

연구보고서

# 극지현장 수중로봇의 효율적 운용에 필요한 보조장비 및 관련기술 조사

Study of auxiliary equipment and related technologies  
required for efficient operation of underwater robots in  
polar fields



연구기관

극지연구소

2023. 11. 30.

선박해양플랜트연구소



# 제 출 문

선박해양플랜트연구소장 귀하

본 보고서를 “극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발”에 관한 연구과제(위탁과제 “극지현장 수중로봇의 효율적 운용에 필요한 보조장비 및 관련 기술 조사”에 관한 연구)의 보고서로 제출합니다.

2023 . 11 . 30.



연구수행기관명 : 극지연구소 기술개발지원실

연구책임자 : 신 동 섭

참여연구원 : 이 주 한  
최 형 규  
정 창 현  
윤 동 진  
김 형 권  
나 형 술



## 보고서 초록

과제고유 번호	PG23050	해당단계 연구기간	23.3.1~23.11.30	단계 구분	
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	위탁과제			
연구과제명	대과제명	극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발			
	세부과제명	극지현장 수중로봇의 효율적 운용에 필요한 보조장비 및 관련기술 조사			
연구책임자	신동섭	해당단계 참여연구원수	총 :       명 내부:       명 외부:       명	해당단계 연구비	정부:       천원 기업:       천원 계 :        천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 7 명 내부: 7 명 외부:       명	총 연구비	정부: 2,000천원 기업:       천원 계 : 2,000천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 기술개발지원실		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	35
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 활용되는 크레바스 탐지기술 자료조사</li> <li>- 수중로봇 탐사에 필요한 보조연구기술 조사</li> <li>- 극지 수중로봇 활용 해빙 하부 및 빙저호 내부 탐사 필요 기술조사</li> <li>- 해당 연구지역까지 수중로봇을 필요한 다양한 부대장비들을 효율적으로 운송 및 활용가능 보조장비 및 관련기술 조사</li> </ul>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	수중 무인로봇, 원격탐사, GPR, 라이다, 단열재, 패키징, 안전, 이동 경로, 컨테이너			
	영 어	underwater Robot, Remote Sensing, GPR, LiDar, Insulation, Packaging, Safety, Container			



# 요 약 문

## I. 제 목

극지현장 수중로봇의 효율적 운용에 필요한 보조장비 및 관련기술 조사

## II. 연구의 목적 및 필요성

극지 무인수중로봇 ICT원천기술개발을 위해 극지 수중로봇 활용예정 지역의 탐사에 필요한 탐사기술과 이에 필요한 보조장비 관련한 기술조사가 필요하다. 활용될 지역을 탐사하는데 필요한 기술들은 탐사를 성공적으로 수행하는데 필요한 기술과 보조장비 관련 기술조사는 ICT원천기술 확보를 위한 무인로봇 개발 설계에 필요하다.

## III. 연구내용 및 범위

- 극지 수중로봇활용을 위한 탐사기술 자료 조사
- 극지 수중로봇 활용에 필요한 보조장비 관련 최신기술 조사

## IV. 연구결과

- 극지 수중로봇을 활용한 탐사에 필요한 다양한 탐사기술 조사
- 극지 수중로봇 활용에 필요한 보조장비 및 최신기술 조사를 통한 수중로봇 적용 가능성

# S U M M A R Y

## I. Title

Study of auxiliary equipment and related technologies required for efficient operation of underwater robots in polar fields

## II. Object and necessity

In order to develop ICT source technology for polar unmanned underwater robots, it is necessary to conduct technical research on the exploration technology and auxiliary equipment required for exploration of areas where polar underwater robots are planned to be used. The technologies needed to explore the area to be utilized are necessary for successful exploration, and technical research on auxiliary equipment is necessary for designing the development of unmanned robots to secure ICT source technology.

## III. Contents and Extents

- Investigation of exploration technology data for use of polar underwater robots
- Research on the latest technology related to auxiliary equipment required for the use of polar underwater robots

## IV. Result

- Investigation of various exploration technologies required for exploration using polar underwater robots
- Applicability of underwater robots through investigation of auxiliary equipment and latest technology required for polar underwater robot use



# C O N T E N T S

Chapter 1	Introduction .....	5
Section 1	Object of research .....	5
Section 2	Substance of research .....	5
Chapter 2	Main Chapter .....	6
Section 1	Investigation of exploration technology data for use of polar underwater robots .....	6
Section 2	Research on the latest technology related to auxiliary equipment required for the use of polar underwater robot .....	14
Chapter 3	Conclusion .....	33



# 목 차

제1장 서론 .....	5
제1절 연구목표 .....	5
제2절 연구내용 .....	5
제2장 본론 .....	6
제1절 극지 수중로봇 활용을 위한 탐사기술 자료 조사.....	6
1.1 GPR(Ground Penetrating Radar).....	6
1.2 Aerial Surveys.....	7
1.3 Satellite Imagery.....	9
1.4 IPR(Ice-Penetrating Radar).....	12
제2절 극지 수중탐사활용에 필요한 보조장비 관련 최신기술 조사.....	14
2.1. 패키징 .....	14
2.2. 이동.....	15
2.3. 에너지 공급.....	18
2.4. 안전 장비/통신 장비.....	21
2.5. 이동경로 예측 기술.....	23
2.6. 실시간 극지 연구활동 모니터링.....	24
2.7. 적정 온도 유지기술.....	26
2.8. 이동용 컨테이너.....	31
제3장 결론 .....	33

# 제1장 서론

## 제1절 연구목표

본 과제는 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발을 위해 필요한 극지 수중로봇의 효율적 운용에 필요한 보조장비 및 관련기술 조사로 극지 수중로봇활용을 위한 탐사기술 자료와 활용에 필요한 보조장비 관련 기술조사가 핵심이다. 본 과제수행을 위해 탐사기술 자료조사부분의 경우 총 4가지 기술, 보조장비 관련 최신기술의 경우 총8가지 기술을 중심으로 기술자료를 조사하였다.

