 가능성을 줄이기 위해 권장 능동적 방법은 외부 전원이 필요하지만 더 효율적이므로 결빙의 잦은 발생이 예상되는 상황에서 권장
	결빙에 의한 환기 차단	설계, 가열	눈에 의해 환기구가 막혀 시스템 과열될 수 있음. 개구부의 최적 설계 및 위치 설정으로 위험을 줄일 수 있음. 난방 시스템은 환기구를 확보하는데 도움.
	진동	상황별 설계	진동은 설계 문제, 높은 풍속 및 급격한 풍향 변화와 같은 여러 요인으로 인해 발생
태양광	주변 적설	마운팅 위치	패널 장착 방법에 따라 패널의 지면으로부터의 유격을 확보하는 방식으로 적설에 의한 문제를 줄일 수 있음
	패널 위 적설	마운팅 각도, 나노 코팅	고위도 지역일 수록 패널 설치 각도를 크게 해야 효율이 향상되며, 눈이 아래로 흘러 내리게 하는데 유리. 나노 코팅은 눈의 패널 접착성을 줄여 패널에 얼음과 눈이 쌓이는 것을 완화
	파손된 보호 유리	견고한 보호 유리, 나노 코팅	견고한 보호 유리를 갖춘 패널을 선택해야 하며, 최근에는 보호 유리를 강화하기 위한 나노 코팅 기술이 개발 중

□ (극복 방안2) 에너지 저장 방법 다양화 및 에너지 관리 최적화 시스템 개발

○ 다양한 잉여전력 저장방법 연구 및 시설 구축

- 재생 에너지의 비율이 높은 하이브리드 전력망의 경우 수요보다 더 많은 전기를 생산할 수 있기 때문에 잉여 전력에 대한 처리 기술 개발
- 발전된 전기를 가장 가치있는 형태로 먼저 사용하고 저장하고, 그래도 남은 전기를 다른 유용한 형태로 변환할 수 있는 계단식 시스템 개발
- 남극 기지에서 에너지 소비가 가장 많은 분야는 난방, 온수, 제설 등과 같이 열을 이용하는 경우가 많기 때문에 전기를 열과 같은 다른 형태의 에너지로 저장하고 소비할 수 있는 방안에 대한 연구 수행
- 재생 에너지로 발전된 전력 중 남은 전력을 이용하여 물에서 수소를 분리해내고 이를 저장하고 활용할 수 있는 수소 연료 시스템에 대한 연구 수행



<재생에너지 발전량과 수요량 및 제약조건을 고려한 에너지 분배 최적화 알고리즘>

○ 에너지의 수요와 공급을 적절히 관리하여 에너지 사용효율을 최적화 할 수 있는 운영시스템 개발

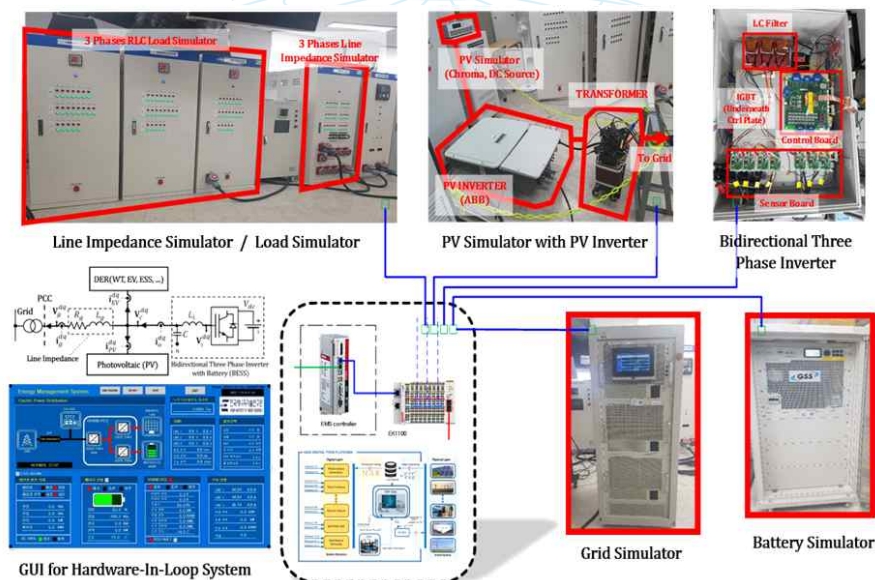
- 딥러닝 기반으로 남극 내륙기지에서의 재생에너지 발전량과 수요량을 예측하여 에너지를 효율적으로 분배하고 제어할 수 있는 운영 시스템 개발
- 우선선위 기반의 계층형(hierarchical) 제어시스템 구조를 기반으로 제약조건을 고려한 최적화기법을 이용하여 비용함수를 통해 최적의 에너지운영 시스템 개발
- 남극내륙기지의 전체 운영시스템 및 각 장치별로 State-machine을 구성하여 제어 구조를 명료하게 하여 유지보수 및 최적화가 용이하도록 함
- 운영시스템의 비상상황(시스템 Fault, 통신장애 등)에 대비해서 안정적인 운영이 되

도록 신뢰성의 확보를 위해 Redundancy를 적용

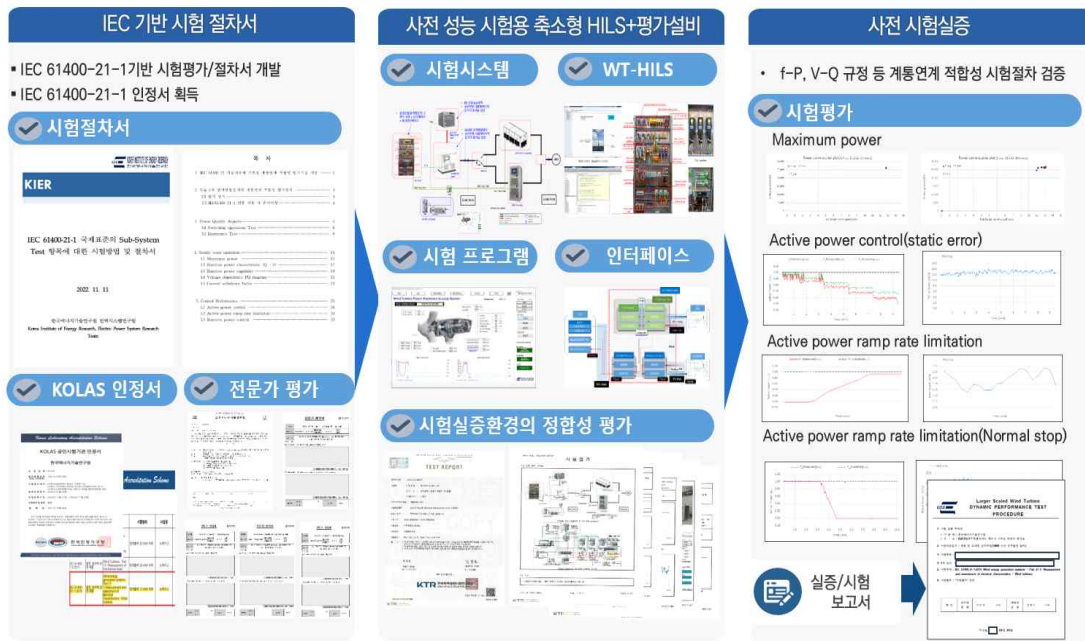
□ (극북 방안3) 국내에서 남극 내륙에서의 다양한 상황을 시뮬레이션하고 시험할 수 있는 테스트베드 개발

○ 남극환경에서 구동하는 장비들의 신뢰성을 확보하기 위하여 국내에서 다양한 테스트를 진행할 수 있는 테스트베드 개발

- 남극 내륙기지 환경을 모사한 P-HILS(Power-Hardware In the Loop Simulator) 개발
 - P-HILS를 활용한 운용 알고리즘 개발 및 다양한 시나리오(부하패턴, 생산패턴 등)별 사전검증 수행
 - 남극내륙 현지 측정데이터와 P-HILS간 연동 프로세스 확립 및 최적 운영을 위한 지속적인 로직 및 파라미터 최적화 수행
- IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 시험절차서 개발
 - 관련된 IEC 국제표준에 기반한 주요 시험항목 선정
 - 에너지시스템의 성능 검증을 위한 시나리오 수립 및 성능지표 개발
 - IEC 국제표준에 기반한 주요 시험항목에 대한 시험절차서 개발



<남극 내륙기지 환경을 모사한 P-HILS 구성도(예시)>



<IEC 국제표준에 기반한 시험절차서 및 성능검증 프로세스(예시)>

(3) 연구개발 상세 계획

□ 주요 연구개발 내용

- 재생에너지 기반의 계통독립형 에너지시스템 오프라인 시뮬레이션 모델 개발
 - 장시간 운전 특성분석 및 과도상태 분석을 위한 Dual 시뮬레이션 모델 개발
 - 에너지시스템의 장시간 운전 특성 분석을 위한 Phasor 기반의 시뮬레이션 모델 개발
 - 과도상태 분석을 위한 EMTDC(Electromagnetic transient including DC)기반의 시뮬레이션 모델 개발
 - 시뮬레이션 주요 시나리오 정의 및 최적 운영계획 수립
 - 장시간 및 단시간의 각종 전력데이터와 다양한 파라미터의 변화에 따른 성능지표 분석을 통한 모델최적화 수행
- 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템 기반의 계통독립형 에너지 시스템 개발
 - 남극내륙기지의 발전량 및 부하량과 각종 제한조건을 고려한 최적의 에너지 믹스 도출
 - 설치예정인 남극내륙기지의 주요 장비 및 기지운영 등 전체의 부하량을 이벤트별 및 계절별로 시계열 분석

- 분석된 전체 부하량을 기반으로 기저 발전량 및 순간적 수요 대응형 발전량 등으로 구분하여 에너지 자원의 구성 및 용량선정
- 특정 이벤트(발전원의 고장, 특정 부하량 증가 등)를 고려하고 신뢰성 높은 전력시스템 구성
- 에너지시스템 및 주요 장비 및 장치의 사양선정
- 장비 및 장치의 운전환경(온도, 습도 등) 및 주요 요구조건도출(정격용량, 전압, 전류, 보호 장치, IP등급, 인터페이스 등)
- 에너지시스템의 상위 장치와 통합연동을 위한 호환성 확인
- 다양한 대체 가능한 장비 및 장치로 사양 선정 고려
- 에너지시스템 통합을 위한 통신인터페이스 및 프로토콜 설계 및 구현
- 발전원 및 부하원과 각종 측정 장치의 최적의 통신주기 선정 및 인터페이스 연계 운영
- 외부 노이즈 및 온도변화에 강건하고 장거리 통신이 가능한 인터페이스 설계
- 에너지시스템 통합을 위한 장치별 주요 프로토콜 설계 및 구현
- 에너지시스템의 최적제어를 위한 제어시스템 아키텍처 설계 및 구현
- 우선선위 기반의 계층형(hierarchical) 제어시스템 구조 설계 및 구현
- 전체 운영시스템 및 각 장치별 State-machine 설계 및 구현
- 에너지시스템의 운영 목적 달성을 위한 비용함수 설계 및 구현
- 실시간 연산이 가능하고 제약조건을 고려한 최적화기법 기반의 비용함수 개발
- 제어시스템의 신뢰성 증대를 위한 Redundancy 설계 및 적용
- 통합 운영을 위한 전력망 모니터링 시스템 개발(LOCAL 운영제어)
- 데이터 기반 계통 사고 예측 및 설비 이상 진단 알고리즘 설계 및 구현
- 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템 시운전 및 실증
- 주요 전력 장비 및 측정 장치와 에너지시스템 통합 제어장치 간 연계 시운전
- 정상상태에서 계층형 제어시스템에 따른 각 운전 모드에서 에너지시스템 응답특성 시험 및 분석
- 각종 이상상태(최저연료량 감지, 최대출력초과, 비상정지 포함)에 대한 에너지시스템 응답특성 시험 및 분석
- 남극내륙기지 에너지시스템의 상시 운영을 통한 실증 수행

- 정상상태 및 이상상태에서의 운전특성 분석 및 상시적인 S/W 업데이트 실시
- P-HILS를 활용하여 최적 운영을 위한 지속적인 주요 제어파라미터 최적화 수행
- 신뢰성 증대를 위한 제어시스템의 및 에너지시스템 고도화
- 상시 운전을 통한 결과분석을 통해 에너지시스템의 제약조건 및 비용함수 튜닝
- 전체 운영시스템 및 각 장치별 State-machine 최적화 및 Redundancy 최적화
- 에너지시스템의 연계 장비, 장치 및 시스템 fault 등 운전특성 분석을 통해 시스템 가동률 향상방안 연구
- 남극내륙기지 에너지시스템의 상시 운영을 통한 H/W 및 S/W 최적화
- 남극내륙 현지 측정데이터와 P-HILS간 연동 프로세스 확립 및 최적 운영을 위한 지속적인 로직 및 파라미터 업데이트 실시
- 에너지 시스템 내 빈번히 발생하는 Fault 및 예방정비를 통한 유지보수 프로세스 확립
- 에너지시스템의 최적제어를 위한 제어시스템 적용 및 결과분석
- 우선선위 기반의 계층형(hierarchical) 제어시스템 시운전 및 결과분석
- 실시간 연산이 가능하고 제약조건을 고려한 최적화기법 기반의 비용함수 적용
- 현장 실증을 통한 계통독립형 에너지시스템의 Track-record 확보
- 남극내륙기지 에너지시스템의 상시운전을 통한 디젤, 재생에너지를 포함한 발전량과 각종 부하량의 실측 데이터 확보
- 남극내륙기지 에너지시스템의 상시운전을 통한 디젤, 재생에너지를 포함한 발전량과 각종 부하량의 실측 데이터의 지속적인 확보
- 에너지시스템의 운전 조건에 따른 각종 제어 목표량과 출력량 데이터 확보
- 계통독립형 에너지 시스템의 성능평가를 위한 P-HILS 개발
 - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 구축을 위한 기본설계
 - 주요 장비 및 장치와 시뮬레이션 모델 및 제어시스템 통합 연동을 위한 P-HILS 아키텍처 설계
 - 실시간 연산이 가능한 남극내륙기지 P-HILS용 시뮬레이션 모델 개발
 - 주요 장비 및 장치간 통신인터페이스 및 프로토콜 설계
 - P-HILS의 통합 모니터링 시스템 설계
 - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 구축 및 기본시험
 - 주요 장비 및 장치와 시뮬레이션 모델이 통합되어 실시간 처리기반의 P-HILS 구축

- 주요 장비 및 장치간 통신인터페이스 및 프로토콜 개발
- P-HILS와 최적제어 로직이 탑재된 제어시스템과 연계한 기본시험 실시
- P-HILS의 통합 모니터링 시스템 개발
- 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 고도화 및 종합시험 (시뮬레이션 모델 및 파라미터 최적화)
- 남극내륙기지의 실측데이터 피드백을 통한 P-HILS내의 시뮬레이션 모델 및 각종 파라미터의 최적화 수행
- P-HILS와 최적제어 로직이 탑재된 제어시스템과 연계한 종합시험 실시
- 흑한용 풍력 및 태양광 발전원 기반의 재생에너지 발전 시스템 개발
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 설계 및 사양선정
 - 환경조건(온도, 일사량, 풍속 등)을 고려한 최적의 재생에너지 시스템 선정
 - 재생에너지 유지보수 최소화를 위한 시스템 설계
 - 남극 내륙으로의 이동성 및 운영 안정성을 고려
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 축소 모델 개발
 - 다양한 시나리오에 의한 P-HILS와 연계한 시험실시
 - 결과 데이터 분석 및 개선방향 도출
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 현장 설치 및 시운전
 - 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 현장설치 및 시운전
 - 결과 데이터 분석 및 개선방향 도출
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 최적화
 - 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지의 부품 및 운영기술 최적화
 - 결과 데이터 분석 및 개선방향 도출
- IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 시험절차서 개발
 - IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 판정기술 개발
 - 관련된 IEC 국제표준에 기반한 주요 시험항목 선정
 - 시험방안 및 요구사항에 맞는 판정기술 개발
 - IEC 국제표준을 기반의 시험절차서 및 성능지표 개발
 - 에너지시스템의 성능 검증을 위한 시나리오 수립 및 성능지표 개발
 - IEC 국제표준에 기반한 주요 시험항목에 대한 시험절차서 개발

□ 최종 산출물

- 재생에너지 기반의 계통독립형 에너지시스템 오프라인 시뮬레이션 모델
 - 에너지시스템의 장시간 운전 특성 분석을 위한 Phasor 기반의 시뮬레이션 모델
 - 과도상태 분석을 위한 EMTDC 기반의 시뮬레이션 모델
- 남극내륙기지 재행에너지 복합 시스템 기반의 계통독립형 에너지 시스템
 - 발전량 및 부하량과 각종 제한조건을 고려한 최적의 에너지 믹스 설계안
 - 통신인터페이스 및 프로토콜 설계안
 - 에너지시스템의 최적제어를 위한 제어시스템 아키텍처 설계안
 - 에너지시스템 및 주요 장비 및 장치의 사양서
 - 남극 내륙기지 전력망 설계도
 - 에너지시스템 통합을 위한 제어시스템 (H/W, S/W)
 - 통합 운영을 위한 전력망 모니터링 시스템(LOCAL 운영제어)
 - 현장 실증을 통한 계통독립형 에너지 시스템의 Track-record 데이터
- 계통독립형 에너지시스템의 성능평가를 위한 P-HILS
 - P-HILS 구축을 위한 아키텍처 설계안
 - P-HILS 장비 및 장치간 통신인터페이스 및 프로토콜 설계안
 - 실시간 연산이 가능한 P-HILS용 시뮬레이션 모델
 - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS (H/W, S/W)
 - P-HILS를 활용한 에너지시스템의 시험보고서(기본, 종합)
- 흑한용 풍력 및 태양광 재생에너지 발전시스템
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 설계안 및 사양서
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 발전시스템
 - 재생에너지의 부품 및 운영기술 최적화 보고서
- IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 판정 기술
 - IEC 국제표준에 기반하여 선정된 시험항목별 시험절차서
 - 개발된 시험절차에 의거한 공인시험성적서

□ 연차별 연구개발 계획

- 1차 년도
 - 남극내륙기지를 위한 재생에너지기반의 계통독립형 에너지시스템 Off-line 시뮬레이션

모델 개발

- 에너지시스템의 장시간 운전 특성 분석을 위한 Phasor 기반의 시뮬레이션 모델 개발
- 과도상태 분석을 위한 EMTDC(Electromagnetic transient including DC)기반의 시뮬레이션 모델 개발
- 과거 실측데이터 및 추정데이터를 이용하여 다양한 환경조건에 대한 시뮬레이션 수행
- 시뮬레이션 주요 시나리오 정의
- 남극내륙기지 전력시스템의 주요 장비변경이 유연한 시뮬레이션 모델 개발
 - 남극의 환경에 따른 발전량 및 부하량과 각종 제한조건을 고려한 최적의 에너지 믹스 도출
- 설치예정인 남극내륙기지의 주요 장비 및 기지운영 등 전체의 부하량을 이벤트별 및 계절별로 시계열 분석
- 분석된 전체 부하량을 기반으로 기저 발전량 및 순간적 수요 대응형 발전량 등으로 구분하여 에너지 자원의 구성 및 용량선정
- 특정 이벤트(발전원의 고장, 특정 부하량 증가 등)를 고려하고 신뢰성 높은 전력시스템 구성
 - 에너지 시스템 통합을 위한 통신인터페이스 및 프로토콜 설계
- 발전원 및 부하원과 각종 측정장치의 최적의 통신주기 선정
- 외부 노이즈 및 온도변화에 강건하고 장거리 통신이 가능한 인터페이스 설계
- 에너지시스템 통합을 위한 장치별 주요 프로토콜 설계
 - 에너지 시스템의 최적제어를 위한 제어시스템 아키텍처 설계
- 우선선위 기반의 계층형(hierarchical) 제어시스템 구조 설계
- 전체 운영시스템 및 각 장치별 State-machine 정의
- 에너지시스템의 운영 목적 달성을 위한 비용함수 정의
- 실시간 운영제어 및 요구조건에 부합한 최적화기법 연구
- 전력 시스템 예방진단 및 보안방재 시스템 설계
- 통합 운영을 위한 전력망 모니터링 시스템 기본설계(LOCAL 운영제어)
 - 에너지시스템 및 주요 장비 및 장치의 사양선정
- 장비 및 장치의 운전환경(온도, 습도 등) 및 주요 전기적특성(정격용량, 전압, 전류, 보호장치, IP등급, 인터페이스 등)에 대한 기초 요구조건 도출

- 에너지시스템의 상위 장치와 통합연동을 위한 호환성 확인
- 다양한 대체 가능한 장비 및 장치로 사양 선정 고려
- 남극 내륙기지 전력망 기본설계
 - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 구축을 위한 기본설계
- 주요 장비 및 장치와 시뮬레이션 모델 및 제어시스템 통합 연동을 위한 P-HILS 아키텍처 설계
- 실시간 연산이 가능한 남극내륙기지 P-HILS용 시뮬레이션 모델 개발
- 주요 장비 및 장치간 통신인터페이스 및 프로토콜 설계
- P-HILS의 통합 모니터링 시스템 설계
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 설계 및 사양선정
- 환경조건(온도, 일사량, 풍속 등)을 고려한 최적의 재생에너지 시스템 선정
- 재생에너지 유지보수 최소화를 위한 시스템 설계
- 재생에너지의 주요 장비 기능·성능 및 내구성 확보를 위한 기초조사
- 남극 내륙으로의 이동성 및 운영 안정성을 고려한 시스템 설계
 - IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 판정기술 개발
- 관련된 IEC 국제표준에 기반한 주요 시험항목 선정
- 시험방안 및 요구사항에 맞는 판정기술 개발

○ 2차 년도

- 남극내륙기지를 위한 재생에너지기반의 계통독립형 에너지시스템 Off-line 시뮬레이션 모델 고도화
- 남극내륙기지에 선정된 장비의 사양 및 운영조건을 고려한 Phasor 및 EMTDC (Electromagnetic transient including DC)기반의 시뮬레이션 모델 고도화
- 장시간 및 단시간의 각종 전력데이터와 다양한 파라미터의 변화에 따른 성능지표 분석을 통한 모델 최적화 수행
- 시뮬레이션 주요 시나리오별 최적 운영계획 수립
- 일부 실측데이터를 시뮬레이션 모델에 반영할 수 있는 인터페이스 개발
 - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 구축 및 기본시험
- 주요 장비 및 장치와 시뮬레이션 모델이 통합되어 실시간 처리기반의 P-HILS 구축
- 주요 장비 및 장치간 통신인터페이스 및 프로토콜 개발
- P-HILS와 최적제어 로직이 탑재된 제어시스템과 연계한 기본시험 실시

- P-HILS의 통합 모니터링 시스템 개발
- 에너지시스템 및 주요 장비 및 장치 구축
- 요구조건(운전환경, 전기적요구조건, 호환성 등)에 부합되는 장비 및 장치 최종 선정
- 남극 내륙기지 전력망 상세설계
- 에너지시스템 통합을 위한 통신인터페이스 및 프로토콜 개발
- 발전원 및 부하원과 각종 측정 장치의 인터페이스 연계 운영
- 에너지시스템 통합을 위한 장치별 주요 프로토콜 구현
- 에너지시스템의 최적제어를 위한 에너지운영시스템 개발
- 우선선위 기반의 계층형(hierarchical) 제어시스템 개발
- 전체 운영시스템 및 각 장치별 State-machine 개발
- 실시간 연산이 가능하고 제약조건을 고려한 최적화기법 기반의 비용함수 개발
- 제어시스템의 신뢰성 증대를 위한 Redundancy 설계
- 에너지저장장치의 최적 충전 및 방전 알고리즘 개발
- 통합 운영을 위한 전력망 모니터링 시스템 개발(LOCAL 운영제어)
- 데이터 기반 계통 사고 예측 및 설비 이상 진단 알고리즘 설계
- 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 축소 모델 개발
- 다양한 시나리오에 의한 P-HILS와 연계한 시험실시
- 결과 데이터 분석 및 개선방향 도출
- 재생에너지의 주요 장비 기능·성능 및 내구성 확보 기술 적용
- IEC 국제표준을 기반의 시험절차서 및 성능지표 개발
- 에너지시스템의 성능 검증을 위한 시나리오 수립
- IEC 국제표준에 기반한 주요 시험항목에 대한 시험절차서 개발
- 에너지시스템의 성능 검증을 위한 성능지표 개발

○ 3차 년도

- 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 고도화 및 종합시험 (시뮬레이션 모델 및 파라미터 최적화)
- 남극내륙기지의 실측데이터 피드백을 통한 P-HILS내의 시뮬레이션 모델 및 각종 파라미터의 최적화 수행
- P-HILS와 최적제어 로직이 탑재된 제어시스템과 연계한 종합시험 실시

- 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템 현장 설치 및 시운전
 - 주요 전력 장비 및 측정 장치와 에너지시스템 통합 제어 장치 간 연계 시운전
 - 정상상태에서 계층형 제어시스템에 따른 각 운전 모드에서 에너지시스템 응답특성 시험 및 분석
 - 각종 이상상태(최저연료량 감지, 최대출력초과, 비상정지 포함)에 대한 에너지시스템 응답특성 시험 및 분석
 - 데이터 기반 계통 사고 예측 및 설비 이상 진단 알고리즘 적용
 - 통합 운영을 위한 전력망 모니터링 시스템 시운전 및 최적화(LOCAL 운영제어)
- 에너지시스템의 최적제어를 위한 제어시스템 적용 및 결과분석
 - 우선선위 기반의 계층형(hierarchical) 제어시스템 시운전 및 결과분석
 - 전체 운영시스템 및 각 장치별 State-machine 최적화
 - 실시간 연산이 가능하고 제약조건을 고려한 최적화기법 기반의 비용함수 적용
 - 제어시스템의 신뢰성 증대를 위한 Redundancy 적용
- 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 현장 설치 및 시운전
 - 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 현장설치 및 시운전
 - 결과 데이터 분석 및 개선방향 도출
 - 재생에너지의 주요 장비 기능·성능 및 내구성 확보 기술 적용 및 결과분석

○ 4차 년도

- 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템 실증
 - 남극내륙기지 에너지시스템의 상시 운영을 통한 실증 수행
 - 정상상태 및 이상상태에서의 운전특성 분석 및 상시적인 S/W 업데이트 실시
 - P-HILS를 활용하여 최적 운영을 위한 지속적인 주요 제어파라미터 최적화 수행
- 상시운전을 통한 에너지시스템의 최적제어를 위한 제어시스템 고도화
 - 상시 운전을 통한 결과분석을 통해 에너지시스템의 제약조건 및 비용함수 튜닝
 - 운전 데이터 분석을 통한 전체 운영시스템 및 각 장치별 State-machine 고도화
 - 제어시스템의 신뢰성 증대를 위한 Redundancy 최적화
- 에너지시스템의 신뢰성 증대를 위한 운영기법 개발
 - 에너지시스템의 연계 장비, 장치 및 시스템 fault 등 운전특성 분석을 통해 시스템 가동률 향상방안 연구

- 장비 및 장치간 통신인터페이스 분석을 통해 통신시스템 개선
- 현장 실증을 통한 계통독립형 에너지시스템의 Track-record 확보
- 남극내륙기지 에너지시스템의 상시운영을 통한 디젤, 재생에너지를 포함한 발전량과 각종 부하량의 실측 데이터 확보
- 에너지시스템의 운전 조건에 따른 각종 제어 목표량과 출력량 데이터 확보
- 혹한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 최적화
- 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지의 부품 및 운영기술 최적화
- 결과 데이터 분석 및 개선방향 도출

○ 5차 년도

- 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템 고도화
- 남극내륙기지 에너지시스템의 상시 운영을 통한 H/W 및 S/W 최적화
- 남극내륙 현지 측정데이터와 P-HILS간 연동 프로세스 확립 및 최적 운영을 위한 지속적인 로직 및 파라미터 업데이트 실시
- 에너지 시스템 내 빈번히 발생하는 Fault 및 예방정비를 통한 유지보수 프로세스 확립
- 정상상태 및 이상상태에서의 운전특성 분석 및 상시적인 S/W 업데이트 실시
- 현장 실증을 통한 계통독립형 에너지시스템의 Track-record 확보
- 남극내륙기지 에너지시스템의 상시운영을 통한 디젤, 재생에너지를 포함한 발전량과 각종 부하량의 실측 데이터의 지속적인 확보
- 에너지시스템의 운전 조건에 따른 각종 제어 목표량과 출력량 데이터 확보
- 실증 결과데이터 분석 및 에너지시스템 최적화 방안 연구

<연차별 예산 소요 계획(재생에너지 활용시스템 개발)>

(단위: 억 원)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	재생에너지 활용 시스템 개발	정부	9.8	39.6	14.2	11.4	7.3		82.2
		민간	0	0	0	0	0		0
	소계		9.8	39.6	14.2	11.4	7.3		82.2

<연차별 인력 투입 계획(재생에너지 활용시스템 개발)>

(단위: 명)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	재생에너지 활용시스템 개발	책임	3	5	5	3	1		17
		연구원	4	8	8	4	3		27
		보조원	4	5	5	4	2		20
	소계		11	18	18	11	6		64

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역(재생에너지 활용시스템 개발)>

(단위: 백만원)

품명	규격	수량 (식)	단가	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
내륙기지전력망 설계용역		1	150	150			50			200
전력망 인프라 구축		1	150	150	100	100	100	500		950
열병합발전기		3	500		1500		50			1,550
디젤발전기		1	200		200		50			250
에너지저장장치		1	300		300		50			350
WT시스템		8	30		120	120				240
PV시스템		1	120		120	50	20			190
측정시스템		4	5	5	5	5	5			20
통신시스템		3	10		10	10	10			30
제어시스템		1	100	100	200	200	100			600
모니터링시스템		1	100		100	100	50			250
디지털 보호계전기		1	20			20				20
전선, 스위치, 리액터, 배전설비		3	60		60	60	60			180
데이터처리 및 저장장치		3	10	10	10	10				30
인터페이스보드		10	2	10	10					20
보호장치		4	20	20		20	20	20		80
안전 및 화재 방재 시스템		4	20				80	20		100

MATLAB		6	10	20	20	10	10			60
PSCAD		3	10	10	10	10				30
Grid Simulator		1	500		500					500
P-HILS 구성품		5	20	40	20	20	20			100
연구시설·장비 및 연구재료비 합계				515	3,285	735	675	540		5,750

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역(재생에너지 활용시스템 개발)>

(단위: 억 원)

구분	내역	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
연구활동비	전문가 활용비, 회의비 등	117	38	48	51	19	0	273
연구수당	인건비의 15% 이하	40	66	66	49	16	0	237
간접비	직접비의 10% 이하 수준	55	136	136	64	18	0	409
소계		212	240	250	164	53	0	919

극지연구소

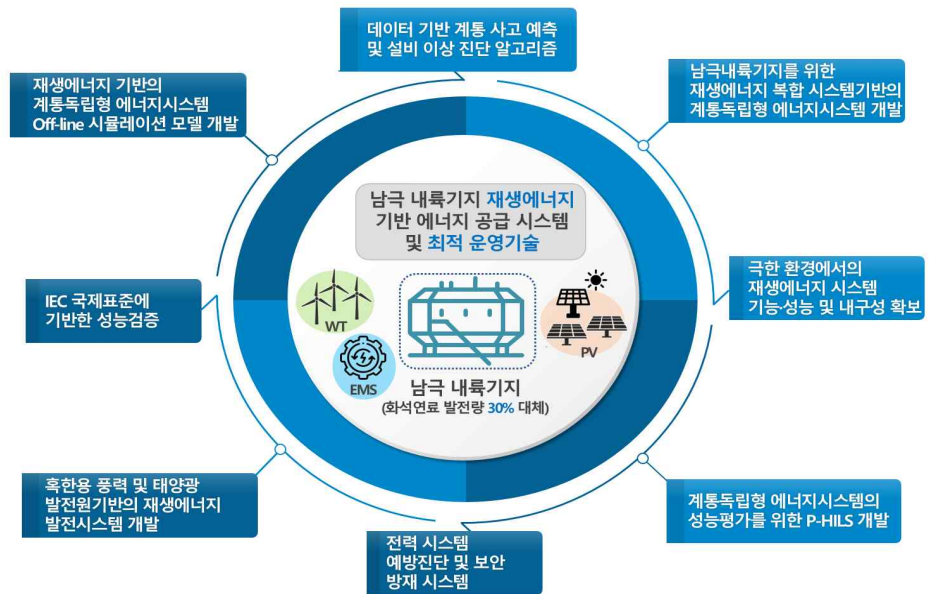
<과제 카드(재생에너지 활용시스템 개발)>

세부과제명	재생에너지 활용시스템 구축
연구개발 목적	○ 남극 내륙기지 화석연료 사용 최소화를 위한 재생에너지 기반 에너지 공급 시스템 및 최적 운영 기술 개발
연구개발 목표	○ 남극 내륙기지 화석연료 발전량 30% 대체 가능 재생에너지 공급 시스템 구축 ○ 남극 내륙기지 하이브리드 전력망 최적 운영 기술 개발
연구개발 필요성	○ 국제사회 탄소중립 정책 강화에 따라 벨기에를 필두로 호주, 중국, 미국, 영국, 독일 등 주요 남극 연구 국가에서 남극기지 친환경 운영시스템 개발 진행 중 ○ 최근 남극조약 협의당사국 회의 등 국제사회에서 신규 극지 인프라 구축 시 친환경 에너지 운영에 대한 공감대 형성됨 ○ 기존 재생에너지 시스템은 남극의 기온, 풍속 등 환경조건에 부적합하여, 그대로 사용할 경우 낮은 가동률과 고장발생률이 높을 것으로 예상됨 ○ 남극 내륙의 극한 환경에서 신뢰성 있게 구동되는 재생에너지 시스템에 대한 개발이 필요함 ○ 남극 내륙의 독립형 전력계통시스템에 재생에너지가 연계될 경우, 발전량의 변동성 증대로 인해 전압, 주파수 등 전력시스템의 안정성을 저하시킬 수 있어 전체적인 에너지관리시스템이 필요함 ○ 기지 내의 전력 생산량과 수요량(부하량)의 불일치에 따른 불균형 문제와 다양한 상황에서 현재의 상태 및 제약조건을 고려한 최적화 기반의 최적 전력에너지 분배기술 필요함 ○ 재생에너지 및 운영 기술을 남극 내륙의 현장에 설치 및 운영 전 다양한 시나리오 조건에 의해 재생에너지 및 에너지시스템 운영 기술에 대한 시뮬레이션 및 테스트베드에 의한 광범위한 사전검증이 필요함 ○ 지속적으로 남극내륙 현지의 다양한 데이터를 기반으로 유지보수 및 최적화를 수행할 수 있는 체계적인 시스템 및 프로세스가 필요함
기술동향	  <Princess Elisabeth 남극내륙기지에 설치 운영중인 재생에너지(풍력, 태양광, 태양열) 발전설비(좌) 및 에너지운영시스템(우)> ○ 벨기에의 Princess Elisabeth 남극 내륙기지는 친환경 건축 자재, 효율적인 에너지 사용, 기지의 에너지 소비 최적화 및 폐기물 관리기술이 결합된 기지임. 특히, 패스브 기술과 풍력, 태양광 그리고 태양열의 재생에너지와

	전력의 스마트그리드 기술을 통해 제로 탄소배출을 실현했다고 함. (주요 발전설비 : 88kW 디젤발전기, 54kW 풍력, 50.6kW 태양광) ○ 2010년 미국의 McMurdo Station과 뉴질랜드 Scott Base는 공동연구를 통해 330kW급 풍력터빈을 설치하였으며 다른 국가 기지의 전력망 시스템을 하나의 계통망으로 연결하여 운영되고 있음 ○ 영국의 Rothera Research Station의 경우 기지 전역에 총 92kW의 태양열발전기와 8.77kW의 태양광 PV를 설치하여 운영 중이며 2030년 까지 기지 내 탄소 중립화를 목표로 전력망 시스템을 구축하고 있음
연구개발 내용	○ 재생에너지 기반의 계통독립형 에너지시스템 Off-line 시뮬레이션 모델 개발 - 장시간 운전 특성 분석을 위한 Phasor 기반의 시뮬레이션 모델 개발 - 과도상태 분석을 위한 EMTDC 기반의 시뮬레이션 모델 개발 ○ 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템 개발 - 남극내륙기지의 발전량 및 부하량과 각종 제한조건을 고려한 최적의 에너지 믹스 도출 - 에너지시스템 및 주요 장비 및 장치의 사양선정 - 제약조건/비용함수 기반의 최적제어를 위한 제어시스템 아키텍처 설계 및 구현 - 에너지시스템 통합을 위한 통신인터페이스 및 프로토콜 설계 및 구현 - 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템 시운전 및 실증 - 에너지시스템의 최적제어를 위한 제어시스템 적용 및 결과분석 - 신뢰성 증대를 위한 제어시스템의 최적화 및 에너지시스템 고도화 - 현장 실증을 통한 계통독립형 에너지시스템의 Track-record 확보 ○ 계통독립형 에너지시스템의 사전검증 및 성능평가를 위한 P-HILS 개발 - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 구축을 위한 기본설계 (통합 연동을 위한 P-HILS 아키텍처 설계, 실시간 연산이 가능한 P-HILS 시뮬레이션 모델) - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 구축 및 기본시험 - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS 고도화 및 종합시험 (남극내륙기지의 실측데이터 피드백을 통한 P-HILS내의 시뮬레이션 모델 및 각종 파라미터의 최적화 수행, 제어시스템과 연계한 종합시험 실시) ○ 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 발전시스템 개발 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 설계 및 사양선정 - 재생에너지 발전시스템 축소 모델 개발 - 현장 설치 및 시운전 및 재생에너지 발전시스템의 최적화 ○ IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 시험절차서 개발 - IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 판정기술 개발 - IEC 국제표준을 기반의 시험절차서 및 성능지표 개발
연구 추진전략	○ 재생에너지 기반의 계통독립형 에너지시스템 Off-line 시뮬레이션 모델 개발 - 다양한 조건별로 남극 내륙기지의 전력 생산량 및 소비량 전력 패턴을 고려한 운영 시나리오 개발(발생가능한 다양한 시나리오 기반의 Case Study) - 목적에 맞는 DUAL 시뮬레이션 모델 개발 : 내륙 기지의 안정적인

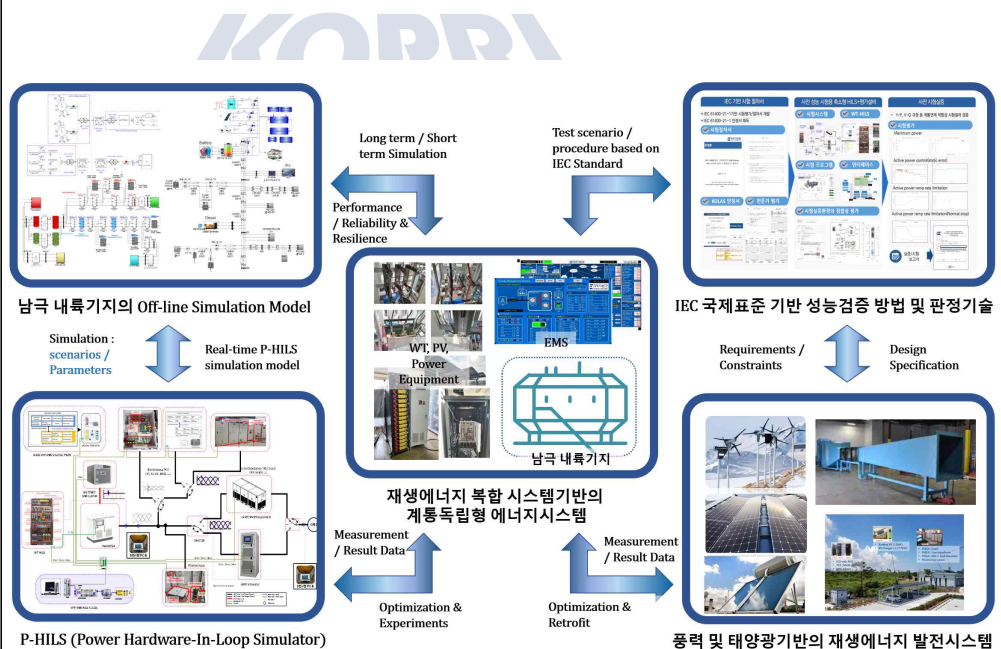
전력시스템 운영을 위해 최적의 에너지 분배 및 제어를 위한 Phasor 기반의 시뮬레이션 모델과 전력의 과도상태 분석 및 개선을 위해 EMTDC 기반의 시뮬레이션 모델

- 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템 개발
 - 전력시스템의 정상상태와 비정상상태 그리고 다양한 특수조건에서 전력을 안정적으로 운영할 수 있도록 재생에너지를 포함한 발전자원과 주요 부하 및 주변 장치를 통합 운영할 수 있는 모니터링시스템 개발(LOCAL 운영제어)
 - 현재의 상태와 보유자원의 한계를 고려하여 최적화를 위한 비용함수를 유연하게 조절하여 능동적으로 대처할 수 있는 시스템 개발
 - 남극 내륙기지의 운영환경 특성상 통신 및 제어시스템이 극한 조건에서 안정적인 운영이 필요하기 때문에 최적화된 인터페이스 및 Redundancy를 적용
 - 실증 및 상시운영을 통해 Track-record를 확보하고, 이 데이터를 기반으로 Off-line 시뮬레이션 및 P-HILS를 활용하여 에너지시스템 최적화 절차 확립
- 계통독립형 에너지시스템의 성능평가를 위한 P-HILS 개발
 - 재생에너지를 포함한 에너지시스템이 현장으로 이동하기 전, 다양한 시나리오와 시험절차에 의해 사전검증할 수 있는 시스템 개발
 - 에너지시스템의 특정 장비 및 부품에 대해 반복시험을 통해 성능 및 신뢰성 향상
 - 제어시스템의 각 기능별 시험을 통해 오동작 방지 및 최적화 수행
 - 남극 내륙기지로 인력이 투입되기전 P-HILS 장비를 통해 에너지시스템의 모니터링시스템을 포함한 운영과 유지보수에 대한 교육을 실시하여 인력양성
 - 요구조건 및 환경에 유연하게 대응할 수 있는 모듈형 P-HILS 시스템 구축
 - 사이트와 연계한 P-HILS를 통해 외부의 환경조건에 노출되어 시험이 필요한 시스템에 대해 사전검증시험이 가능하도록 시스템 구성
 - 남극 내륙기지의 현장 데이터를 활용하여 P-HILS를 연동할 수 있는 절차 확립
- 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 발전시스템 개발
 - 재생에너지 발전시스템을 내구성에 초점을 두어 유지보수 최소화 되도록 설계 및 사양을 선정하여 가동률 증대
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 축소 모델 개발하여 P-HILS 및 외부 사이트에서 종합적인 시험을 수행하여 신뢰성 확보
 - 사전시험 및 현장적용 결과데이터를 분석 및 반영하여 재생에너지 발전시스템의 부품 및 운영기술 최적화 수행
- IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 시험절차서 개발
 - 관련 IEC 국제표준을 분석하여 남극 내륙기지에 적합한 주요 시험항목 선정 및 요구사항에 맞는 판정기술 개발
 - IEC 국제표준에 기반한 주요 시험항목에 대한 시험절차서 개발
 - 남극 내륙기지의 에너지시스템의 최적화(알고리즘, 장치, 시스템 등)를 위해 시험항목 및 시험절차에 대해 지속적인 업데이트 실시

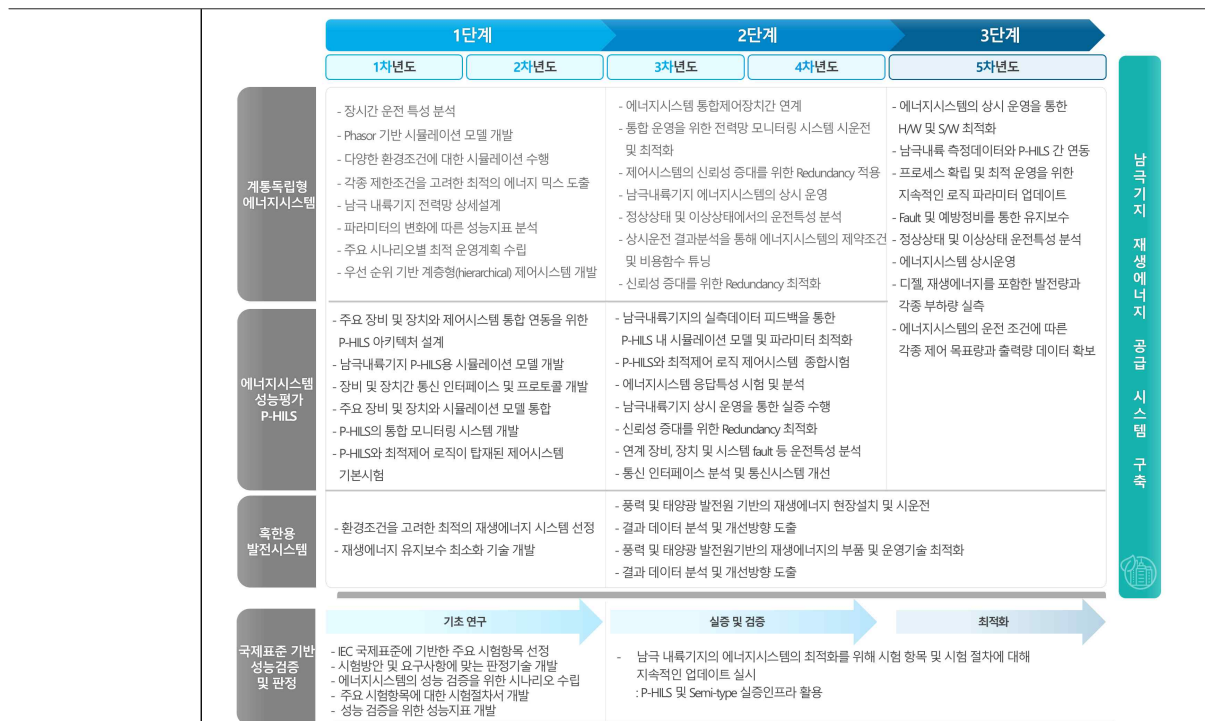


<남국 내륙기지 재생에너지 기반 에너지 공급 시스템 및 최적 운영을 위한 핵심 기술>

연구 추진체계



<남국 내륙기지 재생에너지 기반 에너지 공급 시스템 및 최적 운영개발을 위한
주요 연구목표 추진체계>



남극기지 재생에너지 공급 시스템 구축

<남극 내륙기지 재생에너지 기반 에너지 공급 시스템 및 최적 운영개발을 위한 단계별 주요 연구업무>

연구개발 기간 및 소요예산	총연구기간	총예산
	5년	45억

최종 성과물
(정성·정량적
성과)

- 재생에너지 기반의 계통독립형 에너지시스템 Off-line 시뮬레이션 모델
 - 에너지시스템의 장시간 운전 특성 분석을 위한 Phasor 기반의 시뮬레이션 모델
 - 과도상태 분석을 위한 EMTDC 기반의 시뮬레이션 모델
- 남극내륙기지를 위한 재생에너지 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템
 - 발전량 및 부하량과 각종 제한조건을 고려한 최적의 에너지 믹스 설계안
 - 통신인터페이스 및 프로토콜 설계안
 - 에너지시스템의 최적제어를 위한 제어시스템 아키텍처 설계안
 - 에너지시스템 및 주요 장비 및 장치의 사양서
 - 남극 내륙기지 전력망 설계도
 - 에너지시스템 통합을 위한 제어시스템 (H/W, S/W)
 - 통합 운영을 위한 전력망 모니터링 시스템(LOCAL 운영제어)
 - 현장 실증을 통한 계통독립형 에너지시스템의 Track-record 데이터
- 계통독립형 에너지시스템의 성능평가를 위한 P-HILS
 - P-HILS 구축을 위한 아키텍처 설계안
 - P-HILS 장비 및 장치간 통신인터페이스 및 프로토콜 설계안
 - 실시간 연산이 가능한 P-HILS용 시뮬레이션 모델
 - 계통독립형 에너지시스템 P-HILS (H/W, S/W)
 - P-HILS를 활용한 에너지시스템의 시험보고서(기본, 종합)
- 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 발전시스템
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 설계안 및 사양서
 - 흑한용 풍력 및 태양광 발전원기반의 재생에너지 발전시스템

	- 재생에너지의 부품 및 운영기술 최적화 보고서 ○ IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 판정기술 - IEC 국제표준에 기반하여 선정된 시험항목별 시험절차서 - 개발된 시험절차에 의거한 공인시험성적서
연구개발성과의 활용방안 및 기대효과	○ 풍력 및 태양광 등 재생에너지를 남극 내륙기지의 발전원으로 활용 - 친환경 기지 운영을 통한 온실가스 저감 및 점진적 재생에너지 비중을 증대시켜 제로 탄소배출 기술 개발을 추진 - 향후, 남극 대륙과 같은 청정지역의 국제공동연구시 탄소배출 제약에 대한 대비(RE100 등 전세계적 탄소중립에 대한 적극적인 흐름) - 극한 환경조건에서 내구성 및 신뢰성 높은 재생에너지 시스템 기술을 보유하여 공공 또는 민간 기업에 기술이전을 통한 기술전파와 재생에너지 분야에 대해 경쟁력 제고 ○ 재생에너지를 포함한 복합 시스템기반의 계통독립형 에너지시스템의 상시운영 - 남극의 극한 환경에서 재생에너지를 포함한 변동성 큰 발전량과 패턴이 불규칙한 부하량을 안정적으로 상시 운영함에 따라 에너지운영의 원천기술을 보유 - 고신뢰성의 독립형 에너지시스템이 필요한 우주분야 또는 국방분야에 활용이 기대됨. - 현재 각 장비와 장치의 상태, 연료량 및 재생에너지 발전량과 부하량 등 입력정보와 비용함수와 제약조건을 기반으로 하는 최적 전력망의 자동운전을 통해 높은 신뢰성 확보와 높은 가동율이 기대됨. - 남극 내륙기지의 에너지시스템의 운영을 통한 Track-record를 통해 구성품과 시스템을 성능검증과 상시운영을 통해 축적된 실측데이터를 활용하여 시뮬레이션과 관련 제품개발(공공 및 상업목적)에 적극 활용될 수 있음. ○ P-HILS 테스트베드 및 Semi-type 실증 플랫폼을 통해 사전검증 및 성능평가 수행 - 남극 내륙기지에서 발생할 수 있는 다양한 시험조건을 P-HILS 테스트베드를 통해 선제적으로 사전검증 및 성능평가를 수행하여, 에너지시스템의 현장 적용시 리스크를 최소화하고 안정화 시간 및 비용 절감 - 남극 내륙기지 파견자, 작업자, 연구자 등 인력에 대해 P-HILS 장비를 활용하여 단계별 맞춤 에너지시스템 교육을 통해 대응능력을 배양하고 숙련도 상승가능 특이, 이상상태를 모사하고 해결하는 과정을 통해 유지보수 전문인력 배출 가능 - 기지 내부 및 외부에서 다양한 환경에서 실제 설치된 통신시스템과 동일한 H/W를 P-HILS를 이용해 시험이 가능하고 반복 시험 및 분석을 통해 최적화가 가능함 - 에너지시스템의 운영관리제어기의 정상조건과 비상조건에서의 Safety 시스템에 대한 H/W적인 검증과 S/W적인 로직검증 및 최적화가 가능 - 남극 내륙기지의 장기적인 운영에 따른 내부 구성품의 고장 및 제품 단종에 따른 대체품으로의 교체 등이 발생시, P-HILS를 활용하여 기존 시스템과 호환성 및 신뢰성 시험을 사전에 수행이 가능함 - 남극 내륙기지의 에너지시스템의 상시운영간 특이사항에 대해 P-HILS로 일부는 재현할 수 있어, 정밀한 분석 및 대처가 가능함 ○ IEC 국제표준에 기반한 성능검증 방법 및 판정기술의 표준 성능지표 활용 - 관련 IEC 국제표준을 분석하여 남극 내륙기지에 적합한 주요 시험항목 선정 및 요구사항에 맞는 판정기술 기반으로 표준화된 시험성적을 통해 알고리즘 또는 시스템의 성능 및 신뢰성을 객관적인 지표로 나타낼 수 있음. - P-HILS와 Semi-type실증, 남극 내륙기지의 시험 및 결과 데이터를 기반으로 지속적으로 시험항목 및 시험절차에 대한 업데이트 가능함

1) 극지 맞춤형 친환경 수처리 시스템 구축 및 운영기술 개발

(1) 개념 및 범위

□ 개발 배경 및 필요성

○ 남극내륙 내 인간활동을 위한 물, 식량 공급 및 폐기물 순환의 중요성

- 기존의 남극 기지들(세종, 장보고 기지)과 달리 남극내륙에 위치할 남극내륙기지는 고립된 환경에 노출되어 있으며 육상운송을 통한 고중량 물류의 이송에 최소 3주 이상 소요
- 남극내륙에서 연구 활동 수행 시 고립된 환경에서도 주변 환경오염을 최소화하면서 일정 기간 동안 인간이 정주할 수 있는 공간과 인프라 필요
- 남극내륙에서 장기간 체류 시, 생존에 필요한 물, 식자재(음식)를 비롯하여 발전 설비, 생활용수 공급 설비, 체온 유지를 위한 난방 시스템, 의료 시설 및 통신 시설 등의 구축이 필수적임.
- 특히 물은 신체의 약 70% 이상을 차지하고 있어 생존과 건강에 매우 중요한 역할을 하고 있으며, 신체 내 수분 균형 유지, 온도 조절, 소화 및 영양 흡수, 신진대사 과정에 참여, 신장 및 배설 기능 등에 영향을 미치기 때문에 인간의 생존을 위해 충분한 양의 물 확보가 매우 중요
- 상수원이 제한된 남극내륙에서는 빙하를 녹여 생활용수로 사용할 수밖에 없으며, 이때 신뢰성 있는 정수처리 시스템을 사용하여 물을 깨끗하게 처리하는 것이 매우 중요
- 또한, 남극내륙의 고립된 지역에서는 식량 공급 역시 장기간 보관 가능한 동결 건조 식품 위주로 공급되기 때문에 식단이 단조롭고 영양소의 구성이 제한적
- 이러한 이유로 신선 야채에 포함된 풍부한 비타민과 미네랄 섭취가 상당히 어려우며, 이와 같이 제한적인 식단으로 공급할 경우 장기적으로 기지 대원들의 건강에 악영향 미칠 가능성이 높음
- 현재 남극내륙기지를 운영하는 선진국에서는 스마트 팜 기술을 활용하여 신선한 야채를 공급하기 위한 연구 진행 중
- 인간이 특정 공간에서 생활하게 되면 음식과 물을 섭취하게 되고 소변, 대변으로 배출하게 되는데 이는 인체 배출물로서 폐기물 처리 필요
- 남극의 깨끗한 환경을 보호하면서도 안전하고 안정적인 인간 활동을 가능하게하기 위해서는 이러한 인체 배출물이 남극 환경에 미치는 영향을 최소화해야 함
- 현재 남극조약에서는 다음과 같이 남극에서의 폐기물 처리에 대한 의무를 규정하고

있음

- 남극 전 지역에서 발생하는 폐기물은 환경에 미치는 영향을 최소화해야 하며, 남극의 자연 가치를 보전해야 함.
 - 남극에서 발생한 폐기물은 가능한 한 이를 발생시킨 국가로 반환하거나, 국제협약에 따라 처리 가능한 국가로 이동해야 함.
 - 이 때문에 남극내륙에서 활동 중 발생하는 인체 배출물은 전량 외부로 반출하여야 하나 연안지역까지 상당한 거리를 이동해야 하기 때문에 기지에서 발생하는 폐기물의 양을 최소화하고 이를 통해 반출되는 폐기물의 양도 줄여야 할 필요가 있음
 - 따라서 반출 폐기물의 양을 최소화하기 위해 기지 운영에 따른 발생 폐수 처리를 통한 재이용 및 자원순환 기술이 필요함
 - 내륙기지에서의 인간 활동으로 인해 발생하는 생활 폐수의 경우 최소한의 방류 및 배출을 목표로 하여 남극 내륙의 환경을 보호하고, 폐기물 반출에 필요한 에너지 절감 필요
 - 폐수처리 및 재이용 기술을 적용하여 재이용수의 적극적인 활용이 필요
 - 폐수 내 영양염류 회수를 통한 양분 변환 기술 개발 및 남극 내륙기지 스마트 팜 활용 가능성 검토 필요
- 극지활동 중 인체 배출물 처리기술 필요성
- 극지활동 중 발생하는 인체 배출물은 남극환경에 영향을 미치지 않도록 처리 필요
 - 따라서 극지 기지에서는 지속 가능한 인체 배출물 처리를 위한 환경 친화적인 기술(예: 생물학적 처리)이 필요하며, 처리가 어려운 배출물은 안전하게 수집하여 이송
 - 내륙기지는 남극 연안 기지와 달리 처리수의 회석 및 방류가 어려워 재이용할 수 있는 기술이 요구됨
 - 인체 배출물 중 소변은 수분과 질소, 칼륨, 인과 같은 영양소가 풍부하여 적절한 처리절차를 통해 식물 성장에 필요한 물과 영양분으로 재활용 가능



<남극 내륙기지 수원 활용 및 재이용 처리 구조 (예시)>

□ 목표 및 내용

○ 연구목표

- 고립된 남극 내륙 환경에서 안정적으로 고품질의 물을 공급하고 폐기물 순환 시스템을 통해 폐기물 방류를 최소화함과 동시에 식량 공급에 활용 가능한 친환경 수자원 관리 시스템 구축 및 운영기술 개발

□ 연구 범위

- 에너지 효율을 극대화한 용설 시스템 설계 및 운영기술 개발
- 생활용수 공급을 위한 고효율 정수처리 시스템 설계 및 운영기술 개발
- 수처리 시스템 제어 및 모니터링을 위한 지능형 물관리 시스템 구축
- 폐수 재이용 공정 시스템 구축 및 스마트팜 적용기술 개발
- 자원순환형 소변분리/농축 시스템 구축 및 스마트팜 적용기술 개발

(2) 기존 기술의 한계와 극복방안

□ 기존 극지 수처리 기술의 내륙기지 적용을 위한 기술적 한계

○ 기존 극지 생활용수 생산기술의 한계

- 남극 연안의 경우 연안에 있는 바닷물을 원수로 하여 해수담수화 역삼투 막여과 처

리를 통해 먹는 물을 공급하므로 안정적인 수질을 보장할 수 있으나 에너지 소모량이 상당함.

- 해수담수화용 고압펌프(50-60 bar)를 운영하면서 높은 에너지 사용량으로 인해 발전기 사용량이 많아지게 되면 많은 양의 연료 소모 및 배출물질에 대한 처리 필요
- 막여과 방식의 해수담수화 기술은 회수율이 평균 50%로 원수의 절반은 깨끗한 물로 공급되지만 깨끗한 물이 여과되고 남은 농축수에 대해 추가적인 처리가 필요하며, 이온 농도가 높은 농축수 배출로 인해 배출지점 주변 해양 생태계에 부정적인 영향을 미침.
- 남극내륙기지 건설 시 지리적 여건상 해수를 원수로 쓰기 어려우며, 빙하를 녹이는 용설 시스템을 100% 이용하여 원수를 공급받아야 하는 상황임
- 용설 시스템의 경우 기존에는 열병합 발전에서 발생하는 폐열을 이용하여 빙하를 용해하는데, 내륙기지 건설 시 친환경 에너지 비중이 높으면 발생하는 폐열 비중도 줄어 추가적인 열원이 필요한 상황임.
- 용설 후 원수 처리 시 필터 여과뿐만 아니라 후단 소독을 통한 미생물 제거 필요

○ 기존 극지 폐수처리 및 재이용 기술의 한계

- 기존의 남극 기지에서는 생활폐수를 미생물 반응기를 기반으로 하는 중수처리설비를 통해 유기물, 질소, 인 등의 고도처리 후 배출
- 그러나 이는 해안이나 호수와 같이 희석 방류가 가능한 환경에서만 적용 가능하며, 남극 내륙과 같은 지역에서는 방류 불가
- 극지 환경에서는 평균 기온이 영하 10도 이하로 매우 낮아, 원수를 공급하기 위해 물의 녹는점 이상으로 열을 제공해야 하며, 이는 막대한 에너지를 소모함.
- 남극내륙기지 운영 시, 생활폐수는 빙하 원수에 비해 열에너지를 가지고 있으므로 폐수처리를 통한 재이용 시스템을 기지 내에 구축하여 에너지 절감 가능
- 폐수 처리수는 음용 목적이 아닌 재활용수(Graywater)로 활용될 수 있도록 수질 기준을 충족해야 하며, 이를 통해 세탁, 샤워, 청소, 화장실 용수 등으로 재활용할 수 있는 기술개발 필요
- 이를 위해서는 기존의 중수처리설비 대신 분리막 기반의 안정화된 고도폐수처리 공정을 도입하여 재활용수의 양과 수질을 확보하는 것이 필수적임.

□ 기존 남극기지 인체 배출물 처리의 기술적 한계

○ 기존 극지 수세식 화장실 설비의 기술적 한계

- 기존 남극기지의 화장실은 질수형 소변기 또는 양변기를 사용하여 세정용수를 절감하고, 중수처리설비에서 처리된 물을 재이용함으로써 물 사용량을 줄이고자 함

- 그러나 기존 화장실 시스템에서는 대변과 소변이 변기에서 분리되지 않고 혼합 처리되기 때문에, 대변에 포함된 유해 미생물과 혼합되어 소변을 안전하게 재이용할 수 없는 상황을 초래하므로 소변을 자원으로 재이용하는 데 한계가 있음

○ 극지활동 중 인체 배출물 분리 및 처리기술 필요성

- 일상생활에서는 인체배출물의 경우 양변기를 통해 대·소변이 물과 혼합 후 플러시를 통해 배출되면 배설물이 신속하게 처리되어 악취를 줄이고 위생적이며 세균 및 질병의 확산을 줄이는 데 도움을 주고, 사용자는 용변 시 심미적 안정감을 가지게 되며, 화장실 유지보수가 편리
- 양변기 사용을 위해서는 물이 풍부하여야 하며, 대·소변을 처리할 수 있는 폐수처리 시스템이 있어야 하지만 남극내륙은 물과 에너지가 제한적인 고립된 환경이므로 이를 갖추기에 어려움이 존재
- 남극내륙의 고립된 환경에서는 위생과 개인 건강이 중요한 부분 중 하나이므로 대·소변의 적절한 처리는 극지 환경 보호뿐 아니라 극지 연구자의 건강한 환경 유지에 매우 중요
- 극지의 경우 극지의 환경 보전을 위해 대·소변을 자체적으로 처리 또는 반출해야 하므로 이들을 재이용하거나 자체 처리를 통해 부피를 줄일 필요가 있음
- 자원 순환적 측면에 있어서 인간의 소변이 가지고 있는 영양분을 재이용하여 식량 공급에 필요한 스마트 팜 기술에 활용할 수 있어 이를 위한 대·소변의 분리배출 및 처리가 가능한 시스템 개발 필요



출처: WEDC

<인체배출물의 친환경 재이용 사례>



출처: WEDC

<대·소변 분리를 위한 양변기 시스템 설계 대안>

□ 극지 수처리 기술의 내륙기지 적용을 위한 기술적 한계 극복 방안

○ 내륙기지 융설 정수처리 공정 기술적 한계 극복 방안

- 남극 내륙의 경우 빙하 외에 공급 가능한 수원이 없어 융설 기술만으로 생활용수 공급에 필요한 원수를 생산하여야 함
- 빙하를 녹이기 위해서는 상당한 에너지가 소모되며, 최근 화석연료 대신 친환경 에너지를 활용한 융설 시스템에 관한 관심 증가
- (태양열 융설 시스템) 태양열 패널을 이용하여 전기를 생산하고, 태양열 전력을 이용하여 가열 코일 또는 온열매트를 운영하여 눈을 녹이는 시스템임
- (지열 융설 시스템) 지열 히트 펌프를 사용하여 지하의 열을 추출하고, 이를 통해 물을 가열하여 파이프를 통해 융설이 필요한 지역으로 전달함
- (폐열 활용 융설 시스템) 산업 또는 발전공정에서 발생하는 폐열을 재활용하여 눈을 녹이는 시스템임. 최근 남극 기지에서 사용하는 방식으로 열병합 발전에서 발생하는 폐열을 재활용하여 눈을 녹여 원수를 공급
- (바이오매스 에너지 융설 시스템) 유기적 폐기물인 바이오매스를 연소하여 열을 생성하고, 이를 융설 시스템에 활용할 수 있음
- 기존 융설 시스템에서는 열병합 발전의 폐열을 활용하여 융설 시스템을 운영하였으나, 남극내륙기지에서 폐열만을 활용할 것이 아니라 상황에 따라 태양열 에너지와 병행하는 하이브리드 융설 시스템 구축 고려 필요
- 융설 시스템 개발 시, 열전도도와 내화학성이 강한 소재 선택 중요
- 열전도도가 높은 소재는 열을 빠르고 효율적으로 전달 가능
- 열전도도가 높은 금속 중에서는 구리, 알루미늄, 은 등이 있으며, 목적에 맞게 합금 제작을 통해 최적화 가능
- 고성능 세라믹 또는 복합재료 또한 높은 열전도도와 함께 다양한 특성(내열성, 내구성 등)을 가질 수 있음



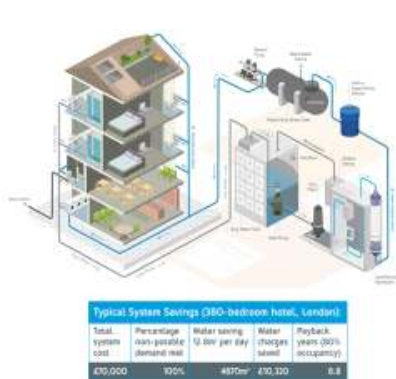
<태양열 기반 건물 외부 융설 시스템 (ISITMAX, 터키)>

- 정수처리 시스템의 경우 일반적인 지표수 대비 수질이 좋은 빙하를 원수로 쓰게 되면 지표수 처리 또는 해수담수화 공정 대비 정수처리 공정 단순화 가능
- 다만 융설 과정에서 빙하로부터 녹은 융설수가 시스템 내에서 추가로 오염이 되지 않도록 시스템 관리가 매우 중요할 것으로 예상함
- 수처리 공정 설계 이전에 빙하 분석을 통한 원수의 수질 정보를 확보하여 이를 바탕으로 시스템 설계 및 구축할 필요가 있음

○ 내륙기지 폐수처리 및 재이용 공정 기술적 한계 극복 방안

- 남극내륙기지의 경우 외부와의 큰 온도 차이로 인해 빙하 융설을 통해서만 물을 공급할 경우 상당한 에너지가 필요로 함
- 또한, 남극내륙에서는 생활폐수를 처리하더라도 옥외에 희석 방류할 수 있는 환경(해안 또는 호수가)이 존재하지 않아 폐수 처리에 한계가 있음
- 현재 해외 여러 국가에서 기후 변화로 인한 물 부족 극복과 환경보전을 목적으로 생활폐수 재이용 수처리 기술 개발에 집중
- 미국, 영국, 호주와 같은 선진국에서는 생활용수 공급 비용보다 폐수처리 비용이 훨씬 더 높음에도 불구하고 정책적으로 폐수처리 시스템 추진 중
- 따라서 일부 최신식 고층 건물에서는 거주민들이 배출하는 생활폐수를 재이용하기 위한 폐수 재이용 시스템을 도입하여 운영 중임
- 영국기업 SDS는 호텔 건물 폐수를 재이용하여 물세 절감하기 위한 시스템 시도
- 미국 에너지 국에서는 건물 내 폐수 재이용을 통해 폐수 배출을 최소화하고자 하는 시나리오 도출
- 호주 시드니에 있는 주상복합 아파트에서는 생활폐수를 스크리닝, 호기성 반응 처리(Aerobic bioreactor), 혐기성 반응 처리(Anaerobic bioreactor), 분리막 기반 생물학적 반응기(Membrane Bioreactor), 자외선(Ultraviolet, UV) 처리, 역삼투(Reverse Osmosis) 막여과 공정 및 염소 소독을 통해 건물 조경 용수 또는 음용수 이외의 생활용수(세탁, 화장실 용수 등)로 공급
- 남극내륙기지에서는 수처리 재활용 시스템을 개발 적용함으로써, 효율적인 물 사용, 폐수 배출 최소화 및 에너지 절감 가능
- 이를 위해 현재 생활폐수 재활용 시스템을 상용화 한 선진국 사례를 참고하여 남극 내륙기지의 주변 상황(기후, 지리적 조건, 운영 계획, 정주 인원 등)에 맞는 폐수 재이용 시스템을 설계 필요
- 특히 미생물 반응을 활용한 폐수 처리(호기성 및 혐기성 반응) 기술은 폐수를 식물

생장에 필요한 영양소로 전환하는 기술 개발이 진행되고 있으며, 이를 기반으로 스마트 팜에 영양을 공급할 수 있는 시스템 구성 가능



(左) 영국 호텔 건물 폐수 재이용
출처: SDS, U.K., US Energy

(右) 미국 에너지국 폐수 재이용 시나리오

<건물 내 폐수 재이용 시스템 설계 사례>



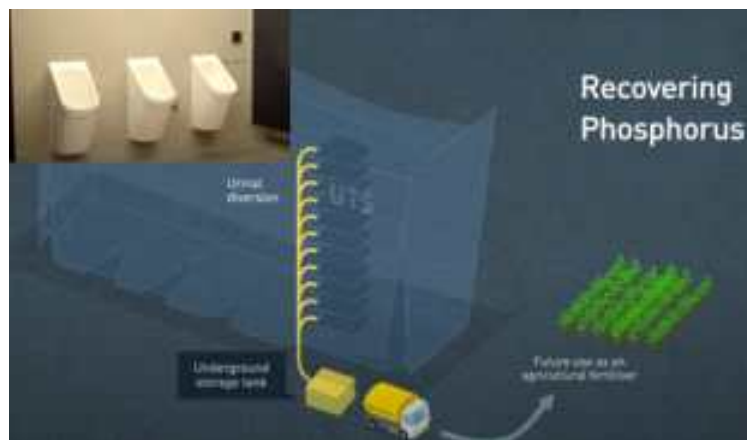
출처: Flow System, Australia

<호주 주상복합 아파트 생활폐수 재이용 시스템 실제 설계 및 운영 사례>

○ 내륙기지 내 인체 배출물 처리의 기술적 한계 극복 방안

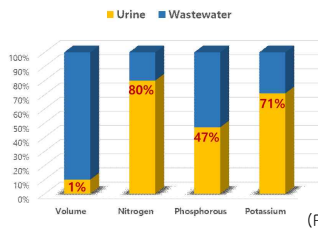
- 고립된 환경의 남극내륙기지에서는 기존의 남극기지과 같이 인체 배출물의 처리 후 방류가 어려우며 대부분 회수를 통해 반출하여야 함
- 따라서 내륙기지에서 발생하는 인체 배출물을 최대한 재활용하면서 반출하는 인체 배출물의 양을 최소화할 필요가 있음

- 인체 배출물을 재활용하기 위해서는 대변과 소변을 분리하여 포집하고, 특히 소변 내에 함유되어 있는 질소, 인, 칼륨 성분들을 비료로 변환하여 재활용하는 기술적용 필요
- 소변은 단순히 인체 배출물이나 폐기물로 정의하기보다는, 수분과 영양소가 포함된 Yellow Water로 구분하여, 재이용이 가능한 자원(source)으로 인식할 필요가 있음
- 현재 소변과 대변을 분리 포집하여 재활용하는 다양한 시스템이 미국과 유럽, 호주 등의 선진국을 중심으로 활발하게 개발 중임
- 호주 시드니 공과대학교에서는 남자 화장실에 설치된 무세척 변기를 활용하여 소변 회수 후 인체 배출물에서 영양분을 회수해 농업용 비료로 전환하는 연구 진행 중
- 시드니 공과대학교의 Center for Technology of Water and Wastewater에서는 소변에서 영양분을 회수하는 분리막 기반 호기성 미생물 반응기를 개발 중임
- 시드니 공대의 소변 자원화 기술을 남극 내륙기지에 적용하게 되면, 소변으로부터 양분을 회수하여 스마트 팜 식량 공급으로 전환할 수 있을 것이라 기대함

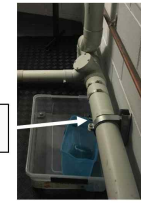
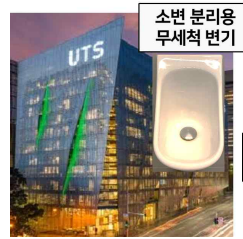


출처: 호주 시드니공과대학교

<남자 화장실의 무세척 변기를 활용한 소변 회수 시스템 실제 운영 사례>



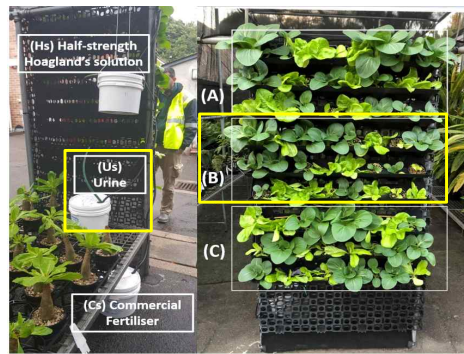
(Rich Earth Institute)



실험실 규모 소변 마생물 반응기 (20 L)



파일럿 규모 소변 마생물 반응기 (100 L)



(Volpin et al., 2021)

<호주 시드니공대 소변 자원화 시스템 연구 사례>

- 스웨덴의 Wostman 양변기 제조회사는 세척을 위한 물 사용을 최소화하면서 소변과 대변을 분리하기 위한 신개념의 소변 분리용 변기를 개발하여 시장에 런칭
- 대소변을 분리하기 위한 디자인으로 설계하고 대변은 세척에 사용하는 물을 최소화하기 위해 진공을 이용하여 배출하는 시스템으로써, 기존 양변기 대비 95%까지 물 사용을 줄이고 대·소변의 분리 배출이 가능함



EcoVac
Urine Diverting
Vacuum WC

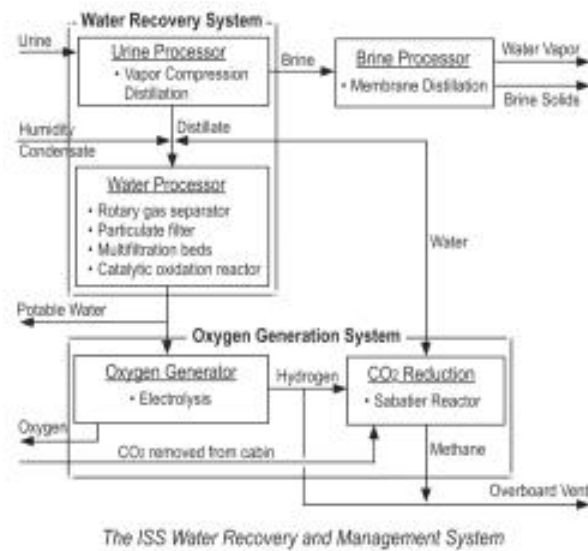


<신개념 진공 기반의 대소변 분리용 양변기 (Wostman, 스웨덴)>

- 미국의 NASA와 유럽의 ESA는 국제우주정거장(ISS)의 물 회수 및 관리 시스템으로

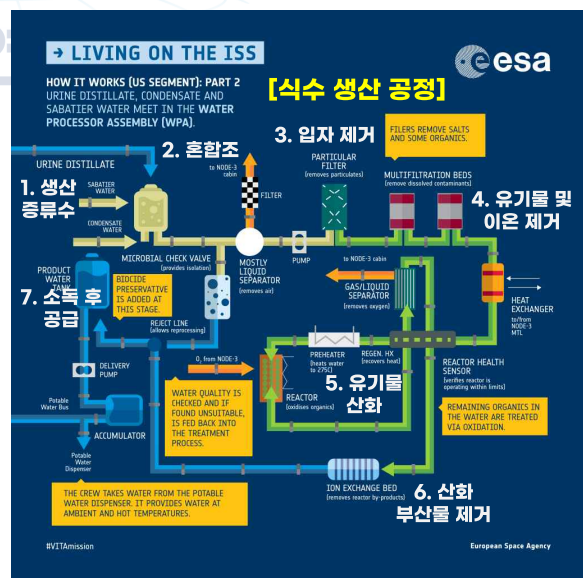
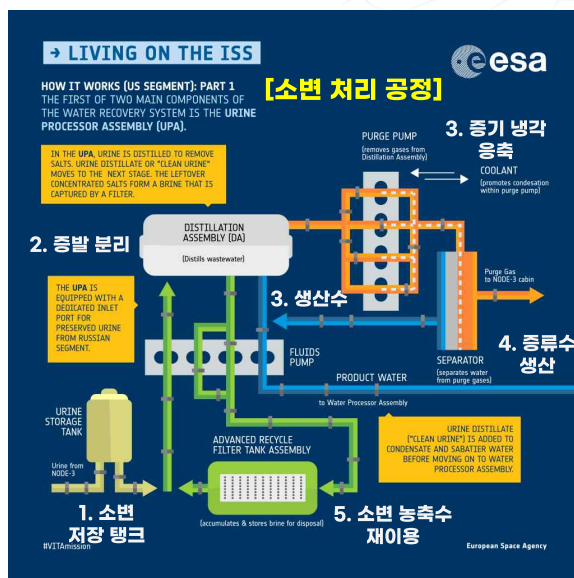
제한된 자원 환경에서 물과 산소를 지속적으로 공급하기 위해 시스템 제안

- 해당 시스템은 소변, 습도 응축수, 이산화탄소 등의 다양한 자원을 회수하여 음용 가능한 물과 산소를 생성하며, ISS 내부 환경을 유지하는 데 필수적인 역할을 함
- 소변은 증발 압축 증류 과정을 통해 수분을 회수하고, 염분과 고형물은 농축된 브라인 형태로 분리되며, 회수된 물은 가스 제거, 미세 입자 여과, 용존 물질 제거, 촉매 산화와 같은 고도 처리 과정을 거쳐 음용 가능한 물로 변환
- 또한, 수증기와 같이 생활공간에서 자연적으로 생성되는 수분도 회수되어 정수 과정에 포함됨
- 산소 생성 시스템은 물을 전기분해하여 산소와 수소를 생성하며, 산소는 승무원들이 호흡할 수 있도록 ISS 내부로 공급되고 수소는 이산화탄소 환원 시스템으로 전달되어, 사바티에 반응기를 통해 처리됨
- 이 반응에서는 수소와 이산화탄소가 반응하여 물과 메탄이 생성되는데, 물은 다시 물 회수 시스템으로 순환되고 메탄은 외부로 배출됨
- 이러한 시스템을 통해 ISS에서 자원의 소비를 최소화하고, 물과 산소의 공급을 안정적으로 유지하며, 폐기물을 효율적으로 관리하는 데 초점을 맞추고 있음
- 궁극적으로, 물과 산소의 순환 과정을 통해 제한된 환경에서도 자급자족을 가능하게 하는 지속 가능한 시스템으로, 우주 환경뿐만 아니라 지구의 고립된 환경에서도 활용 가능성이 높음



출처: Water Desalination Report(2021)

<미국 NASA에서 운영 중인 국제우주정거장 물 재이용 시스템>



출처: Water Desalination Report(2021)

<유럽 ESSA에서 제안한 국제우주정거장 소변 처리 및 식수 생산 시스템>

- 일본 항공우주탐사국(JAXA)은 일본 수처리 기업인 Kurita Water Industry와 소변 재 활용 시스템을 개발하고 ISS 내 일본 실험 모듈 KIVO 내에서 테스트 추진

- JAXA의 소변 재활용 시스템은 85% 이상의 회수율을 가지고 있으며 소변에 포함된 칼슘, 마그네슘 성분을 이온교환수지를 통해 제거한 뒤 모든 유기물을 고온·고압 조건에서 전기 분해를 통해 제거
- 소변의 경우 높은 수분 함량(97%)으로 인해 역삼투(RO) 막여과 공정을 통해 소변을 농축하여 수분을 분리하고 영양소 회수를 통해 자원화 할 수 있음
- 남극내륙기지에서 대소변 분리 재활용 시스템 적용 시, 회수해야 하는 폐기물의 양을 줄이고, 향후 남극 내륙기지 내 스마트 팜 기술과 연계하여 작물 재비에 활용 가능
- 이렇게 성장한 식물은 다시 사람이 섭취하게 됨에 따라 영양분 순환을 통한 극한지 기반 순환경제(Circular Economy) 기술로 이어질 수 있을 것이라 예상함.



<남극 내륙기지 건설을 위한 저에너지 물 생산 및 재이용 시스템 개념도>

- 내륙기지 내 폐수 및 인체 배출물 자원화를 통한 식량 공급용 스마트팜 적용 방안
 - 내륙기지 내 물 재이용과 인체 배출물 자원화를 통해 폐기물을 고부가가치 생산품으로 재활용하는 것이 가능할 것으로 예상됨
 - 그러나 재활용된 고부가가치 자원을 활용할 플랫폼이 없을 경우, 이를 내부에서 활용하지 못하고 결국 외부로 반출해야 하는 한계가 있음.
 - 남극 내륙은 물류 공급이 극히 제한적이어서 식량은 주로 냉동식품에 의존할 것으로 예상되며, 이에 따라 내륙기지 대원들은 영양 불균형으로 인한 건강상의 문제가 발생할 우려가 있음

- 기존의 세종 기지와 장보고 기지에서는 식물공장 시스템을 도입하여 극지 환경에서도 신선 채소의 자급자족이 어느 정도 가능해졌으며, 이를 통해 대원들의 영양 균형이 개선되고 생활의 질이 향상됨
- 기존의 기지보다 더욱 고립된 환경에서 운영되는 남극내륙기지는 극한지 스마트 팜을 활용한 신선한 야채 공급이 필수적으로 요구됨
- 또한, 스마트 팜은 남극내륙기지의 고립된 환경으로 인해 대원들이 겪을 정신적 스트레스를 완화할 수 있는 심리적 치유의 장소로 활용할 수 있을 것으로 기대됨
- 하계에 24시간 태양이 떠 있는 백야 현상이 지속되는 남극내륙기지의 조건을 고려할 때, LED 광원 기반 식물공장보다는 자연광을 최대한 활용할 수 있는 온실형 시스템이 효율적일 것으로 예상함
- 그러나 내륙기지는 -30℃에서 -60℃의 극저온 환경에 노출될 것으로 예상하므로, 온실 형태의 시스템을 구축할 경우 빛 투과와 단열을 할 수 있는 소재 및 기술의 도입이 필요함



<남극 내륙기지 자원순환형 스마트팜 건설을 위한 시스템 개념도 (예시)>

(3) 연구개발 상세계획

□ 주요 연구개발 내용

- 에너지 저감형 융설 시스템 설계 및 운영기술 개발
- 생활용수 공급을 위한 정수처리 시스템 설계 및 운영기술 개발

- 폐수 재이용 공정 시스템 구축 및 스마트팜 적용기술 개발
- 자원순환형 소변 분리/농축 시스템 구축 및 스마트팜 적용기술 개발
- 수처리 시스템 제어 및 모니터링을 위한 통합 물 관리 시스템 구축

□ 최종 산출물

- 친환경 에너지 발전 및 회수율의 활용비율 20% 이상 융설 시스템 개발
- 무방류 목표의 생활용수 공급 시스템 구축
- 고도 폐수 재이용 시스템을 이용한 기지 내 생활폐수 재이용 60% 이상
- 소변 분리/농축 기술을 통한 소변처리 50% 이상, 소변 자원화 25% 이상
- 자원순환 시스템 기반 내륙기지 물 재이용 및 스마트팜 기초 플랫폼 구축
- 남극내륙기지 맞춤형 통합 물관리 시스템 구축 및 모니터링 기술 확보

□ 연차별 연구개발 계획

○ 1차 년도

- 에너지 저감형 융설 시스템 기본 설계 및 목업 제작
 - 기존 융설 시스템 구조 분석 - 빙하 크러쉬, 융설 등
 - 열 발생원에 따른 융설 방법 (발전 폐열, 태양열 등) 도출
 - 물리·화학적 강도가 우수한 고효율 열전달을 위한 소재 선정
 - 12 - 15톤/일 융설수 생산 가능한 에너지 저감형 융설 시스템 설계
 - 에너지 저감형 융설 시스템 목업 제작
- 정수처리 시스템 개념 및 기본 설계
 - 원수 수질 특성에 따른 수처리 공정 기술 제안 및 용량 설정
 - 기존 극지 수처리 기술 조사 및 분석
 - 남극 내륙의 특수성(자립형, 무방류 등)과 생산용량(12-15톤/일)을 반영한 정수처리 시스템 기본 설계
 - 운영에너지 최소화 및 회수율 극대화를 위한 정수처리 시스템 기본 설계
 - 최종 생산수(생활용수) 수질 목표 설정
- 폐수 재이용 시스템 설계를 위한 개념 및 스마트 팜 연계 기본 설계
 - 기존 극지 기지 내 폐수의 물리·화학적 특성 분석
 - 폐수 재이용 및 양분 회수 관련 선행 기술 조사 및 분석
 - 폐수 재이용수 활용 계획 및 최종 재이용수 수질 기준 설정

- 목표 수량 및 수질에 따른 폐수 재이용 시스템 및 스마트 팜 연계 기본 설계
- 소변 분리 및 농축 시스템 및 스마트 팜 연계 기본 설계
- 대·소변 분리 및 농축 시스템 초기 개념 및 목표 설정
- 대·소변 분리형 변기 사전 조사
- 내륙기지 맞춤형 대·소변 분리형 변기 기보 설계
- 통합 물관리 시스템 기본 설계
- 통합 물관리를 위한 프로그램 개념 및 구조 설정
- 시스템 제어 및 모니터링을 위한 구성 인자 설정

○ 2차 년도

- 에너지 저감형 용설 시스템 실시 설계 및 제작
- 목표 수량에 적합한 용설 시스템 핵심 설계
- 핵심 설계를 바탕으로 에너지 저감형 용설 시스템 제작
- 에너지 저감형 용설 시스템 시운전 및 트러블 슈팅
- 정수처리 시스템 실시 설계 및 목업 제작
- 목표 수량 및 수질을 반영한 정수처리 시스템 핵심 설계 (공정 구성)
- 핵심 설계를 바탕으로 정수처리 시스템 초기 제작
- 정수처리 시스템 시운전 및 트러블 슈팅
- 폐수 재이용 시스템 실시 설계 및 전처리 공정 목업 제작
- 목표 수량 및 수질을 반영한 폐수 재이용 전처리, 본처리 시스템 실시 설계 (공정 구성)
- 핵심 설계를 바탕으로 폐수 재이용 전처리 시스템 목업 제작
- 폐수 재이용 전처리 시스템 시운전 및 트러블 슈팅
- 소변 분리 및 농축 시스템 실시 설계 및 목업 제작
- 대·소변 분리형 화장실 변기 시스템 상세 설계
- 대·소변 배출 및 분리 시스템 초기 제작
- 대·소변 분리 시스템 시운전 및 트러블 슈팅
- 소변 농축 시스템 초기 설계
- 자원순환형 스마트 팜 실시 설계
- 폐수 재이용수 및 소변기반 양액 활용 반영한 설계

- 식물 재배 시스템 구성 (옥상온실 or 수직농장)
- 식용 재배 가능 식물 구성
- 통합 물관리 시스템 실시 설계 및 목업 제작
- 통합 물관리를 위한 프로그램 핵심 설계 (PLC 로직 및 HMI 구성)
- 수처리 단위 시스템들과 초기 연동 점검 (센서 데이터 연동, 기본 운전 제어)

○ 3차 년도

- 에너지 저감형 융설 시스템 운영 최적화
- 융설 시스템 운영 최적화
- ※ 빙하 크러쉬, 융설 시간 및 온도 등
- 융설을 위한 폐열·태양열 하이브리드 에너지 관리 최적화 및 융설 효율 평가
- 12 - 15톤/일 규모 융설수 생산을 위한 최적 운전 조건 도출
- 통합 물관리 시스템과 연동 시험
- 정수처리 시스템 운영 최적화
- 정수처리 시스템 운영 최적화
- ※ 시스템 최적 운전 조건 도출, 생산수 먹는 물 수질 분석(성분, 세균, 바이러스 등), 농축수 수질 분석 및 폐수 재이용을 통한 활용 가능성 확인
- 융설 시스템과 정수처리 시스템 연동하여 운영 최적화(얼음부터 생활용수 생산)
- 통합 물관리 시스템과 연동 시험
- 폐수 재이용 분처리 시스템 제작 및 시스템 운영 최적화
- 막 기반 폐수 재이용 분처리 시스템 초기 제작 및 시운전(트러블 슈팅)
- 폐수 재이용 통합 시스템(전처리, 분처리) 운영 최적화
- 슬러지 후처리(탈수, 고형화 처리) 시스템 운영 최적화
- 최종 생산수(재이용수) 수질 분석 및 평가
- 소변 분리 및 농축 시스템 운영 최적화
- 대·소변 분리형 화장실 시스템 운영 최적화 (분리 유무 확인)
- 분리된 소변의 순도 및 성상 분석
- 소변 농축 시스템 핵심 설계 및 초기 제작
- 자원순환형 스마트팜 실시 설계 및 목업 제작
- 폐수 재이용수 및 소변기반 양액 활용 반영한 스마트 팜 설계안 도출
- 식물 재배 시스템 초기 제작

- 통합 물 관리 시스템 초기 연동 운영
- 통합 물 관리를 위한 프로그램 핵심 설계 (PLC 로직 및 HMI 구성)
- 수처리 단위 시스템들과 초기 연동 점검 (센서 데이터 연동, 기본 운전 제어)

○ 4차 년도

- 에너지 저감형 용설 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비
- 용설 시스템 연속 운전을 통한 시스템 최종 평가
- 통합 물 관리 시스템과의 최종 연동 시험
- 시스템 운영 및 유지보수를 위한 매뉴얼 작성
- 시스템 극지 이송을 위한 모듈화(시스템 분리 및 패키징 등)
- 정수처리 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비
- 용설 시스템과 연동한 정수처리 시스템 연속 운전을 통한 시스템 최종 평가
- 통합 물 관리 시스템과의 최종 연동 시험
- 시스템 운영 및 유지보수를 위한 매뉴얼 작성
- 시스템 극지 이송을 위한 모듈화 (시스템 분리 및 패키징 등)
- 폐수 재이용 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비
- 폐수 재이용 시스템 연속 운전을 통한 시스템 최종 평가
- 통합 물 관리 시스템과의 최종 연동 시험
- 시스템 운영 및 유지보수를 위한 매뉴얼 작성
- 시스템 극지 이송을 위한 모듈화 (시스템 분리 및 패키징 등)
- 소변 분리 및 농축 시스템 운영 최적화 및 극지 이송 준비
- 대·소변 분리형 화장실과 소변 농축 시스템 운영 최적화
- 소변 농축 시스템 연속 운전을 통한 시스템 최종 평가
- 통합 물 관리 시스템과의 최종 연동 시험
- 시스템 운영 및 유지보수를 위한 매뉴얼 작성
- 시스템 극지 이송을 위한 모듈화 (시스템 분리 및 패키징 등)
- 자원순환형 스마트팜 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비
- 스마트팜 시스템 (공조, 양액 공급 등) 시운전 및 최종 평가
- 극한 환경 조건에서의 단열성 확인
- 엽채류 시범 재배를 통한 시스템 최종 평가

- 시스템 운영 및 유지 보수를 위한 매뉴얼 작성
- 시스템 극지 이송을 위한 모듈화 (시스템 분리 및 패키징 등)
- 통합 물관리 시스템 운영 최적화 및 극지 이송 준비
- 장기 연속 운전을 통한 시스템 안정성 확인
- 수처리 단위 시스템들과 최종 연동 점검 (센서 데이터 연동, 기본 운전 제어)
- 시스템 운영 및 유지보수를 위한 매뉴얼 작성
- 시스템 극지 이송을 위한 모듈화 (시스템 분리 및 패키징 등)

○ 5차 년도

- 에너지 저감형 용설 시스템 남극 현장 실증 및 평가
- 용설 시스템의 남극 현장 실증 및 성능평가
- 통합 물관리 시스템과의 최종 연동 시험
- 실제 빙하를 이용한 용설 시스템 가동 및 운전 최적화
- 시스템 운영 및 유지보수 매뉴얼 바탕으로 기지 운영자 인수인계
- 정수처리 시스템 남극 현장 실증 및 평가
- 정수처리 시스템 설치 및 용설 시스템과 연동하여 남극 현장 실증 및 성능평가
- 용설수를 이용한 정수처리 시스템 가동 및 운전 최적화
- 최종 생활용수의 수질 검사 (모바일 측정 장비)
- 통합 물 관리 시스템과의 최종 연동 시험
- 시스템 운영 및 유지보수 매뉴얼 바탕으로 기지 운영자 인수인계
- 폐수 재이용 시스템 남극 현장 실증 및 평가
- 폐수 재이용 시스템 남극 현장 실증 및 성능평가
- 기지 내 생활폐수를 이용한 폐수 재이용 시스템 가동 및 운전 최적화
- 최종 재이용수의 수질 검사 (모바일 측정 장비)
- 통합 물 관리 시스템과의 최종 연동 시험
- 시스템 운영 및 유지보수 매뉴얼 바탕으로 기지 운영자 인수인계
- 소변 분리 및 농축 시스템 남극 현장 실증 및 평가
- 소변 분리 및 농축 시스템 남극 현장 실증 및 성능평가
- 기지 화장실 내 소변 분리 및 소변 농축 시스템 가동 및 운전 최적화
- 최종 농축수와 처리수의 수질 검사 (모바일 측정 장비)

- 통합 물 관리 시스템과의 최종 연동 시험
- 시스템 운영 및 유지보수 매뉴얼 바탕으로 기지 운영자 인수인계
 - 자원순환형 스마트팜 시스템 남극 현장 실증 및 평가
- 스마트팜 시스템 (공조, 양액 공급 등) 남극 현장 실증 및 성능평가
- 남극 내륙 환경 조건에서 단열성 및 열 투과도 확인
- 재이용수, 소변 자원화 시스템 공급 라인 연결
- 시스템 운영 및 유지보수 매뉴얼 바탕으로 기지 운영자 인수인계
 - 통합 물 관리 시스템 남극 현장 실증 및 평가
- 통합 물 관리 시스템의 남극 현장 실증 및 성능평가 및 개별 수처리 시스템과 연동하여 시운전
- 환경 변화에 따른 시스템 안정성 확인 (기본 운전 제어 및 센서 데이터 전송·저장 등)
- 시스템 운영 및 유지보수 매뉴얼 바탕으로 기지 운영자 인수인계

<연차별 예산 소요 계획(수처리 시스템 구축)>

(단위: 백만원)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	수처리 시스템 구축	정부	741	1,281	1,051	651	411		4,133
		민간							
	소계								

<연차별 인력 투입 계획(수처리 시스템 구축)>

(단위: 명)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	수처리 시스템 구축	책임	2	2	2	2	2		10
		연구원	3	3	3	3	3		15
		보조원	3	3	3	3	3		15
	소계		8	8	8	8	8	0	40

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역(수처리 시스템 구축)>

(단위: 백만원)

품명	규격	수량 (식)	단가	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
저에너지 응설시스템 구축		1	300	100	200					300
정수처리 시스템 구축		1	400	100	200	100				400
폐수처리 및 재이용 시스템 구축		1	600	100	200	200	100			600
소변 분리/농축 시스템 구축		1	500		100	300	100			500
통합 물관리 시스템 구축		1	600	100	200	100	100	100		600
연구시설·장비 및 연구재료비 합계				400	900	700	300	100		2,400

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역(수처리 시스템 구축)>

(단위: 백만원)

구분	내역	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
연구활동비	전문가 활용비, 회의비 등	30	30	30	30	30		150
연구수당	인건비의 15% 이하	30	30	30	30	30		150
간접비	직접비의 10% 이하 수준	67	107	77	77	37		365
소계								

<과제 카드(수처리 시스템 구축)>

세부과제명	극지환경 수자원 재활용 시스템 구축 및 운영기술 개발
연구개발 목적	○ 남극 내륙기지 내 친환경 수처리 시스템 구축 및 운영기술 개발
연구개발 목표	○ 고립된 극지환경에서 안정적이며 고품질의 수원을 제공하고, 인간의 활동에 따른 발생 폐기물을 자체 처리를 통해 무방류·무배출을 목표로 하는 친환경 수처리 시스템을 구축하고 최적 운영기술을 개발하는 것
연구개발 필요성	○ 내륙기지 인프라 구축 운영 과정에서 친환경 통합 물관리 시스템 개발을 통해 기지 내 안정적인 용수 활용 및 배출 폐기물의 친환경 처리 필요 ○ 내륙기지 내 친환경 시스템 운영에 따른 극지 내륙의 지속가능한 환경을 보전하고, 국제적 공감대 형성을 통한 국가 이미지 제고
기술동향	○ 친환경 에너지 사용 비율이 증가함에 따라, 기존의 극지 수처리 시스템을 변경할 필요성이 있음. 여러 선진국에서는 무방류, 무배출 방식과 물 재이용 기술을 적극적으로 개발하고 적용하고 있으며, 순환경제의 원칙에 따라 폐기물(소변 포함)을 자원으로 전환하는 기술에 큰 관심을 보임.
연구개발 내용	○ 에너지 저감형 용설 시스템 설계 및 운영기술 개발 - 에너지 저감형 용설 시스템 초기 설계 및 제작 - 용설 시스템 핵심 설계 및 제작 - 용설 시스템 운영 최적화 - 용설 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비 - 용설 시스템 남극 내륙 현장 적용 및 평가 ○ 안전한 음용수 공급을 위한 정수처리 시스템 설계 및 운영기술 개발 - 정수처리 시스템 개념 정립, 설계 및 제작 - 용설 시스템과 연동하여 정수처리 시스템 운영 최적화 - 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비 - 시스템 남극 내륙 현장 적용 및 평가 ○ 폐수 재이용 공정 시스템 설계 및 운영기술 개발 - 폐수 재이용 시스템 설계를 위한 개념 및 초기 설계 - 폐수 재이용 시스템 핵심 설계 및 전처리 공정 제작 - 폐수 재이용 시스템 본처리 시스템 제작 및 운영 최적화 - 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비 - 시스템 남극 내륙 현장 적용 및 평가 ○ 자원순환형 소변 분리 및 농축 시스템 설계 및 운영기술 개발 - 소변 분리 및 농축 시스템 초기 설계 - 소변 분리 및 농축 시스템 핵심 설계 및 제작 - 소변 분리 및 농축 시스템 운영 최적화 - 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비 - 시스템 남극 내륙 현장 적용 및 평가 ○ 자원순환 기반 내륙기지 스마트팜 기초 플랫폼 구축

	- 물 재이용 및 소변 양분화 연계 스마트팜 초기 설계 - 자원순환형 스마트팜 설계 및 제작 - 자원순환형 스마트팜 시스템 최종 평가 및 극지 이송 준비 - 시스템 남극 내륙 현장 적용 및 평가 ○ 시스템 제어 및 모니터링을 위한 통합 물관리 시스템 구축 - 통합 물관리를 위한 시스템 초기 설계 (프로그램 개념 및 구조 설정) - 통합 물관리 시스템 핵심 설계 및 초기 제작 (초기 연동 점검) - 통합 물관리 시스템 초기 연동 운영 및 최적화 - 시스템 운영 최종 평가 및 극지 이송 준비 - 시스템 남극 내륙 현장 적용 및 평가	
연구 추진전략	○ 남극 내륙 환경에 대한 이해력이 풍부한 관련 연구기관 및 수처리 시스템, 스마트팜 관련 설계, 제작 및 운영 최적화에 관한 경험이 많은 기업들과의 협력을 통해 새로운 남극 내륙기지 맞춤형 수처리 시스템 모델 구축 ○ 남극 내륙기지의 기후적, 지리적 특성에 맞는 극한 환경 기반의 최적 구성품들을 바탕으로 시스템을 설계·제작하고, 실제 환경에서의 연속 운전 평가를 통해 시스템 내구성과 안정성 확보	
연구 추진체계	○ (출연연) 내륙기지 맞춤형 친환경 수처리 핵심기술 개발 ○ (출연연/기업/시험기관) 내륙기지 맞춤형 친환경 수처리 시스템 구축 및 성능평가	
연구개발 기간 및 소요예산	총연구기간	총예산
	5년	40억원
최종 성과물 (정성·정량적 성과)	○ 남극 내륙 맞춤형 자원순환형 통합 수처리 시스템 구축 및 운영기술 ○ SCIE 논문 5편, 특허 출원 5건 등	
연구개발성과의 활용방안 및 기대효과	○ 극지 내륙용 통합 물관리 시스템 기술을 바탕으로 방류 최소화 기반의 수처리 및 재이용 기술로 활용 기대 ○ 순환경제형 폐수 및 폐기물(소변)의 자원화 기술로 활용 가능성 기대	

3) 극지 환경 대응 발전 시스템의 유해물질 저감 기술 개발

(1) 개념 및 범위

☐ 개발 배경 및 필요성

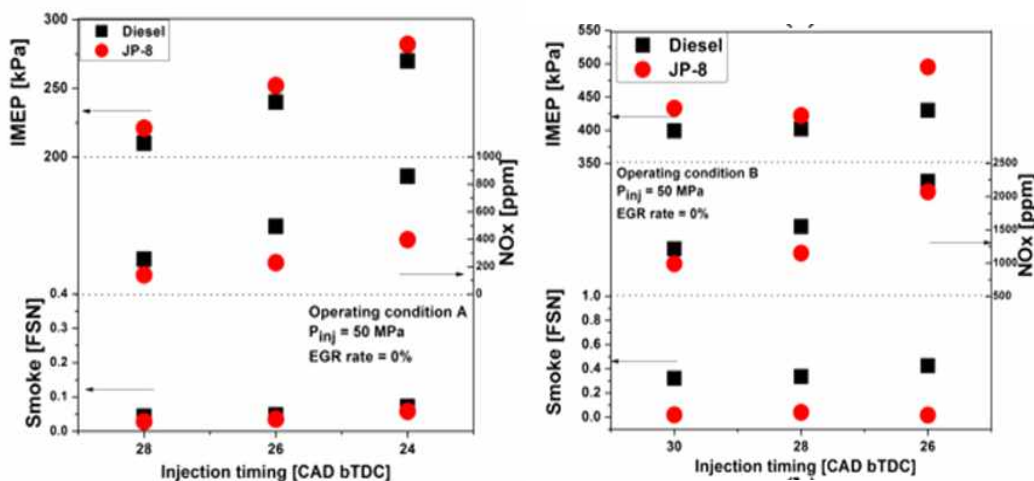
- 극지에서의 세계 기상 환경 감시를 위한 청정한 극지 생태환경의 유지 필요
 - 극지 대기 중에 존재하는 초미세먼지를 구성하는 유기물질의 화학조성에 인근 바다와 육지에서 만들어지는 유기물질이 영향을 미치는 것을 보고됨
 - 지구온난화에 민감한 극지 환경 변화는 초미세먼지의 생성에 영향을 미치고 이는 태양광의 산란이나 구름 생성과 관련된 전 지구적 기후변화에 영향을 미칠 수 있음
 - 따라서 극지에서의 대기 연구를 통해 기후변화에 따른 미세먼지의 발생 변화 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있음
 - 극지 대기 분석을 통한 세계 기상 상태의 감시 역할이 매우 중요해지고 있으나 극지 기지 개발 및 운영 과정에서 다양한 대기오염물질 발생 문제가 존재
 - 남극 기지 건설 및 운영에 있어서 연료 사용으로 인한 불가피한 대기오염물질 배출을 주요 환경 영향 요인으로 분석됨 (극지연구소 환경영향평가, 2016)
 - 기지 운영으로 인해 발생할 수 있는 대기오염물질로부터 극지 환경에 대한 영향을 최소화시키기 위한 새로운 기술 개발이 매우 필요
- 극지에서의 안정적인 에너지 수급을 위한 친환경적인 전력 생산방법 개발 필요
 - 극지에서의 친환경적인 전력 공급을 위한 풍력, 태양광 등의 신재생 에너지 사용 확대가 필수적이나 기상 상태의 영향으로 안정적인 기저 전력으로 활용하기에는 한계가 존재
 - 최대한 신재생 에너지를 활용하는 전략을 확대하는 동시에 비상 상태를 대비한 기존의 엔진 발전의 친환경화 방안의 모색이 요구됨
- 극지에서의 화석연료 발전기 친환경 이용을 위한 대기오염 제어기술 개발 필요
 - 특히 엔진 발생 탄소 배출 저감 방안 마련을 위해서라도 이에 대한 전처리 기능으로서 대기오염 제어기술 개발이 더욱 필요한 상황임

(2) 기존 기술의 한계와 극복 방안

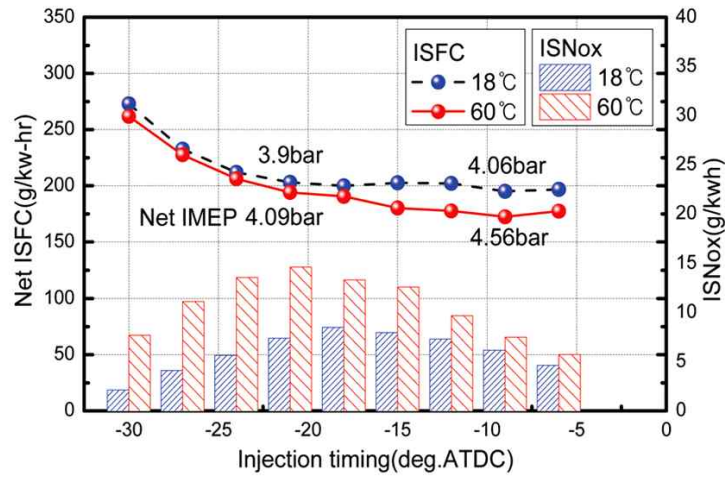
☐ 기존 기술의 한계와 극복 방안

○ 극지환경에서의 연소조건 변화 및 항공유 사용에 따른 엔진 배기가스 조성을 분석하고 조성환경에 맞는 유해물질 저감장치의 구현 필요

- 극지 환경에서 운전 온도 저하에 따라 연소 환경과 배기 조건의 변화로 대기 오염 물질 배출에 대한 발생 특성이 달라질 수 있음
- 극지에서는 긴급한 상황을 대비 연료의 유연성 문제로 항공유를 주요 연료로 활용하고 있어 경유가 아닌 등유 기반의 항공유 사용 시 엔진 연소 특성이 기존과 달라질 수 있음
- 특히 항공유에는 산화방지제, 부식방지제, 정전기 방지제, 빙결방지제, 윤활성 향상제 등 다양한 연료 첨가제가 포함되어 있어 오염물질 발생 특성이 크게 달라질 수 있음
- 또한 극지 환경에서의 발전기의 연소 환경 악화에 따른 불완전 연소 증가로 미연소 탄화수소나 초미세먼지 배출량의 증가할 수 있음

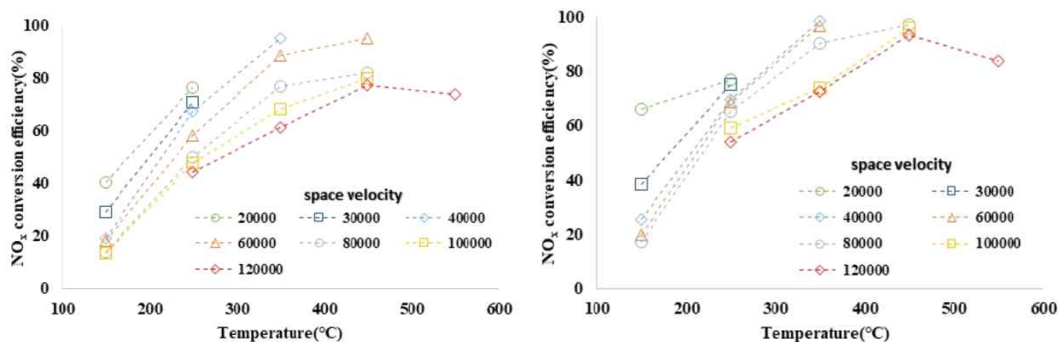


<항공유와 디젤 연료의 배출특성 비교 (Park & Bae, 2014)>



<흡입 공기 온도 변화에 따른 디젤 엔진 배기가스 배출특성
비교 (Shin & Park, 2017)>

- 온도 저하로 기존 미세먼지 저감장치의 재생환경 구현이 쉽지 않고 질소산화물 촉매의 안정적인 온도 조건 확보가 쉽지 않아 기존 저감 기술로서는 한계가 존재함
 - 기존 질소산화물 저감장치는 250°C 이상의 조건에서 주로 활성화 될 수 있어 배기가스 온도가 낮을 때 질소산화물 저감장치의 온도 관리가 매우 중요할 수 있음
 - 환원제로 Urea를 공급할 때 암모니아로 기화가 어려워 질소산화물 저감장치의 촉매 반응을 저하시킬 수 있어 새로운 안정적인 환원제 공급 장치의 개발이 필요함



<기존 Urea-SCR의 배기가스 온도별 NOx 저감특성 (Kim et al., 2020)>

- 기존 집진필터의 재생주기 단축과 질소산화물 저감장치의 성능 저하가 예상됨에 따라 극지 환경에서 안정적으로 적용 가능한 새로운 저감 시스템 개발 필요

- 새로운 저감 시스템의 국부적 온도제어 및 극한환경에서의 적용 가능한 소재 선정 등을 통해 유해물질 저감장치에 대한 극지 조건에서의 활용 가능성 확대 필요
 - 극지 극한 조건에서 미세먼지 저감장치의 재생 구현이 가능한 고효율 재생 장치 적용 필요
 - 기계연에서는 미세먼지 저감장치 재생 시 경유의 연소 특성을 향상시키는 플라즈마 연소 버너 장치를 개발하여 군용 트럭 등에 실증 연구를 수행함
 - 기계연에서는 또한 저차압의 정전 금속필터를 이용하여 초미세먼지를 포집하고 압축공기를 이용하여 세척하는 건식 재생 방식을 개발하여 선박 엔진에 실증 연구를 수행함
 - 질소산화물 저감장치의 환원제의 안정적인 공급과 촉매 활성화를 위한 단열 및 온도 관리 필요
 - 기계연에서는 Urea의 기화 문제를 극복하기 위해 고체 암모늄을 기화시켜서 암모니아로 직접 공급하는 암모니아 공급 시스템을 개발함
 - 안정적인 촉매 반응을 일으킬 수 있는 전처리 산화 및 저온 소재 적용 필요
 - 전처리 산화 반응을 통해 배기가스 내 NO의 일부를 NO₂로 변환시킬 경우 발열 반응을 통해 미세먼지 저감장치의 재생 효과를 보조할 수 있고, 빠른 촉매 반응을 유도하여 질소산화물 저감 성능도 향상시킬 수 있음
 - KIST에서는 250oC 이하의 저온 배기가스 조건에서 질소산화물의 촉매 특성을 활성화시킬 수 있는 저온 촉매를 개발하여 발전소나 제철소 등의 실증 연구를 수행하였음
- 극지환경에서는 전문가가 직접 유해물질 저감장치의 운영관리가 어려워 원격 모니터링 및 감시지원을 통한 원격 관리 체계의 마련도 필요함
 - 사물인터넷을 활용하여 유해물질 저감 장치에 대해 원격으로 장치의 운전조건 분석 및 상태 관리가 가능한 극한지 스마트 통합 관리 시스템 개발이 필요함

(3) 연구개발 상세 계획

□ 주요 연구개발 내용

- 극지환경 대응 발전기의 연소조건 및 배기가스 배출 특성 연구
 - 작동 온도에 따른 발전기 배기가스 온도 및 조성 분석
 - 항공유 사용에 따른 발전기 연소 특성과 배기가스 온도 및 조성 분석
 - 항공유 사용에 따른 발전기 연소 특성

- 첨가제에 의한 배기가스 조성 영향 분석
- 초미세먼지 및 극초미세먼지 발생 특성 분석
- 유해물질 배출 특성 분석을 통한 저감장치 기본 적용방안 마련
- 극지환경 대응 재생형 초미세먼지 저감 시스템 개발
 - 극지 환경 대응 저감 장치 구성 요소 기술 개발
 - 작동 온도 및 연료 변화 대응 담체 및 촉매 선정
 - 극지 운전 조건 대응 초미세먼지 저감 장치 최적화
 - 미세먼지 예열 재생기술 개발
 - 극지 환경용 국부 온도 상승 유닛 선정
 - 적정 재생 주기 제어 기술
 - 건식 재생 복합 적용성 파악
- 극지환경 대응 질소산화물 저감 시스템 개발
 - 극지 환경 대응 장치 구성 요소 기술 개발
 - 작동 온도 및 연료 변화 대응 적정 소재 선정
 - 반응 활성 유도를 위한 전처리 산화 기술 적용
 - 극지 운전 조건 대응 질소산화물 저감 장치 최적화
 - 현장 적용성 고려 첨가제 공급 기술 개발
 - 극지 환경용 첨가제 공급 장치 개발
 - 안정적 운용을 위한 첨가제 공급 제어 기술 개발
- 극지환경 대응 동시 저감 시스템 개발
 - 동시저감 시스템 모듈화 적용 기술 개발
 - 저감장치간의 상호 연계 특성 파악
 - 동시저감 시스템의 성능 개선 및 최적화
 - 엔진 크기별 적용 시스템 확대 방안 마련
 - 탄소 배출 저감 장치의 전처리 기능으로 적용성 검토

□ 최종 산출물

- 극지환경용 초 미세먼지 저감장치
- 극지환경용 질소산화물 저감장치
- 극한 환경용 200kW 급 PM, NO_x 동시 저감장치 모듈화

- 남극내륙기지 맞춤형 대기오염물질 관리시스템 구축 및 모니터링 기술 확보
- SCI급 논문 5편, 특허출원 5건 등

□ 연차별 연구개발 계획

○ 1차 년도

- 극지 환경 대응 기초 성능 평가 시스템 구성
- 극지 환경 온·습도 조건 모사장치 구성
- 저온 환경 시험 덕트 구성
- 운전 환경 및 연료 조건별 발전용 엔진 배기가스 특성 분석
- 항공유 사용에 따른 발전기 연소 및 배출가스 특성 분석
- 첨가제에 의한 배기가스 조성 영향 분석
- 초미세먼지 및 극초미세먼지 발생 특성 분석
- NO 및 NO₂ 발생 비율 분석
- 초미세먼지 및 질소산화물 저감장치의 소재 선정 기초 연구
- 작동 온도 및 연료 변화 대응 담체·촉매 선정
- 작동 온도 및 연료 변화별 저감 특성 분석
- 저감장치의 재생 컨셉 선정 기초 연구
- 극지 환경용 국부 온도 상승 유닛 선정
- 건식 재생 복합 적용성 파악
- 극지 환경 열회수 및 재생에너지 활용 방안 모색
- 첨가제 공급 방안 기초 연구
- 운전 온도 제어 방안 기초 연구

○ 2차 년도

- 200 kW급 엔진 벤치 시험 평가 장치 구축
- 엔진 부하 조건별 배기가스 특성 분석
- 배경 온도·습도 조건별 배기가스 특성 분석
- 초미세먼지 및 질소산화물 저감장치의 모듈화 개발
- 극한 환경 대응 적정 소재 선정 및 시험평가 수행
- 엔진 운전 조건별 성능 및 특성 평가
- 배기 유량, 온도, PM loading별 차압 변화 등에 따른 저감 특성 변화 분석

- 극한 환경 대응 미세먼지 재생 기술 개발
 - 균일 온도 제어 재생 기술 개발
 - 압축 공기 활용 물리적 재생 기술 개발
 - 적용 조건별 동작 특성, 온도 균일도 등 제어 및 성능 평가
 - 효율 안정성을 위한 재생 주기 최적 방안 도출
- 극한 환경 대응 첨가제 안정적 공급 기술 개발
 - 첨가제 온도 관리 기술 개발
 - 첨가제 기화 공급 기술 개발
 - 첨가제 slip 억제 기술 개발
- 저감장치의 통합 연결 구성 방안 마련
- 유해물질 통합 관리 시스템 핵심 로직 구성안 마련

○ 3차 년도

- 초미세먼지 및 질소산화물 동시저감 시스템 모듈화 적용 기술 개발 및 최적화
 - 저감장치간의 상호 연계 특성 파악
 - 동시저감 시스템의 성능 개선 및 최적화
 - 발전 용량 대응 모듈 확장 방안 마련
- 적정 재생 주기 및 첨가제 공급량 최적 조건 연구
 - 포집/재생 반복 성능 평가
 - 포집량 및 재생 방법별 재생 최적 운전 조건 파악
 - 첨가제 공급 최적 운전 조건 파악
 - 첨가제 slip 억제 최적화 방안 마련
- 저감장치의 현장 적용 특성 연구 및 개선
 - 현장 적용 고려 적정 크기 및 용량 산정
 - 현장 운영 동작 제어 로직 개발
- 발전 유해물질 통합 관리 모니터링 시스템 구축

○ 4차 년도

- 시제품 모듈화 및 납극 이송 (시스템 분리 및 패키징 등)
- 시제품 현장 설치 및 시운전
 - 200 kW급 장치 및 제어반 현장 설치

- 장치 시운전 및 데이터 수집 list 분석
- 시제품 현장 적용 문제점 파악 및 개선
 - 초미세먼지 및 질소산화물 저감장치의 현장 연속 운전 특성 파악
- 현장 환경 조건 변화 대응 저감장치간 연동 제어 최적화
- 현장 적용 연속 데이터 수집 및 데이터베이스화
- 동작 한계 분석을 통한 시스템 개선
- 현장 환경 변화에 따른 시스템 안정성 확인
 - 저감 장치의 현장 내구성 개선 방안 마련
- 입자상 물질의 안정적 재생 방안 확립 (재생 방법, 재생 주기 등)
- 질소산화물 저감용 첨가제의 안정적 공급 방안 확립
- 첨가제 slip 억제 최적 운전 조건 확립
 - 원격 유해물질 통합 관리 시스템 지속 모니터링 체계 구축
- 기본 운전 제어 및 유지관리 관련 데이터 전송 및 저장
 - 원격 통합 관리 데이터 수집 및 활용
 - 시스템 운영 및 유지보수 매뉴얼 마련
 - 시스템 운영 및 유지보수 관련 기지 운영자 인수인계
 - 저감장치의 용량별 적용 확대 방안 마련
 - 현장 적용 규격 확립
 - 탄소 배출 저감 장치와의 연계 적용성 검토

〈연차별 예산 소요 계획(대기오염 저감시스템 구축)〉

(단위: 백만원)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	대기오염 저감시스템 구축	정부		457	357	357	357		1,527
		민간							
	소계								

<연차별 인력 투입 계획(대기오염 저감시스템 구축)>

(단위: 명)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	대기오염 저감시스템 구축	책임		2	2	2	2		8
		연구원		4	4	4	4		16
		보조원		5	5	5	5		20
	소계			11	11	11	11		44

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역(대기오염 저감시스템 구축)>

(단위: 백만원)

품명	규격	수량 (식)	단가	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
디젤 발전기	200kW	1	1		100					100
연구시설·장비 및 연구재료비 합계					100					100

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역(대기오염 저감시스템 구축)>

(단위: 백만원)

구분	내역	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
연구활동비	전문가 활용비, 회의비 등		30	30	30	30		120
연구수당	인건비의 15% 이하		33	33	33	33		132
간접비	직접비의 10% 이하 수준		70	70	70	70		280
소계			133	133	133	133		532

<과제 카드(세세부과제 2-3)>

세세부과제명	극지 환경 대응 발전 시스템의 유해물질 저감 기술 개발	
연구개발 목적	○ 극지 연구 인프라에 대한 친환경 운영 시스템 개발 ○ 극지에서 친환경적인 발전 시스템 운영 기술 개발	
연구개발 목표	○ 극지 운용 발전 시스템의 대기 유해물질 저감 기술 개발 - 초미세먼지 저감효율 95%, 질소산화물 저감효율 90% - Tier 4 이상 수준 만족	
연구개발 필요성	○ 극지 인프라 구축·운용 과정에서 오염물질 배출 저감에 대한 국제적 공감대 형성 ○ 세계 기상환경 감시를 위한 기준 측정 사이트로서 청정 상태 유지 필요	
기술동향	○ 디젤 발전기에 항공유를 사용할 때 일산화탄소나 일산화질소의 발생이 감소하는 연구가 일부 있으나 극지 환경 또는 입자상물질에 대한 연구는 부재인 상태임 ○ 2 kW급 소형 발전기에 대해 극지 고지대에서의 연소 특성 연구를 진행한 사례가 있으나 배기가스의 오염배출 특성에 대한 연구는 부재인 상태임	
연구개발 내용	○ 극지 환경 대응 엔진 발전기의 연소 조건 및 배기가스 배출 특성 연구 - 극지 환경 대응 기초 성능 평가 시스템 구성 - 운전 환경 및 연료 조건별 발전용 엔진 배기가스 특성 분석 - 저감장치의 극지 환경 대응 소재 선정 기초 연구 - 저감장치의 재생 운영 컨셉 선정 기초 연구 ○ 극지 환경 대응 초미세먼지 및 질소산화물 저감 기술 개발 - 극지 환경 대응 저감 장치 구성 요소 기술 개발 - 저감 장치 재생을 통한 성능 유지 운영기술 개발 - 현장 적용성 고려 첨가제 공급 기술 개발 ○ 극지 환경 대응 초미세먼지/질소산화물 동시 저감 시스템화 개발 및 현장 적용 - 저감장치간의 상호 연계 특성 파악 - 동시저감 저감장치의 현장 적용 특성 연구 - 동시저감 시스템의 현장 대응 최적화 및 스마트 통합 관리 체계 구축	
연구 추진전략	○ 극지 기지 환경에 대한 이해력이 높은 연구기관 및 발전 엔진 관련 설계·제작 관련 경험이 많은 협력기관과의 협력을 통해 새로운 모델방안 마련 ○ 극지 환경용 시제품을 제작, 온도에 따른 효율 관계 확보 및 최적 구성품의 사양 결정 후 실제 환경에서의 연속 운전 평가를 통해 내구성 확보	
연구 추진체계	○ (출연연) 극지환경 대응 오염제어 핵심 기술 개발 ○ (출연연/시험기관) 극지환경 대응 오염제어 실증 및 성능평가	
연구개발 기간 및 소요예산	총연구기간	
	26-29	
	총예산	
	40억원	
최종 성과물 (정성·정량적 성과)	○ 극한 환경용 200 kW급 PM·NOx 저감장치 모듈 ○ SCI급 논문 5편, 특허 출원 5건 등	
연구개발성과의 활용방안 및 기대효과	○ 극지 기지 발전 시스템의 친환경 운영 기기로서 보급 확대 ○ 탄소포집 기술 적용을 위한 연계 처리 기술로서 활용 확대 기대	

3. 세부과제2 연구개발 로드맵

<연구개발 로드맵(세부과제2)>

세세부 과제	주요 연구활동	1차년도 (2027)	2차년도 (2028)	3차년도 (2029)	4차년도 (2030)	5차년도 (2031)	6차년도 (2032)	산출물	목표성능
2-1 재생에 너지 활용시 스템 개발	에너지시스템 Off-line 시뮬레이션 모델 개발	시뮬레이션 모델 개발 및 분석	성능지표 분석을	실측데이터 기반 Off-line 시뮬레이션 모델 최적화				에너지시스템 Off-line 시뮬레이션 모델	남극 내륙기지의 전력망 분석
	재생에너지 활용 시스템 개발	시스템 설계	제어시스템 구현 및 모니터링 시스템 개발	재생에너지 활용 시스템 시운전	제어시스템 최적화	시스템 제작 및 S/W 최적화		재생에너지 기반 에너지시스템	남극 내륙기지의 전력망 운영기술
	P-HILS 개발	P-HILS 시스템 설계	통합 모니터링 시스템 개발	실측데이터와 시뮬레이션 모델 최적화	실측데이터와 P-HILS간 연동 프로세스 확립	주요 제어 파라미터 최적화		에너지시스템 의 사전검증 및 성능평가를 위한 P-HILS	에너지시스템 의 사전검증이 가능한 테스트베드
	재생에너지 발전시스템 개발	시스템 설계	내구도 확보 기술 개발	시운전 및 결과분석	시스템 운영기술 최적화	유지보수 최적화		재생에너지 발전시스템	화석연료 30%를 재생에너지로 대체
	성능지표 개발	주요 시험항목 선정	성능 검증시나리오 수립	P-HILS 및 Semi-type 실증 테스트	시험 절차 최적화			성능검증 방법 및 판정기술	시험항목 및 시험절차서

2-2 수처리 시스템 개발	저에너지 용설 시스템 개발	용설 시스템 초기 설계 및 시제품 제작	시운전 및 시스템 핵심 설계	용설시스템 운영 최적화	용설 시스템 제작 및 성능평가	극지현장 시운전 및 시스템 최적화		저에너지 용설 시스템 (12-15톤/일 규모)	친환경 에너지 활용 30% 이상
	정수처리 시스템 개발	정수처리 시스템 초기 설계	정수처리 시스템 핵심 설계 및 시제품 제작	용설 시스템과의 연동 시스템 제작 및 시운전	시스템 최종 평가	정수처리 시스템 극지현장 성능평가		남극 내륙 맞춤형 정수처리 시스템	에너지 자립형, 무방류 지향
	폐수 재이용 시스템 개발	폐수 재이용 시스템 초기 설계	폐수 재이용 시스템 핵심 설계 및 시제품 제작	시제품 시운전 및 폐수 재이용 시스템 개선	폐수 재이용 시스템 최종 평가	폐수 재이용 시스템 극지현장 성능평가		-남극 내륙 맞춤형 폐수 재이용 시스템	생활폐수 재이용 70% 이상
	소변 분리 및 농축 시스템 개발	소변 분리 및 농축 시스템 초기 설계	대·소변 분리형 시스템 상세 설계 및 시제품 제작	소변 분리형 시스템 시운전	소변 농축 시스템 제작 및 성능평가	소변 분리 및 농축 시스템 극지현장 성능평가		소변 분리 및 농축 시스템 (소변 재이용 및 자원순환 기초 플랫폼)	소변 분리 70% 이상 소변 농축 30% 이상
	통합 물관리 프로그램 개발	통합 물관리 프로그램 개념 설정	통합 물관리 프로그램 핵심 설계	통합 물관리 프로그램 제작	통합 물관리 프로그램 성능평가	통합 물관리 시스템 극지 현장 성능평가		내륙기지 맞춤형 통합 물관리 시스템	극지 내륙 환경에서 시스템 제어 및 안정성 확보
2-3 오염저감 시스템 개발	친환경 발전 배출 저감 기술		기초연구 수행	200 kW급 모듈화 개발	200 kW급 국내 시운전 및 성능평가	200 kW급 현장 운영 및 개선		초미세먼지/ 질소산화물 저감시스템	Tier 4 규제 만족

제4절 (세부과제3) 환경영향평가 대응

1. 세부과제3 개요

<세부과제3 요약표>

세부과제명: 환경영향평가 대응								
개념	○ 남극내륙기지 건설의 국제사회 동의를 위한 포괄적환경영향평가서(CEE) 작성 및 기지 건설 전주기 사후 관리							
범위	○ 포괄적 환경영향평가서(CEE) 작성 및 국내승인절차 수행 - 건설후보지 정밀조사 (자연환경, 건설환경 및 운송여건 등) - 환경영향평가 전문기관 선정 및 국·영문 평가서 작성 - 환경영향평가서에 대한 국내 심의 절차 수행 및 국민 의견 수렴 ○ 남극조약협약당사국회의(ATCM)에 CEE 제출을 통한 건설 동의 획득 - 남극내륙기지 건설계획 정보문서(IP) 및 포괄적환경영향평가서(CEE) 초안 제출 - 당사국 검토의견 반영 최종 CEE 제출							
핵심 성과물	○ 남극내륙기지 건설의 국제사회(ATCM) 동의 획득 ○ 포괄적환경영향평가서(CEE) 제출본							
세세부과제 구성 및 주요 내용								
세부과제명		목표 성능				TRL 단계 (목표)	연구기간	
환경영향평가 대응		남극내륙기지 건설의 국제사회(ATCM) 동의 획득				7	6	
예산 및 인력 투입계획								
구분		‘27	‘28	‘29	‘30	‘31	‘32	합계
인력 투입계획	책임연구원	6	6	6	6	6	6	36
	연구원	8	8	8	8	8	8	48
	연구보조원	-	-	-	-	-	-	-
	소계	14	14	14	14	14	14	84
예산 투입계획 (백만원)	정부	2,159	2,139	1,848	1,821	1,821	1,821	11,609
	소계	2,159	2,139	1,848	1,821	1,821	1,821	11,609

2. 과제 구성 및 주요 내용

<세부과제3의 세세부과제 구조>

세부과제	연구 목표
환경영향평가 대응	포괄적환경영향평가서(CEE) 제출을 통한 남극내륙기지 건설의 국제사회 (ATCM) 동의 획득

<세부과제3 연구설계도>

목표 성능	주요 연구활동	산출물	TRL
남극내륙기지 건설의 국제 사회 동의 획득	포괄적환경영향평가서(CEE) 작성	포괄적환경영향평가서(CEE) 최종본	
	남극조약협의당사국회의(ATCM) 보고	남극내륙기지 건설의 국제사회 동의 획득	
	사후 환경모니터링, 건설지 주변 환경변화 모니터링	사후환경 모니터링 보고서	

1) (세부과제3) 환경영향평가 대응

(1) 개념 및 범위

- ☐ 남극에서의 모든 인간활동은 신중해야 하며, 이를 위한 환경영향평가는 필수
- 남극은 지구상에서 가장 극한 환경을 가진 대륙으로서, 독특하고 민감한 생태계 보유
 - 남극은 지구 기후 시스템의 중요한 부분으로 작용하며, 전 세계 기후 변화 영향을 직접적으로 받음
 - 남극 생태계는 생물 다양성이 낮고, 회복력이 매우 제한적이라 인간 활동으로 인한 환경 변화에 취약
- 남극은 전 세계가 공동으로 관리하는 지역으로, 한 국가의 활동이 전체 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 각국은 환경보호에 대한 책임을 공유하고 국제협력을 통해 환경영향평가 수행
- 남극내륙의 생태계는 극도로 낮은 생물 다양성을 가지며 작은 환경의 변화에도 쉽게 위협받을 수 있고 회복 불가능한 영향을 받기도 함
 - 기지 건설과 같은 대규모 활동은 유류 유출, 대기 오염, 폐기물 문제를 야기시킬 수

있으며 생태계 균형을 무너뜨리거나 남극 환경의 자정능력을 넘어서는 결과를 초래할 위험 존재

- 환경영향평가는 인간활동이 남극 환경에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 예측하고 환경적 위험을 최소화 할 수 있도록 사전 예방적 접근 전략 마련
 - 환경영향평가는 기지 건설 시 재생 가능 에너지 사용, 고효율 자원 활용 등 기술적 혁신을 통해 남극 기지의 지속 가능성을 확보하는 역할 수행
 - 환경영향평가를 통해 사전에 환경적 문제를 예측하고 해결 방안을 마련하면, 향후 발생할 수 있는 복구 비용을 크게 줄일 수 있게 된다.

□ 남극환경영향평가의 법적, 국제적 의무

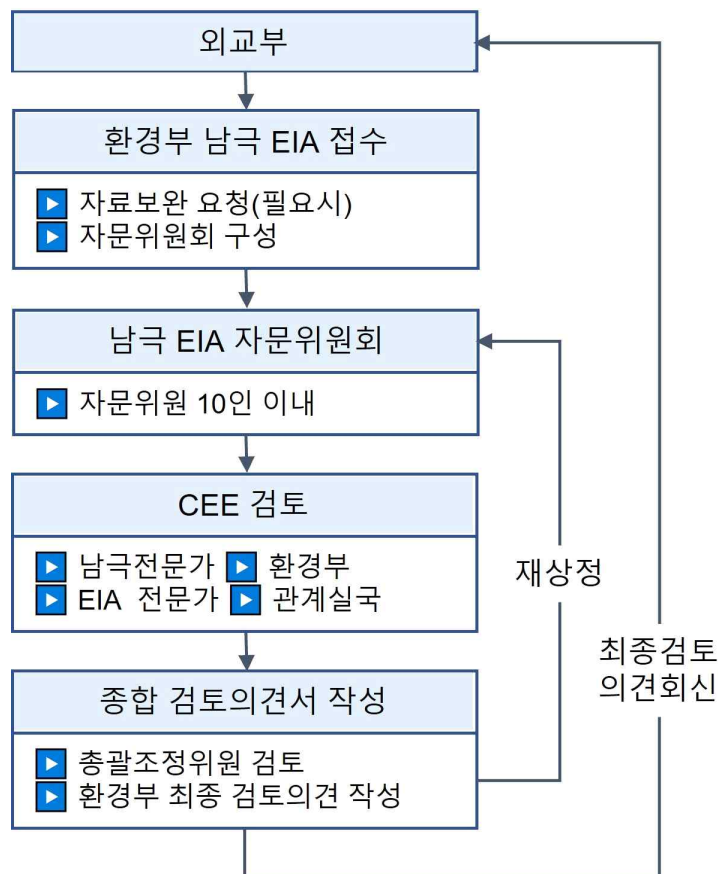
- 남극조약
 - 남극의 평화적 이용과 과학연구를 위해 체결된 국제조약으로 군사적 활동, 핵실험 및 방사성 폐기물의 투기를 금지하며 남극대륙의 생태계 보존을 명시하고 있음
- 남극환경보호에 관한 의정서
 - 남극환경과 생태계 보호를 강화하기 위해 남극조약에 추가된 의정서
 - 남극을 자연보호구역으로 지정하여 모든 상업적 광물자원의 채취를 금하고 환경영향평가를 모든 활동에 대해 의무화하며 남극의 생태계, 과학적 가치를 손상시킬 수 있는 활동을 제한함
 - 남극환경영향평가는 환경에 영향을 미치는 정도에 따라 예비환경영향평가, 초기환경영향평가 및 포괄적환경영향평가 등 3가지로 나누어 진행
 - 남극의 환경영향평가 지침 중 마드리드의정서 제3조 (C)항은 남극에서의 과학적 활동이 남극의 가치에 미칠 수 있는 영향을 사전에 평가하고 판단하기 위하여 다음의 사항들을 고려
 - 남극활동범위: 활동지역, 지속기간 및 강도 포함
 - 활동의 누적 영향: 활동자체 및 남극조약지역에서의 다른 활동과 연계되어 발생하는 누적 영향 포함
 - 해당 활동이 남극조약지역 내 다른 활동에 부정적인 영향을 미칠 가능성
 - 환경적으로 안전한 운영을 위한 기술과 절차가 있는지 여부
 - 활동의 부정적인 영향을 조기에 식별하고 경고할 수 있는 능력 및 모니터링 결과에 따라 운영 절차를 수정할 수 있는 능력
 - 특히 환경에 영향을 미칠 가능성이 있는 사고에 대한 신속하고 효과적으로 대응할 수 있는 능력

- 남극의 환경영향평가 지침 중 마드리드 의정서 제8조 '환경영향평가'의 3가지 유형
 - 우리나라의 '남극활동 및 환경보호에 관한 법률' 에서 수용함
 - 예비환경영향평가서: 허가를 신청한 남극활동이 단순 방문 등 남극환경에 극히 사소하거나 극히 일시적인 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우(less than a minor or transitory impact)
 - 초기환경영향평가서: 허가를 신청한 남극활동이 건축물 또는 설비의 수선·변경 등 남극환경에 사소하거나 일시적인 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우(a minor or transitory impact)
 - 포괄적환경영향평가서: 허가를 신청한 남극활동이 건축물 또는 설비의 신축·신설 등 남극환경에 사소하거나 일시적인 것을 넘는 심각한 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우(more than a minor or transitory impact)
- 남극내륙기지는 상기 유형 중 남극환경에 중대한 영향을 미칠 가능성이 있는 경우에 해당하기 때문에 포괄적 환경영향평가(CEE) 실시 필요
 - 포괄적환경영향평가서는 환경적, 과학적, 기술적 평가를 포함해야 하며, 이를 통해 기지 건설이 환경에 미치는 영향을 최소화
 - 에너지 사용, 폐기물 처리, 위험관리, 비상대응 계획, 사후 모니터링 등 구체적인 방안을 포함
 - 환경 보호와 지속 가능성을 위한 설계 요소를 명확히 설명
- 남극환경영향평가서 작성에 관한 세부지침(외교부고시 제2021-7호) 제6조(포괄적환경영향평가서의 구성)에 다음 각 호의 내용 포함 명시
 - 요약문: 남극활동에 대한 전반적인 요약문(목적, 필요성, 현안, 고려된 대안, 현재의 환경상태, 각 대안별 영향에 관한 요약문)
 - 활동의 개요
 - 남극 활동 관련 정보(대상지역, 이동관련 정보, 남극체류날짜, 책임자 인적사항, 참가자 명단, 다른 남극협의당사국과의 공동활동 유무 등)
 - 남극활동 내용(목적 및 필요성, 활동 상세내용, 영향 및 파급효과 등)
 - 계획된 남극활동의 경로 및 주된 활동 지역을 확인할 수 있는 지도
 - 평가수준의 결정근거
 - 환경 영향에 대한 전반적인 내용 요약
 - 환경관리계획(예상되는 환경영향에 대해 구체적인 저감방안 요약)
 - 이미 실시된 바 있는 국내·외 포괄적환경영향평가의 사례와 근거 사유 제시

- 대안의 설정 및 평가
 - 남극 활동의 목적 또는 필요성을 고려하여 지역, 규모, 인원, 시기 및 기간, 방법 등 해당 남극활동에 대한 대안 검토 내용
 - 남극활동이 이루어지지 않았을 때의 장래 환경 상태의 예측
- 중점평가항목의 설정: 환경영향평가 대상지역을 설정하고 평가항목 중 남극 활동으로 인해 대상 지역에 직·간접적인 영향이 미치는 항목을 중점항목으로 선정하여 선정 사유 제시
- 항목별 주요 평가내용(현황, 영향 예측 및 오염저감방안):
 - 대상지역에 대한 현황 조사 내용
 - 남극활동으로 인한 직·간접적인 영향을 예측, 평가하며, 동일 혹은 인근 지역에서 과거 시행되었거나 시행중인 혹은 계획 중인 활동으로 인한 누적 영향을 포함
 - 오염저감방안은 환경영향에 대한 완화 및 복원방법을 포함하여 가능한 모든 대안을 검토한 뒤 최적의 저감방안을 선정하여 그 이유와 함께 제시, 사용된 환경영향 예측 기법 및 데이터
- 남극환경모니터링 계획:
 - 남극 활동의 유형, 규모, 남극활동을 수행하는 장소의 환경특성을 고려하여 수립
 - 검증 가능한 가설 설정 및 모니터링 분야 및 매체 선정
 - 자료 습득방법, 샘플링 설계, 자료 수집 빈도 및 시기
 - 조사지역, 항목, 시기, 기간, 주기 또는 빈도, 인력 및 장비, 예상치 못한 상황 발생 시 대응계획
- 남극활동으로 인한 불가피한 영향(저감할 수 없는 영향)
- 현재의 기술로는 예상할 수 없는 불확실성 및 지식의 공백
- 부록(평가관련 각종 참고자료)
 - 작성자 및 자문위원
 - 참고문헌, 색인, 용어해설 등
- 남극조약협약당사국회의(ATCM)는 환경영향평가 결과를 검토하고 국제적인 의견을 수렴하여 활동이 환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있도록 지원
- 남극기지 건설을 위한 남극환경영향평가의 국내/외 절차
 - 남극환경영향평가의 국내절차
 - 남극건설후보지 정밀조사(자연환경, 건설환경 및 운송여건 등)

- 환경영향평가 전문기관 선정 및 포괄적환경영향평가서 초안(국문) 작성: 남극 환경영향평가서 작성에 관한 세부지침(외교부고시 제2021-7호)에 근거하여 작성
- 환경부에서 남극전문가 위원 소집, 평가 후 의견 받아서 외교부에 전달
- 외교부에서 해양수산부 극지연구소로 수정 의견 전달

국내절차

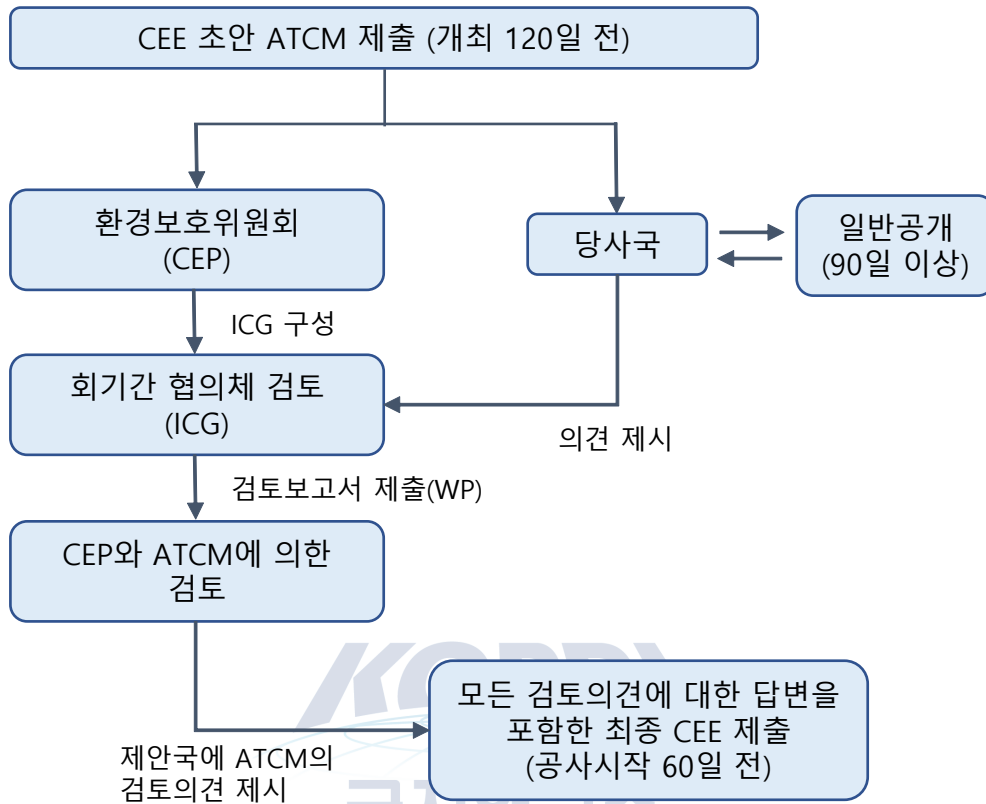


<남극환경영향평가의 국내절차>

○ 남극환경영향평가의 국제절차

- 환경부의 의견을 반영하여 수정한 포괄적환경영향평가서 초안(영문)을 남극조약협 의당사국회의(ATCM)에 회의 개최 120일 이전에 제출
- ATCM 사무국은 환경보호위원회(CEP) 회원국과 협의당사국에 CEE 초안 회람
- CEP는 ATCM에 자문 의견 제출
- 당사국 검토의견 반영하여 최종 CEE 제출(남극활동 60일 전), ATCM에서 건설 동의 획득

국제(ATCM) 절차



<남극환경영향평가의 국제절차>

(2) 기존 기술의 한계와 극복 방안

□ 환경영향평가 기술동향

○ 남극환경영향평가 요인과 기술

- 생태계 영향 최소화 기술
 - 환경 초기 상태 분석: 기지 건설 전 지역의 생태적 특성과 민감성 분석을 위해 지형 데이터, 위성 이미지, 드론 기술 등 활용
 - 생물다양성 보호 조치: 생물종의 이동 경로와 서식지 보존을 위해 생태 모니터링 기술 도입
 - 비토착종 관리: 남극 지역의 고유 생태계를 보호하기 위해 외래종 유입 방지 기술 발전 중
- 폐기물 관리 기술
 - 폐기물 처리 시스템: 폐기물의 철저한 회수와 현지 처리 및 반출을 병행하는 기술

이 발전 중

- 폐수 재활용 시스템: 물 자원의 희소성을 극복하기 위해 폐수를 정화하고 재활용하는 기술이 필수적
- 지속 가능한 에너지 시스템 설계
 - 하이브리드 에너지 시스템: 태양광, 풍력, 디젤 발전기를 결합하여 에너지 효율을 극대화하는 하이브리드 시스템이 적용되고 있으며 최근에는 수소연료 기술 도입
 - 재생에너지 기술: 태양광 패널과 풍력 터빈 설치로 기지 운영의 탄소 배출을 줄이고 에너지 독립성과 지속 가능성을 확보하려는 노력이 두드러짐
- 건물의 구조 설계와 운영 기술
 - 이동 가능한 모듈형 설계: 빙하 이동과 균열에 대응하기 위해 모듈형 구조 설계가 활용, 건설 기간 단축을 통한 에너지 소비와 탄소 배출 저감 가능
 - 극한 환경 대응 기술: 남극의 강풍과 저온 환경에서도 안정적으로 기지를 운영하기 위한 구조적, 기술적 보강(극저온 내구성 장비, 무인 운영 기술)
- 환경 모니터링
 - 실시간 환경 모니터링: 기지 주변의 대기, 빙하, 생태계 상태를 지속적으로 감시하기 위한 IoT 기반 모니터링 시스템 발전
 - 과학적 데이터와 환경 모델링의 통합: 기후 변화, 대기, 빙하, 생태계 등의 복잡한 상호작용을 예측하는 데 과학적 모델링과 시뮬레이션 기법 사용, 빙하 흐름 모델, 대기 오염 예측, 생물 다양성 변화 모델을 통합하여 더 정확한 영향을 예측하고, 이에 따른 완화 방안을 제시하는 방향으로 발전
- 사고 예방 및 대응 기술
 - 연료 유출 방지: 연료 저장소의 이중 방벽 구조와 유출 감지 센서가 필수적으로 도입
 - 긴급 복구 체계: 사고 발생 시 신속한 복구를 위한 계획과 기술이 운영 단계에서 적용(사전 복구 시나리오 구축)
- 정책적 지원과 국제 협력
 - 국제 기준 준수: 남극조약과 환경보호의정서에 따라 환경영향평가를 수행하며, 각국이 이를 철저히 준수하도록 유도
 - 공동 연구와 기술 공유: 남극 환경 보존과 과학적 연구를 위해 기술과 데이터를 공유하는 국제 협력 확대

□ 해외기지 사례

- 중국 친링기지: 2014년 1월 CEE 초안 제출, 2021년 10월 CEE 최종안 제출
 - 하이브리드 에너지 시스템: 태양광, 풍력, 마이크로가스터빈, 디젤, 수소 연료를 결합한 시스템 개발로 에너지 자립성을 확보하고 탄소 배출 저감
 - 유기 폐기물 처리를 위해 자기열분해 기술 도입: 소량의 자기화된 공기가 열분해를 통과하여 연소. 완전 열분해로 재가 되면, 재의 양은 원래 무게와 부피의 약 2% 정도에 불과
- 뉴질랜드 스콧기지 리모델링: 2021년 2월 CEE 초안 제출, 2021년 8월 CEE 최종안 제출
 - Life Cycle Assessment(LCA)을 도입하여 활동의 모든 과정에서 환경적 영향을 분석하고 평가: 온실가스 배출량, 폐기물 발생량 등을 사전에 평가하여 최소화 전략 설계
 - Green Star 인증: 뉴질랜드의 Green Star 지속 가능성 인증 시스템을 적용하여 건물 설계, 에너지 효율성, 자원 관리, 거주자의 복지 평가, 건물의 전반적인 친환경 성과를 높이는 데 중점
 - 기후 변화 대응 설계: 해수면 상승, 빙하 이동, 화산 활동 등 기후 변화로 인한 자연재해에 대비해 설계
- 미국 맥머도기지 현대화: 2019년 2월 CEE 초안 제출, 2019년 8월 CEE 최종안 제출
 - 뉴질랜드와 공동으로 운영 중인 풍력 터빈을 통해 전력 공급 보완
 - 에너지 관리 시스템: 에너지 소비 패턴을 실시간으로 분석하고 최적화하여 효율성을 극대화
 - 배출 저감 기술: 탄소 배출 저감을 위해 디젤 발전기의 폐열을 활용하여 건물 난방에 사용
- 대한민국 장보고기지: 2011년 2월 CEE 초안 제출, 2012년 5월 CEE 최종안 제출
 - 극지형 독립 에너지 수급 및 운영 시스템(열병합발전, 폐열 100% 활용, 풍력/태양광 발전)
 - 오수의 중수처리 및 중수 재사용으로 물생산량을 최소화한 친환경 급배수 위생통합 시스템
- 중국 곤륜기지: 2008년 1월 CEE 초안 제출, 2008년 8월 CEE 최종안 제출
 - 태양광 에너지를 최대한 활용하여 발전기의 보완적 전력 생산
 - 발전기 폐열로 난방과 물 생산
 - 현장에서의 작업량을 최소화하기 위해 사전 제작된 컨테이너와 조립식 구조물을 결

합하고 에너지 소모 감축을 위한 집약적 배치

- 벨기에 프린세스 엘리자베스 기지: 2006년 2월 CEE 초안 제출, 2007년 3월 CEE 최종안 제출

- 오염물질 배출 제로를 목표로 한 친환경 남극하계기지
- 패시브 빌딩, 재생에너지, 스마트 그리드, 수자원 관리 등의 기술을 통합

- 프랑스-이탈리아 콘코르디아 기지: 1993년 CEE 초안 제출, 1994년 12월 CEE 최종안 제출 (심부빙하시추 프로젝트 후 2005년 기지 완공)

- 디젤 발전기를 기본으로 하고 태양광을 보조적으로 이용한 전력공급: 태양광 패널 설치, 레이아웃 시험으로 최적화하여 효율성 증대(설평면 역반사 효과, 최적 각도 75도)
- 물 재활용 시스템: 두 개의 급수 시스템(fresh water, Grey water) 설치하여 요리와 식수/ 샤워, 화장실 용수로 최대한 절약

□ 남극내륙기지 건설의 ATCM 동의 획득을 위한 포괄적 환경영향평가서 작성 추진 전략

- K루트 남극내륙탐사를 통해 획득한 기초환경자료 수집 및 분석을 통해 ATCM에 남극내륙기지 건설에 대한 정보문서(IP, Information papers) 제출시기를 최대한 앞당김

- 건설후보지에 대한 빙저 지형 자료와 빙하레이더 자료 분석
- 자동 기상 관측(AWS)장비를 통해 획득한 기상 자료 분석
- 기지 건설 전 환경에 대한 빙설 시료 화학 성분 분석

- 해외기지건설 및 운영 사례조사를 통한 환경영향 저감 방안 제시

- 최근 신규 건설 기지 또는 재건축 기지에 대한 환경영향평가서 분석을 통해 건설과 관련한 설계, 건설, 과학적 활동, 최신기술동향 등을 검토하여 우리나라 기지 건설 계획에 참고

- 환경영향평가 전문기관 선정

- 남극내륙기지 건설을 위한 포괄적환경영향평가 평가항목과 항목별 주요평가내용 조사
- 건설지 추가 정밀환경조사 필요 부분 검토, 조사
- 건설에 필수적인 국·영문 포괄적환경영향평가서(CEE) 초안 작성 및 제출
- 국내외 절차 수행 및 참여
- 당사국 검토의견 반영한 최종 CEE 작성 및 제출

○ 국제 네트워크 강화 및 활용

- 남극프로그램 관리자 협의회(COMNAP) 국가 국제 네트워크를 통해 남극 내륙 경험 노하우 공유와 고립 지역에서의 건설사업 단계 및 운영 협력 강화

○ ATCM 건설 동의 획득

- ATCM에 제출한 CEE 초안에 대해 환경보호위원회(CEP)에서 온라인 CEP discussion forum을 통해 검토할 때, 온라인으로 검토 의견을 모니터링하면서 대응 준비
- 제안된 검토 의견들에 대한 답변을 수록하여 최종 CEE 작성 제출
- 기지 건설을 위한 남극활동 60일 전에 최종 CEE가 모든 당사국들에게 회람되어야 하며 웹사이트에 링크하여 최종 CEE를 다운로드 할 수 있도록 제공해야 함

<남극내륙기지 포괄적환경영향평가 평가항목 및 항목별 주요평가내용>

평가항목	주요평가내용
1. 대기	- 배출원별 오염물질의 특성 분석 및 저감방안 - 연료사용계획 및 열공급방식 검토·분석 - 풍향·풍속과 오염물질의 확산 관계 및 저감대책
2. 기상	- 기온, 증발량, 일조시간, 안개일수, 적설량 등 기상변화 예측 및 대책 - 남극활동으로 인한 국지기상의 변화 및 대책
3. 수질 및 수자원	- 수계의 현황(유속, 유량, 수위, 수질)과 이에 미치는 영향 및 대책 - 오염원 발생 시 오염원별 특성 분석 및 오·폐수 처리대책 - 용수공급계획과 용수사용량과의 관계분석(용수사용량 저감 및 재이용 계획포함) - 처리수 방류지점 선정에 관한 분석 - 지하수의 수맥차단, 수량감소 및 오염방지대책
4. 해양환경	- 오염물질 등으로 수질에 미치는 영향 및 대책 - 해수유동상태의 변화 및 그에 따른 수질예측과 저감대책(대안의 선정·비교 등) - 해저지형 및 수심의 변화정도에 따른 영향 및 대책 - 해안생태계 및 동·식물에 미치는 영향 및 대책
5. 빙설(氷雪)	- 빙상, 빙하, 빙봉의 분포 및 형상 - 빙상, 빙하, 빙봉의 교란 위치·범위 및 표층의 변화 예측 및 대책 - 빙하의 이동 방향 - 항구적인 노출지대 및 융설(融雪)에 따른 무설지역의 범위 및 시기
6. 토양	- 지표 교란의 위치 및 범위 예측 및 대책 - 기름, 독극물, 슬러지 및 오염물질의 저장, 운반, 이용 등에 따른 영향 및 대책 - 오·폐수 방류구 부근의 토양오염 및 방지대책
7. 지형 및 지질	- 역사적·경관적·학술적·문화적 또는 자연환경보전상 보전가치가 있는 지형·지질의 조사 및 보전대책

	- 지형변화(지반침하, 지각운동, 기반암의 심도와 특성, 지하수 유출, 침강, 퇴적 등)를 야기하는 지형·지질의 특성과악, 영향의 정도 및 대책
8. 동식물	- 동·식물 개체군, 군집, 군락의 변화예측 및 대책 - 토착종, 희귀종, 멸종위기에 처한 종의 유무에 대한 검토 및 대책 - 온배수 배출에 따른 주변 해양 동·식물상 변화예측 및 대책 - 생물의 번식기, 철새도래지 등을 고려한 활동 시간대의 조정필요성 여부 - 동·식물의 이동로, 서식·생육환경의 교란 및 훼손여부와 그에 따른 영향 및 대책 - 동·식물상과 종 및 개체수의 분포상황, 종의 다양도 산출 및 보전대책 - 자연식생의 보존 방안 - 의도하지 않은 외래종 유입 방지 대책
9. 남극 자산 및 특별구역	- 남극사적 기념물의 보전에 대한 영향 예측 및 대책 - 남극 특별보호구역 및 특별관리구역에 대한 영향 예측 및 대책
10. 폐기물	- 폐기물의 성상별 발생량 예측 및 처리대책 (반출, 재활용 방안 등의 검토·분석)
11. 소음·진동	- 소음원 조사 및 저감대책 - 소음·진동을 고려한 시간대별 활동계획 - 폭약사용 등으로 인한 소음·진동예측 및 저감대책
12. 과학기지 운영 및 과학연구 활동 <신설>	- 남극과학연구의 가치를 저하시키는 요소의 존재 여부 및 대책 - 과학기지 운영을 방해하는 요소의 존재 여부 및 대책 - 과학연구 활동 및 실험을 간섭 또는 방해하는 요소의 존재 여부 및 대책

(3) 연구개발 상세계획

□ 연차별 계획

○ 1차 년도

- 건설 예정지의 기초환경조사: K-루트 탐사를 통해 확보한 남극내륙 환경 시료 분석
- ATCM 개최 한달 전 내륙기지건설 계획 보고를 위한 정보문서(IP, Information Papers) 제출: 사전 국내 절차(외교부) 필요
- 환경영향평가 전문기관 선정
- CEE 작성계획 수립
- CEE 작성을 위한 자료 확보
- 기지건설기본계획서
- 건설예정지 주변 지역에 대한 데이터, 논문, 보고서 등
- 타국가 CEE
- 시공사 기본설계설명서 및 환경영향평가를 위한 자료

- 세종과학기지, 장보고과학기지 대수선 및 증축사업 건설 보고서
- 극지연구소 제공 자료: 기지 건설의 목적, 역사, 과학연구, 부지선정 등
- 시공사 세부자료: 보고서 압도, 디자인 계획, 발전기 용량 등
- 환경영향평가 및 저감 방안 마련
- 시공사에서 제공한 기본계획 자료 분석
- 분야별 환경영향평가 실시: 생활환경 분야 및 자연환경 분야
- 환경영향평가에 따른 업무 협의
- 분야별 저감방안 마련: 대기질, 유류유출, 폐기물, 오폐수, 생태계, 소음, 지형변화, 경관 및 심미적 자연 가치 등
- 환경영향평가 전문가 활용: 발생원단위를 이용한 발생량 예측 및 대기질 등 영향 예측 모델링
- CEE 작성을 위한 건설후보지 정밀환경조사

○ 2차 년도

- CEE 작성을 위한 건설후보지 정밀환경조사
- CEE 초안 작성(국문)
- 세부 구성방안, 항목별 초안 작성, 미비자료 확인
- 자체평가회의 내용을 토대로 수정 및 추가 작성: CEE 작성 진도 확인, 미비 사항 보완
- 시공사 기본설계를 반영한 세부내용 작성
- CEE 초안 공고
- CEE 국문 초안의 외교부 및 극지연구소 홈페이지에 공고
- 국내 의견 수렴: CEE 영문 초안 작성 시 국내 검토 의견을 반영함
- 외교부의 관계부처 검토 요청: 30일 이내에 외교부에 검토 의견 송부
- 환경부가 남극 환경영향평가 자문위원회를 구성하여 검토 의견 수렴

○ 3차 년도

- CEE 초안 작성(영문)
- CEE 국문 초안에 대한 국내 검토 의견을 반영하여 작성
- 기존에 완성된 내용에 대한 각 장별 초별 번역
- 외부 전문가 교정 및 감수
- COMNAP 환경영향평가 가이드라인에 부합하도록 영문 CEE 초안 재구성 및 추가

내용 작성

- 최종 검토 및 편집
 - ATCM 개최 120일 전에 CEE 초안 제출
- CEE 영문 초안의 남극환경보호위원회(CEP) 회원국 회람(90일 이상)
- CEP와 ATCM에 의한 검토
 - CEP 의견 반영한 CEE 최종본의 전문가 검토 및 보완

○ 4차 년도

- CEE 최종본 제출
- ATCM에서 기지 건설 동의 획득
- 건설지 환경변화 모니터링 수행

○ 5차 년도

- ATCM에서 기지 건설 1단계 결과 보고
- 건설지 환경변화 모니터링 수행

○ 6차 년도

- ATCM에서 기지 건설 2단계 결과 보고
- 건설지 환경변화 모니터링 수행
- 사후 환경 모니터링 수행: CEE 예측과 실제 건설 후 비교 평가

<연차별 예산 소요 계획(환경영향평가 대응)>

(단위: 백만원)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	환경영향평가 대응	정부	2,159	2,139	1,848	1,821	1,821	1,821	11,609
		민간							
	소계		2,159	2,139	1,848	1,821	1,821	1,821	11,609

<연차별 인력 투입 계획(환경영향평가 대응)>

(단위: 명)

No	구분		' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
1	환경영향평가 대응	책임	6	6	6	6	6	6	36
		연구원	8	8	8	8	8	8	48
		보조원							
	소계		14	14	14	14	14	14	84

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역(환경영향평가 대응)>

(단위: 백만원)

품명	규격	수량 (식)	단가	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
물 동위원소 분석		1	10	10	10	10	10	10	10	60
이온화학종 분석		1	110	110	110	110	110	110	110	660
중금속 분석		1	175	175	175	175	175	175	175	1,050
기상자료 관측 (AWS)		2	10	20						20
연구시설·장비 및 연구재료비 합계				315	295	295	295	295	295	1,790

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역(환경영향평가 대응)>

(단위: 백만원)

구분	내역	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
연구활동비	전문가 활용비, 회의비 등	790	790	495	475	475	475	3,500
연구수당	인건비의 15% 이하	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	777.6
간접비	직접비의 10% 이하 수준	276.8	276.8	280.3	273.3	273.3	273.3	1,653.7
소계		1,196.4	1,196.4	904.9	877.9	877.9	877.9	5,931.3

<과제 카드(환경영향평가 대응)>

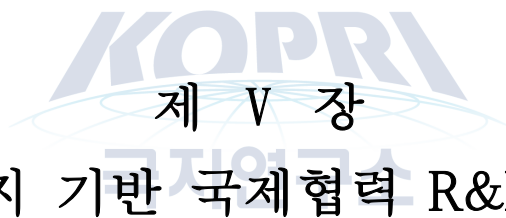
세부과제명	환경영향평가 대응
연구개발 목적	○ 남극내륙기지 건설을 위해 포괄적환경영향평가서(CEE)을 작성하여 남극조약협의당사국회의(ATCM)에서 남극내륙기지 건설 동의 획득
연구개발 목표	○ 포괄적환경영향평가서(CEE) 작성
연구개발 필요성	○ 남극 조약 및 국제적 책임 의무를 다하기 위해 환경 관리 체계 구축 ○ 남극 환경의 민감성과 취약성을 고려한 환경 보존, 보호 의무를 준수하기 위해 기지건설과 운영이 남극 환경에 미치는 부정적 영향을 사전에 예측하고 이를 저감하기 위한 조치를 마련 ○ 남극 생태계와 기후에 미치는 장기적 영향을 고려하여 지속 가능한 운영 방안 수립과 과학적 기여 ○ 국제사회에서 기지 건설의 정당성 확보
기술동향	○ 중국 친링 기지: 2014년 1월 CEE 초안 제출, 2021년 10월 CEE 최종안 제출 - 하이브리드 에너지 시스템: 에너지 자립성을 확보하고 탄소 배출 저감 - 유기 폐기물 처리를 위해 자기열분해 기술 도입: 열분해 후 재의 양은 원래 무게와 부피의 약 2% 정도에 불과 ○ 뉴질랜드 스콧 기지 재개발: 2021년 2월 CEE 초안 제출, 2021년 8월 CEE 최종안 제출 - Life Cycle Assessment(LCA)을 도입하여 활동의 모든 과정에서 환경적 영향을 분석하고 평가 - Green Star 인증: 뉴질랜드의 Green Star 지속 가능성 인증 시스템을 적용, 건물의 전반적인 친환경 성과를 높이는 데 중점 - 기후 변화 대응 설계 ○ 미국 맥머도 기지 현대화: 2019년 2월 CEE 초안 제출, 2019년 8월 CEE 최종안 제출 - 풍력 터빈을 통해 전력 공급 보완 - 에너지 관리 시스템: 에너지 소비 효율성을 극대화 - 탄소 배출 저감을 위해 폐열을 활용하여 건물 난방에 사용 ○ 한국 장보고과학기지: 2011년 2월 CEE 초안 제출, 2012년 5월 CEE 최종안 제출 - 극지형 독립 에너지 수급 및 운영 시스템(열병합발전, 폐열 100% 활용, 풍력/태양광 발전) - 오수의 중수처리 및 중수 재사용으로 물생산량을 최소화한 친환경 급배수 위생통합시스템 ○ 중국 곤륜 하계 기지: 2008년 1월 CEE 초안 제출, 2008년 8월 CEE 최종안 제출 - 태양광 에너지를 최대한 활용하여 발전기의 보완적 전력 생산 - 발전기 폐열로 난방과 물 생산 - 사전 제작된 컨테이너와 조립식 구조물 결합, 에너지 소모 감축을 위한 집약적 배치 ○ 벨기에 프린세스 엘리자베스기지 하계 기지: 2006년 2월 CEE 초안 제출, 2007년 3월 CEE 최종안 제출 - 오염물질 배출 제로를 목표로 한 친환경 남극하계기지 - 패시브 빌딩, 재생에너지, 스마트 그리드, 수자원 관리 등의 기술을 통합 ○ 프랑스-이탈리아 콘코르디아 기지: 1993년 CEE 초안 제출, 1994년 12월 CEE 최종안 제출(심부빙하시추 프로젝트(1996-2005) 후 2005년 기지 완공)

	- 디젤 발전기를 기본으로 하고 태양광을 보조적으로 이용한 전력공급 - 물 재활용 시스템: 두 개의 급수 시스템(fresh water, Grey water) 설치하여 최대한 절약	
연구개발 내용	○ 한국에서 개최되는 제49차 남극조약협의당사국회의(ATCM)에서 남극내륙기지 건설 계획 보고를 위한 정보문서 제출 ○ 친환경 건설 계획과 국외조사 자료 획득, 분석 및 정밀조사 결과를 바탕으로 포괄적환경영향평가서(CEE) 초안 작성 ○ CEE에 대한 국내외 절차 수행 - 작성된 CEE 초안을 외교부에 제출하고 국내의견 수렴을 위해 외교부와 극지연구소 홈페이지에 공고 - CEE의 전문적 검토를 위해 환경부는 “남극 EIA 자문위원회”를 구성하여 검토 수행 - 건설 규모 및 환경기준, 저감 방안 등에 대한 검토 의견 제시 및 반영 ○ CEE 초안에 대한 남극조약 체제하의 국외 절차 - 제51차 ATCM 개최 120일전 사무국에 CEE 초안을 제출하여 CEP회원국과 협의당사국에 회람될 수 있도록 함 ○ 최종 CEE 제출 및 기지건설 최종 동의 획득 - 제52차 ATCM 개최 전 외교부를 통해 당사국들의 의견 요약과 해당사항에 대한 답변, 실시설계 반영으로 더욱 발전시킨 최종 CEE 제출 ○ 제53차 ATCM에 건설 1단계 결과보고 ○ 제54차 ATCM에 건설 2단계 결과보고 ○ 제54차 ATCM에서 사후환경모니터링 보고를 위한 모니터링 수행	
연구 추진전략	○ K-루트 남극내륙탐사를 통한 기초 환경 자료 수집 및 분석 ○ 환경영향 저감 방안 제시 ○ 환경영향평가 전문기관을 통한 국·영문 포괄적환경영향평가서(CEE) 초안 작성 및 제출 ○ 국내외 절차 수행 및 참여 ○ 남극프로그램 관리자 협의회(COMNAP) 국가 국제 네트워크를 통해 남극 내륙 경험 노하우 공유와 고립 지역에서의 건설사업 단계 및 운영 협력 강화 ○ 최종 CEE 작성 및 제출 ○ ATCM 건설 동의 획득	
연구 추진체계	○ 건설지 환경조사단을 구성하여 CEE 초안 작성을 위한 정밀환경조사 ○ 환경영향평가 전문기관의 협력을 통해 CEE 작성을 위한 사전 조사와 평가절차에 따른 CEE 초안 작성 ○ 초안에 대한 환경부와 외교부의 국내외 검토 의견 수렴 및 수정 ○ 당사국 검토 의견 반영한 최종 CEE 본안 제출, ATCM 건설 동의 획득 ○ 기지 건설 사후 환경 모니터링을 통해 CEE 예측 사항과 결과 비교 분석 ○ 건설지 주변 환경 모니터링	
연구개발 기간 및 소요예산	총연구기간	총예산
	6년	100억
최종 성과물 (정성·정량적 성과)	○ 포괄적환경영향평가서(CEE) ○ 남극내륙기지 건설의 국제사회 동의 획득	
연구개발성과의 활용방안 및 기대효과	○ 환경 보존과 운영 효율성, 지속 가능성을 위한 관련 기술들을 적용하여 기지 건설 ○ 기지건설 후 운영 중 위험 관리 및 비상 대응에 활용 ○ 환경 모니터링을 지속하여 정기적으로 보고서를 발간함으로써 국제기구에 보고하고 데이터 공유를 통한 국제연구협력 강화	

3. 세부과제3 연구개발 로드맵

<연구개발 로드맵(세부과제3)>

세부과제	주요 연구활동	1차년도 (2027)	2차년도 (2028)	3차년도 (2029)	4차년도 (2030)	5차년도 (2031)	6차년도 (2032)	산출물	목표성능
환경영향 평가 대응	포괄적 환경영향평 가서(CEE) 작성	- CEE 작성계획 수립 및 사전조사	- CEE 초안 작성 및 외교부, 환경부 제출	- CEE 초안 작성 완료 - CEP 의견 반영한 CEE 최종본 전문가 검토 및 보완	CEE 최종본 제출			CEE 최종본	국제사회 남극내륙 기지건설 동의 획득 및 친환경 기지운영 을 위한 모니터링 프로그램 운영
	남극조약협 의당사국회 의(ATCM) 보고	49차 ATCM : 내륙기지 건설 계획 보고를 위한 I.P. 제출		51차 ATCM : 개최 120일 전 CEE 초안 제출, 회람	52차 ATCM : CEE 최종본 동의 획득	53차 ATCM : 건설 1단계 결과 보고	54차 ATCM - 건설 2단계 결과 보고	국제사회 기지건설 승인	
	환경조사	CEE 작성을 위한 건설후보지 환경조사	CEE 작성을 위한 건설후보지 환경조사		건설지 환경변화 모니터링	건설지 환경변화 모니터링	- 건설지 환경변화 모니터링 - 사후환경 모니터링	기지건설 전주기 환경모니터링	



제 V 장

남극내륙기지 기반 국제협력 R&D 개발 계획



제5장 남극내륙기지 기반 국제 R&D 개발 계획

제1절 한-영 공동 심부빙저호 시추를 통한 생물진화 및 고기후 연구

1. 요약표

<한-영 국제협력 심부빙저호 시추>

세부과제명: 남극 내륙 심부 빙저호 탐사와 시추를 통한 생물 진화 및 고기후 연구									
개념	- 3,000m급 남극 내륙 심부 빙저호 탐사 및 청정열수시추를 통한 빙저호 환경의 생물 진화 및 고기후 연구								
범위	- 항공 레이더를 활용한 빙저호 광역탐사 및 탄성파 탐사 - 빙저호 청정열수시추 기술 및 퇴적 시추 기술개발 - 빙저호 환경의 생물 진화 및 고기후 연구								
핵심 성과물	- 세계 2번째 3,000m급 남극 내륙 심부 빙저호 시추를 통한 호숫물/퇴적물 시료 확보 - 빙저호 환경의 생물 진화 과정 규명 및 남극 고기후 복원								
세세부과제 구성 및 주요 내용									
세부과제명		목표 성능					TRL 단계 (목표)	연구기간	
(1-1) 심부 빙저호 물리탐사		남극 내륙 빙저호 광역 레이더 탐사 및 탄성파 탐사					1	5년	
(1-2) 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발		3,000m급 빙저호 청정열수시추를 위한 열균시스템, 열수 순환 시스템, 열수 시추기 기술개발					1	6년	
(1-3) 심부 빙저호 시추		청정열수시추를 통한 호숫물/퇴적물 시료 획득 및 심부 빙저호 환경 특성 연구					1	3년	
(1-4) 빙저호 환경 생물 및 고기후 연구		빙저호 및 퇴적물의 생물 진화 과정 규명 및 고기후 복원					1	3년	
예산 및 인력 투입계획									
구분		1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	6년차	7년차	합계
인력 투입계획	책임연구원	15	15	15	15	15	15	15	105
	연구원	20	20	20	25	25	25	25	160
	연구보조원	15	15	15	10	10	10	10	85
	소계	36	37	38	44	45	50	50	300
예산 투입계획	정부	50	52	52	52	50	50	50	356
	민간								
	소계	50	52	52	52	50	50	50	356

2. 연구사업 개념 및 범위

□ 연구사업의 개념

- 3,000m급 남극 내륙 심부 빙저호 탐사 및 열수시추를 통한 빙저호 환경의 생물 진화 및 고기후 복원 연구
 - 남극 내륙 고원 심부 빙저호 지구물리탐사 및 시추 후보지 선정
 - 3,000m급 심부 빙저호 청정열수시추 기술 및 퇴적 시추 기술개발
 - 심부 빙저호 시추를 통한 빙저호 환경의 생물 진화 및 고기후 복원 연구



<세부과제 개념도>

□ 연구사업의 개발 범위

- 다학제, 글로벌 연구 협력을 통한 남극 내륙 심부 빙저호 탐사/시추/과학 연구
 - 빙저호 지구물리탐사
 - 항공 레이더 및 탄성파 탐사 수행
 - 항공 레이더를 활용하여 Dome C와 보스토크 기지 사이 광역적 빙하 하부구조 확인
 - 빙저호 탄성파 자료 기반 심부 빙저호 시추 후보지 선정
 - 3,000m급 심부 빙저호 청정열수시추
 - 3,000m급 빙저호 청정열수시추 시스템 기술개발
 - 퇴적 시추용 중력, 피스톤, 유압식 드릴 시추기 기술개발
 - 빙저호 열수시추 및 청정 호숫물/퇴적물 시료 확보
 - 빙저호 과학 연구

- 빙저호 호수 및 퇴적물 환경 특성 연구
- 빙저호 및 퇴적물 내 생물 고유의 진화 과정 규명
- 퇴적물 기록을 통한 남극 고기후 복원



3. 연구사업 개발 계획

<세부과제별 연구목표>

세부과제	연구 목표
(1-1) 심부 빙저호 물리탐사	지구물리탐사를 통한 남극 내륙 빙저호 분포 파악 및 시추 후보지 선정
(1-2) 심부 빙저호 청정열수 시추 기술개발	3,000m급 빙저호 청정열수시추를 위한 열수 순환 시스템, 열수 시추기 기술개발
(1-3) 심부 빙저호 시추	청정열수시추를 통한 호숫물/퇴적물 시료 획득 및 심부 빙저호 환경 특성 연구
(1-4) 빙저호 환경 생물 및 고기후 연구	빙저호 및 퇴적물의 생물 진화 과정 규명 및 고기후 복원

<세부과제별 연구활동 및 산출물>

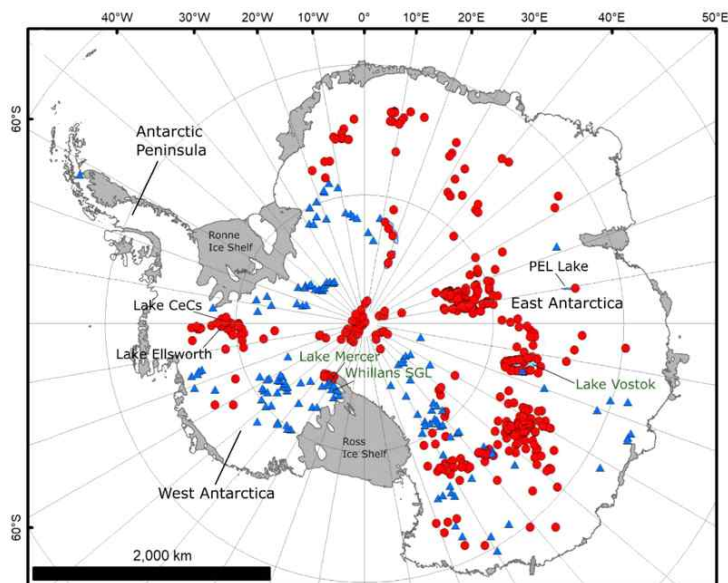
목표 성능	주요 연구활동	산출물	TRL
심부 빙저호 물리탐사	위성 자료를 활용한 빙저호 변위 모니터링	-빙저호 변위 시계열 자료 1건	1
	항공 레이더를 활용한 빙저호 광역탐사	-광역 규모 빙저호 분포도 1건	
	탄성파 탐사 및 시추 후보지 선정	-시추 후보 빙저호 탄성파 단면도 1건	
심부 빙저호 청정열수시추 기술개발	열수시추 열수순환시스템 제작	-열수시추 열수순환시스템 제작 1건	1
	열수 순환시스템 제작	-열수 순환 모듈 1건 및 열수 온도 모니터링 자료	
	열수 시추기 제작	-열수시추기 모듈 1건	
심부 빙저호 시추	심부 빙저호 청정열수시추	-시추 과정 모니터링 자료	1
	시추 관련 환경영향평가	-빙저호 호숫물/퇴적물 시료	
	국제 연구 컨소시엄 구성	-초기환경영향평가서 1건 -공동 연구 기관 간 협약 체결 문건	
빙저호 환경 생물 및 고기후 연구	빙저호 및 퇴적물의 환경 특성 연구	-호수의 생지화학적 특성 자료 1건 - 퇴적물의 물리학적, 퇴적학적, 생지화학적 특성 자료 1건	1
	빙저호 생물 진화 과정 규명	-생물 진화 과정 모식도 1건	
	고기후 복원	-고기후 복원 자료 1건	

(1) 개념 및 범위

□ 연구 배경

○ 남극 빙저호 탐사 역사

- 지난 60년간 인류는 남극 대륙 빙저호 탐사를 지속해옴. 그 결과 남극에는 1967년 동남극에서 첫 빙저호 발견 이후 현재까지 675개의 빙저호가 존재하는 것으로 파악됨
- 남극 빙저호의 80%는 유입·유출수 변화가 거의 없는 안정적인 형태이거나 외부환경과 단절된 고립형 빙저호임
- 고립형 심부 빙저호는 주로 얼음 두께 2,000m 이상의 빙하 기저면에 존재함. 이들은 특히 남극점, Dome C, Vostok 기지 등 남극 내륙 고원 일대에 많이 분포함



<남극의 빙저호 분포(Livingstone et al., 2022)>

- 지난 10여년 간 러시아, 미국, 영국이 경쟁적으로 남극 빙저호 탐사 및 시추를 시도함. 현재 중국이 동남극 3,000m급 심부 빙저호 시추 예정임
- 2011년 러시아가 보스톡 호를 시추했으나 시추 과정에서 오염 발생. 2012년 영국의 서남극 엘스워스 호 시추는 기술적인 문제로 실패함
- 미국이 2013, 2018년 두 차례에 걸쳐 로스빙붕 일대에서 1,000m급 빙저호 시추에 성공함(빙저호 생태계 연구 결과 다양한 종류의 미생물종 서식 확인)

○ 빙저호의 과학적 가치

- 빙저호 생태계의 생물학적 가치

- 오랜 기간 외부로부터 격리된 환경에서 생물들이 고유한 진화 과정을 거쳐왔을 것으로 추정되기에, 진화생물학적 관점에서 큰 과학적 가치가 있음
- 유로파, 엔셀라두스와 같은 태양계 내 얼음 위성들에서 남극의 빙저호와 유사한 환경이 존재. 따라서, 빙저호 연구는 외계 생명체 탐색 연구에 활용 가능성이 큼

- 빙상 역학 및 고기후 연구

- 빙저호 퇴적물에 기록된 고기후 정보 복원을 통해 수백만년 전 과거 남극 빙상의 진화 과정 규명 및 향후 거동 예측에 활용
- 빙하 기저면 수문계측망의 정량적 이해를 통해 남극 빙저호의 생성-진화 과정 규명, 빙하의 이동속도 유추 등에 활용

□ 연구의 필요성

○ 세계 2번째 3,000m급 심부 빙저호 시추를 통한 대한민국의 남극 내륙연구 선도

- 남극 내륙연구 거점을 기반으로 3,000m급 심부 빙저호 탐사 및 시추를 통해 남극에서의 대한민국 과학영토 확장과 남극 연구 선도국 도약 필요

○ 심부 빙저호 환경의 생물 진화 및 고기후 연구 주도

- 남극 내륙 고원의 심부 빙저호는 수백만 년 동안 고립된 환경으로 추정되므로 이곳에서의 고유한 생물 진화 과정을 규명하고, 퇴적물에 기록된 고기후 정보를 복원하여 남극 빙상 변화의 원인을 밝혀냄으로써 국제 과학 이슈 주도

(2) 기존 유사 연구 등 기술개발 동향

□ 국내 연구개발 동향

○ 극지연구소

- 극지연구소 주도로 남극 데이비드 빙하 빙저호 탐사 및 열수시추 기술개발 진행 중
- 총 3회에 걸친 기관고유사업(2017~2019, 2020~2022, 2023~2025)을 통해 내륙 수송을 위한 기초 인프라 구축 및 빙저호 지구물리 탐사 수행
- 데이비드 빙하 빙저호 시추 후보지(청석호, 빙하두께 2,200m, 수심 50m, 장보고 기지 남동쪽 250km 지점 위치)에 대한 탄성과 탐사 수행
- 현재 한-영 국제 공동 2,000m급 빙저호 청정열수시추 시스템 기술개발 진행 중. 2027/28 시즌 청석호 시험시추 예정

□ 국외 연구개발 동향

○ 러시아

- 남극 내륙 고원에 위치한 4,000m급 보스토크 빙저호 시추 시도
 - 1975년 지구물리탐사를 통해 남극 동부 빙상의 중심 3,500m 깊이의 빙하 아래에 위치한 보스토크 빙저호(Lake Vostok) 존재 확인
 - 1990년 시추 시작 2011/12 시즌 세계 최초로 남극 빙저호 진입 성공. 하지만 시추 과정에서 부동액(kerosene)의 호수 유입으로 오염 야기 후 시추 중단
 - 호수 상부의 착빙(accreted ice) 및 호수 표층수에 대한 미생물 특성 분석 결과가 보고되었으나 오염 문제로 결과의 신빙성 의혹이 제기됨

○ 영국

- 서남극에 위치한 빙저호 및 빙하지대 시추 시도
 - 2012/13 시즌 서남극 빙하 3,400m 깊이에 위치한 엘스워스 빙저호(Lake Ellsworth) 시추를 시도했으나 기술적인 문제로 시추 실패
 - 2018/19 시즌 BEAMISH 프로젝트를 통해 서남극 러트포드 빙하지대(Rutford Ice Stream)에서 2,100m 두께의 빙하 기저면 수계의 퇴적물 시료 채취 성공
 - 이후 엘스워스 빙저호 인근 CECs 빙저호(빙하두께 2,650m) 청정열수시추를 계획했으나 칠레와의 국제공동연구 불발로 인해 현재 잠정 중단

○ 미국

- 서남극 로스 빙봉에서 세계 최초 빙저호 시추 연속 성공
 - 2012/13 시즌 WISSARD 프로젝트를 통해 서남극 로스 빙봉에 위치한 월란스 빙저호(Lake Whillans, 빙하두께 800m, 수심 2m) 시추 성공, 연구 결과 Nature 지에 보고(Christner et al., 2014)
 - 2018/19 시즌 SALSA 프로젝트를 통해 월란스호 인근 머서 빙저호(Lake Mercer, 빙하두께 1,067m, 수심 15m) 시추를 통해 호숫물 및 퇴적물 코어 채취 성공

○ 중국

- 동남극 Princess Elisabeth Land 빙저호 시추 예정
 - 2022년 항공 레이더 탐사를 통해 동남극 Princess Elisabeth Land에 위치한 3,600m급 거대 Qilin 빙저호 존재 확인(Yan et al., 2022)
 - 2025/26, 2026/27 두 시즌에 걸쳐 Qilin 빙저호 시추 계획 중



<미국 월란스 빙저호 열수시추 장면과 빙저호 서식 미생물>

(3) 기존 기술의 한계와 극복방안

□ 3,000m급 심부 빙저호 청정열수시추의 기술적 한계

- 외부 오염을 최소화하며 3,000m급 빙저호 시추 및 청정 시료를 획득한 사례 전무
 - 현재까지 미국과 영국이 각각 빙하두께 최대 1,067m, 2,154m 시추만 성공한 바 있음
 - 열수 시추 시 외부 오염 최소화를 위한 방비책 부족
 - 인위적인 빙저공동(cavity)을 통한 열수 순환 시스템의 3,000m급 적용 사례 없음

□ 기술적 한계 극복 방안

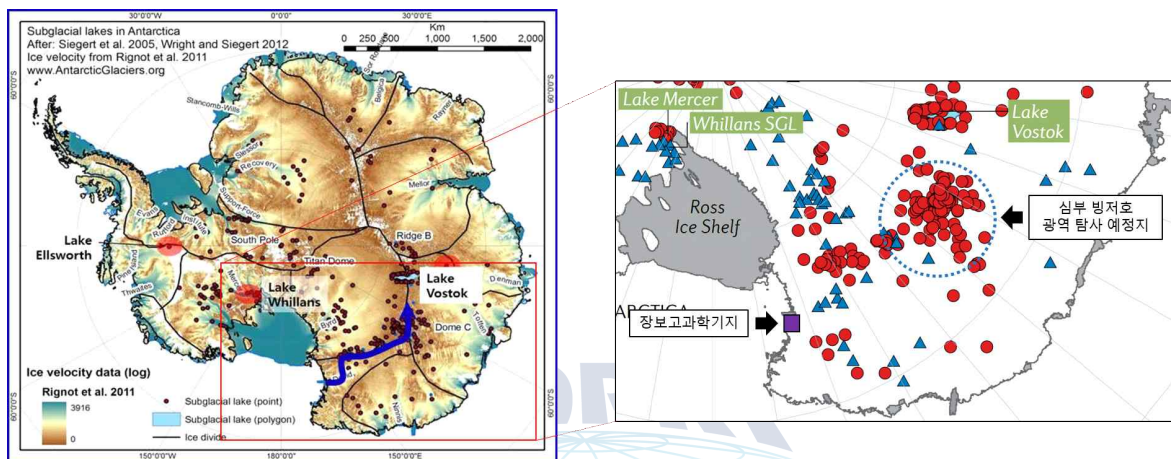
- 3,000m급 맞춤형 빙저호 청정열수시추 기술개발
 - 열수시추 멸균 시스템 고도화로 외부 오염 최소화
 - 열수 순환 루프와 열수 시추 루프 간 물리적 분리
 - 다중 필터 및 UV를 통한 열수 멸균, UV 기반 시추공 유입 호스 및 기기 표면 멸균
 - 다중 지점 샘플링을 통한 시추 과정의 멸균 유효성 실시간 모니터링
 - 최근 중국은 빙저호로의 열수 유입을 막기 위해 열수시추와 melting probe 기법을 접목한 하이브리드 시추 방식을 제안한 바 있음
 - 기존 2,000m급 빙저호의 보어홀 모니터링 자료 기반 철저한 사전 시뮬레이션 수행
 - 안정적인 열수 순환용 빙저공동 형성을 위한 영국 BAS의 BigRAID 시스템 도입

(4) 연구개발 상세 계획

□ 주요 연구개발 내용

○ 심부 빙저호 물리탐사

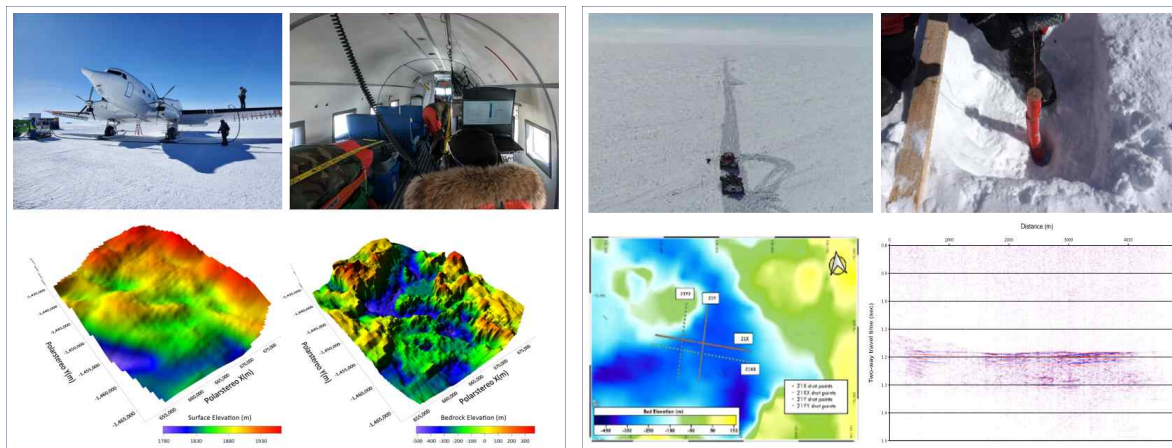
- 위성 자료 분석을 통한 빙하 표면 고도 변위 모니터링
- 항공 레이더를 활용한 심부 빙저호 후보지 광역탐사
- 탄성과 탐사 및 자료 해석을 통한 빙저호 시추 후보지 선정
- 인공지능 기반 빙저호 지구물리 탐사자료 분석기술 개발



대한민국의 남극 내륙 진출 루트(파란색)

남극 내륙 고원 심부 빙저호 탐사 예정지

<남극 내륙 진출 루트 및 남극 내륙 고원 심부 빙저호 탐사 예정지>



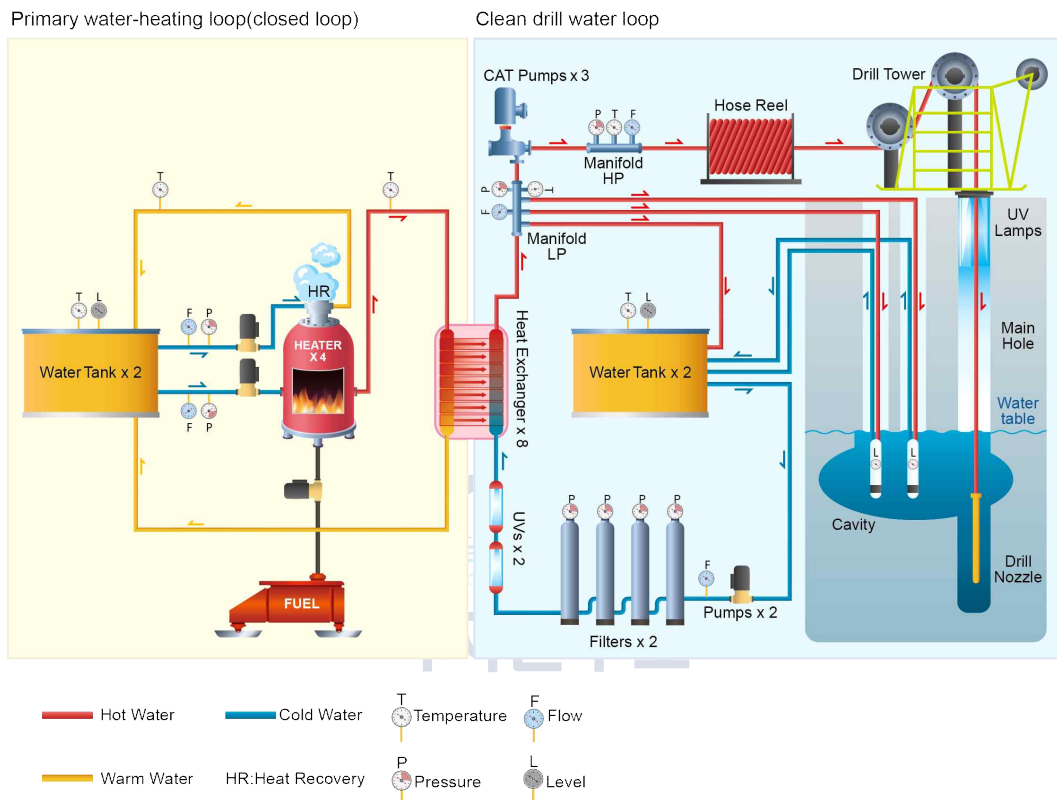
빙하투과레이더를 이용한 빙저호 광역탐사 예시

시추 후보 빙저호 대상 탄성과 탐사 예시

<빙하투과레이더를 이용한 빙저호 광역탐사 및 시추 후보 빙저호 대상 탄성과 탐사>

○ 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발

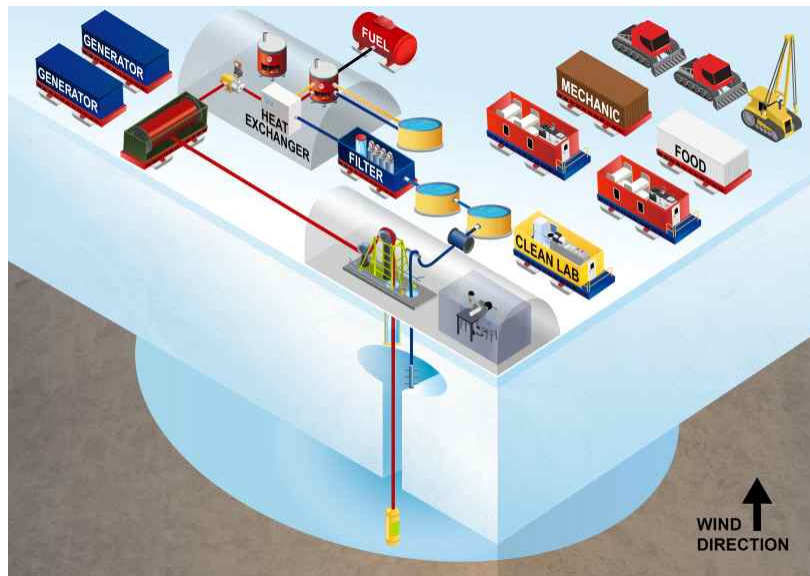
- 열수시추 열균시스템 개발
- 열수 순환시스템 개발
- 열수 시추기 국제 공동 개발



<2,000m급 청석호 청정열수시추 시스템 설계도 예시>

○ 심부 빙저호 시추

- 내륙 수송 및 시추캠프 인프라 구축
- 국제 공동 청정열수시추
- 초기환경영향평가
- 국제 빙저호 연구 컨소시엄 구성



<2,000m급 청석호 시추캠프 예시>

- 심부 빙저호 과학 연구 (호수 및 퇴적물)
 - 빙저호의 생지화학적 환경 특성 연구(수온, 염분, pH, 유기물 등)
 - 빙저호 퇴적물의 환경 특성 연구(물리학적, 퇴적학적, 생지화학적 특성)
 - 빙저호 환경 고유의 생물 진화 과정 규명
 - 퇴적물 환경 특성을 이용한 고기후 복원

□ 최종 산출물

- 남극 내륙 빙저호 광역 분포도 및 시추 후보 빙저호의 구조 단면도
- 3,000m급 빙저호 청정열수시추 시스템 및 독자 운용 기술
- 세계 2번째 3,000m급 남극 빙저호의 청정 호숫물/퇴적물 시료 확보
- 심부 빙저호 환경의 생물 진화 과정 규명 및 고기후 복원

□ 연차별 연구개발 계획

- 1차년도
 - 심부 빙저호 물리탐사
 - 광역 항공 레이더 탐사를 위한 한-미 국제 공동 심부 빙저호 탐사 협의
 - 위성 자료 분석을 통한 빙하 표면 변위 모니터링
 - 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발
 - 열수 멸균 시스템 제작

- 시추 동력 발전기 제작
- 심부 빙저호 시추
 - 내륙 수송용 설상차, 연료 탱크, 눈썰매 제작
 - 시추 캠프용 카라반 제작

○ 2차년도

- 심부 빙저호 물리탐사
 - 빙저호 탐색을 위한 광역 항공 레이더 탐사
 - 위성 자료 분석을 통한 빙저호 빙하 표면 변위 모니터링 및 분석
- 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발
 - 3,000m급 운용 가능 원치 시스템, 시추 호스, 캡스톤 타워 제작
 - 열수 순환 시스템 제작
- 심부 빙저호 시추
 - 내륙 수송용 연료 구입 및 운송
 - 시추 캠프용 대형 텐트 제작

○ 3차년도

- 심부 빙저호 물리탐사
 - 빙저호 탐색을 위한 정밀 항공 레이더 탐사
 - 위성 자료 분석을 통한 빙저호의 빙하 표면 변위 모니터링
- 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발
 - 한-영 국제 공동 3,000m급 호숫물/퇴적물 샘플러 및 보어홀 계측기 제작
 - 열수 순환 시스템 제작
- 심부 빙저호 시추
 - 내륙 수송용 연료 구입 및 기지 보급
 - 시추 캠프용 대형 텐트 및 컨테이너 제작
 - 환경영향평가를 위한 시추 후보지 인근 환경 특성 조사

○ 4차년도

- 심부 빙저호 물리탐사
 - 빙저호의 최적의 시추 후보지 선정을 위한 탄성과 탐사
 - 위성 자료 분석을 통한 빙저호의 빙하 표면 변위 모니터링

- 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발
 - 열수시추 시스템 남극 내륙 시험 운용
 - 시추 전 과정 멸균 유효성 검증
- 심부 빙저호 시추
 - 시추 전 과정 시뮬레이션 및 최종 계획 수립
 - 시추 빙저호 대상 국제 연구 컨소시엄 구성
 - 초기환경영향평가서(IEE) 제출

○ 5차년도

- 심부 빙저호 물리탐사
 - 탄성과 탐사 자료 처리/ 빙저호 탄성과 단면도 작성
 - 탄성과 단면 해석을 통한 최적의 시추 후보지 선정
 - 위성 자료 분석을 통한 빙저호의 빙하 표면 변위 모니터링
- 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발
 - 열수시추 시스템 내륙 운송 및 시추캠프 구축
- 심부 빙저호 시추
 - 3,000m 급 심부 빙저호 시험 시추
 - 시추 과정 오염원 실시간 모니터링
 - 중력 또는 유압식 시추기 제작
 - 보어홀 모니터링 및 호숫물/퇴적물 시료 채취
 - 획득된 시료 전처리 및 기초 특성 파악
- 빙저호 생물 연구
 - 단일세포 분리 기반 미생물 생물량 및 유전체 분석
 - 메타 유전체/전사체 및 안정성 동위원소 기반 qSIP 분석
 - 호숫물의 생지화학적 특성 분석
- 고기후 연구
 - 시추 퇴적물의 물리학적, 퇴적학적, 생지화학적 특성 분석
 - 퇴적물 연대 측정 및 고기후 복원

○ 6차년도

- 심부 빙저호 물리탐사

- 시추 후보지 대상 탄성과 탐사
- 위성 자료 분석을 통한 빙저호의 빙하 표면 변위 모니터링
- 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발
 - 열수시추 시스템 내륙 운송 및 시추캠프 구축
- 심부 빙저호 시추
 - 3,000m 급 심부 빙저호 본 시추
 - 시추 과정 오염원 실시간 모니터링
 - 보어홀 모니터링 및 호숫물/퇴적물 시료 채취
 - 획득된 시료 전처리 및 기초 특성 파악
- 빙저호 생물 연구
 - 단일세포 분리 기반 미생물 생물량 및 유전체 분석
 - 메타 유전체/전사체 및 안정성 동위원소 기반 qSIP 분석
 - 호숫물의 생지화학적 특성 분석
- 고기후 연구
 - 시추 퇴적물의 물리학적, 퇴적학적 생지화학적 특성 분석
 - 퇴적물 연대 측정 및 고기후 복원

○ 7차년도

- 빙저호 생물 연구
 - 빙저호의 생지화학적 물질 순환 메커니즘 규명
 - 유전체 기반 빙저호 미생물의 진화 과정 규명
 - 빙저호 미생물의 생물량/활성 및 에너지 대사 과정 규명
 - 미생물 분리 배양 및 생리 특성 연구
- 고기후 연구
 - 시추 퇴적물의 물리학적, 퇴적학적 생지화학적 특성 분석
 - 퇴적물 연대 측정 및 고기후 복원

□ 과제카드

<과제 카드>

세부과제명	남극 내륙 심부 빙저호 탐사와 시추를 통한 생물 진화 및 고기후 연구	
연구개발 목적	○ 남극 내륙 심부 빙저호 탐사와 시추를 위한 기술개발 및 빙저호 과학 연구	
연구개발 목표	○ 남극 내륙 심부 빙저호 탐사 및 세계 2번째 3,000m급 심부 빙저호 시추	
연구개발 필요성	○ 3,000m급 심부 빙저호 시추 성공을 통한 대한민국의 남극 내륙 연구 선도 ○ 고립형 심부 빙저호 연구를 통한 생물 진화 및 고기후 연구 국제 이슈 주도	
기술동향	○ (국외 동향) 지난 10년 간 러시아, 영국, 미국 간 빙저호 시추 경쟁. 미국이 로스빙붕에서 두 차례 성공한 바 있으며, 중국이 동남극 Qilin 빙저호 시추 예정 ○ (국내 동향) 극지연구소 주도로 데이비드 빙하에 위치한 2,000m 급 청석호 열수시추 기술개발 진행 중	
연구개발 내용	○ 남극 내륙 심부 빙저호 물리탐사 - 위성 자료 분석을 통한 빙저호의 빙하 표면 변위 모니터링 - 항공 레이더를 활용한 한-미 공동 심부 빙저호 광역탐사 - 탄성과 탐사를 통한 심부 빙저호 시추 후보지 선정 - 지구물리 탐사자료 분석기술 개발 ○ 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발 - 한-영 공동 열수 시추 시스템 개발 ○ 심부 빙저호 시추 - 내륙 수송 및 시추캠프 인프라 구축 - 3,000m급 심부 빙저호 대상 국제 공동 청정열수시추 - 초기환경영향평가 ○ 빙저호 환경의 생물 진화 및 고기후 연구 - 국제 빙저호 연구 컨소시엄 구성 - 빙저호 및 퇴적물의 생지화학적 물질 순환 및 생물 진화 과정 규명 - 퇴적물 퇴적연대 및 고기후 복원	
연구 추진전략	○ 빙저호 탐사, 시추, 연구 전 과정에 걸쳐 다학제, 글로벌 연구 협력 추진 ○ 남극 내륙기지를 기반으로 한 대한민국의 남극 내륙연구 대표 과제로 추진	
연구 추진체계	○ 한-미 국제 공동 심부 빙저호 지구물리탐사 ○ 한-영 국제 공동 빙저호 청정열수시추 기술개발 및 빙저호 시추 ○ 빙저호 생물 및 고기후 연구 협력을 위한 국제 연구 컨소시엄 구성	
연구개발 기간 및 소요예산	총연구기간 7년	총예산 356억
최종 성과물 (정성·정량적 성과)	○ (정성 성과) 세계 2번째 3,000m급 남극 내륙 심부 빙저호 시추 성공 ○ (정성 성과) 심부 빙저호 환경의 생물 진화 및 고기후 복원 ○ (정량 성과) 심부 빙저호 구조 단면도 및 청정 호숫물/퇴적물 시료 획득	
연구개발성과 의 활용방안 및 기대효과	○ 한-미-영 국제 공동 3,000m급 남극 내륙 심부 빙저호 시추 성공 및 지구물리탐사, 빙저호 시추 관련 최첨단 원천기술 확보를 통해 대한민국의 남극 연구 선도국 도약에 기여 ○ 심부 빙저호 생명체들의 고유한 진화 과정 규명을 통해 새로운 생명체 진화역사 제시. 확보된 원천기술은 향후 남극 빙저호와 유사한 환경이 존재하는 태양계 얼음 위성들에서 외계 생명체 탐색 연구 수행에 활용 가능	

4. 예산 및 인력 투입 계획

(1) 예산 소요계획

<연차별 예산 소요 계획>

(단위: 억 원)

No	구분		'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	합계
1	세부과제1	정부	50	52	52	52	50	50	50	356
		민간								
	소계		50	52	52	52	50	50	50	356
	합계	정부	50	52	52	52	50	50	50	356
		민간								
		전체	50	52	52	52	50	50	50	356

(2) 인력 투입계획

<연차별 인력 투입 계획>

(단위: 명)

No	구분		'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	합계
1	세부과제1	책임	15	15	15	15	15	15	15	75
		연구 원	20	20	20	25	25	25	25	110
		보조 원	15	15	15	10	10	10	10	65
	소계		50	50	50	50	50	50	50	250
	합계	책임	15	15	15	15	15	15	15	75
		연구 원	20	20	20	25	25	25	25	110
		보조 원	15	15	15	10	10	10	10	65
		전체	50	50	50	50	50	50	50	250

(3) 상세 예산 투입계획

○ 직접비

- 인건비: 총 136.8억 원(국고: 136.8억 원)

<인건비 상세 소요내역>

(단위: 천원)

국고								
구분		'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32
책임 연구 원	투입인원(명)	15	15	15	15	15	15	15
	참여기간(개월)	12	12	12	12	12	12	12
	참여율(%)	40	40	40	50	50	50	50
	인건비 기준단가(천원)	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
	인건비(천원)	648,000	648,000	648,000	810,000	810,000	810,000	810,000
연구 원	투입인원(명)	20	20	20	25	25	25	25
	참여기간(개월)	12	12	12	12	12	12	12
	참여율(%)	30	30	30	40	40	40	40
	인건비 기준단가(천원)	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500
	인건비(천원)	468,000	468,000	468,000	780,000	780,000	780,000	780,000
연구 보조 원	투입인원(명)	15	15	15	10	10	10	10
	참여기간(개월)	12	12	12	12	12	12	12
	참여율(%)	100	100	100	100	100	100	100
	인건비 기준단가(천원)	3,800	3,800	3,800	4,000	4,000	4,000	4,000
	인건비(천원)	684,000	684,000	684,000	480,000	480,000	480,000	480,000
소계		1,800,000	1,800,000	1,800,000	2,070,000	2,070,000	2,070,000	2,070,000
인건비 합계		1,800,000	1,800,000	1,800,000	2,070,000	2,070,000	2,070,000	2,070,000

- 연구시설·장비 및 연구재료비: 총 78.3억 원(국고 78.3억 원)

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역>

(단위: 억 원)

품명	규격	수량 (식)	단가 (억 원)	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	합 계
화물 썰매	20ft 컨테이너용 화물썰매	3	1.5	1.5	1.5		1.5				4.5
항공기 임차료 및 사용료	Basler급	2회	9.0		9.0	9.0					18
탄성파 탐사 장비	96채널 탄성파 탐사 장비 및 소모품 및 폭약 구매	4	1.0	1.0		2.0	1.0				4

컨테이너형 카라반	12인용 카라반	1	3.0	3.0							3
시추공 멸균 모듈	200 UV LEDs ($>40\text{mJ}/\text{cm}^3$)	1	1.5		1.5						1.5
열수 멸균시스템	다단계 필터 및 UV 모듈 듀얼 시스템	1	1.5	1.5							1.5
빙저공동 드릴러 제작	영국 BigRAID 유사품	1	0.8	0.8							0.8
열수 순환 시스템	열수 히터(275kw x 10 units) 및 열교환기 모듈	1	3.0			3.0					3
시추 모니터링 시스템	시추과정 유량, 온도, 압력 등 통합 모니터링	1	2.0				2.0				2
원치 및 캡스톤 타워	3,000m급 호스릴 및 캡스톤 타워	1	3.0		3.0						3
중력 또는 유압식 퇴적물 시추기	2m급 길이의 퇴적물 시추	1	2.0			2.0					2
발전기 모듈	100kw급 컨테이너 모듈	2	1.0	2.0			2.0				4
샘플링 원치	3,000m급 샘플러/계측기용 원치	1	2.5		2.5						2.5
연료탱크	20ft 표준 ISO 연료탱크	3	1.0	1.0		1.0		1.0			3
시추 호스	3,000m급 내열/고압/내화학적 재질	1	2.0		2.0						2
시추캠프 텐트 유닛	Air beam 돔텐트 및 웨더하벤 대형 텐트	2	1.5			1.5	1.5				3
보어홀 계측기	보어홀 직경, 위치, 틸트 등 측정용 센서 및 로거	1	2.0				2.0				2
고압 펌프	90bar 및 90도 이상 가동 내열성 고압 펌프	4	0.5	2.0							2
수중펌프	심정용 수중펌프	4	0.25	1.0							1
Umbilicals	빙저호 시추용 엄빌리컬 복합 케이블	1	1.5		1.5						1.5
시추 소모품 및 스페어 부품	물탱크, 수리 세트, 시추 시스템 스페어 부품 등	1	2.0					2.0			2
연료	항공유 20,000L	20	0.2			2.0		2.0			4
유전체 분석 장비	DNA sequencer	1	3.0						3.0		3
동위원소 분석 장비	질량분석기	1	5.0						5.0		5
연구시설 · 장비 및 연구재료비 합계				13. 8	21	20. 5	10	5	8	0	78. 3

- 연구시설·장비 사양 정보

<연구시설·장비 사양 정보>

장비명	모델명/ 제조사	주요사양
화물 썰매	3×7m/ Elphinstone	· 3 x 7m 데크 플랫폼 썰매 · 복합소재 하부 스키 장착 · 20톤 중량 적재가능 설계 · 컨테이너 고정 트윈스트 콘 장착 · 회전테이블 장착으로 원활한 좌우 선회조정 가능 · 안전을 고려하여 후방 난간 별도 설치 가능
컨테이너 형 카라반	4×9m/ Travetech	· 3.5 x 9m 데크 플랫폼 썰매 장착형 x 2모듈 연결형 · 8인용 리빙모듈 + 4인용 유틸리티모듈 세트형 · 고성능 단열재가 포함된 경량 강화유리섬유 복합 구조 · 리빙모듈: 8인용 숙박/식사/통신워크스테이션 · 유틸리티모듈: 4인용 숙박/욕실/화장실/발전기/워크숍 · 50kW급 발전기/ 기밀 출입구/ 외부 계단/ 외부 콘센트/ 급유기 탑재
시추공 멸균 모듈	>40mJ/cm2/ NUUV Ltd	· 최소 275nm UV 40mJ/cm² 선량 제공 · UV 조사량 2단계 제어 기능(High 레벨 시 80m/min, Low 레벨 시 20m/min 통과 속도에서 Log 3 reduction 수준 사멸능력 보장) · UV LED x 20개/1열 x 10열, 총 200개 UV LED 배치 · UV reactor 구동부, 전기 컨트롤패널 두 파트로 구성 · 230V 전기 공급 및 냉각수 관리 시스템 사용
빙저공동 드릴러 제작	BigRAID/ BAS	· 고속 전기기계식 와이어라인 오거드릴(자동) · 직경 285mm, 배럴길이 1.5-5m · 시추속도 평균 1.5/mim, 최대 2.0/mim · 스테인리스스틸, 강화 알루미늄 합금 소재 · ~300m 깊이 cavity 형성을 위한 초기 firm층 시추용 · OD 6mm 급 동축케이블 전원 공급
열수 순환 시스템	2.0mW급/ 자체개발	· 보일러, 열교환기, 펌프류, 분배기(매니폴드) 구성의 열 에너지 발생/ 전달/ 순환 시스템 · 보일러 난방용량 약 2.0MW급 · 순환펌프: 최대작동압력 약 ~1,000kPa · SS 판형 열교환기: 에너지 전달용량 약 ~1,000kW · 배관/피팅: 1.5" SS/ 식품등급, 최대 설계 압력 > 1MPa · 보일러, 펌프 개별 제어 컨트롤패널, 센서(온도, 압력, 유량, 수위)/수신기/네트워크 통신 기반 모니터링 시스템
시추 모니터링 시스템	자체개발/ BAS	· 하위모듈의 각종 센서 수집 데이터 기반 통합 플랫폼 모니터링 시스템(4~20mA 아날로그 신호 전송 → Red Lion CUB5 with RS485/ 디지털 신호 변환, 센서값 표시,

		그룹화 → Moxa Nport W2150A/ ethernet or Wifi 변환) → TCP/IP 네트워크를 통해 중앙 서버로 전송 → InCar CQ53P 컴퓨터 출력) • Custom SW를 통해 통합 데이터 로깅, Graphite DB를 통해 시계열 데이터 저장 및 표시, Grafana 프로그램을 통해 시각화 • Sheave wheel (encoder+load cell) 회전수&속도, 하중&장력, LP&HP manifold (temp. pres. flow snsr) 시추수 온도, 압력, 유량, umbilical pump (water level snsr, pres snsr) cavity 수위 변화, Water tank (temp. level snsr) 온도, 수위, Filtration unit (flow, pres snsr) 유량, 필터 단계별 압력차, Heating & drill & heat recovery loop (temp. pres. flow sen) 센서 정보 수집
호스릴, 캡스턴&타워	3,000m급/ Able engineering	• 호스릴: OD 약 50mm 호스 ~ 3,500m 수용, 최대 전개속도 ~10m/min, 기계식 가이드롤러 장착, 전기 모터 기어박스(속도/토크 제어, 비상정지) 장착, 양개형 컨테이너 수납형, 연강 소재 • 캡스턴&타워: 높이 약 3m, VFD 정밀 속도제어(~0.1m/분), 최대속도 ~10m/min, 샤프트인코더/이중로드셀(시추 깊이, 시추 속도, 다운홀 하중 및 장력 모니터링) 장착, 다운홀 장비 설치/회수용 지브&롤러 장착, 이동식 경량 알루미늄 소재 • 컨트롤패널: 원칭시스템 모터 조절을 통한 시스템 속도 및 토크 조절, 호스릴/ 캡스턴 장착 센서 기반 시스템 제어 및 수치 디스플레이(릴 토크, 온도, 캡스턴 속도, 깊이, 부하 등)
중력 또는 유압식 퇴적물 시추기	2m급 퇴적물 시추	• 중력 방식 또는 유압식으로 빙저해 및 퇴적물 시추 • 길이 약 3m 정도로 탭 또는 유압장치가 시추기 weight 부분에 위치 • 시추기 운영을 위한 별도의 원치는 샘플링 원치 사용 가능
발전기 모듈	MODEL C7.1/ CATERPILLAR	• 엔진: 공냉식, 4 행정 6기통 디젤, 출력 208 BHP, 회전수 1,500 RPM, 터보차저 애프터쿨러 흡기, 플렉시블 플랜지 배기, 라디에이터, 재킷 워터히터 냉각, 연료 직분사 시스템, DC 24볼트 전동 시동 모터 • 발전기: 무브러쉬/, 회전 계자형, 출력 상용 100kW, 전류 상용 145AMP, 전압 400V, 주파수 50Hz, 회전수 1,500rpm, 역률 0.8, 극수 4극, 3상 4선식, 영구자석형 자여자방식, WYE 결선, "H" CLASS 절연등급, 강제 통풍식 냉각, 싱글 베어링, 전압 변동율 $\pm 0.5 \%$, 주파수 변동율 $\pm 1.0 \%$, 전압조정 범위 $\pm 5.0 \%$
샘플링 원치	Cormac Q5	• OD 6.9mm Zylon 코팅테터 3,500m 수용(최소 굴곡 반경

	HSC Polar/ MacArrtney	10cm) • 작동온도 -30℃, 최대 80kW의 3상 전력 사용 • 대심도에서의 견인력 > 6kN • 전개 및 회수속도 > 80m/min, 제어 속도 < 0.25m/min • 원격 제어 및 모니터링 기능(부하 해상도 1kg, 속도 해상도 0.1m/min, 깊이 해상도 0.01m), 컨트롤러와 RS232 통신 및 모니터링 수치 기록&디스플레이 • 멸균 내구성(스테인리스 스틸 소재), 방수방진 침투보호 등급 IP56, Tarpaulin cover
연료탱크	ISO 20ft/ 밴플러스	• 국제 규격(I.S.O) 20ft 이동식 저장 탱크 • UN portable tank (T11 IMDG), 풀프레임형 • 공칭 용량 24,000L, 용기중량 3,750kg, 총중량 36,000kg • 크기 6,058 x 2,438 x 2,591 mm (LxWxH) • MAWP 4bar, 정수압 시험압력 6bar, 작동 온도 -40℃~130℃ • 3.0mm 두께 SS(등급 316L) V자형 배플 3개 적용 • 직경 500mm 맨홀 x 1, 직경 300mm 청소해치 x 2, 3" 플랜지형 압력릴리프 밸브, 1.5" 공기유입장치, 3" 하부 배출구, 1.5mm SS 304 하부 밸브 캐비닛 등 구성
시추 호스	1A20/ Kutting UK	• ID 1 1/4", 2,000 psi WP • Nylon 11 라이너, Hyrel 외피 • 공칭 내경 32mm, 외경 42mm • 작동 압력 138bar, 파열 압력 552bar • 최소 굽힘 반경 400mm • 작동 압력에서의 체적 팽창 12% • 자체 중량 73kg/100m
시추캠프 텐트 유닛	Airbeam & S4/ Weatherhaven	• 드릴텐트: 크기 6.0 x 10.0 x 4.65 m (L x W x H), 무게 약 280 kg, 포장 부피 1.26 m³, 고압에어빔 구조(주골격 Ø150mm, 갈비골격 Ø76mm), 작동압력 6~8 bar, 방수 및 난연 폴리에스터 원단(양면 PVC 코팅 포함), 찢김 강도 300N, 인장 강도 3000N/5cm, 난연 등급 B-s2/ d0/ GOST 승인, 방수 등급 > 10,000mm, 내광성 ≥ 7, 내온성 -45℃~70℃, 내풍속성 < 120km/h (고정 시), 적설 내하중 50kg/m² • 플랜트텐트: 크기 6.09 x 21.95 x 3.6m (L x W x H), 무게 약 1,135kg, PVC 코팅 폴리에스터 커버, 900mm의 스노우 밸런스, 아연 도금 강철 프레임(사각관 강철, ASTM A513), 직경 250mm 천장 배기구 x 6개, 직경 300mm 측면 배기구 x 6개, 주출입구 완전 개방형 폴지퍼 도어, 510g PVC 코팅 패브릭(콜드 크랙 한계 온도 -55℃), 내온성 -55℃~55℃, 난연 등급 NFPA 701, 내수압성 500psi, 내풍속성 22m/s, 적설 내하중 25kg/m²
보어홀 계측기	개발품/	• 기울기 센서, 지자기 센서, 고도계(AHRS)

	BAS	• 보어홀 지름 측정용 에코 사운더 • 30cm 지름 보어홀 용 프레임, 온도, 압력 센서 • 전후방 및 측방 카메라 및 LED • 데이터 로거 및 배터리, 총 무게 < 50kg, 길이 3m 내외
고압펌프	3521CHS/ CAT PUMPS	• 일반사양: 유량 94.6lpm, 압력 범위 6.9~138bar, 회전수 870rpm (최소 100rpm), 흡입 압력 범위 0~4.8 bar, 최대 유체 온도 93℃ • 구조사양: 내경 32mm, 스트로크 48mm, 크랭크케이스 용량 4리터, 흡입 포트 1½" NPT(F) x 2개, 플러시 포트 ¼" NPT(F) x 2개, 배출 포트 1" NPT(F) x 2개, 샤프트 직경 35mm • 기타 사양: 폴리 설치 방식 Either Side, 무게 63kg, 크기 618 x 460 x 247mm
수중펌프	E6XDB25/40/ Caprari	• 작동사양: 최대 유량 9.4m³/h, 최대 양정 407.7m, 작동 압력 범위 40.8~43.5bar, 최대 전력 소비 9.2kW, 정격 전압 및 주파수 400V, 50Hz, 모터 극수 2극, 모터 회전 속도 2900rpm • 구조 사양: 라디얼 타입 임펠러, 테크노폴리머 재질, 단수 40단, 펌프 직경 145 mm, 무게 61.7kg (펌프 14kg, 모터 47.7kg), 최대 침수 깊이 150m, 최대 작동 온도 30℃, 크기 2,484 x 1784 x 700mm (L x W x H) • 재질: 테크노폴리머 임펠러 및 디퓨저, 스테인리스 스틸 펌프 샤프트, 밸브 및 스트레이너, 모터 내부 배선 PVC 절연 구리 와이어 • 설치 및 작동 조건: 수직 설치 방식, 최소 침수 깊이 362.5mm, 최대 입자 허용량 300g/m³, 시작/정지 횟수 시간당 최대 20회
Umbilicals	개발품/ BAS	• 수중펌프 전력공급용 H07RN-F 3상 전원 케이블, cavity 저장수 회수용 ID 1.25" 열가소성 리턴 호스, cavity (온도)유지용 연결 ID 0.75" 열가소성 호스+스프레이 블록 매니폴드 결합체 설계 • 길이 ~ 330m, 무게 약 1000kg (펌프 포함), 최대 작동 압력 7000kPa, 호스 최대 인장 부하 920kg • 순환수 공급: 보어홀 동결 방지 및 캐비티 연결 유지 (20L/min, 60~65℃) • 펌프 제어: 9.2kW 모터를 통한 최대 115L/min 회수, 11kW, 3상 인버터 제어

- 기타 경비 및 간접비

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역>

(단위: 억 원)

구분	내역	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	합계
연구활동비	전문가 활용비, 회의비 등	5	10	15	15	15	15	15	90
연구수당	인건비의 15% 이하	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	19.4
간접비	직접비의 10% 이하 수준	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	31.5
소계		12.2	17.2	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	140.9



5. 연구개발 로드맵

<연구개발 로드맵>

세부과제	주요 연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	산출물	목표성능
1-1 심부 빙저호 물리탐사	빙하 표면 고도 변위 모니터링	위성 영상 기반 빙상 및 빙저호 모니터링	위성 영상 기반 빙상 및 빙저호 모니터링	위성 영상 기반 빙상 및 빙저호 모니터링	위성 영상 기반 빙상 및 빙저호 모니터링	위성 영상 기반 빙상 및 빙저호 모니터링	위성 영상 기반 빙상 및 빙저호 모니터링		빙저호 변위 시계열 자료	남극 내륙 빙저호 광역탐사 및 시추 후보 빙저호 탄성파 탐사
	항공 레이더 빙저호 광역탐사	항공 레이더 탐사 협의	광역 항공 레이더 탐사	정밀 항공 레이더 탐사	빙저호 분포도 작성				광역 규모 빙저호 분포도	
	빙저호 탄성파 탐사			탄성파 탐사 준비	시추 후보지 선정	탄성파 탐사	탄성파 탐사		빙저호 구조해석	
1-2 심부 빙저호 청정열수시추 기술개발	열수시추 열균시스템 제작	열수 열균 모듈 제작	시추공 열균 모듈 제작	열수/시추 공 열균 유효성 검증	열균 시스템 남극 현장 테스트				열균 모듈 1건	3,000m급 빙저호 청정열수시추 를 위한 열균시스템, 열수 순환 시스템, 열수 시추기 기술개발
	열수 순환시스템 제작	발전기 모듈 제작	열수 히팅 모듈 제작	열교환기 모듈 제작	열수 순환 시스템 남극 현장 테스트				열수 순환 모듈 1건	
	열수 시추기 제작		시추 호스, 원치, 캡스톤 타워 제작	호숫물/퇴적 물 샘플러 제작	보어홀 계측기 제작				열수시추 모듈 1건	

1-3 심부 빙저호 시추	빙저호 청정열수시 추		남극 내륙 수송 점검 및 루트 파악	시추캠프 시험 운용	빙저호 시추 시뮬레이션	빙저호 시험 시추	빙저호 본 시추		빙저호 호숫물 및 퇴적물 시료	심부 빙저호 청정열수시추 및 호숫물/퇴적물 시료 획득
	환경영향평 가		연료소비량 및 오염원 모니터링	시추 후보지 환경 특성 조사	초기환경영 향평가서 제출	실시간 오염원 모니터링	실시간 오염원 모니터링		초기환경영 향평가서	
	국제 연구 컨소시엄 구성		빙저호 연구 수요조사	연구 컨소시엄 구성 및 운영	현장 연구 및 분석 계획 수립	분야별 시료 전처리	분야별 시료 전처리		공동연구기 관 간 협약 체결 문건	
1-4 빙저호 환경의 생물 및 고기후 연구	빙저호 및 퇴적물의 환경 특성 연구					호숫물/퇴 적물의 생지화학적 특성 분석	호숫물/퇴 적물의 생지화학적 특성 분석	빙저호/퇴 적물의 생지화학적 물질 순환 규명	빙저호/퇴 적물 환경 특성 자료	빙저호 환경의 생물 진화 과정 규명 및 고기후 복원
	빙저호 및 퇴적물의 생물 진화 과정 규명					유전체/전 사체 기반 미생물 특성 분석	유전체/전 사체 기반 미생물 특성 분석	빙저호 미생물의 진화 및 에너지 대사 과정 규명	생물 진화 과정 모식도 1건	
	고기후 복원					퇴적물 연대 추정	퇴적물 연대 및 이화학적 특성 분석	고기후 복원	고기후 복원 자료 1건	

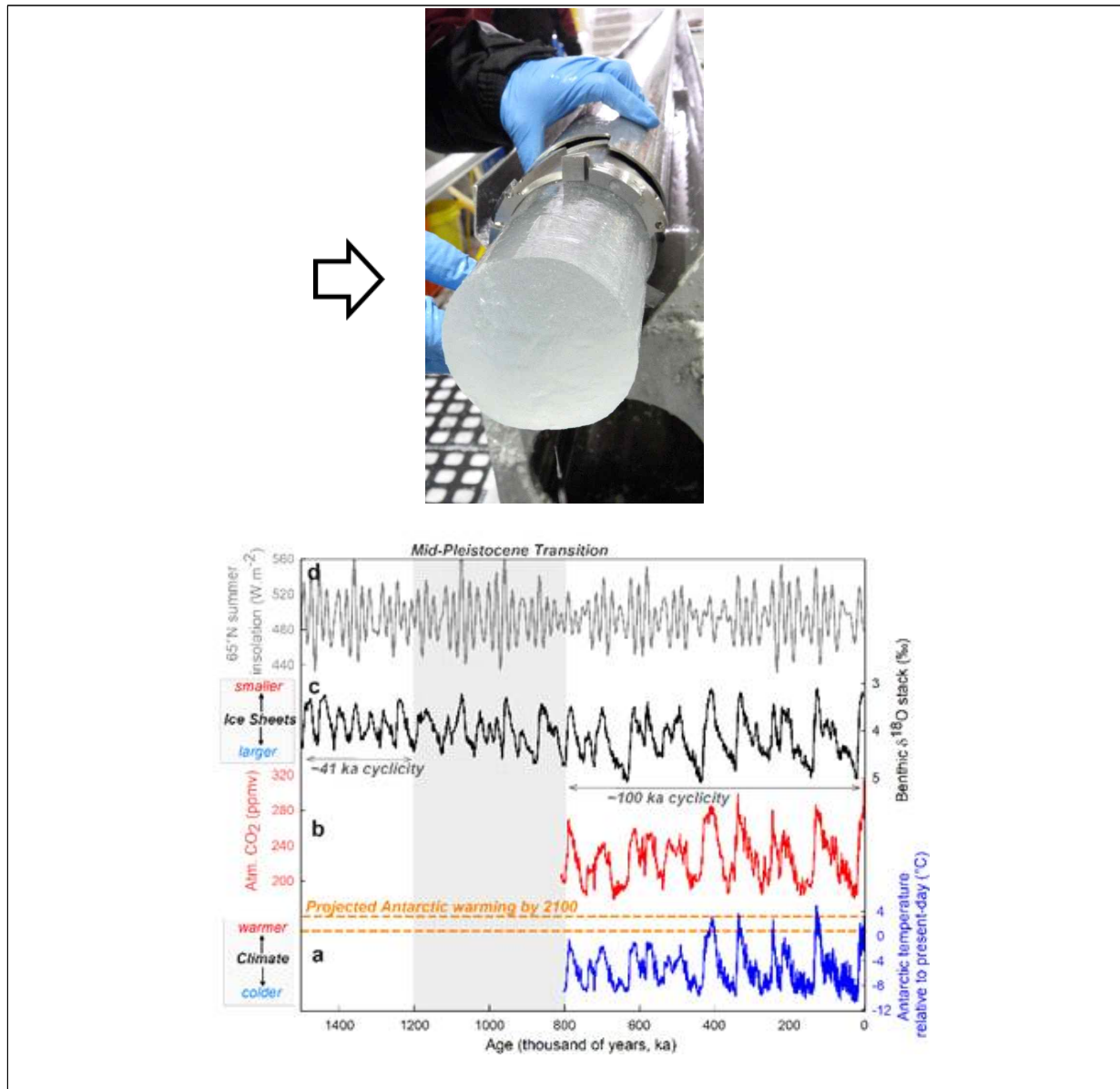
제2절 한-미-일 국제협력 심부빙하코어 시추연구

1. 요약표

<한-미-일 국제협력 심부빙하코어 시추연구 요약표>

세부과제명: 심부빙하코어 시추											
개념		• 남극내륙 3,000m 급 심부빙하코어 시추를 통해 과거 150만년 간 기후변화 및 이산화탄소 농도변화기록을 복원하고 전 지구적인 중장기 기후변화 메커니즘 규명									
범위		• 독자적인 남극 3,000m 급 심부빙하코어 시추기술 확보 및 시추 • 심부빙하코어의 고해상도 분석기술 개발 및 150만년 기후/이산화탄소 변화 기록 복원 • 전 지구 기후변화 메커니즘 규명을 통해 미래 기후변화 예측모델 정확도 향상									
핵심 성과물		• 남극 3,000m 급 심부빙하코어 시추 시스템 구축 및 독자적인 시추기술 확보 • 기후변화 및 이산화탄소 변화의 세계 최고(最古) 고해상도 빙하코어 기록 복원 • 신규 빙하코어 프록시 분석을 통해 기존 기후변화 모델 개선									
세세부과제 구성 및 주요 내용											
세부과제명		목표 성능						TRL 단계 (목표)		연구기간	
(1-1) 세부과제1		3,000m 급 남극심부빙하코어 시추시스템 구축 및 시추기술 확보						TRL7		3	
(1-2) 세부과제2		대한민국 주도의 국제공동 남극심부빙하코어 시추 프로그램을 통한 세계 최고(最古) 빙하코어 시추						TRL7		5	
(1-3) 세부과제3		10년 단위의 고해상도 빙하코어 기후변화 프록시 및 동위원소 프록시 분석기술 개발						TRL7		6	
예산 및 인력 투입계획											
구분		1년 차	2년 차	3년 차	4년 차	5년 차	6년 차	7년 차	8년 차	9년 차	합계
인력 투입계획	책임연구원	7	7	7	7	7	7	7	7	7	63
	연구원	11	11	11	11	11	11	11	11	11	99
	연구보조원				5	5	5	5	5		45
	소계	18	18	18	23	23	23	23	23		207
예산 투입계획	정부	36.2 2억	46.5 2억	56.5 2억	33.6 5억	33.6 5억	33.6 5억	33.6 5억	33.6 5억	12.6 6억	320억
	민간										
	소계	36.2 2억	46.5 2억	56.5 2억	33.6 5억	33.6 5억	33.6 5억	33.6 5억	33.6 5억	12.6 6억	320억

2. 세부과제 개념 및 범위



□ 세부과제의 개념

- 남극내륙 3,000m 급 심부빙하코어 시추를 통한 과거 150만년 기후변화 기록복원 및 중장기 기후변화 메커니즘 규명
 - 남극내륙은 지구상에서 유일하게 3,000m 급 빙하가 존재하는 지역으로써, 남극내륙 기지를 기반으로 과거 150만년 이상의 세계 최고(最古) 심부빙하코어 시추
 - 빙하코어는 시료 내에 보존되어 있는 공기방울을 통해 과거 대기 중 이산화탄소 농도*를 분석할 수 있는 지구상 유일한 시료로써 기후변화연구에 핵심적인 자료 제공
- ※ 러시아의 보스톡 심부빙하코어(Petit *et al.*, 1998)를 통해 최초로 대기 중 이산화탄소 농도와

기후변화의 직접적인 연관성 확인

- 국제공동연구를 통해 현재 러시아, 프랑스-이탈리아, 일본 등 극소수 극지연구 선진국만이 보유하고 있는 남극내륙 심부빙하코어 시추기술을 확보하고, '2032~2033 제5차 국제극지의 해'를 겨냥한 대한민국 대표 극지 프로젝트로 남극내륙 심부빙하코어 시추 수행
 - MPT* 사건 이후 현재의 기후변화 메커니즘이 정립된 과정을 파악함으로써 중장기 기후변화 메커니즘을 규명하고 이를 기후변화 예측모델에 적용하여 미래 기후변화 예측 정확도 향상 기여
- ※ MPT (Mid-Pleistocene Transition) : 과거 120만년 전에서 80만년 전 사이에 빙하기-간빙기 기후변화 주기가 이전의 4만년에서 현재의 10만년으로 변화하고 빙하기의 기후도 이전에 비해 2~4도 하락
- 해양퇴적물 시료 분석을 통해 MPT 사건 전후 기후변화 메커니즘의 변화가 확인되었으나 퇴적물 기록의 해상도 한계와 이산화탄소 등의 기후변화 주요요인에 대한 직접적인 분석이 불가능하기 때문에 MPT 사건의 원인 및 세부적인 변화양상 확인불가
 - 과거 150만년 빙하코어 시추 및 분석을 통해 MPT 기후변화양상 파악 및 대기 중 이산화탄소 농도변화와 MPT 기후변화의 상호작용 규명
 - 과거 83만년까지 약 50년 단위로 복원된 빙하코어 기후변화기록을 150만년 이상 10년 단위의 고해상도로 복원하고, 동위원소 등 새로운 빙하코어 프록시 분석기술을 개발하여 종합적인 기후변화 메커니즘 이해도 향상
 - 엘니뇨-라니냐 현상, 남방 극진동 등 주요 기후패턴이 대체로 수년~10여년의 단주기로 발생하고 있으므로 이러한 기후패턴의 과거 중장기 변화를 파악하기 위해서는 최소 10년 단위의 고해상도 기록복원 필요
 - 신규 빙하코어 프록시 개발을 통해 현 기후모델에서 고려되지 않은 새로운 기후변화인자 파악 및 다양한 기후변화인자 간의 상호작용 메커니즘을 규명함으로써 미래 기후변화 예측모델 정확도 개선

□ 세부과제의 개발 범위

○ 심부빙하코어 시추시스템 구축 및 시추기술 확보

- 국제협력을 통한 남극심부빙하코어 시추시스템 개발 및 시추기술 확보
- 독자적인 3000m급 남극심부빙하코어 시추기 제작기술을 보유하고 있는 일본 전문업체를 통해 신규 남극심부빙하코어 시추시스템 개발
- 남극심부빙하코어 시추시스템 개발 과정에 국내 기술인력 참여를 통해 해당 기술 확보
- 생산지 내 신규 개발 시스템 성능 평가 및 장비운영 교육 실시
- 일본 Dome Fuji 심부빙하코어 시추캠프 및 호주 MYIC 심부빙하코어 시추캠프 참여를 통한 남극 심부빙하코어 시추기술 습득

○ 남극내륙 심부빙하코어 시추

- 국제공동 남극내륙 심부빙하코어 시추

- 대한민국 주도 국제공동 심부빙하코어 시추프로젝트 개발
- SCAR, IPICS 등 국제 극지연구 커뮤니티 홍보 및 해외 빙하코어 연구진의 참여 유도
- Dome C 주변 North patch 지역을 중심으로 항공, 육상 빙원레이더 탐사를 통해 과거 150만년 심부빙하코어 시추 최적지 선정
- 남극내륙기지 이동식 모듈을 활용한 심부빙하코어 시추캠프 구축 및 운영
- 3,000m 급 남극내륙 심부빙하코어 시추

○ 과거 150만년 심부빙하코어 기후변화 및 이산화탄소 기록 복원

- 심부빙하코어 분석기술 개발

- CFA를 활용한 심부빙하코어 고해상도 자동분석기술 개발
- Laser ablation ICP-MS 심부빙하코어 고해상도 분석기술 개발
- 철 동위원소 비 및 황 동위원소 비 등 신규 동위원소 빙하 프록시 분석기술 개발

- 심부빙하코어 고해상도 기후변화 기록 복원 및 중장기 기후변화 메커니즘 규명

- 과거 150만년 심부빙하코어의 10년 단위 고해상도 기후변화 기록 복원
- MPT 사건의 기후변화 주기 변화 원인 및 대기 중 이산화탄소와의 상관성 규명
- ENSO 등 현 기후 시스템 주요 기후변화 패턴의 과거 중장기 변화양상 파악

3. 세부과제별 연구개발 계획

<세부과제 구조>

세부과제	연구 목표
(2-1) 세세부과제1	심부빙하코어 시추시스템 구축 및 시추기술 확보
(2-2) 세세부과제2	남극내륙 심부빙하코어 시추
(2-3) 세세부과제3	과거 150만년 심부빙하코어 기후변화 및 이산화탄소 변화기록 복원

<연구설계도>

목표 성능	주요 연구활동	산출물	TRL
심부빙하코어 시추시스템 구축 및 시추기술 확보	심부빙하코어 시추기 개발	3000m 급 심부빙하 시추기	
	해외 빙하시추캠프 참여 및 시추기술 확보	시추전문인력 2명	
남극내륙 심부빙하코어 시추	심부빙하코어 시추캠프 구축 및 운영	시추캠프 1개소	
	3000m 급 심부빙하코어 시추	3000m 빙하코어 1세트	
과거 150만년 심부빙하코어 기후변화 및 이산화탄소 변화기록 복원	심부빙하코어 분석기술 개발	신규 빙하코어 프록시 분석기술/ 심부빙하코어 고해상도 분석기술	
	150만년 빙하코어 기후변화 고해상도 기록 복원	150만년 세계 최고 빙하코어 기후변화 기록	

(1) 개념 및 범위

□ 연구배경

- 급격한 기후변화로 인해 이상 기상현상 증가, 해수면 상승 등의 전 지구적인 경제·사회적 문제가 심화됨에 따라 이를 대비하기 위해 과거 중장기 기후변화 메커니즘 규명을 통한 기후변화 예측 정확도 향상 필요
 - 2022년과 2023년, 전 세계적으로 4,510억 달러(약629조원)의 기후변화로 인한 경제적 피해 발생(ICC, 2024, The economic cost of extreme weather events)
 - 대한민국의 경우, 2000년대 이후 기후변화로 인해 503조원의 경제적 비용 발생 추정(유 등, 2024, 경제학연구, 72 (2) 5-31)
- 최근 극지연구 선진국의 과거 150만년 심부빙하코어시추 프로젝트 경쟁적 수행
 - 미국, 러시아, EU, 중국, 일본 등 남극내륙기지를 보유, 운영하고 있는 모든 국가들은 과거 150만년 심부빙하코어 시추를 통한 중장기 기후변화연구 추진
 - 독자적인 심부빙하코어 시추기술 확보 및 시추 프로젝트 개발을 통해 극지연구 선진국과의 기술격차 해소 가능
- 다양한 국제 극지관련 국제회의 유치를 통해 대한민국 극지연구의 국제사회 위상제고 추진
 - 2027년 ATCM회의, 2030년 POLAR 2030 등 다수의 극지관련 국제회의 유치
 - 5차 IPY(2032~33)를 겨냥하여 대한민국 주도의 대형 국제공동 프로젝트 개발을 통해 국제적인 위상 재고 가능

□ 연구목표 및 범위

- 3000m급 심부빙하코어 시추시스템 구축 및 시추기술 확보
 - 한-일 국제협력을 통한 심부빙하코어 시추시스템 확보
 - 일본 Dome Fuji, 호주 MYIC 프로젝트 등 해외 심부빙하코어시추 프로젝트에 국내 연구인력이 참여함으로써 해당 국가가 보유한 선진 심부빙하코어 시추기술 습득
- 세계 최고(最古) 심부빙하코어 시추
 - 최근 제안된 Dome C 인근 North Patch 심부빙하코어시추 최적지에 대한 레이더탐사 및 예비시추를 통해 세계 최고(最古) 심부빙하코어 시추 후보지 선정
 - 제5차 IPY를 겨냥한 대한민국 주도의 국제공동 심부빙하코어시추 프로젝트 개발 및 심부빙하코어 시추
- 과거 150만년 중장기 기후변화 고해상도 기록 복원
 - CFA 자동분석, 현장분석 및 레이저 고해상도 분석 등 신규 빙하코어 분석기술 개발

- 과거 150만년 기후변화의 10년 단위 고해상도 기록 복원을 통해 ENSO, SAM 등 단기 기후패턴으로부터 MPT 장기 기후변화에 이르는 과거 기후변화 양상 파악 및 원인 규명

(2) 기존 유사 연구 등 기술개발 동향

□ 기존 심부빙하코어 시추와 기후변화 연구 동향

○ 그린란드 심부빙하코어 시추

- 캠프 센추리 심부빙하코어 시추
 - 1963~1966년, 그린란드 북서부 캠프 센추리에서 세계 최초로 심부빙하코어 시추
 - 총 1390m의 심부빙하코어를 시추하여 과거 12만년 기후변화 기록 복원
 - 지난 빙하기에서 현재의 간빙기로 변화하는 도중 일시적으로 기온이 하강하는 영저드라이어스 기후변화 이벤트 발견
- 다이3(Dye-3) 심부빙하코어 시추
 - 1979~1981년, 그린란드 남부의 Dye-3 지역에서 2040여m 길이의 심부빙하코어 시추
 - 영저드라이어스 기후변화 이벤트 종료 후 50년 동안 7℃의 급격한 기온 상승 확인
- 그린란드 내륙 심부빙하코어 시추
 - 1988~1993년과 1999~2003년 동안 그린란드 중앙의 빙상 최 고원 지역에서 GRIP, GISP2 및 NGRIP 등 다수의 심부빙하코어 시추
 - 최장 3050m의 심부빙하코어를 시추하여 과거 11만 5천년 기후변화의 고해상도 기록 복원
 - 영저드라이어스 기후변화가 대기순환 변환과 연관되어 있다는 발생 메커니즘 규명
- 그린란드 NEEM 심부빙하코어 시추
 - 2008~2010년, 그린란드 북부의 NEEM 캠프에서 2550m 길이의 심부빙하코어 시추
 - 마지막 빙하기 이전의 간빙기인 에미안(Eemian) 시기의 기후변화 복원을 목표로 시추가 진행되었으나 빙저면 교란으로 에미안 후기까지 기후변화 기록 복원
 - 전 세계 12개 국가가 참여한 국제공동 프로젝트로써, 국내 연구진이 참여한 최초의 심부빙하 시추 프로젝트
- 그린란드 EastGRIP 심부빙하코어 시추
 - 2015~2022년, 그린란드 북동부 EastGRIP 캠프에서 과거 10만년 기후변화 동안 빙하의 이동속도 변화를 연구하기 위한 목적으로 2660m의 심부빙하코어 시추
 - 심부빙하코어 시추 이외에 대기-빙설 간 상호작용, 신규 빙하시추 장비 개발 등 10여개 국가가 참여하는 국제공동 종합 빙원연구 프로젝트로 수행됨

○ 남극 심부빙하코어 시추

- 버드기지(Byrd station) 심부빙하코어 시추

- 1966~1968년 동안 서남극에 위치한 버드기지(미)에서 2164m의 심부빙하코어를 시추하여 과거 50,000년 기후변화 기록 복원
- 버드기지 심부빙하코어 기록을 통해 과거 빙하기-간빙기 기후변화가 전 지구적인 현상임을 확인

- 보스톡 심부빙하코어 시추

- 1970~1998년, 동남극의 보스톡기지(러)에서 3623m의 세계 최장 빙하코어 시추
- 지난 Eemian 간빙기 이전의 기후변화 기록을 복원한 최초의 심부빙하코어으로써, 과거 42만년 동안 빙하기-간빙기 기후변화가 10만년 주기로 반복되었음을 확인
- 특히, 보스톡 빙하코어에서 복원된 이산화탄소 및 메탄가스 기록을 통해 온실기체가 지구의 기후변화에 밀접한 연관성이 있다는 사실 확인
- 현재 지구온난화 문제 해결을 위한 온실기체 감축 필요성에 대한 결정적인 증거 제시

- EPICA Dome C 프로젝트

- 1997~2004년 동안, 프랑스와 이탈리아 주도 하에 EU 국가들이 참여하여 동남극 콘코르디아 기지에서 진행된 심부빙하코어 시추
- 과거 83만년의 세계 최고(最古) 심부빙하코어 기후변화 기록 복원

- Dome Fuji 심부빙하코어 시추 프로젝트

- 아시아 국가 중 최초로 일본에서 진행한 심부빙하코어 시추 프로젝트로써, 1995~1996년과 2003~2007년에 각각 2500m와 3035m의 빙하코어 시추
- 1차로 시추한 빙하코어에서는 과거 34만년 기후변화 기록을 복원하였으며, 2차로 시추한 빙하코어에서는 과거 72만년 기후변화 기록 복원

- WAIS Divide 심부빙하코어 시추 프로젝트

- 2005~2013년 동안 미국의 주도로 서남극의 버드 기지 인근 WAIS Divide 지역에서 3405m 깊이의 심부빙하코어 시추
- 해당 지역은 동남극에 비해 높은 적설량을 가지고 있어 3000m가 넘는 심부빙하코어임에도 최대 과거 67,700년까지의 기후변화를 고해상도로 복원

□ 현재 심부빙하코어 시추 국제 연구동향

○ EU의 Beyond EPICA 심부빙하코어 시추 프로젝트

- EPICA 프로젝트의 후속으로 과거 150만년 기후변화 빙하코어 기록 복원을 위해 유럽 10개 국가가 공동으로 심부빙하코어 시추 진행 중

- 2019~2026년의 총 8년간 약 450억원의 예산으로 진행 중
- 2017~2019년의 3년간 레이더 탐사를 통해 150만년 심부빙하코어 시추 최적지 선정
- 21/22 시즌, 리틀 돔 C 지역에 시추캠프 구축 및 130m 시추
- 22/23 시즌과 23/24 시즌 동안 총 1835.2m의 빙하코어를 시추하여 과거 20만년 전에 해당하는 빙하코어 시료 확보

○ 호주의 MYIC(Million Year Ice Core) 프로젝트

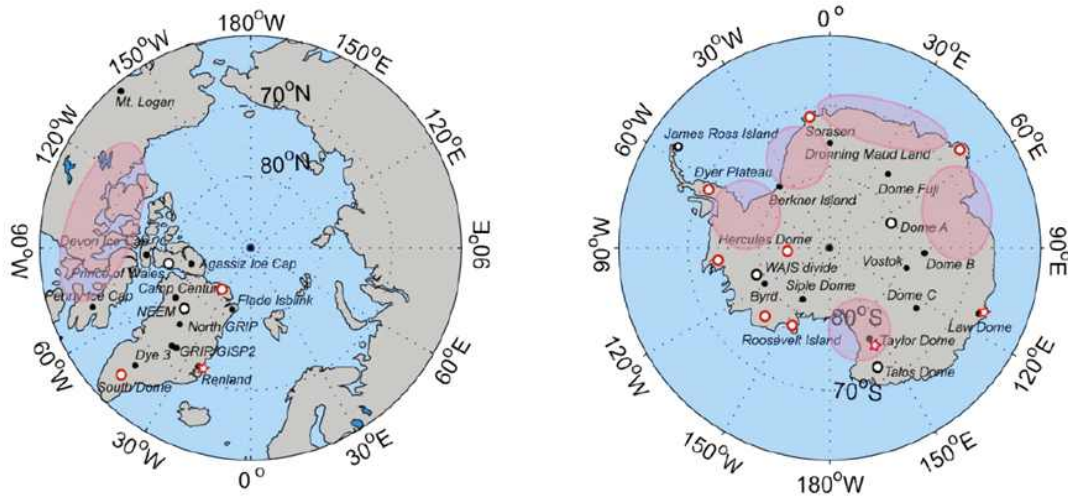
- 100만년 이상의 심부빙하코어 시추와 이를 통해 과거 MPT(Mid-Pleistocene Transition) 기후변화 사건 원인 규명을 목적으로 호주에서 독자적으로 수행
- 100만년 이상의 심부빙하코어 시추와 이를 통해 과거 MPT(Mid-Pleistocene Transition) 기후변화 사건 원인 규명을 목적으로 호주에서 독자적으로 수행
- 2022~2030년의 총 8년간 약 420억원의 예산으로 진행 중
- 22/23 시즌, 심부빙하코어 시추후보지로 빙하코어 시추기 및 시추캠프 장비 운송
- 2024년에 심부빙하코어 시추후보지 변경
- 향후 '25~'29년의 4년 동안 3000m 심부빙하코어 시추 후 '29/30 시즌에 시추캠프 철수 예정

○ 일본의 Dome Fuji 프로젝트

- 2022~2027년 동안 과거 150만년 기후변화 기록복원을 위한 새로운 심부빙하코어 시추 착수
- 23/24 시즌, 이전 시추사이트에서 5km 떨어진 곳에 새로운 심부빙하 시추캠프 구축
- 24/25 시즌, 일본의 Dome Fuji 심부빙하코어 시추캠프에 국내 연구진 참여 중

○ 중국의 Dome A 심부빙하코어 시추 프로젝트

- 2011년, 남극내륙 최고 고원 지역인 Dome A(a.s.l. 4000m)에서 과거 100만년 기후변화 기록복원을 목표로 심부빙하코어 시추 착수
- 218/19 시즌까지 총 800m 빙하코어 시추 후 팬데믹 기간 동안 시추 중지
- 2024년 온라인 IPICS 워크숍을 통해 26/27 시즌부터 심부빙하코어 시추 재개 계획 발표



〈남극과 북극의 1000m 이상 심부빙하코어 시추 현황〉

(3) 기존 기술의 한계와 극복방안

□ 기술적 한계1 / 3000m급 심부빙하코어의 독자적인 시추 기술 부족

- 3000m급 심부빙하코어 시추시스템 및 기술 확보 필요
 - 자체적인 3000m급 심부빙하코어 시추시스템 부재
 - 현재 국내에는 최대 250m 길이의 천부빙하코어를 시추할 수 있는 천부빙하코어 시추기만을 보유 중
 - 3000m급 심부빙하코어 시추 전 과정 이해 부재
 - 국내의 빙하코어시추는 최대 210m 길이의 천부빙하코어까지 시추
 - 국제협력을 통해 심부빙하코어 시추캠프에 단기간 참여한 바 있으나 심부빙하코어 시추 전 과정에 대한 이해 부재

□ 기술적 한계2 / 과거 150만년 기후변화 기록복원을 위한 최적의 시추후보지 선정 필요

- 최신 시추 후보지에 대한 체계적인 빙하탐사 필요
 - 최근 기존의 150만년 심부빙하코어 시추후보지 이외에 신규 후보지가 제시됨
 - Beyond EPICA 심부빙하코어 시추 프로젝트에서 시추 중인 Little Dome C 지역의 빙원탐사결과 당초 예상된 150만년보다 짧은 120만년의 연대가 될 것으로 추정
 - 최근 연구를 통해 상기한 Little Dome C 지역에서 30km 떨어진 North Patch 지역이 과거 200만년 기후변화 기록 복원이 가능할 것으로 추정
 - 이에 따라 호주의 MYIC 프로젝트 시추후보지가 Little Dome C에서 North Patch 지역

으로 변경되었으나 해당 지역에서 최적의 시추지점을 선정하기 위한 빙원 레이더 탐사 자료 부족

○ 예비 시추를 통한 시추 후보지 연대 추정치 정확도 향상 필요

- 레이더 탐사자료 및 빙하 역학 모델링을 통한 빙하코어 예상연령과 실제 연령 간 차이 발생
- 기존의 EPICA Dome C 프로젝트와 Dome Fuji 프로젝트의 경우, 100만년 기후변화 기록복원을 목표하였으나 각각 83만년, 72만년의 기록 복원
- 최근 Rapid drill 시스템을 이용하여 본 시추 전 빙하연령을 정확하게 확인하는 기술 개발

□ 기술적 한계3 / 심부빙하코어 극미량 분석기술의 한계로 인한 기후변화 기록 해상도 제한

○ 최신 분석기술을 적용한 새로운 빙하코어 프로시 개발 및 고해상도 분석 필요

- 정확한 미래 기후변화 예측을 위해서는 ENSO 등 10년 단위의 기후변화패턴에 대한 고해상도 과거기록 복원 필요
- 기존 빙하코어의 경우, 50년 단위의 과거 기후변화 기록복원
- 최근 분석 장비의 발달로 분석시료의 최소 요구량이 감소함에 따라 10년 단위의 기후변화 기록복원을 위한 분석기술 개발 필요
- 10년 단위의 기록복원을 위해서는 분석시료의 개수가 크게 증가하는 바, 자동분석 기술 개발을 통한 분석효율 향상 필요

□ 극복방안1 / 국제협력을 통한 심부빙하코어 시추 시스템 및 시추기술 확보

○ 한-일 국제협력을 통해 심부빙하코어 시추시스템 및 시추기술 확보

- 한-일 신규 심부빙하코어 시추시스템 국제공동개발 혹은 Dome Fuji 심부빙하코어 시추기 공동활용 추진
- 일본의 빙하코어 시추시스템 제작업체를 통해 신규 심부빙하코어 시추시스템 국제공동개발
- 혹은 현재 일본의 Dome Fuji 심부빙하코어 시추캠프에서 활용 중인 시추시스템의 공동활용
- 해외 심부빙하코어 시추캠프에 국내 연구진 파견을 통한 시추기술 습득
- 일본 Dome Fuji 심부빙하코어 시추캠프 국내 연구인력 참여
- 호주 MYIC 심부빙하코어 시추캠프 국내 연구인력 참여

□ 극복방안2 / 신규 심부빙하코어 시추 후보지에 대한 체계적인 빙원탐사 수행

○ North Patch 150만년 심부빙하코어 최적지에 대한 항공 및 육상 레이더탐사 실시

- 2회 이상의 항공레이더 탐사를 통해 North Patch 지역의 광역적인 빙하구조 파악
 - North Patch 지역 전반에 걸친 빙하구조 및 빙저지형 조사를 통해 150만년 심부빙하코어 시추 최적지점 선정
- 추가적인 육상레이더 탐사를 통해 North Patch 심부빙하코어 시추 최적지점에 대한 정밀한 빙하구조 파악 및 빙저지형 복원
 - 항공레이더 탐사를 통해 선정된 심부빙하코어 시추지점에 대해 육상레이더 탐사를 통한 빙하구조 및 빙저지형에 대한 정밀 자료 획득 및 빙저지형도 복원
- 한-미 국제협력 Rapid drill 예비 시추를 통한 정확한 연대추정 실시
 - COLDEX(미)-KOPRI 간 국제협력을 통한 심부빙하시추 후보지 Rapid drill 예비 시추 실시
 - Rapid drill은 미국의 COLDEX에서 개발한 쾌속 시추기로써 드릴링 방식이 아닌 열 용융 방식을 통해 현장에서 바로 빙하의 연대추정 가능
 - 기 체결한 KOPRI-COLDEX 간 연구협약을 통해 North Patch 심부빙하코어 시추지점에 대한 Rapid drill 예비 시추 및 정확한 빙하 연대추정 실시

□ 극복방안3 / 심부빙하코어 분석 자동화 및 고해상도 분석 기술 개발 및 적용

- 분석기술 고도화
 - 연속흐름측정법(CFA: Continuous Flow Analysis) 분석기술 개발을 통해 자동분석 시스템 운영
 - CFA 분석기술 개발을 통해 빙하코어시료 분석에서 많은 시간이 소요되는 시료 전처리 과정을 단축함으로써 분석효율 향상
 - 분석원소 특성에 따라 각기 다른 layer의 시료가 분석 장비로 도입될 수 있도록 하여 시료 활용 효율 극대화
 - 레이저 삭마 분석기술을 적용하여 기존의 분석해상도 향상
 - 기존의 기계적 절삭 시료 전처리 후 분석하는 방법은 최소 5cm 길이의 시료가 확보되어야 해서 분석 해상도의 한계 존재
 - 레이저 삭마 장치를 활용할 경우 1cm 이하의 간격으로 시료 분석이 가능하여 기존 분석 방법에 비해 최대 5배 이상의 고해상도 분석 가능

(4) 연구개발 상세 계획

□ 주요 연구개발 내용

- 심부빙하코어 시추시스템 구축 및 시추기술 확보
 - 3000m급 심부빙하코어 시추기 개발
 - 한-일 국제협력을 통한 3000m 급 신규 심부빙하코어 시추기 제작 추진

- 단, 제작 예산 미확보 시, 현 Dome Fuji 심부빙하코어 시추 프로젝트 종료 후, 해당 시추시스템을 임차하여 활용
- 해외 심부빙하코어 시추캠프 참여를 통한 시추기술 확보
- 해외 심부빙하코어 시추 전문가들과의 국제협력을 위한 LoI 연구협약 체결
- 일본 Dome Fuji 시추캠프, 호주 Million Year Ice Core 프로젝트 시추캠프 등 해외 심부빙하코어 시추캠프에 국내 연구진이 참여하여 심부빙하코어 시추 기술 습득
- 남극내륙 심부빙하코어 시추
 - 심부빙하코어 시추캠프 구축 및 운영
 - 항공/ 육상 레이더탐사 및 Rapid drill 예비시추를 통한 과거 150만년 심부빙하코어 시추 최적지 조사 및 선정
 - 남극내륙기지건설과 연계하여 이동식 모듈을 활용한 심부빙하코어 시추캠프 구축 및 운영
 - 대한민국 주도의 3000m급 심부빙하코어 국제공동시추
 - 제5차 IPY와 연계한 국제공동 심부빙하코어 시추 프로젝트 개발
 - 해외 심부빙하코어 연구기관과의 연구협약 및 컨소시엄 구성
 - 2029~2033년 간 3000m급 심부빙하코어 시추
- 과거 150만년 심부빙하코어 기후변화 및 이산화탄소 변화기록 복원
 - 심부빙하코어 분석기술 개발
 - 연속흐름측정법(CFA: Continuous Flow Analysis)을 활용한 심부빙하코어 자동 분석기술 개발
 - 심부빙하코어의 시추캠프 내 현장분석 시스템 개발
 - 레이저 삭마 장비를 활용한 심부빙하코어 고해상도 분석기술 개발
 - 철 동위원소 비 등 신규 동위원소 빙하코어 프록시 개발
 - 150만년 빙하코어 기후변화 고해상도 기록 복원
 - 과거 150만년 간 기후변화에 대한 10년 단위 고해상도 기록 복원
 - 세계 최초 과거 150만년 이산화탄소 농도변화 연속기록 복원
 - MPT 기후변화의 원인과 변화 메커니즘 규명
 - ENSO, SAM 등 기후모드 변화양상 파악을 통한 미래 기후변화 예측정확도 개선

□ 최종 산출물

- 3000m급 심부빙하코어 시추시스템 및 시추기술 확보

- 남극내륙기지 이동식 모듈을 활용한 남극내륙 심부빙하코어 시추캠프
- 3000m급 심부빙하코어 시료 시추
- 과거 150만년 기후변화 및 이산화탄소 등의 기후인자 변화 고해상도 기록 복원

□ 연차별 연구개발 계획

- 1차년도
 - North Patch 신규 심부빙하코어 시추 후보지 항공레이더 광역탐사 수행
 - 일본 Dome Fuji 심부빙하코어 시추캠프 참여
 - 한-일 국제협력 심부빙하코어 시추기 설계
 - CFA 빙하코어 자동분석 기술 개발
- 2차년도
 - North Patch 신규 심부빙하코어 시추 후보지 육상레이더 정밀탐사 수행 및 빙저지형 복원을 통한 시추지점 선정
 - 호주 MYIC 심부빙하코어 시추캠프 참여
 - 한-일 국제협력 심부빙하코어 시추기 제작 및 성능평가
 - 빙하코어 시추캠프 현장 분석 시스템 개발
- 3차년도
 - 한-미 국제협력 Rapid drill 예비 시추를 통한 North Patch 심부빙하코어 시추지점 연령 추정
 - 한-일 국제협력 심부빙하코어 시추기 극지 현장 테스트 실시
 - 레이저 삭마 시스템을 활용한 심부빙하코어 고해상도 분석 기술 개발
 - 국제공동 심부빙하코어 시추 프로젝트 ATCM 초기 환경영향평가 수행
- 4차년도
 - North Patch 내 심부빙하코어 시추캠프 구축 및 시추공 설치
 - 0~100m 심부빙하코어 시추
- 5차년도
 - 100~1000m 심부빙하코어 시추 및 안정화
 - 4차 년도 시추코어시료의 물 안정동위원소 비 현장 분석
- 6차년도
 - 1000~2000m 심부빙하코어 시추 및 안정화
 - 5차 년도 시추코어시료의 물 안정동위원소 비 현장 분석

- 4차 년도 시추코어시료의 국내 운반 및 기후변화 프록시 분석
- 7차년도
 - 2000~3000m 심부빙하코어 시추 및 안정화
 - 6차 년도 시추코어시료의 물 안정동위원소 비 현장 분석
 - 5차 년도 시추코어시료의 국내 운반 및 기후변화 프록시 분석
- 8차년도
 - 3000~빙저면 심부빙하코어 시추 및 안정화
 - 7차 년도 시추코어시료의 물 안정동위원소 비 현장 분석
 - 6차 년도 시추코어시료의 국내 운반 및 기후변화 프록시 분석
- 9차년도
 - 시추캠프 철수
 - 8차 년도 시추코어시료의 물 안정동위원소 비 현장 분석
 - 7, 8차 년도 시추코어시료의 국내 운반 및 기후변화 프록시 분석



□ 과제카드

<과제 카드(한-미-일 국제협력 심부빙하코어 시추)>

세부과제명	심부빙하코어 시추
연구개발 목적	○ 3,000m급 남극내륙 심부빙하코어 시추를 통한 과거 150만년 중장기 기후변화 및 이산화탄소 변화 메커니즘 규명
연구개발 목표	○ 3,000m급 남극내륙 심부빙하코어 시추시스템 및 시추기술 확보 ○ 3,000m급 남극내륙 심부빙하코어 시추 ○ 과거 150만년 기후변화 및 이산화탄소 변화기록 복원
연구개발 필요성	○ 남극의 빙하코어를 통해 과거 대기 중 이산화탄소 농도의 정확한 분석 가능 ○ MPT 기후변화 메커니즘 규명을 통해 중장기적인 근본적인 기후변화 메커니즘 파악 가능 ○ 독자적인 심부빙하코어 시추 및 분석기술 확보로 선진국과의 남극내륙연구 기술격차 해소 ○ 제5차 IPY와 연계한 대한민국 주도의 국제공동 대형프로젝트 개발을 통해 대한민국 극지연구 위상 강화
기술동향	○ 3,000m급 심부빙하코어 시추는 미국, 러시아, EU, 중국, 일본 등 해당 기술을 보유한 극지연구 최고 선진 국가들만이 독점적으로 수행 이외의 국가들과의 기술격차 증가 ○ 현존하는 최고 빙하코어 기후변화 기록은 과거 83만년까지임 ○ 현재 EU를 비롯하여 일본, 중국, 호주 등 극지연구 선도국을 중심으로 과거 150만년 기후변화 기록 복원을 위한 남극내륙 심부빙하코어 시추 프로젝트 수행 중 ○ 최근 Dome C 인근 North Patch 지역에서 과거 200만년 전 빙하코어시추 가능성이 제시되면서 해당 지역에서의 심부빙하코어 시추에 대한 국제사회 관심 고조
연구개발 내용	○ 3000m급 심부빙하코어 시추 시스템 및 시추기술 확보 - 한-일 국제협력을 통한 심부빙하코어 시추 시스템 개발 혹은 확보 - 일본, 호주 등 현재 수행 중인 해외 심부빙하코어 시추 프로젝트에 국내 개발진 참여를 통해 시추원천기술 습득 ○ 대한민국 주도 국제공동 심부빙하코어 시추 - 최근 과거 200만년 빙하코어 시추가 가능할 것으로 추정되는 신규 심부빙하코어 시추후보지 내 레이더 탐사 및 예비시추를 통한 시추지점 선정 - 남극내륙기지건설과 연계하여 이동식 모듈을 활용한 심부빙하코어 시추캠프 구축 및 운영 - 제5차 IPY와 연계하여 국제공동 심부빙하코어 시추 진행 ○ 과거 150만년 기후변화 및 이산화탄소 변화 기록 복원 - 분석 자동화 및 고해상도 분석기술 개발을 통해 과거 150만년 기후변화 및 이산화탄소 변화 고해상도 기록 복원 - MPT 기후변화 양상 파악 및 중장기 기후변화 원인 규명
연구 추진전략	○ 독자적인 심부빙하코어 시추시스템 및 시추기술 확보와 시추후보지 선정을 위한 1단계 (3년)와 국제공동 남극내륙 심부빙하코어 시추사의 2단계 (6년)로 나누어

	수행	
연구 추진체계	○ 극지연구소 기관고유사업을 통해 심부빙하코어 시추시스템 및 시추기술 확보와 시추후보지 선정을 위한 1단계 3년간 사업 수행 ○ 해수부 R&D 사업을 통해 2단계 6년간 남극내륙 심부빙하코어 시추 국제공동프로젝트 개발 및 수행	
연구개발 기간	총연구기간	총예산
및 소요예산	9년	460억
최종 성과물 (정성·정량적 성과)	○ 정성·정량적 성과 - 3000m급 심부빙하코어 시추시스템 - 과거 150만년 심부빙하코어 시료 - 과거 150만년 심부빙하코어 기후변화 기록	
연구개발성과의 활용방안 및 기대효과	○ 본 사업을 통해 확보한 심부빙하코어 시추기술을 바탕으로 남, 북극 후속 심부빙하코어 시추 프로젝트 개발 ○ ENSO, SAM 등의 기후모드의 과거 변화양상 파악을 통해 미래 기후변화 예측 정밀도 향상 ○ MPT 기후변화 메커니즘 규명을 통해 중장기 기후변화인자의 영향을 고려한 기후변화 모델 개발	



4. 예산 및 인력 투입 계획

(1) 예산 소요계획

<연차별 예산 소요 계획(세부과제2)>

(단위: 억 원)

No	구분		1차 년도 ('26)	2차 년도 ('27)	3차 년도 ('28)	4차 년도 ('29)	5차 년도 ('30)	6차 년도 ('31)	7차 년도 ('32)	8차 년도 ('33)	9차 년도 ('34)	합계
1	세부과제2	정부	36.2	46.5	56.5	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	12.6	319.8
		민간										
	소계		36.2	46.5	56.5	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	12.6	319.8
합계	정부	36.2	46.5	56.5	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	12.6	319.8
		민간										
	전체		36.2	46.5	56.5	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	12.6	319.8

(2) 인력 투입계획

<연차별 인력 투입 계획(세부과제2)>

(단위: 명)

No	구분		1차 년도 ('26)	2차 년도 ('27)	3차 년도 ('28)	4차 년도 ('29)	5차 년도 ('30)	6차 년도 ('31)	7차 년도 ('32)	8차 년도 ('33)	9차 년도 ('34)	합 계
1	세부과제2	책임	7	7	7	7	7	7	7	7	7	63
		연구원	11	11	11	11	11	11	11	11	11	54
		보조원				5	5	5	5	5		25
	소계		18	18	18	23	23	23	23	23	18	100
합계		책임	7	7	7	7	7	7	7	7	7	63
		연구원	11	11	11	11	11	11	11	11	11	54
		보조원				5	5	5	5	5		25
		전체	18	18	18	23	23	23	23	23	18	100

(3) 상세 예산 투입계획

○ 직접비

- 인건비: 총 84억 원(국고: 84억 원, 민간: 000억 원)

<인건비 상세 소요내역>

(단위: 백만원)

		국고								
구분		1차 년도 ('26)	2차 년도 ('27)	3차 년도 ('28)	4차 년도 ('29)	5차 년도 ('30)	6차 년도 ('31)	7차 년도 ('32)	8차 년도 ('33)	9차 년도 ('34)
책임연구 원	투입인원(명)	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	참여기간(개월)	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	참여율(%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	인건비 기준단가(백만원)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	인건비(백만원)	420	420	420	420	420	420	420	420	420
연구원	투입인원(명)	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	참여기간(개월)	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	참여율(%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	인건비 기준단가(백만원)	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	인건비(백만원)	462	462	462	462	462	462	462	462	462
연구보조 원	투입인원(명)	-			5	5	5	5	5	
	참여기간(개월)	-			3	3	3	3	3	
	참여율(%)	-			100	100	100	100	100	
	인건비 기준단가(천원)	-			6	6	6	6	6	
	인건비(천원)				90	90	90	90	90	
소계		882	882	882	972	972	972	972	972	882
인건비 합계		882	882	882	972	972	972	972	972	882

- 연구시설·장비 및 연구재료비: 총 96.2억 원(국고 96.2억 원, 민간 000억 원)

<연구시설·장비 및 연구재료비 상세 소요내역>

(단위: 억 원)

품명	규격	수량 (식)	단가 (억 원)	1차 년도 ('26)	2차 년도 ('27)	3차 년도 ('28)	4차 년도 ('29)	5차 년도 ('30)	6차 년도 ('31)	7차 년도 ('32)	8차 년도 ('33)	9차 년도 ('34)	합계
심부빙하 시추기	3000m급	1	50	10	20	20	-	-	-	-	-	-	50
자동기상 관측기	AWS	1	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
CFA 분석장비		1	1.5	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5
현장 분석장비	CRDS	2	2	-	2	2	-	-	-	-	-	-	4
청정실험 실 유지	Class 1000	9(년)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	10.8
CFA 현장분석	표준용 액 등	9(년)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	10.8
CRDS 현장분석	표준용 액 등	9(년)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9
ICP 분석	표준용 액 등	9(년)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	18
연구시설·장비 및 연구재료비 합계				16.5	26.8	26.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	96.2

- 연구시설·장비 사양 정보

- 심부빙하시추기 : 3000m급 심부빙하시추 시스템 일체
- 이온 크로마토그래피 : 양이온, 음이온 분석 전용 장비 2대

- 기타 경비 및 간접비: 총 186억 원(국고 186억 원, 민간 000억 원)

<기타 경비 및 간접비 상세 소요내역>

(단위: 억 원)

구분	내역	'26	'27	' 28	'29	' 30	'31	'32	'33	'34	합계
연구 활동비	전문가 활용비, 회의비 등 (국제빙하시추전문가 활용)	-	-	-	5	5	5	5	5	-	25
	극지출장비 (국내인력 현장연구)	-	-	-	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	-	21
	남극내륙 항공기 임차	10	10	10	10	10	10	10	10	-	80
	시추캠프 식자재	1.1	1.1	1.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	1.1	20.4
	시추캠프 생활용품	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
	시추캠프 연료	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
	학회출장 및 회의비	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	3.6
연구 수당	인건비의 15% 이하	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
간접비	직접비의 10% 이하 수준	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
소계		15.5	15.5	15.5	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	5.5	186

5. 연구개발 로드맵

<연구개발 로드맵(한-미-일 국제협력 심부빙하코어 시추연구)>

세부과제	주요 연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	8차년도	9차년도	산출물	목표성능
1-1	심부빙하 시추기 개발	시추기 설계	시추기 제작	시추기 현장실증							심부빙하 시추기	독자적 3000m 급 심부빙하코어 시추시스템 및 시추기술 확보
	심부빙하 시추기술 확보	호주시추 캠프 참여	일본시추 캠프 참여								심부빙하 시추기술	
1-2	시추지점 선정	빙원 항공탐사	빙원 육상탐사	예비시추 시추지점 선정							심부빙하 시추지점 선정	North Patch 지역의 최고령 빙하코어 시추 최적지 선정/ 3000m 이상 빙저면까지 빙하코어 시추
	심부빙하코어 시추			초기환 경영향 평가	시추캠프 구축/ 100m 시추	누적깊이 1000m 시추	누적깊이 2000m 시추	누적깊이 3000m 시추	빙저면 시추	시추캠프 철수	3000m급 심부빙하코어	
1-3	빙하코어 분석기술 개발	CFA 자동분석 기술개발	현장분석 기술개발	고해상도 분석기술 개발								과거 150만년의 평균 10년 단위 기후변화 기록복원
	기후변화 기록복원					과거 2000년 기후변화 기록복원	과거 10만년 기후변화 기록복원	과거 20만년 기후변화 기록복원	과거 100만년 기후변화 기록복원	과거 150만년 기후변화 기록복원	세계 최고 빙하코어 기후변화 기록	

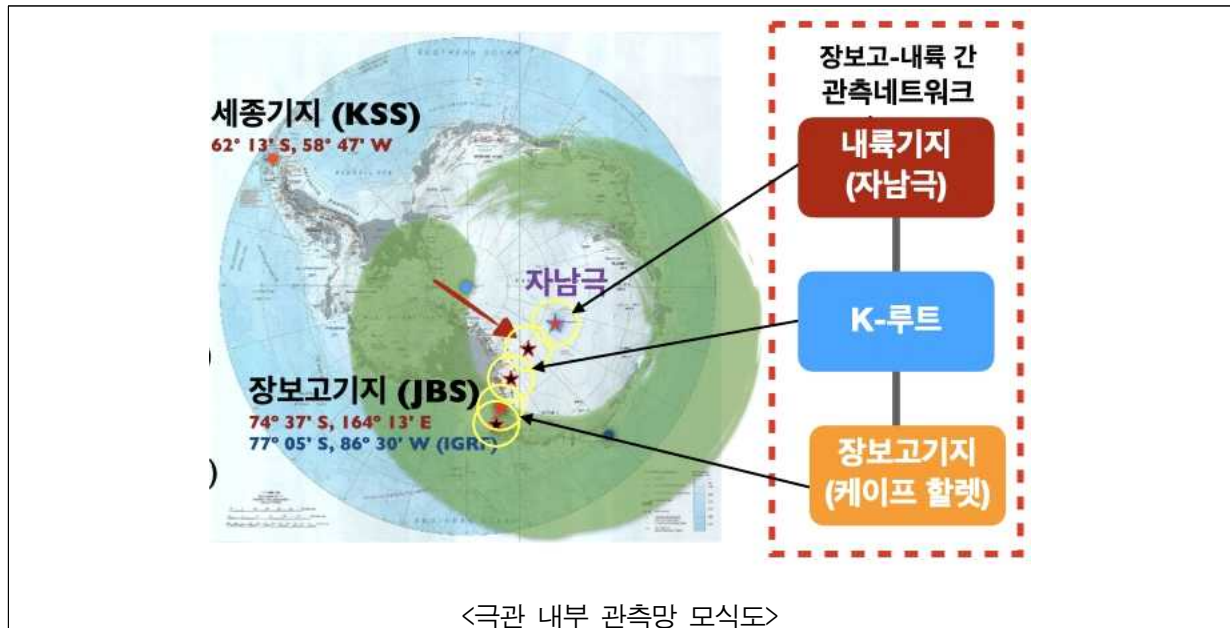
제3절 우주과학

1. 요약표

〈세부과제3 요약표〉

세부과제명: 남극 내륙 우주과학 무인 관측망 구축 및 운영							
개념	- 극관 지역 무인 관측망 구축 및 내륙기지 우주과학 관측 수행						
범위	- 장보고기지-내륙기지 간 우주과학 무인 관측망 구축 및 운영 - 내륙기지 기반 우주과학 관측소 구축 및 운영						
핵심 성과물	- 세계 최고 극관 지역 우주과학 통합 관측망 구축 및 자료 산출						
세세부과제 구성 및 주요 내용							
세부과제명		목표 성능			TRL 단계 (목표)	연구기간	
(3-1) 무인 관측소 개발 및 구축		남극장보고기지 - 내륙기지 간 무인 관측망 구축 및 관측 자료 확보			1	5년	
(3-2) 내륙기지 관측소 구축 및 운영		내륙기지 관측소 구축 및 관측 자료 확보			1	10년	
예산 및 인력 투입계획							
구분		1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	합계
인력 투입계획	책임연구원	6	6	6	6	6	30
	연구원	4	4	4	4	4	20
	연구보조원	5	5	5	5	5	25
	소계	15	15	15	15	15	75
예산 투입계획	정부	20	20	20	20	20	100
	민간						
	소계	20	20	20	20	20	100

2. 세부과제 개념 및 범위



□ 세부과제의 개념

- 극관 지역 무인 관측망 구축 및 내륙기지 우주과학 관측
 - 남극장보고기지-내륙기지 간 무인 관측 거점 선정 및 관측소 구축
 - 내륙기지 우주과학 연구 주제 도출 및 관측 플랫폼 개발
 - 내륙기지 우주과학 관측소 구축 및 관측자료 확보
 - 극관 내부 통합 관측망 구축

□ 세부과제의 개발 범위

- 다학제, 글로벌 연구 협력을 통한 남반구 극관 지역 관측망 구축
 - 무인 관측망 구축
 - 해외 연구팀과 공동으로 무인 관측소 개발
 - 남극장보고기지-내륙기지 간 관측 거점 선정 및 관련 우주과학 연구 주제 도출
 - 남극 내륙 무인 관측망 구축 및 우주과학 관측 자료 수집
 - 내륙기지 우주과학 관측소 구축
 - 남극장보고기지와 무인 관측망과의 효과적인 통합 운용에 적합한 관측장비 선정
 - 내륙기지 관측소를 구축을 통한 세계 최초 남극 극관 내부지역 우주과학 관측망 구축 완료 및 관측 개시

3. 세부과제별 연구개발 계획

〈세부과제3 세부과제 구조〉

세부과제	연구 목표
(3-1) 무인 관측소 개발 및 구축	남극장보고기지-내륙기지 간 무인 관측망 구축
(3-2) 내륙기지 관측소 구축 및 관측	내륙기지 관측소 구성 요소 결정 및 장비 테스트 내륙기지 관측소 구축 및 관측개시

〈세부과제3 연구설계도〉

목표 성능	주요 연구활동	산출물	TRL
무인 관측소 개발 및 구축	저전력 무인 관측소 플랫폼 개발	-무인 관측소 플랫폼	1
	관측 거점 확보	-관측 거점 분포도	
	무인 관측소 구축	-무인 관측 자료 획득	
내륙기지 관측소 구축 및 관측	내륙기지 연구주제 도출	-극관 관련 연구주제	1
	내륙기지 관측소 구성	-관측소 장비 구성안	
	장비 테스트	-장비 테스트 결과 자료	
	내륙기지 관측소 구축	-장비 이동 및 설치 -초기 가동 실험 결과	
	내륙기지 기반 관측 개시	-내륙기지 관측자료 획득	

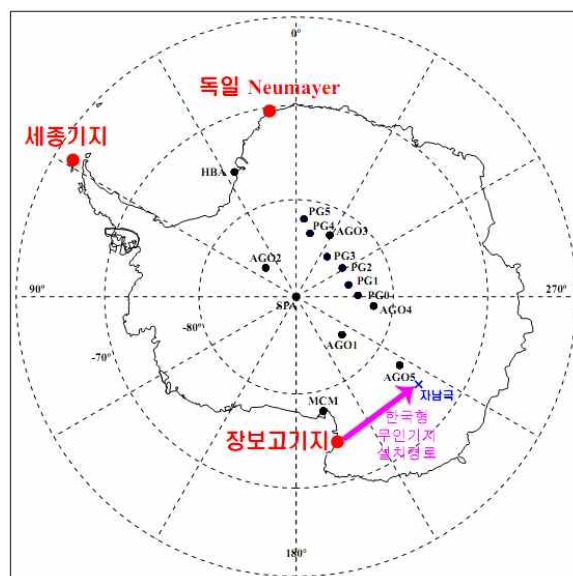
1) 세세부과제1: 무인 관측소 개발 및 구축

(1) 연구의 필요성

- 지자기 위도 80도 이상의 지역인 극관 지역은 지구 자기장이 열려있는 공간으로 태양 및 우주공간의 전자기 에너지 및 고에너지 입자 등이 지구로 유입되는 통로 역할을 한다.
- 극관 지역의 관측이 중요하지만 장비 운용의 어려움으로 인해 현재 남극 내륙에서 운영 중인 AGO, PG 관측망은 그림1과 같이 남극점 주변으로 설치되어 있으며 중국에서 준비 중인 ZK 관측망은 동남극 지역 관측을 목적으로 하고 있다. 즉, 미국과 중국의 남극 과학기지를 기반으로 한 관측망을 구축하였다.
- 따라서 남극장보고기지에서 자남극에 이르는 경로 상에 관측망을 구축할 경우(그림 2 참조) 세계 최초로 극관 지역의 우주환경 변화를 직접 관측할 수 있으며 이를 통해 다양한 우주과학 연구 수행이 가능할 것으로 기대된다.

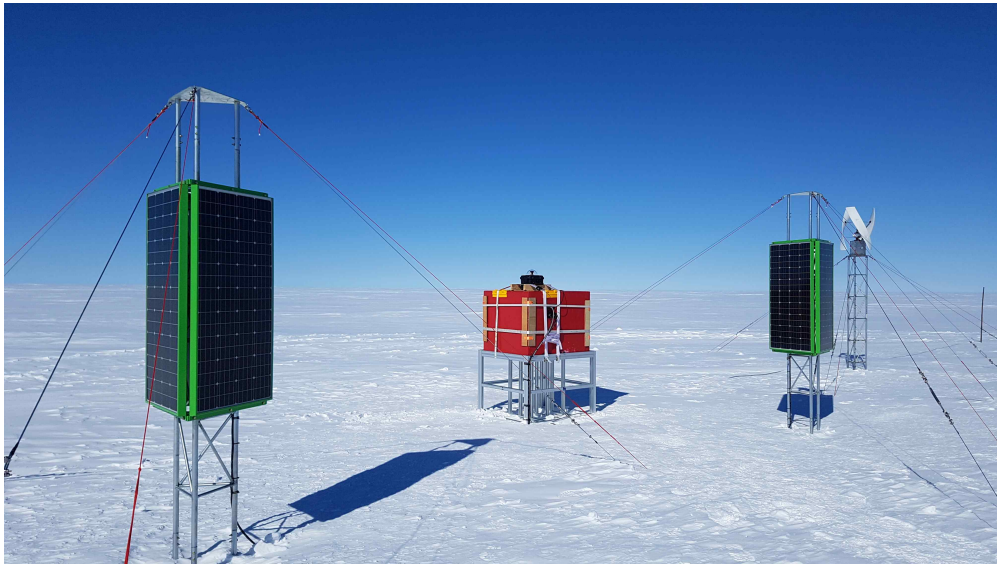
(2) 연구의 내용

- 현재 남극 내륙에는 크게 미국 뉴저지 공과대학과 버지니아 공과대학에서 AGO, PG 관측망을 운영하고 있으며 현재 중국 극지연구소와 버지니아 공과대학이 공동으로 중국 중산기지에서 곤륜기지 사이에 ZK 관측망을 준비 중에 있다.



<극 자력계 네트워크>

- 극지연구소 우주과학팀은 미국 뉴저지 공과대학과 공동으로 남극장보고기지에서 내륙 기지까지 한국형 무인관측소(Korean Automated Geophysical Observatory, KAGO)를 개발 중에 있으며 지난 2021-22년 하계 연구활동을 통해 D2 지역에서 시험 모델 현장 시험을 진행하였다.
- 현재 지난 2년간의 현장 시험을 통해 발생한 문제(풍력발전기 작동, 경량화 등)를 해결하기 위한 새로운 플랫폼을 개발 중에 있으며 2024-25년 하계 연구활동 기간 중 남극장보고기지에서 현장 테스트를 진행할 계획이다.
- 새로운 플랫폼은 두 종류의 자기장 측정기(플럭스게이트, 서치코일), 오로라 관측용 소형 카메라, GNSS 수신기 등의 관측 장비를 활용해 극지 고층대기 및 지구 자기장 변화 등을 관측할 계획이다.



<D2 지역에서 테스트한 한국형 무인관측소(KAGO)>

2) 세부과제2: 내륙기지 관측소 구축 및 관측

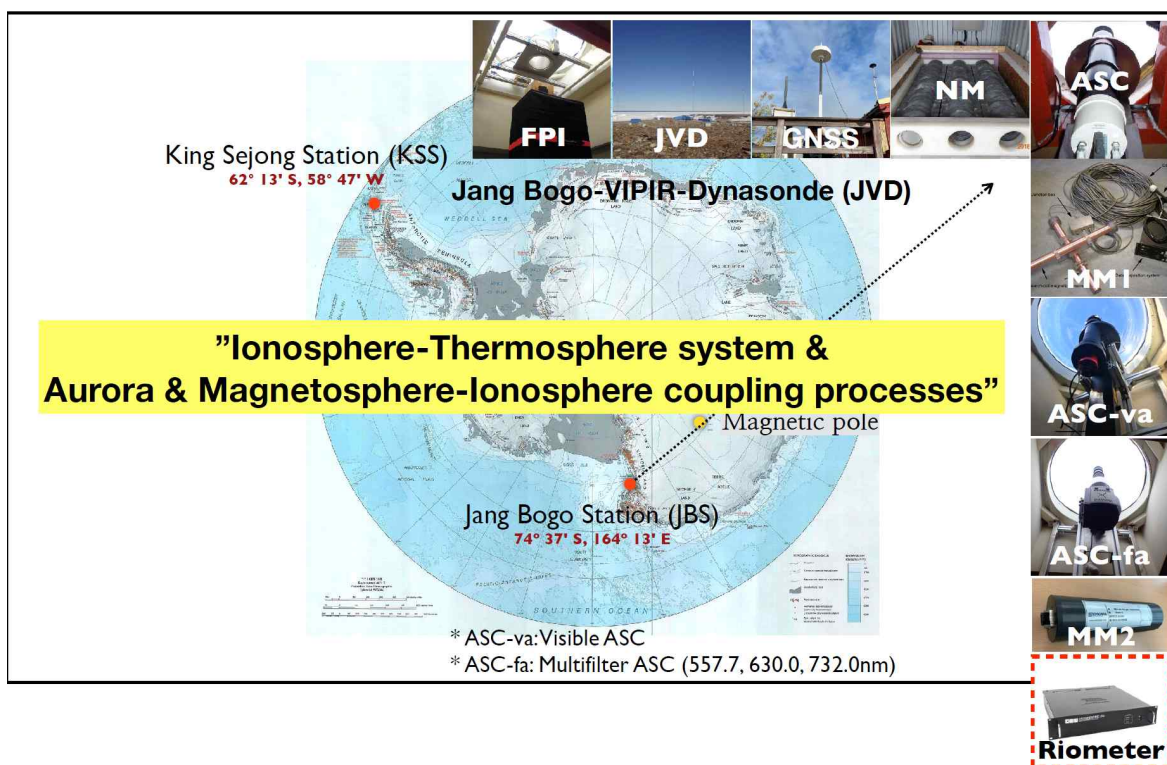
(1) 연구의 필요성

- 세부과제1은 남극장보고기지에서 내륙기지까지의 관측망 구축이 목표이며 세부과제2를 통해 남극 내륙기지에서의 우주과학 분야 관측소 구축을 통해 본 연구과제의 최종 목표인 극관 내부의 관측망 구축을 완성하고자 한다.
- 무인 관측소의 경우 전력 및 관측소 크기 문제로 인해 현재 장보고기지에서 운용중인 전리권 레이더, 간섭계 광학장비 등 전력소모가 크거나 부피가 큰 관측 장비를 운용할 수 없다.

- 따라서 내륙기지의 규모, 전력공급 상황 등이 결정되면 이에 맞춰서 무인관측소에서 수행하지 못하는 관측 장비를 활용한 연구를 진행할 필요가 있다. 더불어 무인 관측소와의 연계관측을 위해 무인 관측소와 동일한 장비도 내륙기지에 설치할 필요가 있다.
- 연구 장비 선정과 제작, 그리고 설치와 시험 등의 절차가 필요하므로 과제 목표 달성을 위한 연구 기간을 10년으로 설정하였으며 극저온 환경에 적합한 검증된 장비 구입과 시험 운영 결과에 따른 대체 장비 도입 등에 많은 비용이 필요할 것으로 예상

(2) 연구의 내용

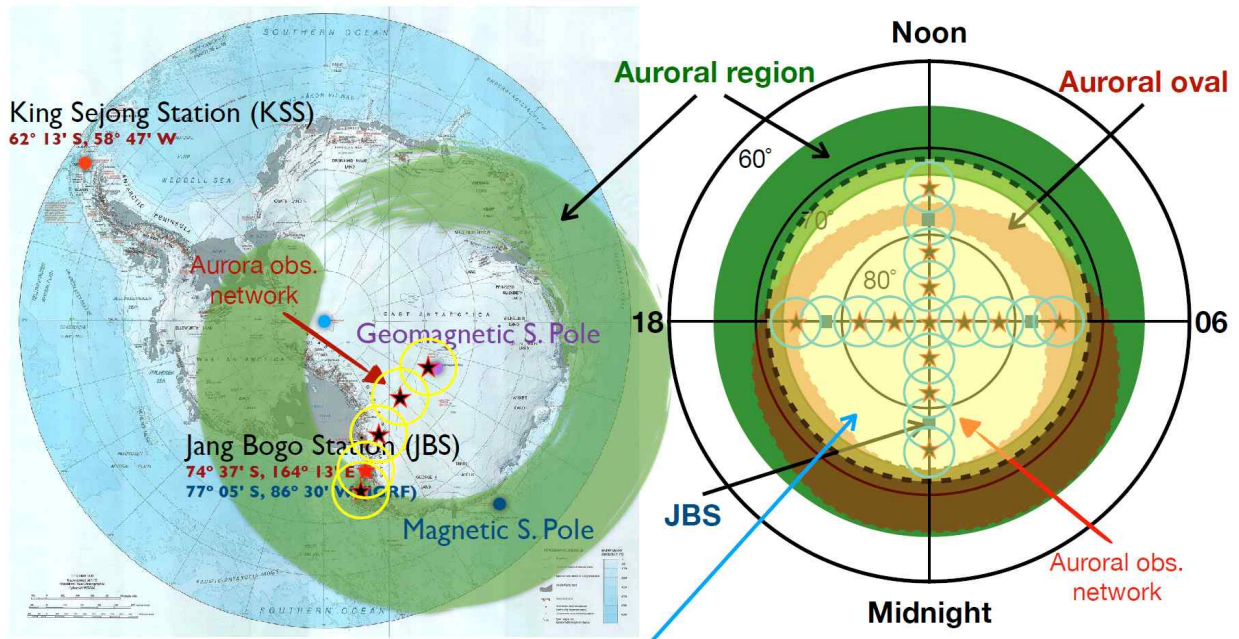
- 그림 4는 현재 남극장보고과학기지에서 우주과학 연구를 위해 사용되고 있는 관측 장비 현황을 보여준다. 이 중 FPI, JVD, ASC 등의 장비는 전력소모 또는 장비의 물리적인 크기가 매우 큰 장비에 속하기 때문에 무인 관측소에서는 해당 장비들의 운영이 불가



<극 장보고 과학기지 관측장비 현황>

- 그러나 극관 내부의 종합적인 우주환경 변화 관측을 위해서는 내륙기지에서는 남극 장보고과학기지와 비슷한 규모의 관측소를 마련할 필요가 있다. 실제 남극점에 있는 아문젠-스캇 기지에서는 10미터급 전파 망원경을 비롯해 다수의 우주과학, 천문

학 관련 관측 장비를 운영 중



<극 내륙기지를 활용한 극관 내부 관측망 모식도>

- 따라서 본 세부 과제에서는 남극 내륙기지에서 활용 가능한 관측장비의 후보군을 제시하고, 내륙기지 규모가 결정되면 최종적으로 장비 테스트, 구축 등을 수행하고자 함
- 최종적으로 내륙기지 관측소를 구축하면 그림 5와 같이 남극 장보고기지에서 내륙기 지까지 우주과학 관측망을 구축할 수 있을 것으로 기대되며 이를 통해 국제사회에서 극관 관련 연구를 주도할 수 있을 것으로 기대

4. 로드맵

<연구개발 로드맵>

세부과제	주요 연구활동	1차년도(2027)	2차년도(2028)	3차년도(2029)	4차년도(2030)	5차년도(2031)	목표성능
1-1 무인 관측소 개발 및 구축	저전력 무인관측소 플랫폼 개발						장보고 기지 - 내륙기지 간 무인 관측소 구축
	관측 거점 확보						
	무인 관측소 구축						
1-2 내륙기지 관측소 구축 및 관측	내륙기지 연구주제 도출						내륙기지 관련 연구개발은 내륙기지 구축 사업 진행 상황에 맞춰 5차년도 이후 진행 예정 - 장비 선정 시 내륙 기지 규모 및 전력 상황에 맞춰서 구성 예정 - 추후 내륙기지 건설 단계에 맞춰 관측소 구축 계획 수립 예정
	내륙기지 관측소 구성						
	장비 테스트						
	내륙기지 관측소 구축						
	내륙기지 기반 관측 개시						



제 VI 장
경제성 분석 및 기대효과



제6장 경제성 분석 및 기대효과

제1절 경제성 분석

1. 경제성 분석 방법론

□ 조사대상 사업의 예산 계획을 세부적으로 분석하고 사업을 시행할 경우 기대되는 국민경제적 효과와 편익을 계량하여 조사대상 사업의 예산 효율성을 검토

- 다양한 비용 추정방법론이 존재하며, 각각의 상황에 따라 적절한 방법론을 적용
- 국가연구개발 사업 예비타당성조사의 경제성 분석은 예비타당성조사 운용지침에서 정의하고 있는 사업유형(도전·혁신형, 성장형, 기반조성형)에 따라 비용편익분석기법(Cost-Benefit Analysis), 비용효과분석기법(Cost-Effectiveness Analysis)을 이용할 수 있음

<사업 유형별 경제성 분석 방법론 적용>

목적별 유형	경제성 분석방법론 적용 원칙	
도전·혁신형	E/C 분석 기본 (예외적 B/C)	명확한 산출물이나 결과물 설정이 어렵고, 성과의 시장가치 환산이 어려우며, 성공가능성 등 편익산정에 많은 가정과 불확실성이 존재
성장형	B/C 분석 기본 (예외적 E/C)	기술, 제품이 거래되는 시장 기반으로 기술, 제품, 서비스 개선과 역량강화 등 사업추진 편익을 산정 기술특정이 어렵고 불가피한 경우 등 사업 특성을 고려하여 예외적으로 E/C 적용
기반조성형	B/C 또는 E/C (사업별 선택)	공공기술개발로 인한 피해비용저감, 공공시설·장비 가동률 등 편익제시가 가능한 경우 B/C를 적용하고, 연구환경개선, 고급인력양성 등 시장가치 측정이 어려운 효과의 경우 E/C 적용

출처: KISTEP(2023), “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침”

2. 비용편익분석

1) 비용편익분석의 개념 및 항목

□ 비용편익 분석의 개념

- 경제성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고 이를 이용해 비용편익분석(Cost-benefit Analysis)을 이용하여 사업의 타당성을 판단
- 비용편익분석에서 이용되는 기준으로는 순 현재가치(NPV, Net Present Value)/기대 순 현재가치(ENPV, Expected NPV), 편익-비용 비율(B/C ratio) 등 다양한 방법이 있는데 본 분석에서는 비용-편익 비율(B/C ratio)을 이용
- 편익-비용 비율은 편익의 현재가치의 합을 비용의 현재가치의 합으로 나눈 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정기간(일반적으로 현재연도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 현재가치화라고 함
- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단

□ 비용편익분석 항목

- 경제적 타당성 분석의 기본 항목으로는 총 사업비, 총비용, 편익 등으로 구분할 수 있으며, 객관화된 데이터를 기반으로 추정되어야함
- 비용은 사업기간 내 발생하는 총 사업비에 사업완료 후 발생하는 유지·관리 비용, 장비재투자비 등을 모두 더한 후 장비 및 건물의 잔존가치를 제외하여 산정함
- 편익은 해당 구성기술별 연구개발과제로 인해 실질적으로 혜택을 받게 되는 수요(기업, 대국민 등)를 추정하여 편익을 추정함
- 분석된 비용과 편익을 현재가치로 환산하여, B/C값을 분석하고 B/C값이 0.8~1.3일 경우 정부 연구개발 사업으로의 추진 타당성이 있는 것으로 판단
- 동 사업의 편익은 남극대륙탐사 비용 저감 편익과 기술개발로 발생하는 부가가치 편익으로 계산

2) 비용 추정

□ 사업기간 중 소요 비용

- 세부과제별·연도별 소요 예산을 바탕으로 사업 기간 중 소요 비용을 산출

<사업기간 중 소요 비용 추정>

(단위: 천 원)

연도	모듈 제작 및 운송	친환경 시스템 개발	환경영향 평가	합계
2027	6,436,000	1,719,000	2,159,000	10,314,000
2028	8,758,000	5,694,000	2,139,000	16,591,000
2029	12,582,000	2,824,000	1,848,000	17,254,000
2030	15,101,000	2,144,000	1,821,000	19,066,000
2031	12,988,000	1,493,000	1,821,000	16,302,000
2032	8,907,000	-	1,821,000	10,728,000
합계	64,772,000	13,874,000	11,609,000	90,255,000

□ 사업종료 후 소요 비용

- 내륙기지 구축 후 기지 운영 및 보급, 유지보수 등을 위한 소요 비용을 산출
 - 사업 종료 후 미래 시점의 비용을 산출하기 위해 통계청 「소비자물가조사」의 최근 3년간 소비자물가상승 지수의 평균값(3.75%)을 활용하여 물가상승률을 반영한 소요 비용 산출

<사업종료 후 소요 비용 추정>

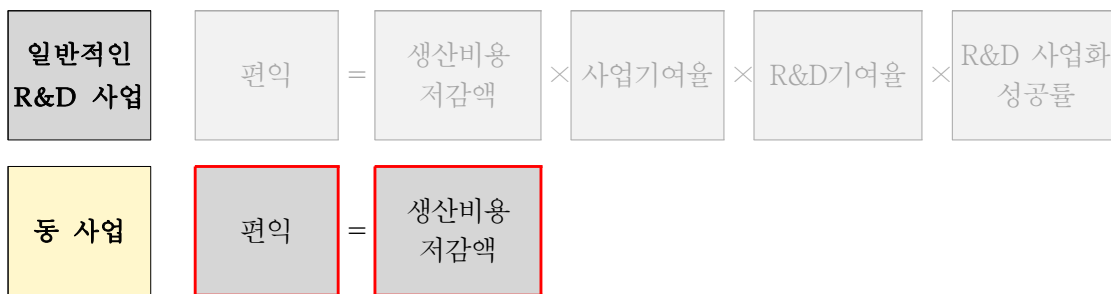
(단위: 천 원)

연도	물류비(육상) * 탐사선단 운영	물류비(항공) * 해외항공망 운영	운영 및 유지보수비	합계
2033	975,000	650,000	228,000	1,853,000
2034	1,011,563	674,375	236,550	1,922,488
2035	1,049,496	699,664	245,421	1,994,581
2036	1,088,852	725,901	254,624	2,069,378
2037	1,129,684	753,123	264,172	2,146,979
...				
2047	1,632,443	1,088,295	381,741	3,102,479
2048	1,693,660	1,129,107	396,056	3,218,822
2049	1,757,172	1,171,448	410,908	3,339,528
2050	1,823,066	1,215,377	426,317	3,464,760
2051	1,891,431	1,260,954	442,304	3,594,689
2052	1,962,360	1,308,240	458,890	3,729,490
합계	28,291,952	18,861,301	6,615,964	53,769,217

3) 생산비용저감 편익의 추정

□ 생산비용저감 편익의 방법론

- 동 사업의 직접적인 경제적 편익 추정을 위하여, 예비타당성조사 표준지침상 제시된 R&D 사업 편익 추정방법 중 '생산비용저감 편익 추정' 방식을 따라 편익을 산출
 - 동 사업은 남극 내륙기지 구축 후 해당 기지를 운영하는 특성상 불확실성이 낮아 지침상 적용하도록 권고하는 사업 기여율, R&D 기여율, R&D 사업화 성공률은 반영하지 않음



<동 사업의 생산비용저감액 추정법>

- (생산비용저감액) 남극 내륙연구를 수행함에 있어 기존의 육상루트 탐사를 통한 연구거점 설치·운영 방식 대비 내륙기지 구축·운영에 따라 절감할 수 있는 비용으로 접근함
 - (인건비 저감 편익) 내륙기지 구축 및 운영에 따라 가용 연구기간이 길어짐에 따라 일정 수준의 연구 프로젝트를 수행하기 위한 필요한 의료대원 및 안전관리 대원을 포함한 연구인력의 수의 변화에 따른 인건비 절감액
 - (물류비용 저감 편익) 내륙기지 구축 및 운영에 따라 프로젝트 당 물류 운송량의 감소와 인력 이동 횟수의 변화 등에 따른 물류비용 절감액
- (기타 편익 산출을 위한 변수) 사회적 할인율, 편익회임기간, 기준년도, 편익발생 기간
 - (사회적 할인율) 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하는 편익을 현재가치로 환산하기 위해 적용하는 할인율
 - ※ 사회적 할인율은 '국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침('22.12.)' 제33조에 따라 기획재정부의 '예비타당성조사 수행 총괄지침('22.12.)' 제50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용
 - (편익회임기간) 연구개발사업에 대한 투자가 이루어진 후, 경제적인 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 의미
 - ※ 본 사업의 경우 사업 기간 내 남극내륙기지가 구축이 완료되어 별도의 회임기간이 없는 것으로 가정

- (기준년도) 편익 산출에 기준이 되는 연도

※ 예비타당성조사 수행 총괄지침에서는 분석이 시행되는 시점의 전년도 기말을 기준연도로 설정토록 하여, 본 분석에서는 '23년도로 설정

- (편익발생기간) 해당 사업을 수행함으로써 편익이 발생할 것으로 기대할 수 있는 기간으로서 극한지 환경을 고려하여 남극 내륙기지의 수명을 20년으로 가정

[참고] 유사사례 편익 산정 예시

○ 극한소재 실증연구 기반조성

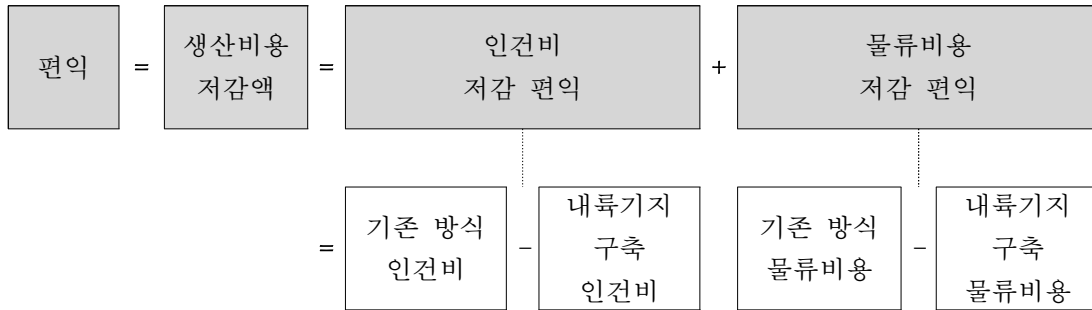
- 비용효과분석과 비용편익분석 모두 수행하여 제시하였으며, KISTEP 검토결과 비용편익분석이 적절하다고 결론
- 비용절감편익의 구체적인 항목으로 장비 실사용비 절감액, 출장비용 절감액 및 연구시간 기회비용을 반영하여 산출하였으며, 내륙기지 구축기술에 필요한 출장비용과 연구시간 절감 편익에 대하여는 이하의 산식으로 산출
 - (출장비용 절감액) '21년 공무원 여비규정에 따른 1박2일 일본 출장 과 국내 출장 차액 2인 기준(출장 1회당)
 - (연구시간 기회비용) 학술용역인건비 기준단가 책임급, 연구원급 2인1일 기준(출장 1회당)

<극한소재 실증연구 기반조성의 편익항목>

구분		주요항목	세부항목
편익항목	비용절감편익	연구장비 사용비용 절감편익	출장비용, 연구시간 기회비용
	부가가치창출편익	극한소재 수입대체 부가가치창출편익	소재별 수입액 및 수입대체율

□ 생산비용저감 산식

- (편익 산식 도출) 생산비용저감액을 도출하기 위해, 연구 프로젝트 3개를 수행한다는 가정하에 인건비와 물류비용 항목에 대해 기존 방식 활용 시와 내륙기지 구축 시 발생하는 비용의 차이로 편익 산식 도출



<본 사업의 편익 산식>

- (인건비 저감 편익) 연구기간 5개월이 소요되는 연구 프로젝트 3개를 수행하기 위한 연구인력의 인건비로, 학술용역 인건비 기준단가를 참조하여, 연구인력의 인건비를 산정하고 최근 3년간 물가상승률 3.75%를 반영
- (기존 방식 인건비) 책임급 3명, 원급 3명, 보조원급 4명, 안전관리대원 1명, 의료대원 1명으로 구성된 연구팀을 하나의 단위로 하여, 각 2개 팀*으로 구성된 총 3개 프로젝트 그룹에 대한 5개월의 기간 인건비 발생 적용
 - * 기존 방식의 경우, 육로 이동으로 시간이 소요되어, 실제 연구기간은 최대 2~3개월이므로, 가정된 5개월 소요 연구 프로젝트 1개를 수행하기 위해 2개 연구팀을 운용한다고 가정
- (내륙기지 구축 인건비) 책임급 10명, 원급 12명, 보조원급 16명, 안전관리대원 1명, 의료대원 1명으로 구성된 연구팀을 하나의 단위로 하여, 총 4개 프로젝트 그룹에 대한 5개월의 기간 인건비 발생 적용
- (물류비용 저감 편익) 연구 물자를 이동하기 위한 트레버스 운용 비용(운용 인건비 포함, 1회 이동 기준 9억 7,500만원)과 연구인력이 이동하기 위한 항공망 이용료의 합으로, 기존 항공망 이용료(10명 이동 기준 1회 1억 3천만원) 정보를 참조하여, 최근 3년간 물가상승률 3.75%를 반영
- (기존 방식 인건비) 연구장비 및 재료 등 물자를 운송하기 위한 총 3개의 트레버스를 운용하는 비용과 각 2개 팀으로 구성된 총 3개 프로젝트 그룹(총 60명)의 이동을 위한 총 6회의 항공망 이용료 발생 적용
- (내륙기지 구축 인건비) 연구장비 및 재료 등 물자를 운송하기 위한 총 1개의 트레버스를 운용하는 비용과 총 3개의 프로젝트 그룹(30명)의 이동을 위한 총 3회의 항공망 이용료 발생 적용

□ 생산비용저감 편익 결과

- (인건비 저감 편익 산출) 남극내륙기지 운영을 통한 편익 발생 기간 중 인건비 저감 편익은 총 351.4억 원 규모로 추정되며, 인건비의 절반 정도의 절감 효과가 있는 것으로 나타남
 - (기존 방식 인건비 산출) 기존 방식으로 운영할 경우, 편익 발생 기간 중 총 766.1억 원 규모의 인건비가 발생할 것으로 추정
 - (내륙기지 구축 인건비 산출) 내륙기지 구축 시 편익 발생 기간 중 총 414.7억 원 규모의 인건비가 발생할 것으로 추정

〈인건비 절감 편익 산출 결과〉

(단위: 원)

연도	기존 방식 인건비	내륙기지 구축 인건비	편익
2033	2,640,000,000	1,429,000,000	1,211,000,000
2034	2,739,000,000	1,482,587,500	1,256,412,500
2035	2,841,712,500	1,538,184,531	1,303,527,969
2036	2,948,276,719	1,595,866,451	1,352,410,268
2037	3,058,837,096	1,655,711,443	1,403,125,653
...			
2047	4,420,154,017	2,392,575,792	2,027,578,225
2048	4,585,909,792	2,482,297,384	2,103,612,408
2049	4,757,881,409	2,575,383,536	2,182,497,874
2050	4,936,301,962	2,671,960,418	2,264,341,544
2051	5,121,413,286	2,772,158,934	2,349,254,352
2052	5,313,466,284	2,876,114,894	2,437,351,390
합계	76,605,900,528	41,465,845,399	35,140,055,128

- (물류비용 저감 편익 산출) 남극내륙기지 운영을 통한 편익 발생 기간 중 물류비용 저감 편익은 총 150.9억 원 규모로 추정
 - (기존 방식 물류비용 산출) 기존 방식으로 운영할 경우, 편익 발생 기간 중 총 509.3억 원 규모의 물류비용이 발생할 것으로 추정

- (내륙기지 구축 물류비용 산출) 내륙기지 구축 시 편익 발생 기간 중 총 358.4억 원 규모의 물류비용이 발생할 것으로 추정

<물류비용 절감 편익 산출 결과>

(단위: 원)

연도	기존 방식 물류비	내륙기지 구축 물류비	편익
2033	1,755,000,000	1,235,000,000	520,000,000
2034	1,820,812,500	1,281,312,500	539,500,000
2035	1,889,092,969	1,329,361,719	559,731,250
2036	1,959,933,955	1,379,212,783	580,721,172
2037	2,033,431,478	1,430,933,263	602,498,216
...			
2047	2,938,397,841	2,067,761,443	870,636,397
2048	3,048,587,760	2,145,302,498	903,285,262
2049	3,162,909,801	2,225,751,341	937,158,459
2050	3,281,518,918	2,309,217,016	972,301,902
2051	3,404,575,878	2,395,812,655	1,008,763,223
2052	3,532,247,473	2,485,655,629	1,046,591,844
합계	50,925,513,419	35,836,472,406	15,089,041,013

- (편익 추정) 남극내륙기지 운영을 통해 발생될 수 있는 생산비용저감 요인인 인건비와 물류비용의 저감을 통한 편익을 추정한 결과, 총 편익 규모는 502.3억 원이며, 이를 현재가치로 환산하면 217.7억 원 규모로 추정

4) 부가가치창출 편익의 추정

□ 부가가치창출 편익방법론

- 동 사업의 직접적인 경제적 편익 추정을 위하여, 예비타당성조사 표준지침상 제시된 R&D 사업 편익 추정방법 중 '생산비용저감 편익 추정' 방식을 따라 편익을 산출
 - 동 사업은 남극 내륙기지 구축 후 해당 기지를 운영하는 특성상 불확실성이 낮아 지침상 적용하도록 권고하는 사업 기여율, R&D 기여율, R&D 사업화 성공률은 반영하지 않음

$$\text{부가가치창출편익} = \text{편익} = \text{미래 시장규모} \times \text{사업 기여율} \times \text{R\&D 기여율} \times \text{R\&D 사업화 성공률} \times \text{부가가치율}$$

<동 사업의 생산비용저감액 추정법>

□ 부가가치창출 편익 산식

- (편익 산출 산식) 미래 시장규모와 편익 산식을 설정하고, 편익 산출 시 불확실성 등을 반영하기 위해 사업기여율, R&D기여율, R&D사업화성공률을 적용하여 편익을 추정

$$\text{편익} = \text{미래 시장규모} \times \text{사업기여율} \times \text{R\&D기여율} \times \text{R\&D사업화성공률} \times \text{부가가치율}$$

<시장수요접근법 추정법 개념의 편익 수식화>

- (미래시장규모) 당 연구개발사업의 결과와 직접적으로 관련된 국내 산업/제품의 미래 총생산액(또는 매출액)을 의미하며, 기준선 분석과 시장점유율(또는 시장대체율)의 적용을 통해 도출된 조사 대상사업과 직접적으로 관련된 시장규모만을 의미
 - (시장규모전망) 시장규모의 전망에 대한 미래예측보고서 등의 조사를 통하여 산출
 - (시장점유율) 시장점유율은 보수적으로 일률적으로 0.1%로 통일하여 제시
- (사업기여율) 새롭게 창출되는 미래 시장이나 매출액의 증가분을 바탕으로 추정되는 연구개발사업의 편익 중 조사 대상 연구개발사업에 의해 창출되는 편익만을 계산하기 위해 적용하는 변수
- (R&D기여율) 연구개발 성과의 상업화를 통한 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분을 나타내는 지표
- (부가가치율) 매출액 중에서 실제 새롭게 창출된 경제적 효과가 차지하는 비율을 의미하며, 일반적으로 업종 또는 기업의 일정 기간 부가가치액을 동일기간의 매출액으로 나눈 비율로 정의되며, 한국은행에서 가장 최근에 발간한 산업연관표를 인

용하여 적용

- (사업화성공률) 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해 필요한 실증 및 상용화 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 고려하는 변수

○ (편익 산출을 위한 기타 변수) 사회적 할인율, 편익회임기간, 기준년도, 편익발생기간 등을 고려하여 최종 편익 산출

- (사회적 할인율) 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하는 편익을 현재가치로 환산하기 위해 적용하는 할인율
- (편익회임기간) 연구개발사업에 대한 투자가 이루어진 후, 경제적인 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 의미
- (기준년도) 편익 산출에 기준이 되는 연도

※ 예비타당성조사 수행 총괄지침에서는 분석이 시행되는 시점의 전년도 기말을 기준연도로 설정토록 함

- (편익발생기간) 해당 사업을 수행함으로써 편익이 발생할 것으로 기대할 수 있는 기간



□ 부가가치창출 편익 산출 결과

- (방법론) 남극내륙기지 건설을 위한 연구개발 대상 기술과 관련된 시장 조사를 통한 시장규모 추정
 - 연구개발사업의 결과와 직접적으로 관련된 국내 산업/제품의 미래 총생산액 산출을 위해, 연구개발 대상 기술들과 관련 시장을 조사
- (조사대상) 남극내륙기지 건설을 위한 기술로, 남극내륙기지 모듈건설과 환경(신재생에너지 등)과 관련된 기술 시장을 조사
 - 극저온 단열재 시장, 모듈러 주택 건설 기술 시장
 - 수자원의 재처리를 위한 수처리 및 재활용 시스템 시장
 - 친환경 전력을 생산하는 태양광 발전 기술 및 풍력발전 기술
 - 에너지의 효율적인 관리를 위한 에너지통합 관리시스템

<관련 시장별 시장 및 미래전망>

(단위 : 달러)

구분	단열재	모듈러 주택	수처리 시스템	태양광 발전	풍력 발전	에너지 통합 관리 시스템
대표 시장	글로벌 극저온 단열재 시장	모듈식 건축시장 규모	물 재활용 및 재사용	태양광 에너지 시장	풍력 에너지 시장	에너지 관리 시스템
연평균 성장률	7.07%	6.5%	11.5%	6%	9%	6.8%
시장규모 (기준년도)	41억 (2023)	779억 (2022)	140억 (2022)	2,536억 (2023)	804억 (2022)	378억 (2023)
미래시장규모 (년도)	76억 (2032)	1315억 (2030)	430억 (2032)	4,363억 (2032)	1,746억 (2031)	693억 (2032)

출처 : 시장별 시장조사 보고서

○ (기술별 미래시장 규모) 기술별 시장조사를 통해 조사된 시장규모와 연평균 성장률을 통해 시장 규모를 추정하되, '26년 이후에는 3년마다 이동평균을 구하여 시장 규모를 합리적으로 산출

- 각 시장조사를 한 보고서들은 대다수 낙관적인 연평균 성장률을 상정하고 있으며, 이러한 연평균 성장률을 기반으로 10~20년의 장기 예측을 할 경우 시장이 과대평가될 가능성이 존재
- ' 26년부터는 최근 3년 (' 25년의 경우는 ' 23~' 25)의 평균으로 시장규모를 산출하여 편익창출 기간인 ' 36~' 45년까지의 시장을 산출

<시장별 미래규모 추정표>

(단위 : 억 달러)

구분	단열재	모듈러 주택	수처리 시스템	태양광 발전	풍력 발전	에너지 통합 관리 시스템
2024	4,400,577,000	88,378,812,000	17,405,150,000	268,911,400,000	95,547,002,000	40,370,400,000
2025	4,711,697,794	94,123,434,780	19,406,742,250	285,046,084,000	104,146,232,180	43,115,587,200
2026	4,407,424,931	88,495,682,260	17,473,964,083	269,215,828,000	95,783,678,060	40,428,662,400
2027	4,506,566,575	90,332,643,013	18,095,285,444	274,391,104,000	98,492,304,080	41,304,883,200
2028	4,541,896,433	90,983,920,018	18,325,330,593	276,217,672,000	99,474,071,440	41,616,377,600
2029	4,485,295,980	89,937,415,097	17,964,860,040	273,274,868,000	97,916,684,527	41,116,641,067
2030	4,511,252,996	90,417,992,709	18,128,492,026	274,627,881,333	98,627,686,682	41,345,967,289
2031	4,512,815,136	90,446,442,608	18,139,560,886	274,706,807,111	98,672,814,216	41,359,661,985
2032	4,503,121,371	90,267,283,471	18,077,637,651	274,203,185,481	98,405,728,475	41,274,090,114
2033	4,509,063,168	90,377,239,596	18,115,230,188	274,512,624,642	98,568,743,125	41,326,573,129
2034	4,508,333,225	90,363,655,225	18,110,809,575	274,474,205,745	98,549,095,272	41,320,108,409
2035	4,506,839,255	90,336,059,431	18,101,225,804	274,396,671,956	98,507,855,624	41,306,923,884
2036	4,508,078,549	90,358,984,751	18,109,088,522	274,461,167,448	98,541,898,007	41,317,868,474
2037	4,507,750,343	90,352,899,802	18,107,041,300	274,444,015,050	98,532,949,634	41,314,966,923
2038	4,507,556,049	90,349,314,661	18,105,785,209	274,433,951,484	98,527,567,755	41,313,253,094
2039	4,507,794,980	90,353,733,072	18,107,305,011	274,446,377,994	98,534,138,465	41,315,362,830
2040	4,507,700,457	90,351,982,512	18,106,710,507	274,441,448,176	98,531,551,951	41,314,527,615
2041	4,507,683,829	90,351,676,748	18,106,600,242	274,440,592,551	98,531,086,057	41,314,381,180
2042	4,507,726,422	90,352,464,111	18,106,871,920	274,442,806,240	98,532,258,825	41,314,757,208
2043	4,507,703,569	90,352,041,124	18,106,727,556	274,441,615,656	98,531,632,278	41,314,555,335
2044	4,507,704,607	90,352,060,661	18,106,733,239	274,441,671,483	98,531,659,053	41,314,564,574
2045	4,507,711,533	90,352,188,632	18,106,777,572	274,442,031,126	98,531,850,052	41,314,625,706

○ (시장별 편익항목 산출) 각 시장별 규모에 편익항목들을 곱하여 부가가치창출 편익을 산출

- 부가가치창출 편익은 미래시장규모(시장규모 × 시장점유율) × 부가가치율 × 사업기여율 × 사업화성공률 × R&D기여율로 산출하며, 단위는 원으로 통일하기 위하여 1,300원/달러로 편익을 산출

<시장별 편익항목>

구분	대표시장	시장점유율	부가가치율	사업기여율	사업화성공률	R&D기여율	편익기간	환율
단열재	글로벌 극저온 단열재 시장	0.1% (최소가정)	28.5% (기초소재제조)	23%	42.9%	40.2%	10년	1,300
모듈러주택	모듈식 건축시장 규모	0.1% (최소가정)	44.2% (건설)	23%	42.9%	40.2%	10년	1,300
수처리시스템	물 재활용 및 재사용	0.1% (최소가정)	32.9% (전력 가스 수도 및 폐기물)	23%	42.9%	40.2%	10년	1,300
태양광발전	태양광 에너지 시장	0.1% (최소가정)	32.9% (전력 가스 수도 및 폐기물)	23%	42.9%	40.2%	10년	1,300
풍력발전	풍력 에너지 시장	0.1% (최소가정)	32.9% (전력 가스 수도 및 폐기물)	23%	42.9%	40.2%	10년	1,300
에너지통합관리시스템	에너지 관리 시스템	0.1% (최소가정)	32.9% (전력 가스 수도 및 폐기물)	23%	42.9%	40.2%	10년	1,300

출처 : 시장별 시장조사 보고서

- 각 시장 별 편익을 산출한 결과 기술개발 시 약 940억 규모의 편익이 발생할 것으로 예상
- (단열재 부가가치편익) 기술 개발 시 편익 발생 기간 중 총 66억 원 규모의 편익이 발생할 것으로 추정
 - (모듈러주택 부가가치편익) 기술 개발 시 편익 발생 기간 중 총 205억 원 규모의 편익이 발생할 것으로 추정
 - (수처리시스템 부가가치편익) 기술 개발 시 편익 발생 기간 중 총 30억 원 규모의 편익이 발생할 것으로 추정
 - (태양광발전 부가가치편익) 기술 개발 시 편익 발생 기간 중 총 465억 원 규모의 편익이 발생할 것으로 추정
 - (풍력발전 부가가치편익) 기술 개발 시 편익 발생 기간 중 총 167억 원 규모의 편익이 발생할 것으로 추정
 - (에너지통합관리시스템 부가가치편익) 기술 개발 시 편익 발생 기간 중 총 70억 원 규모의 편익이 발생할 것으로 추정

<시장별 편익 산출 결과>

(단위: 원)

연도	단열재	모듈러주택	수처리시스템	태양광발전	풍력발전	에너지통합관리시스템	편익
2036	66,250,761	2,059,435,267	307,218,259	4,656,196,905	1,671,750,087	700,952,099	9,461,803,377
2037	66,245,937	2,059,296,581	307,183,528	4,655,905,917	1,671,598,279	700,902,874	9,461,133,116
2038	66,243,082	2,059,214,869	307,162,218	4,655,735,190	1,671,506,976	700,873,799	9,460,736,135
2039	66,246,593	2,059,315,572	307,188,002	4,655,946,004	1,671,618,447	700,909,591	9,461,224,210
2040	66,245,204	2,059,275,674	307,177,916	4,655,862,371	1,671,574,568	700,895,421	9,461,031,154
2041	66,244,960	2,059,268,705	307,176,045	4,655,847,855	1,671,566,664	700,892,937	9,460,997,166
2042	66,245,586	2,059,286,651	307,180,654	4,655,885,410	1,671,586,560	700,899,316	9,461,084,177
2043	66,245,250	2,059,277,010	307,178,205	4,655,865,212	1,671,575,930	700,895,892	9,461,037,499
2044	66,245,265	2,059,277,455	307,178,302	4,655,866,159	1,671,576,385	700,896,048	9,461,039,614
2045	66,245,367	2,059,280,372	307,179,054	4,655,872,260	1,671,579,625	700,897,086	9,461,053,763
합계	662,458,005	20,592,928,156	3,071,822,183	46,558,983,283	16,715,933,521	7,009,015,063	94,611,140,211

○ 산출된 부가가치 편익을 현재가치화를 시키면 총 461억 규모의 가치로 산정

<부가가치 편익 현재가치 산출 결과>

(단위: 원)

연도	기준가치	현재가치
2036	9,461,803,377	5,579,283,548
2037	9,461,133,116	5,338,649,109
2038	9,460,736,135	5,108,540,770
2039	9,461,224,210	4,888,807,958
2040	9,461,031,154	4,678,189,668
2041	9,460,997,166	4,476,720,442
2042	9,461,084,177	4,283,982,405
2043	9,461,037,499	4,099,484,468
2044	9,461,039,614	3,922,952,521
2045	9,461,053,763	3,754,027,166
합계	94,611,140,211	46,130,638,055

5) 경제성(B/C Ratio) 분석 결과

- 동 사업의 비용 투입 대비 편익에 대한 분석을 수행한 결과, 내륙기지에서 프로젝트 가동률이 높아질수록 B/C Ratio의 수치가 높게 나타나는 추이를 보임
 - 동 사업의 총비용은 ' 51년까지 1440.2억 원으로 예상되며, 이를 현재가치로 환산하면 942.7억 원이 소요될 것으로 예상
 - 총편익은 3개 프로젝트 수행(75%)을 기준으로, 1,448.4억 원으로 나타났으며, 이를 현재 가치화하면 679.0억 원 예상

<프로젝트 수행에 따른 경제성(B/C Ratio) 분석>

(단위: 원)

	1개 프로젝트(25%)	2개 프로젝트(50%)	3개 프로젝트(75%)	4개 프로젝트(100%)
기준가치	93,769,636,001	119,304,936,177	144,840,236,353	170,375,536,529
현재가치 (' 24)	45,765,852,064	56,835,220,069	67,904,588,075	78,973,956,080

- B/C Ratio는 1개 프로젝트(25%)를 수행하였을 때, 0.49이었으나, 3개 프로젝트(75%) 수행 시 0.72, 4개 프로젝트(100%) 수행 시 0.84로 증가하는 모습을 보임

<프로젝트 수행에 따른 경제성(B/C Ratio) 분석>

(단위: 원)

	1개 프로젝트(25%)	2개 프로젝트(50%)	3개 프로젝트(75%)	4개 프로젝트(100%)
NPV	-48,503,381,933	-37,434,013,927	-26,364,645,922	-15,295,277,916
B/C Ratio	0.49	0.60	0.72	0.84

○ 동 사업의 비용 투입 대비 편익에 대한 분석을 수행한 결과, B/C Ratio 0.72로 경제성 타당성 미확보

* 프로젝트 3개 기준

- 총 비용은 총 1440.3억 원이 투입되고 이를 현재가치화하면 942.7억 원임
- 총 편익은 총 1,448.4.7억 원이 산출되고 이를 현재가치화하면 679.0억 원임
 - 생산비용저감 편익은 총 502.3억 원이며, 이를 현재가치화하면 277.7억 원임
 - 부가가치창출 편익은 총 946.1억 원이며, 이를 현재가치화하면 461.3억 원임
- B/C Ratio는 0.72임

<본 사업의 경제성 분석 결과>

구분	금액
① 비용(NPV)	942.7억 원
② 생산비용저감 편익(NPV)	217.7억 원
② 부가가치창출 편익(NPV)	461.3억 원
B/C Ratio (② ÷ ①)	0.72

3. 비용효과 분석

1) 비용효과분석 개요

□ 비용효과분석의 개념

- 경제성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 효과를 대안들과 비교하여 가장 효율적인 대안을 찾는 비용효과분석을 적용
- 비용효과분석은 어떤 대안에서 자원이 가장 효율적으로 사용되고 있는가에 대해서는 판단하기 어려우나, 편익을 화폐적으로 측정하기 힘든 사업을 평가하는데 유효한 기법
- 비용편익분석에서 이용되는 기준으로는 대표적으로 '고정비용 접근법'과 '고정효과 접근법'이 있으며, 본 분석에서는 '고정효과 접근법'으로 선택
- 고정효과 접근법은 주어진 효과 수준을 얻기 위해서 대안간 발생될 비용을 비교하여, 투입되는 비용이 가장 낮은 대안을 선택

□ 비용효과분석 항목

- 경제적 타당성 분석의 기본 항목으로는 총 사업비, 총비용, 효과 등으로 구분할 수 있으며, 객관화된 데이터를 기반으로 추정되어야함
- 총비용은 사업기간 내 발생하는 총 사업비에 사업완료 후 발생하는 유지·관리 비용, 장비재투자비 등을 모두 더한 후 장비 및 건물의 잔존가치를 제외하여 산정함
- 본 분석에서는 '남극 내륙의 심부빙하, 빙저호, 우주천문, 극한지공학 등 4개 분야 연구수행'을 고정효과로 설정하여 대안들과의 소요비용을 비교하여 최적의 대안을 선택

□ 효과 추정을 위한 전제조건

- (고정효과) 본 사업의 직접적인 경제적 편익 추정을 위해 KISTEP이 발간한 예비타당성조사 표준 지침 상에 제시된 R&D 사업의 편익 추정방법인 '고정효과 접근법'의 개념에 따라 고정효과를 정의
 - 동 연구의 고정효과는 남극내륙과 관련된 4개의 연구수행
 - (남극 내륙의 심부빙하) 새남극 내륙에 있는 기후복원을 위한 심부 빙하의 채취
 - (빙저호 남극내륙 빙하 아래에 있는 빙저호 탐사를 통한 진화 연구
 - (우주천문) 남극내륙의 천문관측대 설치를 통한 천문우주 관측
 - (극한지공학) 우주공학에서 활용할 수 있는 극한지공학기술의 테스트베드 구축

○ 효과 추정을 위한 대안 설정

- (1안) 현재 상황의 유지하여, 기존의 기지에서 내륙으로 탐사(Do nothing)
- (2안) 남극내륙기지를 건설하여 연구 수행

<경제성 분석 방향>

경제성 분석 방법	고정효과접근법(비용효과분석)
고정효과 정의	• 남극내륙과 관련된 4개의 연구수행 - 남극 내륙의 심부빙하 - 빙저호 - 우주천문 - 극한지공학

2) 비용효과분석 효과 및 비용의 설정

□ 본 사업의 직접적인 경제적 편익 추정을 위해 KISTEP이 발간한 예비타당성조사 표준 지침 상에 제시된 R&D 사업의 편익 추정방법인 ‘고정효과 접근법’의 개념에 따라 고정효과를 정의

○ (고정효과) 동 연구의 고정효과는 남극 내륙탐사 및 연구일수 추가 확보

- (남극 내륙의 심부빙하) 새남극 내륙에 있는 기후복원을 위한 심부 빙하의 채취
- (빙저호) 남극내륙 빙하 아래에 있는 빙저호 탐사를 통한 진화 연구
- (우주천문) 남극내륙의 천문관측대 설치를 통한 천문우주 관측
- (극한지공학) 우주공학에서 활용할 수 있는 극한지공학기술의 테스트베드 구축

○ (대안 및 비용 설정) 고정효과를 이루기 위한 대안은 2개의 안으로 설정하여 비교

- (1안) 현재의 상황을 유지하고, 기존의 기지에서 내륙으로 탐사하는 방안
 - 기존의 기지에서 내륙으로 탐사하는데 필요한 인건비와 필요한 물류비용으로 비용을 산정
- (2안) 내륙기지를 건설하여 연구를 수행하는 방안
 - 내륙기지 건설을 위한 기술개발 비용과 건설비, 운영비와 연구에 필요한 인건비 및 물류비용으로 비용을 산정

□ 구체적 비용은 동 사업의 총사업비와 사후비용을 합산하여 비용을 산출

- (총사업비) 총사업비는 유사사례 분석과 세부 비용항목별 세부 분석을 통해 산출하였으며, 분석 결과 총 902억 원의 사업비를 산출

※ 총사업비는 남극내륙기지 구축 및 기술개발 사업의 사업비로, 2안에만 적용

- (유사사례분석) 분석하고자 하는 대상과 과거의 자료가 존재하는 유사한 대상을 비교하여 비용을 추정하는 방법론으로 비교와 추정을 이용하여 분석을 수행
- (세부분석) 저수준의 기능 또는 요소별 비용을 계산하고 이를 합산하여 전체 비용을 산출하는 방법
- (비용세부항목) 남극내륙기지 구축에 필요한 사업비는 총 902억 원으로 모듈제작, 모듈운송, 친환경 시스템개발, 환경영향 평가 비용으로 구성
- 이하의 내역으로 산정

- (모듈제작) 남극 내륙기지 모듈 제작을 위한 비용으로 산정

<모듈제작 내역>

구분		비용(원)
모듈제작	설계비	1,000,000,000
	모듈성능평가(시작품 제작)	1,200,000,000
	모듈제작	7,800,000,000
	모듈이동유닛(썰매) 제작	3,250,000,000
	원격관리 시스템 개발	650,000,000
	내부 시설	400,000,000
계		14,300,000,000

- (모듈운송) 제작된 내륙기지 모듈의 운송을 위한 비용으로 산정

<모듈운송 내역>

구분		비용(원)
모듈운송	선박(해상)운송비	650,000,000
	육상운송 유류비	600,000,000
	육상운송 필요경비	3,000,000,000
	육상운송 인건비(중장비)	750,000,000
	육상운송 인건비(의료)	450,000,000
	안전인력 용역	1,200,000,000
	출장경비	1,800,000,000
계		8,450,000,000

- (친환경시스템 개발) 친환경시스템 개발을 위한 기술개발 비용으로 산정

<친환경시스템 개발 내역>

구분		비용(원)
친환경시스템 개발	탄소저감시스템	2,400,000,000
	수자원 재활용 시스템	2,100,000,000
	재생에너지 발전시스템	2,400,000,000
	에너지 관리시스템	2,100,000,000
	통합시스템 설계	1,000,000,000
	통합시스템 제작	2,600,000,000
계		12,600,000,000

- (환경영향평가) 환경영향평가는 남극에 미치는 환경영향평가를 위한 비용으로 산정

<환경영향평가 내역>

구분		비용(원)
환경영향평가	초기환경영향평가	-
	현장조사경비	1,500,000,000
	남극내륙 항공기 운영	1,800,000,000
	종합환경영향평가	1,200,000,000
	ATCM 보고	150,000,000
계		4,650,000,000

- (사후비용) 사업목표 달성을 위해 반드시 필요하나, 사업기간 내에 소요되지 않아 총사업비에 반영되지 않은 비용

※ 사후비용은 모든 안에 공통적으로 적용되는 비용

- (인건비) 인건비는 안전관리대원과 의료대원, 연구진들이 5개월 동안 연구에 참여하는 것으로 가정하며, 프로젝트당 총 10명으로 산정

<인건비 내역(1프로젝트 당)>

구분	단가(원/월)	인원	기간(월)	합계(원)
안전관리대원	5,000,000	1	5	25,000,000
의료대원	12,000,000	1	5	60,000,000
연구인력(책임급)	10,000,000	2	5	100,000,000
연구인력(원급)	7,000,000	3	5	105,000,000
연구인력(보조원급)	5,000,000	3	5	75,000,000
계				365,000,000

- (물류비용) 물류비용은 트레버스를 이용한 보급비와 항공물류를 활용한 보급비로 구성

<물류비 내역>

구분		비용(원)
트레버스 보급비	연료비	100,000,000
	필요경비	500,000,000
	출장비	300,000,000
	인건비(중장비대원 등)	75,000,000
계		975,000,000(1회 기준)
항공물류 보급비	항공기 임차료(조종사 포함)	500,000,000
	연료비	100,000,000
	항공지원 및 활주로 운영	50,000,000
계		650,000,000(5회 기준) 130,000,000(1회 기준)

- (내륙기지 운영 및 유지보수비) 내륙기지 운영 및 유지보수비는 연구시설 장비비와 연구비, 연구재료비로 산정(보급비용과 인건비는 인건비와 물류비용에 포함)

<내륙기지 운영 및 유지보수비 내역(연간)>

구분		비용(원)
연구시설 장비비	유지보수 물품	40,000,000
	재산종합보험	7,000,000
	모듈 및 친환경운영시스템	10,000,000
	수리비	
연구활동비	통신요금	100,000,000
	비품 및 사무용품비	1,000,000
연구재료비	발전유 및 운송료	60,000,000
	식자재, 의약품, 생활용품	10,000,000
계		228,000,000

4) 대안의 검토

(1) (1안) 현재 상황의 유지하여, 기존의 기지에서 내륙으로 탐사(Do nothing)

□ 현재 방식으로 내륙탐사를 한다면 운영비용은 총 2,280억으로, 현재가치화하면 988억이 소요될 것으로 예상됨

※ 사회적 할인율 및 기준년도를 적용하여 편익을 현재가치로 환산, 사회적 할인율은 ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.01.)’ 제 33조에 따라 기획재정부의 ‘예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.04)’ 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

○ (인건비) 기존 기지에서 내륙으로 탐사하는데 필요한 인건비는 약 847억원, 현재가치화 하여 약 367억원이 소요될 것으로 예상

- 기존 기지에서 내륙으로 탐사하는데 필요한 인건비는 연구지원 2인(안전관리 1인, 의료대원 1인)과 연구원 10인의 연간 5개월 분의 인건비로, 이동기간을 포함하여 10개월 분의 인건비에 프로젝트 가동수 4를 곱하여 산출
- 남극의 기후로 인하여 하계 기간(5개월) 동안 연구를 하여야하며, 남극 내륙으로 이동기간이 약 2개월 정도로 5개월 연구기간 확보를 위해서는 프로젝트에 필요한 인원의 2배가 필요

$$\text{인건비}(365,000,000) \times 2 \times \text{프로젝트 가동수}(4) = 2,920,000,000$$

<1안의 예상 소요 인건비>

할인 기간	연도	기준가치	현재가치(년)
9	2033	2,920,000,000	1,964,880,929
10	2034	3,029,500,000	1,950,778,913
11	2035	3,143,106,250	1,936,778,107
12	2036	3,260,972,734	1,922,877,786
13	2037	3,383,259,212	1,909,077,228
14	2038	3,510,131,432	1,895,375,716
15	2039	3,641,761,361	1,881,772,541
16	2040	3,778,327,412	1,868,266,997
17	2041	3,920,014,690	1,854,858,382

18	2042	4,067,015,241	1,841,546,001
19	2043	4,219,528,312	1,828,329,164
20	2044	4,377,760,624	1,815,207,184
21	2045	4,541,926,648	1,802,179,381
22	2046	4,712,248,897	1,789,245,080
23	2047	4,888,958,231	1,776,403,608
24	2048	5,072,294,164	1,763,654,300
25	2049	5,262,505,195	1,750,996,494
26	2050	5,459,849,140	1,738,429,533
27	2051	5,664,593,483	1,725,952,766
28	2052	5,877,015,739	1,713,565,545
총계		84,730,768,765	36,730,175,655

○ (물류비용) 기존 기지에서 내륙으로 탐사하는데 필요한 물류비용은 1,433억, 현재
현재가치화하여 약 621억원이 소요될 것으로 예상

- 기존 기지에서 내륙으로 탐사하는데 필요한 물류비용은 프로젝트당 트레버스
보급 1회 및 프로젝트당 항공물류 2회 보급으로 하여 프로젝트 가동수 4를 곱
하여 산출

$$(트레버스 보급 1회(975,000,000) + 항공물류(130,000,000) \times 2회) \times 프로젝트 가동수(4) = 4,940,000,000$$

<1안의 예상 소요 물류비용>

할인 기간	연도	기준가치	현재가치(년)
9	2032	4,940,000,000	3,324,147,873
10	2033	5,125,250,000	3,300,290,352
11	2034	5,317,446,875	3,276,604,058
12	2035	5,516,851,133	3,253,087,761

13	2036	5,723,733,050	3,229,740,241
14	2037	5,938,373,040	3,206,560,287
15	2038	6,161,062,029	3,183,546,697
16	2039	6,392,101,855	3,160,698,275
17	2040	6,631,805,674	3,138,013,838
18	2041	6,880,498,387	3,115,492,208
19	2042	7,138,517,077	3,093,132,216
20	2043	7,406,211,467	3,070,932,702
21	2044	7,683,944,397	3,048,892,515
22	2045	7,972,092,312	3,027,010,512
23	2046	8,271,045,774	3,005,285,556
24	2047	8,581,209,990	2,983,716,521
25	2048	8,903,005,365	2,962,302,287
26	2049	9,236,868,066	2,941,041,744
27	2050	9,583,250,618	2,919,933,789
28	2051	9,942,622,517	2,898,977,327
총계		143,345,889,626	62,139,406,759

(2) (2안) 내륙기지 건설

□ 앞서 도출한 사업 기간(25년)* 동안 소요되는 전체 사업비와 사후비용을 현재가치로 환산하여, 총 비용1,604억 원을 도출

* 기술개발 및 구축 5년('26~'31)과 이후 운영기간 20년('32~'51) 동안의 운영비용을 산출

○ (구축 및 운영비) 동 사업의 내륙기지 총 구축 및 운영비용은 '52년까지 총 1440.2억으로 예상되며, 현재가치화하여 총 비용 942.7억 원이 소요될 것으로 예상

- (총 구축 및 운영비) 동 사업 내륙기지 건설 및 기술개발에 소요되는 총 예산(정부+민간)이 902억 원이며, 사업종료 후 운영비 등 추가 비용이 20여년간 발생하며 이를 합산하여 비용 도출

※ 사회적 할인율 및 기준년도를 적용하여 편익을 현재가치로 환산, 사회적 할인율은 '국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침('19.01.)' 제 33조에 따라 기획재정부의 '예

<2안의 총 내륙기지 구축 및 운영 비용>

할인 기간	연도	기준가치	현재가치(2024년)
0	2024	-	-
1	2025	-	-
2	2026	-	-
3	2027	10,314,000,000	9,038,123,174
4	2028	16,592,000,000	13,913,409,813
5	2029	17,254,000,000	13,845,490,356
6	2030	19,066,000,000	14,640,700,146
7	2031	16,302,000,000	11,979,173,517
8	2032	10,728,000,000	7,543,770,042
9	2033	228,000,000	153,422,210
10	2034	236,550,000	152,321,093
11	2035	245,420,625	151,227,880
12	2036	254,623,898	150,142,512
13	2037	264,172,295	149,064,934

14	2038	274,078,756	147,995,090
15	2039	284,356,709	146,932,924
16	2040	295,020,086	145,878,382
17	2041	306,083,339	144,831,408
18	2042	317,561,464	143,791,948
19	2043	329,470,019	142,759,948
20	2044	341,825,145	141,735,355
21	2045	354,643,588	140,718,116
22	2046	367,942,722	139,708,177
23	2047	381,740,574	138,705,487
24	2048	396,055,846	137,709,993
25	2049	410,907,940	136,721,644
26	2050	426,316,988	135,740,388
27	2051	442,303,875	134,766,175
28	2052	458,890,270	133,798,954
총계		144,025,217,302	94,269,233,997

예비타당성조사 수행 총괄지침('19.04)' 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

- (기술개발 및 구축비) 동 사업의 기술개발 및 남극내륙기지의 구축은 '27~'32년까지 총 903억, 현재가치로 환산하여 약 708억 원이 소요

<본 사업의 비용 분석 결과>

(단위: 억 원)

구분	' 27	' 28	' 29	' 30	' 31	' 32	합계
총 비용	103	166	173	191	163	107	903
총 비용의 현재가치 (NPV)	90	139	138	146	120	75	708

- (운영비) 동 사업으로 구축된 남극내륙기지는 매년 약 2.3억의 운영비가 소요될 것으로 예상되며, 남극내륙기기 운영기간 20년('32~'51) 동안 총 66억 원의 운영비(현재가치 18억)이 소요될 것으로 예상

※ 한국은행의 3년 간 물가상승률 3.75%를 반영하여 기준가치를 산정하고, 2023년을 기준으로 사회적인 할인율 4.5%반영하여 현재가치 환산

<2안의 내륙기지 운영비>

할인 기간	연도	기준가치	현재가치(2023년)
9	2033	228,000,000	153,422,210
10	2034	236,550,000	152,321,093
11	2035	245,420,625	151,227,880
12	2036	254,623,898	150,142,512
13	2037	264,172,295	149,064,934
14	2038	274,078,756	147,995,090
15	2039	284,356,709	146,932,924
16	2040	295,020,086	145,878,382
17	2041	306,083,339	144,831,408
18	2042	317,561,464	143,791,948
19	2043	329,470,019	142,759,948
20	2044	341,825,145	141,735,355
21	2045	354,643,588	140,718,116
22	2046	367,942,722	139,708,177
23	2047	381,740,574	138,705,487
24	2048	396,055,846	137,709,993
25	2049	410,907,940	136,721,644
26	2050	426,316,988	135,740,388
27	2051	442,303,875	134,766,175
28	2052	458,890,270	133,798,954
총계		6,615,964,136	1,845,953,341

○ (인건비) 내륙기지 운영에 필요한 인건비 424억, 현재가치화하면 약 184억이 소요될 것으로 예정

- 기존 기지에서 내륙으로 탐사하는데 필요한 인건비는 연구지원 2인(안전관리 1인, 의료대원 1인)과 연구원 10인의 연간 5개월 분의 인건비로, 프로젝트 가동수 4를 곱하여 산출

$$\text{인건비}(365,000,000) \times \text{프로젝트 가동수}(4) = 1,460,000,000$$

<2안의 예상 소요 인건비>

할인 기간	연도	기준가치	현재가치(년)
9	2033	1,460,000,000	982,440,464
10	2034	1,514,750,000	975,389,456
11	2035	1,571,553,125	968,389,054
12	2036	1,630,486,367	961,438,893
13	2037	1,691,629,606	954,538,614
14	2038	1,755,065,716	947,687,858
15	2039	1,820,880,681	940,886,271
16	2040	1,889,163,706	934,133,498
17	2041	1,960,007,345	927,429,191
18	2042	2,033,507,620	920,773,001
19	2043	2,109,764,156	914,164,582
20	2044	2,188,880,312	907,603,592
21	2045	2,270,963,324	901,089,691
22	2046	2,356,124,448	894,622,540
23	2047	2,444,479,115	888,201,804
24	2048	2,536,147,082	881,827,150
25	2049	2,631,252,598	875,498,247
26	2050	2,729,924,570	869,214,767
27	2051	2,832,296,741	862,976,383
28	2052	2,938,507,869	856,782,773
총계		42,365,384,381	18,365,087,829

○ (물류비용) 내륙기지 운영에 필요한 물류비용은 약 434억, 현재가치화하면 188억이 소요될 예정

- 트레버스 보급 1회와 항공물류 4회(프로젝트 가동수)로 연구진 40인을 이송하여 물류비 산출

$\text{트레버스 보급 1회}(975,000,000) + (\text{항공물류}(130,000,000) \times \text{프로젝트 가동수}(4)) = 1,495,000,000$

<2안의 예상 소요 물류비용>

할인 기간	연도	기준가치	현재가치(년)
9	2033	1,495,000,000	1,005,992,119
10	2034	1,551,062,500	998,772,080
11	2035	1,609,227,344	991,603,860
12	2036	1,669,573,369	984,487,086
13	2037	1,732,182,370	977,421,389
14	2038	1,797,139,209	970,406,403
15	2039	1,864,531,930	963,441,763
16	2040	1,934,451,877	956,527,110
17	2041	2,006,993,822	949,662,083
18	2042	2,082,256,091	942,846,326
19	2043	2,160,340,694	936,079,486
20	2044	2,241,353,470	929,361,212
21	2045	2,325,404,225	922,691,156
22	2046	2,412,606,884	916,068,971
23	2047	2,503,079,642	909,494,313
24	2048	2,596,945,129	902,966,842
25	2049	2,694,330,571	896,486,219
26	2050	2,795,367,967	890,052,107
27	2051	2,900,194,266	883,664,173
28	2052	3,008,951,551	877,322,086
총계		43,380,992,911	18,805,346,784

(3) 비용효과분석 결과

□ 대안별 비교

- 1안을 기준으로 설정하여, 대안별 비교를 한 결과 남극대륙기지를 건설하는 2안이 35.3억(NPV)을 절감하여 가장 타당한 안으로 판단됨

<대안별 소요 비용>

(단위 : 억 원)

구분	건설비 (억 원)	운영비/ 임대비 (억 원)	인건비	물류비 용	총비용 (억원)		차액 (억원)	
					명목	현가	명목	현가
1안	-	-	847	1,433	2,280	988	-	-
2안	902.6	66	424	434	1,440.2	942.7	839.8	35.3



4. 타당성 검토 결과

□ 비용편익분석 결과 본 사업은 정부 주도 추진 사업으로의 경제적 타당성 확보

○ 본 사업의 경제성 분석 결과 B/C Ratio 0.72로 경제성은 확보하지 못했으나, 이는 정부 주도의 사업으로 추진하기 적합한 수준

* 본 분석에서의 인건비 저감 수준은 프로젝트 3개를 기준으로 했으며, 프로젝트 4개 수행 시 B/C Ratio는 0.8 수준

- 총비용은 1,440.3억 원, 현재가치화 시 942.7억 원
- 총편익은 1,448.4억 원, 현재가치화 시 679.0억 원
 - 생산비용저감 편익은 총 502.3억 원이며, 현재가치화 시 277.7억 원
 - 부가가치창출 편익은 총 946.1억 원이며, 현재가치화 시 461.3억 원
- B/C Ratio는 0.72

<본 사업의 경제성 분석 결과>

구분	금액
① 비용(NPV)	942.7억 원
② 생산비용저감 편익(NPV)	217.7억 원
② 부가가치창출 편익(NPV)	461.3억 원
B/C Ratio (② ÷ ①)	0.72

□ 비용효과분석 결과 남극내륙기지 건설(안)이 타당한 대안으로 분석

○ 대안별 비교분석 결과 남극내륙기지를 건설하는 2안이 내륙기지를 건설하지 않는 제1안 대비 35.3억(NPV)을 절감하여 가장 타당한 안으로 판단됨

- 해외 남극내륙기지를 대여하여 사용하는 방안은 대상 국가 및 관계 기관과 협의 결과 불가 통보를 받아 대안 검토 대상에서 제외

<대안별 소요 비용>

구분	건설비 (억 원)	운영비/ 임대비 (억 원)	인건비	물류비 용	총비용 (억원)		차액 (억원)	
					명목	현가	명목	현가
1안	-	-	847	1,433	2,280	988	-	-
2안	902.6	66	424	434	1440.2	942.7	839.8	35.3

(단위 : 억 원)

제2절 기대효과

□ (과학·기술) 남극내륙기지 기반의 미지 영역 탐사 확대 및 극한지 기술 확보

- 기지 주변에 한정된 지리적 연구 범위의 확대에 따라 연구 내용 및 방법 등 전반적 체계 혁신
 - 해안 및 기지 주변 연구 중심에서 무인항공기, 첨단 시추기술, 공간 정보 구현 등 탐사 기술 기반형 연구 가능
 - 한국형 남극 내륙연구 3대 거점 확보 외에 안전한 거점 탐사를 위해 남극 전역의 영상지도, IoT 등을 활용하여 연구분야별 최적지에서 이동식 장비로 연구 가능
- 기후변화와 환경 변화 관측 및 대응 중심의 연구에서 남극 환경 특성을 활용한 극지 응용 기술 연구로 확대
 - 고단열 방한기술, 극한지 무인이동체·통신 기술, 극한지 건설 및 원격제어 기술 등의 연구개발
- 남극 내 연구거점 확장과 미지 영역의 탐사 확대로 남극의 미래 해빙 변화와 온난화 패턴 예측 등 기후변화 정확도 향상
 - 차세대 쇄빙연구선 건조에 따라 세계 최고 수준의 쇄빙능력(1.5m/3노트)을 보유 하면서 기후변화 대응에 필수적인 해빙 관측 및 수산자원 모니터링 가능
 - 남극 내륙연구 핵심 역량 확보로 남극 기후변화의 원인과 지구의 과거 규명 가능
- 극한지에서 작동할 수 있는 첨단 기술 개발을 통해 극한지 활동 범위를 확대하고, 관련 산업의 활성화 기반 마련
 - 남극의 극한환경(극저온, 강풍 등)에 적용되는 통신 기술 및 건설 기술(모듈형 등) 개발로 향후 우주와 같은 극한지 탐사 기술에 파급효과 기대
 - 극한지 공학 기술은 남극에서의 지속 가능하고 안전한 연구 및 생활을 가능하게 하며, 지구 환경 연구에도 중요한 데이터 제공
- 본 사업을 통해 우주탐사기술개발을 위한 우주모사 실증이 가능해짐에 따라 국내 우주기술 진흥 및 발전에 기여 가능
 - 남극 내륙의 높은 고도와 청정한 대기를 통해 우주기술 연구의 혁신적인 수행 가능

□ (경제·사회) 독자적 남극내륙연구를 기반으로 국가 위상 제고 및 국제협력 강화

- 최근 남극에서 가장 주목받는 연구 주제*인 기후변화 예측 및 환경·생태계 보전을 위한 연구 성과를 기반으로 지구적 환경변화 대응에 책임 의무를 다하는 선도국으로 도약
 - * ‘남극연구과학위원회(SCAR)’는 인류사회에 기여하는 남극 연구로 기후변화 예측, 해수면 상승, 남극해 보전을 제시(‘21)
 - 고도의 연구개발 인프라를 기반으로 남극 거버넌스에서 이슈를 발굴 및 제시할 수 있는 선도국가로 성장
- 남극의 환경 및 생태계 보전을 위한 국제적 노력에 적극적인 참여로, 우리나라의 국제적 위상 제고
 - 남극 지역에서 진행되는 국제적인 환경보전 프로젝트에 적극 참여함으로써 국제사회에서의 우리나라 역할 및 역량 강조
 - 남극 지역 환경과 생태계에 대한 연구 결과를 공유하고 협력하면서 남극 지역에 대한 이해도 제고와 환경보전 정책에 기여 가능
- 독자적인 남극 내륙 연구 수행을 통해 선도국 중심의 남극 내륙연구에서 우리나라 주도의 연구 수행 기반 확보 가능
 - 우리나라에서 독자적으로 주도할 수 있는 연구 분야를 선택하여 우리나라의 강점과 연구 역량 극대화
 - 내륙루트(K-Route) 개척을 기반으로 남극 내륙의 다양한 지역에 더 쉽게 접근함으로써 다양한 연구 분야에서 심층적이고 종합적인 연구를 가능하게 함
- 남극내륙 연구를 기반으로 국제적인 연구기관과의 협업이 가능하고, 국제사회에서 우리나라의 위치를 강화하여 다양한 국가와 교류 촉진 가능
 - 국제적인 협력은 남극내륙 연구의 성공과 국제사회에서의 과학적 지식 증진에도 기여
 - 남극 지역의 자원 관리와 보전에 대한 책임을 협력을 통해 공유함으로써 국제적 표준을 준수하고, 지속 가능한 연구개발을 실현
- 남극 거버넌스 내 의제를 제시하고 논의를 선도하는 국가로 성장하여 과학리더십 확보에 기여
 - 우리나라는 남극조약체제에 적극적으로 참여하고 조약의 의제에 기여함으로써 국제사회에서의 과학적 리더십 강조
 - 남극 거버넌스 논의에서의 선도적인 역할 수행을 통해 우리나라의 국제적 영향력 증대와 국가 이미지 강화를 기대





제 VII 장

남극내륙기지 활용 국제협력 연구협약 및 국내 연구수요



제7장 남극내륙기지 활용 연구수요

제1절 국제연구협력 및 연구협약

1. 한-미 국제연구협력

1) 연구협력 개요

☐ 연구협력기관

○ COLDEX(Center of OLDest ice Exploration, 미)

- COLDEX는 미국 NSF에서 설립한 17개 STC(Science and Technology Center) 중 하나
- 150만년 심부빙하코어 시추와 최고(最古) 블루아이스 시추 연구 진행 중
- 과제수행기간: 2021.10.1. ~ 2026.9.30. (Phase 1)
- 총 연구비: 25,000,000 USD (335.5억원)

○ 서울대학교 빙권과학교육연구센터

- 지구상의 빙하, 해빙, 동토 등 얼음으로 이루어진 빙권에 대한 연구와 교육 실시 목적으로 2021년 5월 창립
- 남극과 그린란드 빙하에서 포집된 공기를 활용하여 대기 온실가스 조절기작과 기후변화 연관성 연구 수행

☐ 연구협력 목적 및 세부내용

○ 남극내륙 3대 연구거점 중 하나인 블루아이스 연구거점에서 블루아이스 시료 시추 및 세계 최장 온실기체 변화기록 복원 연구협력

- 엘리펀트 모레인 블루아이스 시추 최적지 선정 항공레이더 탐사 협력
- 엘리펀트 모레인 블루아이스 시추 현장연구 시, 장비 현장운송 및 시추캠프 운영
- 블루아이스 시료 분석 협력

○ 남극내륙 3대 연구거점 중 하나인 심부빙하 시추거점 내 빙하연령 추정을 위한 급속 시추 현장연구 협력

- 심부빙하시추 후보지의 빙하연령 추정을 위해 COLDEX에서 개발 중인 Ice Diver 장비를 활용한 예비 시추 현장연구 협력

2) 연구협력 의향서 (LoI: Letter of Intent) 연구협약 체결

☐ 연구협약 서명권자

- 극지연구소 남극내륙연구사업단 이강현 사업단장
- COLDEX Director Edward Brook
- 서울대학교 빙권과학연구교육센터 안진호 센터장

☐ 연구협약서

LETTER OF INTENT

between

Center for Oldest Ice Exploration

College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences Oregon State University
Corvallis, OR 97331

AND

Center for Cryospheric Sciences, Future Innovation Institute of Seoul National University
(SNU)

Seoul-daehak-ro 173, Siheung-si, Gyeonggi-do 15011, Republic of Korea

AND

Unit of Antarctic Inland Research, Korea Polar Research Institute (KOPRI)

Songdomirae-ro 26, Yeonsu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea

on

[Oldest ice exploration]

This Letter of Intent (LOI) is made between Center for Cryospheric Sciences ("CCS"), Future Innovation Institute at Seoul National University located in Siheung, Republic of Korea, Unit of Antarctic Inland Research, Korea Polar Research Institute ("KOPRI") in Incheon, Republic of Korea and Center for Oldest Ice Exploration ("COLDEX"), located in

Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA. CCS, KOPRI and COLDEX are each a "Party" and together are referred to as the "Parties".

Purpose

The purpose of this LOI is to state the intentions of the parties in undertaking a collaboration in the research and development of [Oldest ice exploration]. The Parties have common scientific and research interests and will cooperate in performing the activities stated below.

Types of Cooperative Activities

The scope of collaboration on research activities to be pursued through this LOI includes the following:

1. Research collaboration in the areas of mutual interest.
2. Exchange of academic materials which are made available by the three parties.
3. Exchange of visiting research scholars.

LOI is Non-binding

This LOI is not intended by the Parties to be legally binding. Any obligations will be the subject of later, definitive agreements negotiated between the Parties. Nothing in this LOI is intended to create a legal partnership or joint venture or is intended to create any new academic programs.

Formal Agreement

The Parties' intentions expressed in this LOI will be the subject of a future definitive agreement, which will contain detailed provisions stating the Parties' rights and obligations including:

- a. Detailed statement of work
- b. Milestones and schedule for deliverables

- c. Funding arrangements, including allocation of funds both domestically and internationally as required
- d. Intellectual property arrangements
- e. Exchange of materials, data, and software
- f. Disclosure of confidential information
- g. Compliance with laws and regulations, including those applicable to human and animal subjects in research, disclosures of conflicts of interest, and export controls.
- h. Roles and responsibility in administering and managing the project.

Publicity and Use of Names and Trademarks

Nothing in this LOI authorizes a party to use the name of the other party or its employees in any advertisement, press release, or publicity with reference to this LOI or any product or service resulting from activities contemplated by this LOI, without prior written approval of an authorized representative of the other Party. However, nothing in this LOI is intended to restrict either party from disclosing the existence or nature of this LOI to funding agencies, government officials, scientific colleagues or reviewers of research proposals.

General Terms

1. This LOI is effective from the date when all parties have signed it ("Effective Date").
2. This LOI shall remain in effect for a period of five (5) years from the Effective Date. Any Party may terminate the LOI by providing at 60 days' advance written notice to the other Parties. Termination or expiration of this LOI does not automatically terminate any separate agreement between the Parties related to the subject matter of this LOI.
3. The LOI may be amended or extended by mutual consent in writing signed by authorized representatives of the Parties.
4. Each party is liable for its own acts and omissions under this LOI, which, for the prevention of doubt, does not include any liability based on the acts or omissions of a third party.

5. Confidential information shall be exchanged only under the terms of a separate agreement, whether a non-disclosure agreement, sponsored research agreement, material transfer agreement, or data use agreement. No confidential information shall be disclosed pursuant to this LOI.
6. No export-controlled information shall be disclosed pursuant to this LOI.
7. This LOI may be executed in counterparts, which taken together will constitute one document.

Notices

Each Party must provide all required notices under this LOI in writing to the addresses set forth below or such other addresses designated by the receiving Party:

For CCS:

Center for Cryospheric Sciences, Future Innovation Institute of Seoul
National University
Seouldaehak-ro 173, Siheung-si, Gyeonggi-do 15011, Republic of Korea
Phone) +82 2 880 6726, Email) jinhoahn@snu.ac.kr

For KOPRI:

Unit of Antarctic Inland Research, Korea Polar Research Institute
Songdomirae-ro 26, Yeonsu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea
Phone) +82 32 760 5467, Email) leekh@kopri.re.kr

For COLDEX:

Center for Oldest Ice Exploration
College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences, Oregon State
University, Corvallis, OR 97331, USA
Phone) +1 541 737 8197, Email) edward.brook@oregonstate.edu

Signed for and on behalf of

Center for Oldest Ice Exploration (COLDEX)
by its authorized representative:



Signature

Edward Brook
Name

Director
Title

Nov. 7 2024
Date

Unit of Antarctic Inland Research (KOPRI)
by its authorized representative:



Signature

Khanghyun Lee
Name

Unit Director
Title

Nov. 27 2024
Date

Center for Cryospheric Sciences (CCS)
by its authorized representative:



Signature

Jinho Ahn
Name

Director
Title

Nov. 8, 2024
Date

2. 한-호주 국제연구협력

1) 연구협력 개요

□ 연구협력기관 개요

- CTWW (Center for Technology in Water and Wastewater)
 - 대표자: Prof. Long Nghiem(Director), Prof. Ho Kyong Shon(Deputy director)
 - 시드니 공과대학교 (University of Technology Sydney) 산하의 수자원 활용 기술개발 센터
 - 물 재활용, 해수담수화, 우수(雨水) 활용기술 개발, 물-에너지-자원의 효율적 재순환, 지속 가능한 물 관리를 위한 도시 및 산업용 수처리 시스템 개발연구
 - i) ARC Research Hub for Nutrients in a Circular Economy 프로젝트, ii) A novel ion-selective membrane for efficient lithium recovery 프로젝트, iii) Selective Rubidium Extraction from NEOM Seawater Desalination Plant 프로젝트 등 다수의 물 자원 활용기술 개발 프로젝트 수행 중
- 한국기계연구원 도시환경연구실
 - 대표자 : 한방우 실장
 - 초미세먼지, 유해가스, 바이오 에어로졸 등 공기오염 처리기술, 유해물질 저감 및 노출 제어관리기술, 폐수 및 정수 고도 수처리 기술, 도시 건물 통합형 스마트팜 기술 개발
 - '24년도 현재 총 22건 연구과제 수행 중

□ 연구협력 목적 및 세부내용

- (CTWW) 남극내륙기지 내 구축 예정인 물 재활용 시스템 개발을 위한 해외 선도국 연구동향 공유 및 폐수 재활용 및 자원회수 기술개발 연구협력
- (도시환경연구실) 남극내륙기지 오폐수 포집 및 재활용 등 수처리 시스템과 대기 오염 저감시스템, 극한지 스마트팜 시설의 설계, 구축계획 수립 및 실행

2) 연구협력 의향서 (LoI: Letter of Intent) 연구협약 체결

□ 연구협약 서명권자

- 극지연구소 남극내륙연구사업단 이강현 사업단장
- CTWW deputy director Ho Kyong Shon
- 한국기계연구원 도시환경연구실 한방우 실장

□ 연구협약서

LETTER OF INTENT

between

Centre for Technology in Water and Wastewater (CTWW)
School of Civil and Environmental Engineering, University of Technology Sydney
(UTS), NSW 2007, Australia

AND

Department of Urban Environment Research, Eco-friendly Energy & Environment
Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM), Daejeon,
34103, Republic of Korea

AND

Unit of Antarctic Inland Research, Korea Polar Research Institute (KOPRI),
Incheon 21990, Republic of Korea

on

**[Circular Water Management: Wastewater Reuse and Resource Recovery in
Isolated Antarctic Environments]**

This Letter of Intent (LOI) is made between Centre for Technology in Water and Wastewater at University of Technology Sydney ("UTS") in Australia, Department of Urban Environment Research at Korea Institute of Machinery and Materials in Republic of Korea ("KIMM"), and Unit of Antarctic Inland Research at Korea Polar Research Institute in Incheon, Republic of Korea ("KOPRI"). UTS, KIMM and KOPRI are each a "Party" and together are referred to as the "Parties".

Purpose

The purpose of this LOI is to state the intentions of the parties in undertaking a collaboration in the research and development of [Circular Water Management: Wastewater Reuse and Resource Recovery in Isolated Antarctic Environments]. The Parties have common scientific and research interests and will cooperate in performing the activities stated below.

Types of Cooperative Activities

The scope of collaboration on research activities to be pursued through this LOI includes the following:

1. Research collaboration in the areas of mutual interest.
2. Exchange of academic materials which are made available by the three parties.
3. Exchange of visiting research scholars.

LOI is Non-binding

This LOI is not intended by the Parties to be legally binding. Any obligations will be the subject of later, definitive agreements negotiated between the Parties. Nothing in this LOI is intended to create a legal partnership or joint venture or is intended to create any new academic programs.

Formal Agreement

The Parties' intentions expressed in this LOI will be the subject of a future definitive agreement, which will contain detailed provisions stating the Parties' rights and obligations including:

- a. Detailed statement of work
- b. Milestones and schedule for deliverables
- c. Funding arrangements, including allocation of funds both domestically and internationally as required

- d. Intellectual property arrangements
- e. Exchange of materials, data, and software
- f. Disclosure of confidential information
- g. Compliance with laws and regulations, including those applicable to human and animal subjects in research, disclosures of conflicts of interest, and export controls.
- h. Roles and responsibility in administering and managing the project.

Publicity and Use of Names and Trademarks

Nothing in this LOI authorizes a party to use the name of the other party or its employees in any advertisement, press release, or publicity with reference to this LOI or any product or service resulting from activities contemplated by this LOI, without prior written approval of an authorized representative of the other Party. However, nothing in this LOI is intended to restrict either party from disclosing the existence or nature of this LOI to funding agencies, government officials, scientific colleagues or reviewers of research proposals.

General Terms

1. This LOI is effective from the date when all parties have signed it ("Effective Date").
2. This LOI shall remain in effect for a period of five (5) years from the Effective Date. Any Party may terminate the LOI by providing at 60 days' advance written notice to the other Parties. Termination or expiration of this LOI does not automatically terminate any separate agreement between the Parties related to the subject matter of this LOI.
3. The LOI may be amended or extended by mutual consent in writing signed by authorized representatives of the Parties.
4. Each party is liable for its own acts and omissions under this LOI, which, for the prevention of doubt, does not include any liability based on the acts or omissions of a third party.
5. Confidential information shall be exchanged only under the terms of a separate agreement, whether a non-disclosure agreement, sponsored research agreement, material transfer agreement, or data use agreement. No confidential information shall be disclosed pursuant to this LOI.
6. No export-controlled information shall be disclosed pursuant to this LOI.

7. This LOI may be executed in counterparts, which taken together will constitute one document.

Notices

Each Party must provide all required notices under this LOI in writing to the addresses set forth below or such other addresses designated by the receiving Party:

For UTS: Prof. Hokyong Shon

Centre for Technology of Water and Wastewater
School of Civil and Environmental Engineering, University of Technology
Sydney (UTS)
15 Broadway, Ultimo, NSW 2007, Australia
Phone) +61 02 9514 2629, Email) Hokyong.Shon-1@uts.edu.au

For KIMM: Dr. Bangwoo Han

Department of Urban Environment Research, Eco-friendly Energy &
Environment Research Division, Korea Institute of Machinery and
Materials (KIMM)
156 Gajeongbuk-Ro, Yuseong-Gu, Daejeon 34103, Republic of Korea
Phone) +82 42 868 7068, Email) bhan@kimm.re.kr

For KOPRI: Dr. Khangyun Lee

Unit of Antarctic Inland Research, Korea Polar Research Institute
Songdomirae-ro 26, Yeonsu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea
Phone) +82 32 760 5467, Email) leekh@kopri.re.kr

Signed for and on behalf of

University of Technology Sydney (UTS)
by its authorized representative:



Signature

Ho Kyong Shon

Name

Deputy director

Title

07/02/2025

Date

Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM)
by its authorized representative:



Signature

Bangwoo Han

Name

Head of Department

Title

07/02/2025

Date

Unit of Antarctic Inland Research (KOPRI)
by its authorized representative:



Signature

Dr. Khanghyun Lee

Name

Unit Director

Title

07/02/2025

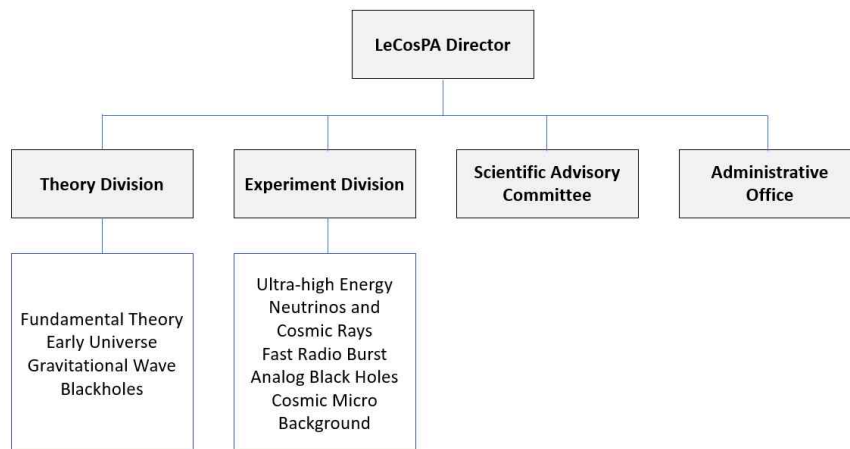
Date

3. 한-대만 국제연구협력

1) 연구협력 개요

□ 연구협력기관 개요

- LeCosPA(Leung Center for Cosmology and Particle Astrophysics)
 - 대표자: Daniel Baumann(Director)
 - 국립대만대학교 (National Taiwan University) 산하의 천체 물리학 연구센터
 - 우주론 및 입자 천체물리학 기본이론, 초기우주, 중력파, 블랙홀, 초고에너지 뉴트리노 및 우주선, Fast Radio Burst, 우주 배경복사 연구 수행
 - 총 30여명의 교수 및 연구진이 20여개 프로젝트 진행 중



<그림 X-XX. LeCosPA 조직도>

□ 연구협력 목적 및 세부내용

- 남극내륙 극한환경에서의 라디오 에코기술을 이용한 초고에너지 검출기술 개발 국제협력
- 남극내륙기지를 활용한 국제공동 Radio Echo Telescope 프로젝트개발 국제협력

2) 연구협력 의향서 (LoI: Letter of Intent) 연구협약 체결

□ 연구협약 서명권자

- 극지연구소 남극내륙연구사업단 이강현 사업단장
- LeCosPA director Daniel Baumann

□ 연구협약서

LETTER OF INTENT

between

Leung Center for Cosmology and Particle Astrophysics
National Taiwan University
1 Roosevelt Road, Taipei, Taiwan 10617

AND

Unit of Antarctic Inland Research, Korea Polar Research Institute (KOPRI)
Songdomirae-ro 26, Yeonsu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea

on

**[Feasibility Study on Constructing an Ultra-High-Energy Neutrino Telescope
Using Deep Antarctic Ice]**

This Letter of Intent (LOI) is made between Leung Center for Cosmology and Particle Astrophysics (LeCosPA) at National Taiwan University located in Taipei, Taiwan and Unit of Antarctic Inland Research, Korea Polar Research Institute ("KOPRI") in Incheon, Republic of Korea. LeCosPA and KOPRI are each a "Party" and together are referred to as the "Parties".

Purpose

The purpose of this LOI is to state the intentions of the parties in undertaking a collaboration in the research and development of [Feasibility Study on Constructing an Ultra-High-Energy Neutrino Telescope Using Deep Antarctic Ice]. The Parties have common scientific and research interests and will cooperate in performing the activities stated below.

Types of Cooperative Activities

The scope of collaboration on research activities to be pursued through this LOI includes the following:

1. Research collaboration in the areas of mutual interest.
2. Exchange of academic materials which are made available by both parties.
3. Exchange of visiting research scholars.

LOI is Non-binding

This LOI is not intended by the Parties to be legally binding. Any obligations will be the subject of later, definitive agreements negotiated between the Parties. Nothing in this LOI is intended to create a legal partnership or joint venture or is intended to create any new academic programs.

Formal Agreement

The Parties' intentions expressed in this LOI will be the subject of a future definitive agreement, which will contain detailed provisions stating the Parties' rights and obligations including:

- a. Detailed statement of work
- b. Milestones and schedule for deliverables
- c. Funding arrangements, including allocation of funds both domestically and internationally as required
- d. Intellectual property arrangements
- e. Exchange of materials, data, and software
- f. Disclosure of confidential information
- g. Compliance with laws and regulations, including those applicable to human and animal subjects in research, disclosures of conflicts of interest, and export controls.
- h. Roles and responsibility in administering and managing the project.

Publicity and Use of Names and Trademarks

Nothing in this LOI authorizes a party to use the name of the other party or its employees in any advertisement, press release, or publicity with reference to this LOI or any product or service resulting from activities contemplated by this LOI, without prior written approval of an authorized representative of the other Party. However, nothing in this LOI is intended to restrict either party from disclosing the existence or nature of this LOI to funding agencies, government officials, scientific colleagues or reviewers of research proposals.

General Terms

1. This LOI is effective from the date when all parties have signed it ("Effective Date").
2. This LOI shall remain in effect for a period of five (5) years from the Effective Date. Any Party may terminate the LOI by providing at 60 days' advance written notice to the other Parties. Termination or expiration of this LOI does not automatically terminate any separate agreement between the Parties related to the subject matter of this LOI.
3. The LOI may be amended or extended by mutual consent in writing signed by authorized representatives of the Parties.
4. Each party is liable for its own acts and omissions under this LOI, which, for the prevention of doubt, does not include any liability based on the acts or omissions of a third party.
5. Confidential information shall be exchanged only under the terms of a separate agreement, whether a non-disclosure agreement, sponsored research agreement, material transfer agreement, or data use agreement. No confidential information shall be disclosed pursuant to this LOI.
6. No export-controlled information shall be disclosed pursuant to this LOI.
7. This LOI may be executed in counterparts, which taken together will constitute one document.

Notices

Each Party must provide all required notices under this LOI in writing to the addresses set forth below or such other addresses designated by the receiving Party:

For LeCosPA:

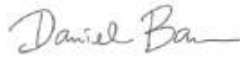
Leung Center for Cosmology and Particle Astrophysics
National Taiwan University
1 Roosevelt Road, Taipei, Taiwan 10617
Phone) +886 2 3366 5187, Email) dbaumann@ntu.edu.tw

For KOPRI:

Unit of Antarctic Inland Research, Korea Polar Research Institute
Songdomirae-ro 26, Yeonsu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea
Phone) +82 32 760 5467, Email) leekh@kopri.re.kr

Signed for and on behalf of

Leung Center for Cosmology and Particle
Astrophysics (LeCosPA)
by its authorized representative:



Signature

Daniel Baumann

Name

Director

Title

February 07 2025

Date

Unit of Antarctic Inland Research (KOPRI)
by its authorized representative:



Signature

Khanghyun Lee

Name

Unit Director

Title

February 07 2025

Date

제2절 국내연구수요

1. 남극내륙기지 활용 국내연구수요

1) 극지기후변화연구

	기관	연구주제
1	강원대학교	위성탐사-지구물리탐사 융합을 통한 남극내륙 빙저 환경 특성에 따른 빙상 거동 분석
2	건설기계부품연구원	3,000m급 빙하시추가 가능한 시추시스템 개발 및 실증
3	건설기계부품연구원	효율적인 남극 기후변화 연구를 위한 고속 데이터 파이프라인 및 전송 시스템 개발
4	연세대학교	남극 심부빙하코어를 활용한 남반구 고위도 먼지 기원지 추적
5	극지연구소	남극내륙대기순환연구

2) 천문우주 관측연구

	기관	연구주제
1	경북대학교	남극 망원경을 이용한 최초의 남극천 극미광, 중적외선, 변광 탐사 수행
2	경희대학교	자기권 변화와 극지 전리권 및 고층대기 물리량 변화의 상관관계 연구
3	뉴저지 공과대학교	polar cap 내에 무인 관측소를 설치하여 우주 기상 관측
4	한국과학기술원	남극 밀리미터파 전파망원경과 관측 및 운영 시스템 개발
5	한국천문연구원	태양계 내의 우주생명현상 탐사를 위한 우주생물학 실험실 구축
6	한국천문연구원	단주기 격변 변광성 관측
7	한국천문연구원	남극내륙천문기지건설과 광학천문연구
8	한국천문연구원	남극내륙 고원 천문대 건설
9	한국천문연구원	큐브셋 활용 극지 자기장 입체 관측 시스템

10	극지연구소	남극 대륙의 대류권 오존 관측

3) 극한지 탐사기술 개발

	기관	연구주제
1	건설기계부품연구원	그린수소건설기계 활용을 위한 남극 현지자원활용(ISRU) 기반 에너지 사이클링 기술 개발
2	건설기계부품연구원	남극 내륙기지 탐사 및 개발을 위한 중장비(설상차/트랙터) 무인 시스템 기술개발
3	건설기계부품연구원	남극 내륙기지 탐사 및 개발을 위한 극한지 환경 대응 중장비 (설상차/트랙터) 신뢰성 평가 기법 개발 및 실증 연구
4	건설기계부품연구원	원자력전지(RTG)기반 우주/극지 극한 환경용 건설/탐사 기계 개발
5	문리프 우주시스템(주)	미국 아르테미스 달 유인 탐사 참여를 위한 무인 통합 다기능 임무 지원시스템 연구개발
6	문리프 우주시스템(주)	달 유인기지 적용위한 극한지 식품 시스템 개발 및 사용자 경험 임상연구
7	스페이스빔(주)	우주탐사 연계 자유공간 광통신 기술 실증
8	아주대학교	남극 내륙 기지 탐사 이동형 로봇 연구
9	연세대학교	우주안보를 위한 위성정보획득 연구
10	한국기계연구원	극한지에서 자유로운 이동이 가능한 미래 모빌리티 기술 개발
11	한국기계연구원	남극 내륙기지용 에너지 자립형 컨테이너팜 실증
12	한국로봇융합연구원	내륙기지 및 트래버스 자동화 기술 개발 및 실증
13	한국정보통신기술협회	무인 이동 탐사선 기술 개발 및 시험 인프라 구축
14	한국정보통신기술협회	극한지 탐사를 위한 요소 기술(통신, 측위) 개발 및 시험인프라 구축



제 VIII 장

결론





제8장 결론

1. 국내외 남극내륙기지 기술수준 분석

1) 국내 남극연구 인프라 운영 현황

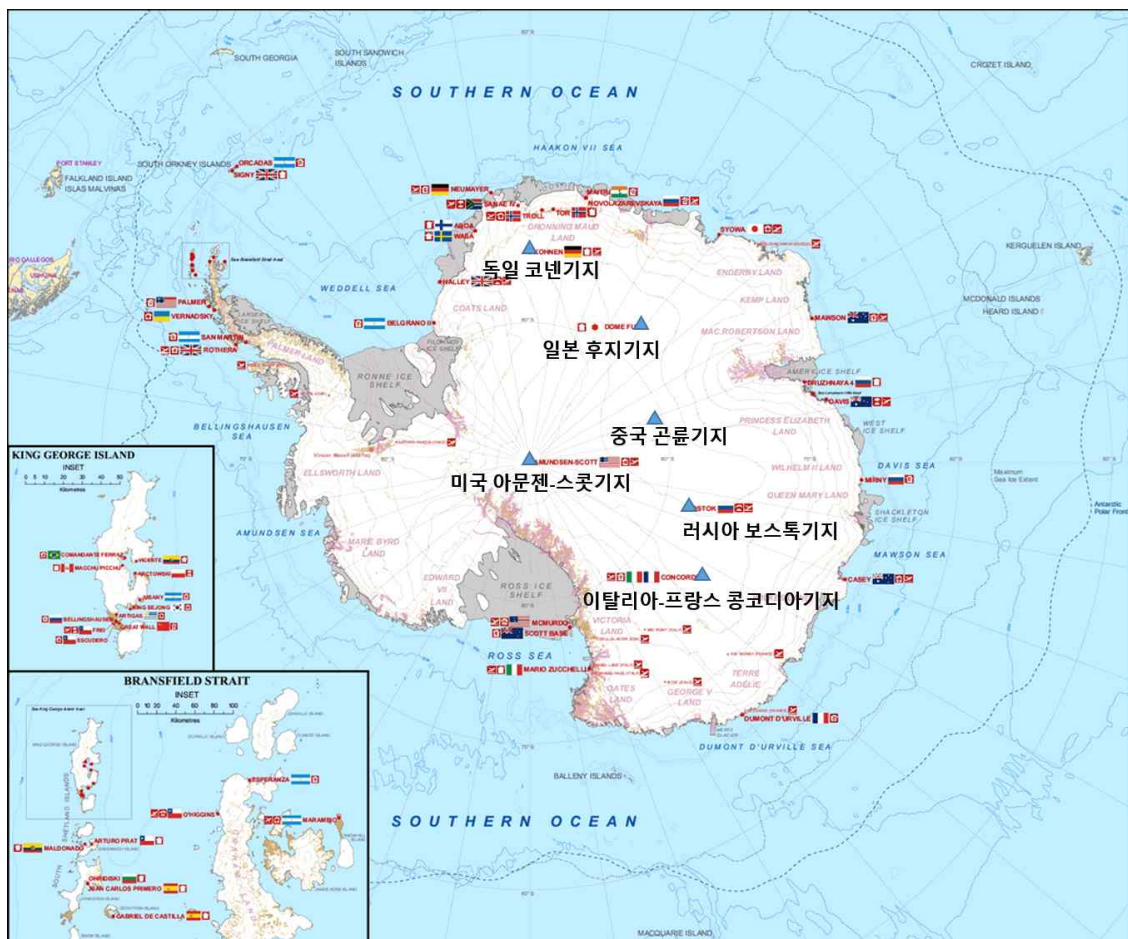
- 우리나라는 1988년 남극반도 킹조지섬에 세종과학기지를 개소한 이후 2009년 아라온호 건조와 2014년 장보고과학기지 건설 등을 통해 남극 연구영역을 지속적으로 확대 중임.
- 초창기 우리나라의 극지연구는 세종기지를 기반으로 기상, 암석, 연안생물, 육상생물 등 관측연구에 치중하였으나 남극연구영역의 확대에 따라 고층대기, 운석, 고기후, 미생물, 해양 및 육상 생태계, 유용생물자위, 원격탐사 등으로 심화되어 옴.
- 2000년 중반 이후 지구온난화에 대한 국제적 관심이 대폭 증가하면서 전 지구 기후변화와 이에 따른 남극빙상의 거동 등에 관한 연구의 중요성이 대두됨.
- 우리나라도 아라온호 취역과 장보고과학기지 개소를 계기로 고기후, 고해양, 남극빙하거동, 해양변화 등 지구환경변화 관련 연구가 활성화 되었음.
- 그러나 연안에 위치한 기존 남극과학기지의 특성상 남극대륙 연구영역은 장보고과학기지에서부터 반경 300km 이내에서만 가능하며, 이로 인해 남극대륙에서의 핵심연구분야인 심부빙하코어 시추, 천문우주관측 등의 연구는 제한적으로 이루어짐.
- 최근 우리나라는 2017년부터 시작된 코리안 루트 사업을 통해 장보고과학기지에서부터 남극대륙 콘코르디아기지를 거쳐 남극대륙기지 후보지에 이르는 총 연장길이 2,200km의 남극대륙 진출루트 개척을 완료함.
- 남극대륙 진출루트 개척을 통해 우리나라는 블루아이스 시추, 심부빙하코어 시추 및 천문우주 관측연구 등 남극대륙에서만 수행 가능한 핵심연구 후보지를 발굴하였으며, 남극대륙에서 연구인프라를 운영할 수 있는 장비와 경험을 축적함

2) 해외 남극내륙기지 운영 현황

- 미국의 아문젠-스콧기지는 1956년 지리적 남극점에 설립된 최초의 남극내륙기지로써, 지난 70여년 간 5회의 리모델링을 거쳐 현재의 기지 모습을 갖추었으며, 대표적으로 천체물리 연구와 빙하학, 지구물리학, 기상학, 우주과학 등 다양한 연구 수행 중
- 러시아의 보스톡 기지는 1957년 지자기 남극점 부근에 설립된 기지로서, 세계 최초로 과거 42만년 심부빙하 기후변화 기록복원을 통해 기후와 온실기체의 상관성

을 확인하였으며, 지난 2024년 기지 리모델링을 완료함

- 일본의 돔 후지 기지는 1995년 심부빙하코어 시추를 목적으로 Dome F 지역에 설립되었으며, 2007년 3,035m 깊이의 심부빙하코어를 시추하여 과거 73만년 기후변화 기록을 복원함
- 프랑스와 이탈리아가 공동으로 운영하는 콘코르디아 기지는 2005년 동남극 Dome C 지역에 설립된 기지로서, 2007년 3270m 깊이의 심부빙하코어 시추를 통해 세계에서 가장 오래된 과거 83만년 기후변화 기록을 복원하였으며 2024년에는 두 번째 심부빙하코어 시추를 통해 과거 120만년 기후변화 기록 복원이 진행되고 있음.
- 중국의 곤륜기지는 2009년, 동남극 최고원 지역인 Dome A에 설립된 하계기지로서, 4,000m급 세계 최장 심부빙하코어 시추를 추진하였으나 현재는 중단된 상태이며, 이외에 천체물리, 지구물리, 대기과학 분야의 연구 수행 중임



<남극내륙기지 위치>

2. 남극내륙기지 개념설계

1) 남극내륙기지 후보지 선정

- (연구수요에 대한 적합성) 심부빙하코어 시추, 고층대기물리, 천문관측 및 빙저호 시추 등 남극내륙 핵심연구 수행을 위한 연구지원 효과가 극대화 될 수 있는 지역 선정
- (기존자료 분석) 기존의 연구를 통해 제시된 남극내륙연구 최적지(Chung *et al.*, 2023, Fisher *et al.*, 2013)와 현재 남극내륙연구가 수행되고 있는 지역, 빙저지형 및 빙하구조 등에 대한 자료 분석을 통해 유망지역을 우선 선정한 후, 정밀 레이더 탐사를 통해 최적의 지점 결정
- (용이한 접근성) 기 운영 중인 해외 남극내륙기지 및 항공망 등의 인프라 공동활용이 용이하고 국제협력 R&D 사업의 효율적인 수행을 위해 해외 남극내륙기지와의 거리가 가까운 지역 선정

2) 남극내륙기지 건설계획

☐ 이동식 모듈형 기지 건설

- 남극내륙의 극한환경 및 높은 고도를 고려하여 건설기간, 비용, 건설인력 등을 최소화 할 수 있도록 국내에서 기지모듈을 제작하여 현장에서 수송, 조립하는 모듈화 공법 사용
- 미래 남극내륙 연구수요 증가에 대응할 수 있도록 기지시설의 확장이 용이한 모듈형 기지 건설
- 다수의 남극내륙 연구거점 현장연구 지원과 미래 신규 연구지역에 대한 인프라 활용효율 극대화를 위해 이동식 기지 건설

☐ 친환경 기지 운영기술 도입

- 태양광, 풍력 등 재생에너지 발전시설 및 스마트그리드 에너지 관리 시스템 도입을 통해 탄소배출 및 연료 소모량을 최소화함으로써 에너지 활용효율 극대화
- 용설을 통해 물을 확보해야 하는 남극내륙기지의 특성 상, 생활하수 및 인체 배출물의 재활용을 위한 수처리 시스템을 도입하여 물 자원 활용효율 극대화
- 대기오염 저감장치를 적용하여 기지운영으로 발생하는 인위적인 영향을 최소화 할 수 있는 친환경 기지 운영

□ 우주탐사 기술개발을 위한 테스트베드 활용기술 적용

- 남극내륙기지를 미래 우주탐사를 위한 극한지 공학기술 개발의 실증을 위한 테스트 베드로 활용
- 디지털 트윈 기술을 활용하여 우주에 준하는 극한환경에서의 기지 인프라 운영 자료 수집 및 무인원격 기지관리 기술 개발

3) 남극내륙기지 보급운영계획

- 천문우주관측, 심부빙하코어 및 심부빙저호 시추 등을 목적으로 하계기간에만 운영하는 하계기지로 운영하되 추후 연구수요 증가에 대비하여 동계기지로의 전환을 전제로 수용인원, 연구실, 시설, 장비 규모 등을 설계에 반영
- 현재 남극내륙기지를 운영하는 타 국가에 비해 65% 수준의 화물운송능력을 보유하고 있는 바, 향후 내륙기지 건설 및 운영을 위해 최소 400톤 규모의 육상 트레버스가 가능하도록 운영인력 및 장비 확충
- 남극내륙기지 연구인력 투입과 긴급물자 수송 및 긴급상황 대처를 위해서는 장보고과학기지와 남극내륙기지 간 항공기 활용이 불가피하므로 고정익 항공기의 기간임차, 빙원 활주로, 중간 급유시설 및 관제시설 등 확보



<남극내륙기지 조감도>

3. 남극내륙기지 활용계획

1) 남극내륙기지 활용계획

□ 극지연구 선도국과의 기술격차 해소

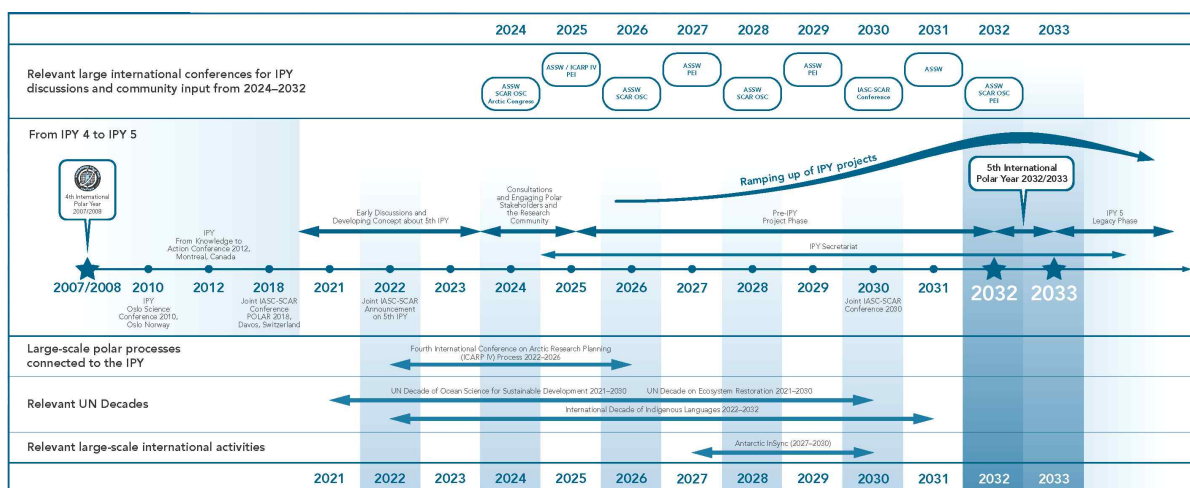
- 남극내륙기지를 기반으로 극지연구 선진기술 보유국가와의 국제협력을 통해 남극 내륙연구 원천기술 확보
- 남극내륙기지 기반 국제협력 R&D 사업 개발을 통해 국제적인 인적 네트워크 활성화 및 심부빙하코어 시추기, 심부빙저호 열수시추기 및 연문우주 관측장비 등 첨단 극지연구 인프라 기술개발

□ 우주탐사 기술시장 경쟁력 확보

- 우주와 유사한 남극내륙 극한환경에서의 모사실험을 통해 기지모듈 극한지 내구성, 극한지 인프라 원격관리 기술 등 우주탐사 기술개발에 기여
- 남극내륙의 극한환경을 이용하여 미래 우주 유인탐사 수행 시 발생 가능한 인적 오류요인과 시스템적인 요소에 대한 검증연구 수행

□ 남극 국제 거버넌스 주도권 확보

- 최근 중국의 적극적인 남극 주도권 확보 전략에 대해 국제사회의 우려가 심화되고 있는 바, 남극내륙기지 건설을 통해 기 확보한 코리안 루트 구간의 과학주도권을 강화하고 중국의 주도권 확보 전략 견제
- 2027년 ATCM 국제회의 개최, 2030년 Polar 2030 국내 개최와 2032~33년 제5차 IPY 등 주요 남극관련 국제 이벤트를 앞두고 남극내륙기지를 기반으로 대한민국 주도의 국제협력 R&D 사업을 개발하고 이를 통해 극지연구 선도국으로 도약 추진



<제5차 국제 극지의 해 추진 일정>



제 IX 장
참고문헌





제9장 참고문헌

AARI 홈페이지

Antarctic Science: Why U.S. Leadership and Investments Matter (2022),

https://www.usap.gov/sciencesupport/scienceplanningsummaries/2023_2024/results.cfm?formAction=detail&ID=1667;

ATCM(2022), ATCM Multi-Year Strategic Work Plan

Australian Antarctic Strategy & 20 Year Action Plan (Update 2022)

COMNAP 홈페이지, <https://www.comnap.aq/projects>

COMNAP(2017), Antarctic Station Catalog

Firmus社 홈페이지, <https://www.firmus.net/en/grey-water-treatment/>

Flow System, Australia

Hans Oerter & EPICA team(2008), Two EPICA ice cores revealing 800,000 years of climate history:An overvie

<http://www.ebricon.com>

<https://blog.naver.com/tech-plus/221825523746>

<https://brr.fyi/posts/wastewater-plant>

<https://icecube.wisc.edu/science/icecube/>

<https://m.blog.naver.com/dyyoo49/80163794473>

https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=202006111445188460671

<https://nipr-blog.nipr.ac.jp/jare/20231228post-435.html>

<https://polarjournal.ch/en/2024/02/09/new-vostok-station-goes-on-a-test-run/>

<https://thescienceplus.com/news/newsview.php?ncode=1065578051794554>

<https://www.aari.ru/press-center/news>

<https://www.aari.ru/press-center/news/novosti-aari/arbuzy>

<https://www.americanscientist.org/article/antarcticas-lake-vostok>

<https://www.bas.ac.uk/polar-operations/our-operational-strategy/>

<https://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2023072622422696886>

<https://www.gao.gov/assets/820/817486.png>

<https://www.gminsights.com/ko/industry-analysis/energy-management-system-EMS-market>

<https://www.gminsights.com/ko/industry-analysis/water-recycle-and-reuse-market#:~:text=%EB%AC%B4%EB%A3%8C%20%EC%83%98%ED%94%8C%20%EB%8B%A4%EC%9A%B4%EB%A1%9C%EB%93%9C-,%EB%AC%BC%20%EC%9E%AC%ED%99%9C%EC%9A%A9%20%EB%B0%8F%20%EC%9E%AC%EC%82%AC%EC%9A%A9%20%EC%8B%9C%EC%9E%A5%20%ED%81%AC%EA%B8%B0,%EC%9D%84%20%EB%AA%B0%EA%B3%A0%20%EC%A4%91%EC%9A%94%ED%95%9C%20%EC%9A%94%EC%86%8C%EC%9E%85%EB%8B%88%EB%8B%A4>

https://www.gov.cn/yaowen/tupian/202402/content_6930788.htm#1

https://www.kopri.re.kr/kopri/html/rsch/020201.html?mode=V&mng_no=1

<https://www.livescience.com/38652-what-is-lake-vostok.html>

<https://www.marketresearchfuture.com/reports/cryogenic-insulation-market-8494>

<https://www.nipr.ac.jp/antarctic/jarestations/>

<https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20221020.html>

<https://www.nsf.gov/geo/opp/support/southp.jsp>

JOURNAL OF MINING INSTITUTE(2023), “Results of complex experimental studies at Vostok station in

Antarctica“

LaBelle, J., and Anderson, R.R., Ground-level detection of Auroral Kilometric Radiation, Geophys. Res. Lett., 38, L04104, doi:10.1029/2010-GL-046411, 2011
https://www.usap.gov/sciencesupport/scienceplanningsummaries/2023_2024/results.cfm?formAction=detail&ID=2963

National Academy of Sciences, Committee on the Development of a Strategic Vision for the U.S. Antarctic Program, “A strategic vision for NSF investments in antarctic and southern ocean research“(2015)

Nature(1999), “Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica“

NFC(2023), FY 2024 Budget Request to Congress

NFS(2023), “<https://www.nsf.gov/geo/opp/antarct/usap.jsp>”

NIPR 홈페이지, <https://www.nipr.ac.jp/antarctic/aboutjare/plan.html>

NSF(1998), ‘FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT MODERNIZATION OF THE AMUNDSEN-SCOTT SOUTH POLE STATION ANTARCTICA’

NTIS, 와이젠글로벌(주) 재구성

One Earth(2019), Sustained Antarctic Research: A 21st Century Imperative

OPP 홈페이지(2023), “OPP_orgchart”

SCAR 홈페이지, <https://www.scar.org/>

SCAR(2023), “SCAR Strategic Plan 2023-28”

SDS, U.K., US Energy

The 1st SCAR Antarctic and Southern Ocean Science Horizon Scan – Final List of Questions, 제 3차 남극연구활동진흥기본계획 재구성

USAP 홈페이지(2023), “<https://www.usap.gov/proposalinformation/>”

USAP 홈페이지(2023), “<https://www.usap.gov/researchopportunities.cfm?m=3>”

USAP(2022), “2022-23 Science Planning Summaries”

Water Desalination Report(2021)

web of science 검색 결과를 바탕으로 와이젠글로벌(주) 가공

Web of Science, 와이젠글로벌 구성

WEDC

과학기술정보통신부(2020), “대한민국 과학기술 미래전략 2045”

관계부처 합동, 과학기술정보통신부(2022), ‘제4차 우주개발진흥기본계획’

관계부처합동(2020), “극지과학 미래발전전략(안)”

관계부처합동(2022.11.), “제1차 극지활동 진흥 기본계획(2023-2027)”

관계부처합동(2022.11.), “제1차 극지활동 진흥 기본계획(2023-2027)” 재구성

관계부처합동(2022.4.), “제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획(안)”

관계부처합동(2022.4.), “제4차 남극 연구활동 진흥 기본계획(안)” 재구성

극지연구소(2020), ‘우리의 길, K-루트와 남극 첨단연구의 오늘과 미래’

극지연구소(2020), 2020극지이슈 리포트, ‘남극에서의 글로벌 한국: 우리의 길, K-루트와 남극 첨단연구의 오늘과 미래’

극지연구소(2022.3), “남극내륙 빙하-대기-우주환경 종합연구 수행과 지원체계를 위한 기획연구”

극지연구소(2022.3), “남극내륙 빙하-대기-우주환경 종합연구 수행과 지원체계를 위한 기획연구”

김명석 외 (2010), 한국지반공학회지 “남극 제2과학기지(장보고) 건설”
 남극기지건설을 위한 적합한 건축공법에 관한 고찰(임석호, 이원학, 2010)
 러시아 극지연구소 홈페이지, <https://www.aari.ru/>
 부산일보(2023), ‘극한지 개발탐사용 협동이동체 시스템 기술개발사업’ 다부처 통합 시연회 개최
 일본 南極地域観測第10期6ヵ年計画(중점메인테마)
 일본 문무과학성 홈페이지, <https://www.mext.go.jp/>
 일본극지연구소 홈페이지, <https://www.nipr.ac.jp/antarctic/jarestations/#fuji>
 제5차 과학기술기본계획(2023~2027), 과학기술정보통신부
 중국 국가자연과학기금위원회 홈페이지, <https://kd.nsfc.cn/finalProjectInit>
 중국 극지연구센터 홈페이지, <https://www.pric.org.cn/index.php?c=category&id=44>
 중국 극지연구센터 홈페이지, <https://www.pric.org.cn/index.php?c=category&id=96>
 캐나다 우주국 홈페이지, <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/multimedia/search/image/17399>
 콘코르디아 기지 홈페이지(프랑스), “<https://institut-polaire.fr/en/antarctica/concordia-station/>”
 한국철도기술연구원
 해양수산과학기술진흥원(2021), “2020년 해양수산 과학기술 분류체계 및 수준평가 연구용역”
 해양수산과학기술진흥원홈페이지(사업추진절차), https://www.kimst.re.kr/u/rnd/process_01/content.do
 해양수산부(2021), “제3차 해양수산발전기본계획(2021-2030)”
 해양수산부(2021), “해양수산 기후변화 대응R&D 강화 로드맵(안)”
 해양수산부(2023), ‘제2차 해양수산과학기술 육성 기본계획’
 해양수산부, “2023년도 해양수산과학기술 육성 시행계획”
 해양수산자원부(2022), ‘제1차 극지활동진흥기본계획’
 호주 시드니공과대학교

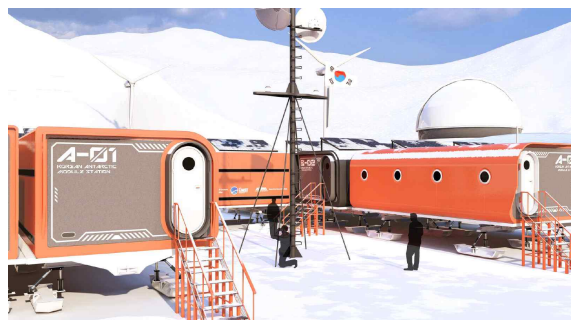
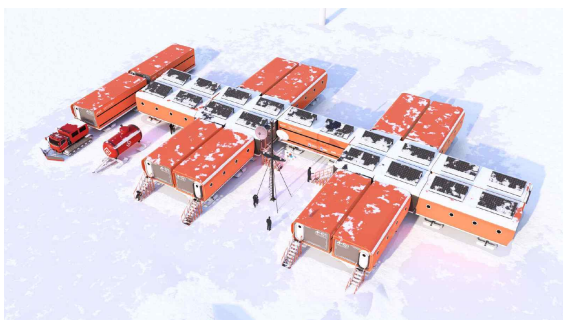
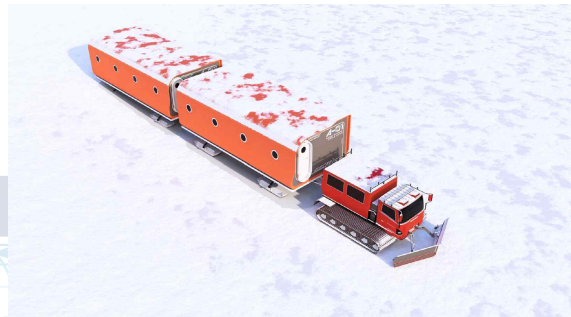
극지연구소





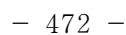


부록1. 남극내륙기지 조감도

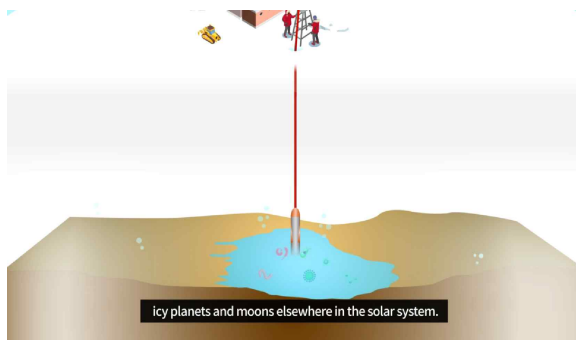
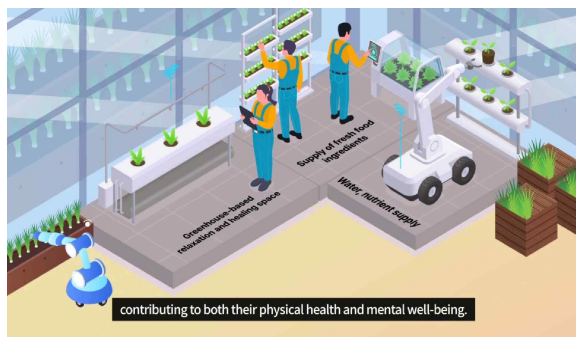
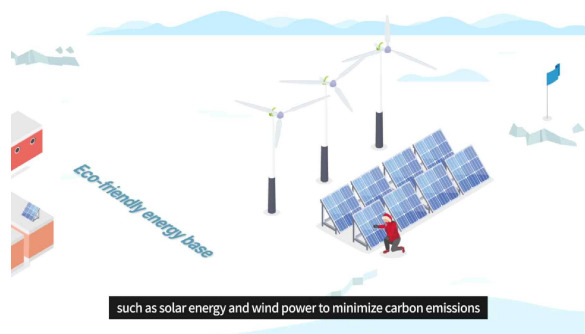


<남극내륙기지 조감도(일부 예시)>

< '24년 항공우주학회 학술대회 홍보부스 포스터 >

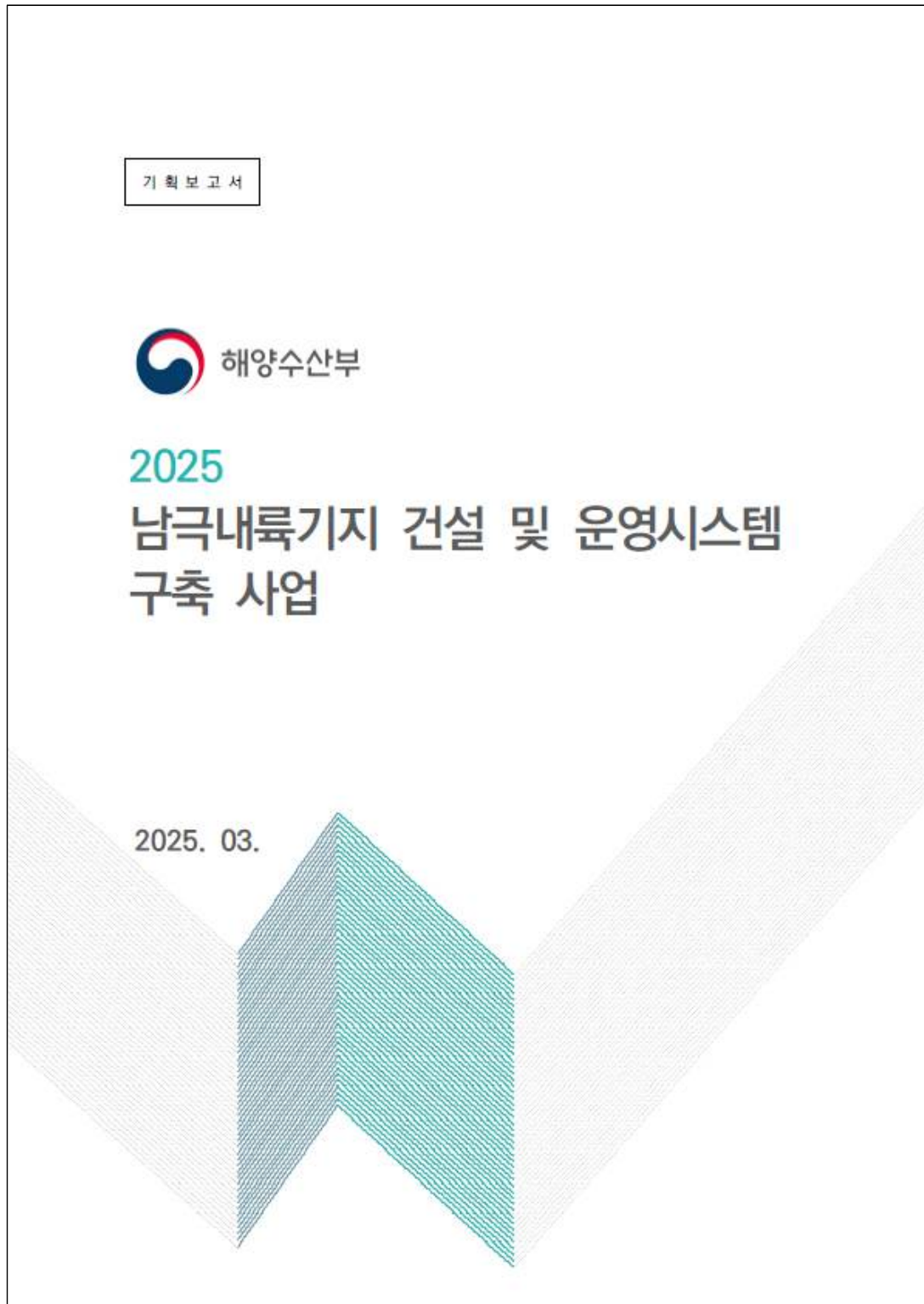


부록3. 남극내륙기지 홍보 동영상



<남극 내륙기지 홍보영상(일부 예시)>

부록4. 남극내륙기지 건설 및 운영시스템 구축사업 기획보고서



발표자 (과제유형)	평가의견
이강현 책임연구원 (정책·지원 과제)	과제명: 남극내륙기지 개념설계 및 내륙기지 기반 국제협력 R&D 사업 발굴 기획연구
	○ 성과활용 방안 및 기대효과 - 남극 내륙기지 건설을 위한 가이드라인과 개념설계를 체계적으로 마련하고, 관련 R&D 과제를 발굴함으로써 예산 확보에 필요한 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단됨. 아울러 해당 기지는 국제 공동 연구의 거점으로 활용 가능성이 높아, 한국의 남극 연구 분야에서의 리더십 제고에도 기여할 수 있을 것으로 기대됨 - 남극 내륙 연구의 수월성과 필요성은 과거 해외 사례 등을 통해 설명되었으나, 건설될 내륙기지를 이용하여 달성될 수 있는 수월성 있는 연구 주제에 대해 충분한 발굴과 강조가 이루어지지 않은 것으로 사료됨 - 내륙기지 건설 타당성을 뒷받침하는 B/C 분석 외의 시나리오 분석이나 정책 대안 제시가 필요함 - 경제성 편익분석도 양호한 것으로 파악되지만 정부의 정책 방향에 맞게 과학 영토 확장 부분을 강조할 필요가 있음 - 수요조사를 통해 확보된 연구 주제 중 국제적으로 선도할 수 있는 연구 주제들을 선정하고 이에 특화된 내륙 기지의 개념 설계가 필요함 - 1차년도 성과를 기반으로 향후 남극 내륙기지 구축의 과학적·경제적 타당성을 입증하고 국제협력 기반 R&D 추진 필요성을 강조할 필요가 있음 ○ 최종보고서에 반영할 내용 - 국제협력 R&D 발굴 분야에서 3가지 과제를 제시하였는데, 내륙기지 건설 사업 규모 및 운영 기간에 비하여 너무 적은 것으로 보임. - 자세히 기획된 3가지 과제 외에 검토된 다른 국제 협력 R&D 사업들이 있다면, 간략한 사업 계획을 제시하여 내륙기지가 많은 수의 R&D 사업의 기획에 활용될 수 있음을 보여주는 것이 내륙기지 사업 예산 확보에 도움이 될 것으로 생각됨 - 시추할 후보지가 선정되어 있어야 내륙기지 건설의 당위성에 도움이 될 것으로 생각되므로 빙저호 시추의 후보 빙저호에 대한 구체적인 제시가 필요함 - 정책, 과학, 기술, 국제협력 등 다수의 목적을 동시에 제시하고 있으나, 우선순위나 상호관계가 명확하게 구조화되어 있지 않아 무엇이 핵심 전략 목표인지 파악하기 어려움 - 국내외 극지 연구성과 분석 부분에서 연구소 다른 정책연구/보고서 등에서 활용되어 온 인프라별 구분, 성과의 원인분석 등이 모호함. 국외 내륙기지 건설과 관련한 연구성과만 분석한 결과를 추가하였으면 함 - 시각자료나 표 형식 요약이 적어 비전문가 대상의 전달력 또한 개선의 여지가 있음 - 국제협력 R&D 프로젝트의 구체적 실행계획이나 장기적 파급 효과에 대한 전략 제시 필요 - 해외 기지 건설과 논문 수 증가에 대한 관계성 분석이 새로 이루어져야 할 것으로 사료됨 ○ 기타 종합의견

	- 추후 해수부에 R&D 주제로 제출할 정도의 완성도는 갖추고 있기 때문에 지속적으로 부처와의 소통을 통해 기지 건설의 필요성 등을 설득해나가야 할 것으로 판단됨 - 국제 협력 분야가 심부빙하, 빙저호, 고층대기 연구 정도로 판단되는데, 내륙에서 운영되는 기지들의 주요 연구 분야에 대한 동향 조사를 통해 해당 연구들이 실제로 가장 많이 수행되는 분야임을 뒷받침할 수 있는 근거 제시 필요함. - 내륙기지에서의 주요 핵심 시설은 심부 빙하 시추 및 천문 우주 관측을 위한 돔 시설일 것으로 보임. 그러나 내륙기지 개념 설계나 예상도에는 이들 핵심 시설이 부대시설 정도로만 설명되고, 월동을 위한 기본 기지 시설만이 개념 설계된 느낌을 줌. 따라서 향후 핵심 시설을 고려한 기지 개념 설계 추가가 필요하며, 기지 활용 연구 주제가 명확하게 드러날 수 있도록 내륙기지 예상도 작성이 필요함 - 고정효과로 선정된 4가지 과제 중 심부빙저호 시추의 경우, 시추할 빙저호의 구체적인 선정이 선행되어야 내륙기지 건설의 당위성을 설명할 수 있음. 기지 건설 후 시추 빙저호를 찾겠다는 접근은 빙저호 시추 과제의 실패가능성을 높은 것이므로 향후 지적 가능성 있음 - 보고서 상에서는 B/C 분석 결과가 1.63으로 기지 건설의 타당성을 뒷받침한다고 명시되지만, 해당 수치는 편익 추정치 근거가 불명확하거나 과도하게 낙관적으로 산정된 측면이 있음. 특히 편익으로 제시된 국제 위상 강화, 과학적 파급효과 등의 항목은 실증 가능성이 낮고, 정량화 논리가 부족해 실제 정책 결정에서 설득력을 갖기 어려울 수 있음 - 기지 구축의 추진 시나리오나 단계별 로드맵이 구체적이지 않으며, 정책 결정자나 예산 당국 입장에서 선택 가능한 대안적 방안(A-B-C 시나리오 등) 이 전혀 제시되지 않아 전략적 설계로서의 완성도가 낮음 - 목적 중심의 간결한 전략 구성과 정책결정자 중심의 설득 프레임 강화 필요 - 남극 내륙 기지 건설 및 운영을 위한 다양한 연구 개발 계획을 담고 있으며, 환경 영향 평가, 친환경 수처리 시스템 구축, 에너지 시스템 신뢰성 확보 등 중요한 측면을 다루고 있음. 전반적으로 체계적인 연구 계획과 구체적인 목표 설정이 돋보이며, 성공적인 기지 건설 및 운영에 필요한 기술적 기반을 마련하는 데 기여할 것으로 기대됨

연구·정책지원사업 최종 결과보고서 평가의견 반영사항

과제 구분	(정책·지원과제)		
과제명	남극내륙기지 개념설계alc 내륙기지 기반 국제협력 R&D 사업 발굴 기획연구 (계정번호: PF24520)	연구기간	2024.03. ~ 2025. 02.
연구책임자	이강현	연구비(직접비)	120,000천 원
과제개요, 연구성과 및 최종 결과보고서 평가의견 반영 사항			
(1) 과제목적 ◦ 남극내륙기지 기반 기술수준 분석 ◦ 남극내륙기지 건설을 위한 경제성 분석 ◦ 남극내륙기지 기반 국제협력 R&D 발굴 (2) 최종성과 ◦ 남극내륙기지 조감도 ◦ 남극내륙기지 건설 기획 홍보 포스터 ◦ 남극내륙기지 건설 기획 홍보 동영상 ◦ 남극내륙기지 건설 및 운영시스템 구축사업 기획보고서 ◦ 남극내륙기지 기반 국내 연구수요 ◦ 남극내륙기지 기반 국제R&D 협력을 위한 LoI 연구협약서 3건 (3) 성과의 향후 연구소 활용방안 또는 기대효과 ◦ 남극내륙기지 건설 국가 R&D 사업개발 추진을 위한 기획보고서 활용 ◦ 국내외 남극내륙기지 건설 홍보에 활용 ◦ 남극내륙기지 건설 수행 시, 본 과제에서 체결한 LoI 연구협약서를 기반으로 국제R&D 연구협력 수행 (4) 최종 결과보고서에 평가의견 반영 사항			
평가의견	반영사항	비고	
◦국제협력 R&D 발굴 분야에서 3가지 과제를 제시하였는데, 내륙기지 건설 사업 규모 및 운영 기간에 비하여 너무 적은 것으로 보임.	◦본 기획과제에서 제시한 3가지 과제는 현재 남극내륙기지를 운영하는 국가에서 공통적으로 수행하는 대표과제로서 타 국가와 비교했을 때 적절한 것으로 보이며, 해당 과제 수행종료 시점인 2030년대 중반 이후의 운영계획은 현 시점에서 제시하는 것이 무의미하다고 판단됨	평가의견 소명	
◦자세히 기획된 3가지 과제 외에 검토된 다른 국제 협력 R&D 사업들이 있	◦본 기획과제 결과를 바탕으로 소내 다양한 연구부서와 함께 협력하여국제협	평가의견 소명	

다면, 간략한 사업 계획을 제시하여 내륙기지가 많은 수의 R&D 사업의 기획에 활용될 수 있음을 보여주는 것이 내륙기지 사업 예산 확보에 도움이 될 것으로 생각됨	력 R&D 사업을 추가 발굴함으로써 평가의견에 제시된 바와 같이 향후 예산확보 작업 시, 많은 수의 내륙기지 활용 수요를 확보하도록 추진하겠음	
◦시추할 후보지가 선정되어 있어야 내륙기지 건설의 당위성에 도움이 될 것으로 생각되므로 빙저호 시추의 후보 빙저호에 대한 구체적인 제시가 필요함	◦본 기획과제의 이전 과제인 '남극내륙기지 건설 및 운영 종합계획 수립 기획연구'(PE23520)을 통해 남극내륙기지 후보지는 콘코르디아와 보스톡 기지 중간지점으로 제시한 바 있으며, 빙저호 시추 후보지는 제6기 기관고유사업을 통해 탐사를 진행하여 선정할 예정임	평가의견 소명
◦정책, 과학, 기술, 국제협력 등 다수의 목적을 동시에 제시하고 있으나, 우선순위가 상호관계가 명확하게 구조화되어 있지 않아 무엇이 핵심 전략 목표인지 파악하기 어려움	◦본 기획과제에서 제시한 남극내륙기지의 과학적, 기술적, 경제적, 사회적, 정책적 필요성은 각각의 관점에서 필요성을 제시한 것으로 우선순위 선정의 대상이 아니라고 사료됨. 다만 각 필요성 간의 상호관계의 경우, 과학적 필요성은 대승적 차원의 필요성이며 이를 이루기 위한 방법론 차원에서 기술적 필요성이 제시됨. 또한 기술적 필요성에 의해 개발된 기술 혹은 인프라가 국가경제에 기여할 수 있는 결론론 차원에서 경제적 필요성을 제시하였으며, 동시에 국제사회 지정학적 우위 확보라는 경제 외적인 국가적 이익 창출 필요성을 사회적 필요성으로 제시함. 마지막으로 정책적 필요성은 정부에서 에서 공표한 법정 기본계획에 직접적으로 명시되어 있는 사업추진의 근거를 제시하였다고 판단됨. 따라서 동시에 제시한 다수의 목적 모두가 핵심전략이 되어야 한다고 사료됨.	평가의견 소명
◦국내외 극지 연구성과 분석 부분에서 연구소 다른 정책연구/보고서 등에서 활용되어 온 인프라별 구분, 성과의 원인분석 등이 모호함. 국외 내륙기지 건설과 관련한 연구성과만 분석한 결과를 추가하였으면 함	◦최근 극지연구가 어느 하나의 인프라를 활용한 연구보다는 다양한 지역에서의 현장연구와 관측자료, 시료 분석, 자료 해석이 종합적으로 연계되어 수행되고 있으며, 특히 다학제 연구의 중요성이 대두되면서 인프라별 구분이	평가의견 소명

	나 인프라가 성과창출에 기여한 정도를 딱 잘라서 구분하는 것이 무의미하다고 사료됨. 특히 국내외 모두 국가주도의 대형 인프라 구축 시 연구예산 증가로 이어지는 경향이 뚜렷하여 모든 인프라를 아울러 성과분석을 하는 것이 적절하다고 판단됨	
◦시각자료나 표 형식 요약이 적어 비전문가 대상의 전달력 또한 개선의 여지가 있음	◦향후 남극내륙기지 건설 R&D 예산확보에 활용하기 위해 본 과제를 통해 제작한 남극내륙기지 구축 및 운영을 위한 기획보고서는 부록을 제외하고 총 530페이지로 작성되었으며, 본문에 200개의 표와 189개의 그림이 포함되어 있어 대략 1.3 페이지 당 1개의 표 혹은 그림이 수록되어 있는 것으로 계산됨. 이 정도의 시각자료 비율은 여타 기획보고서와 유사한 수준인 것으로 사료되며, 비 전문가 대상으로 충분한 전달력을 가지고 있다고 판단됨. 또한 본 기획과제를 통해 제작한 홍보 포스터와 동영상상을 통해 인쇄 매체 이외 형태의 시각자료도 제작된 점을 고려할 때, 평가의견에 제시된 시각자료가 적다는 의견에 동의하기 어려움.	평가의견 소명
◦국제협력 R&D 프로젝트의 구체적인 실행계획이나 장기적 파급 효과에 대한 전략 제시 필요	◦남극내륙기지 건설이 확정되지 않은 상황에서 해외 전문기관과 구체적인 실행계획을 논의하는 것은 한계가 있을 뿐 아니라 만일 내륙기지 건설사업이 개발되지 못할 경우 해외 기관에 국내 극지연구 전반에 대한 불신감을 심어줄 수 있다고 판단되며, 따라서 구체적인 실행계획이나 장기적 파급효과 등은 내륙기지 건설사업 개발이 확정된 이후에 진행하는 것이 적절하다고 판단됨	평가의견 소명
◦해외 기지 건설과 논문 수 증가에 대한 관계성 분석이 새로 이루어져야 할 것으로 사료됨	◦본 기획과제에서 수행한 게재논문건수를 통한 성과분석은 40,000건이 넘는 게재 논문을 분석대상으로 진행한 결과로서 이러한 분량의 논문을 하나하나 조사하여 기지건설과의 연관성을 확인하는 것은 물리적으로 불가능하	평가의견 소명

	며, 5번째 평가의견에 대한 답변에도 제시했듯이 국가 주도의 대형 인프라 구축이 극지연구에 투자되는 예산 증 가에 기여한다는 사실은 부정할 수 없 기에 본 기획과제의 성과분석이 타당 한 논리를 갖고 적절하게 수행되었다 고 판단됨	





주 의

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