## 제2절 연구내용

위의 세부 목표에 따른 주요 연구내용은 아래와 같다.

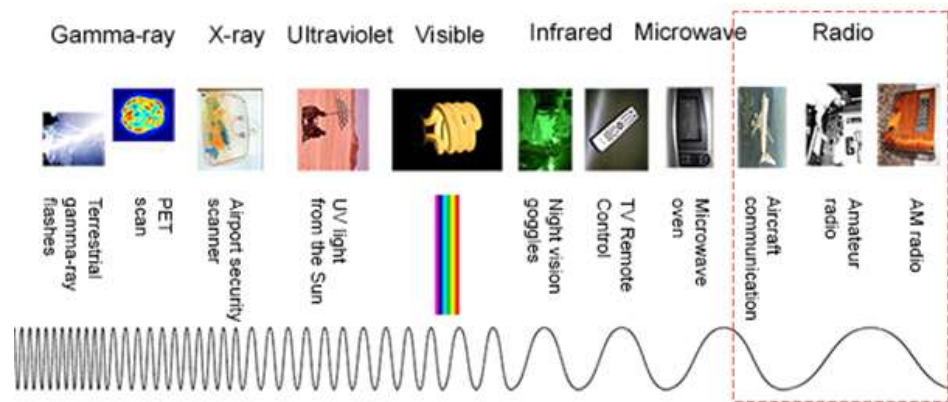
- 극지 수중로봇활용을 위한 탐사기술 자료조사 :
  - GPR(Ground Penetrating Radar)
  - Aerial Surveys
  - Satellite Imagery
  - IPR(Ice-Penetrating Radar)
- 극지 수중로봇활용에 필요한 보조장비 관련 최신기술 조사 :
  - 패키징
  - 이동
  - 에너지 공급
  - 안전 장비/통신 장비
  - 이동경로 예측 기술
  - 실시간 극지 연구활동 모니터링
  - 적정 온도 유지기술
  - 이동용 컨테이너

## 제2장 본론

### 제1절 극지 수중로봇 활용을 위한 탐사기술 자료 조사

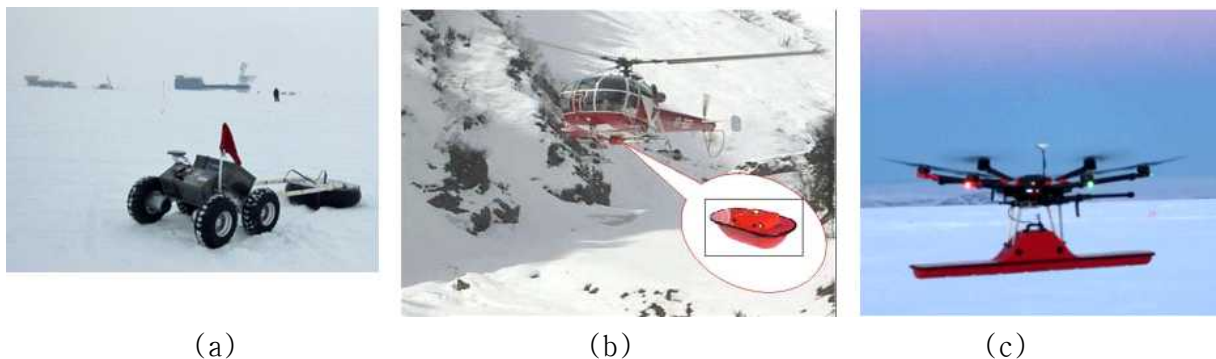
#### 1.1 GPR(Ground Penetrating Radar)

GPR(Ground Penetrating Radar)은 전파를 대지나 빙하와 같은 매체에 발사하고 반사되어 오는 전파의 시간을 측정하여 지각하부나 빙하하부 등의 구조를 파악하는데 많이 사용되는 기술 중 하나이다. 이러한 기술은 발사한 전자기파(Radio Wave)가 하부로 투과한 후, 다른 물체나 구조물과 상호작용함에 따라 발생하는 반사를 감지하고 이를 이미지화 함으로써 하부구조를 분석하거나 하부에 어떤 물체가 존재하는지 등을 알 수 있도록 해 준다.[20]



<그림 1> GPR사용 주파수 대역

과거 GPR탐사는 사람이 직접 장비를 끌고 다니는 형태가 주를 이루었으나 이후 무인 이동체에 장비를 연결하거나 헬리콥터, 소형비행기, 최근엔 드론에도 연결하여 위험한 지역을 직접 지나가지 않고도 탐사를 수행할 수 있다.[17]



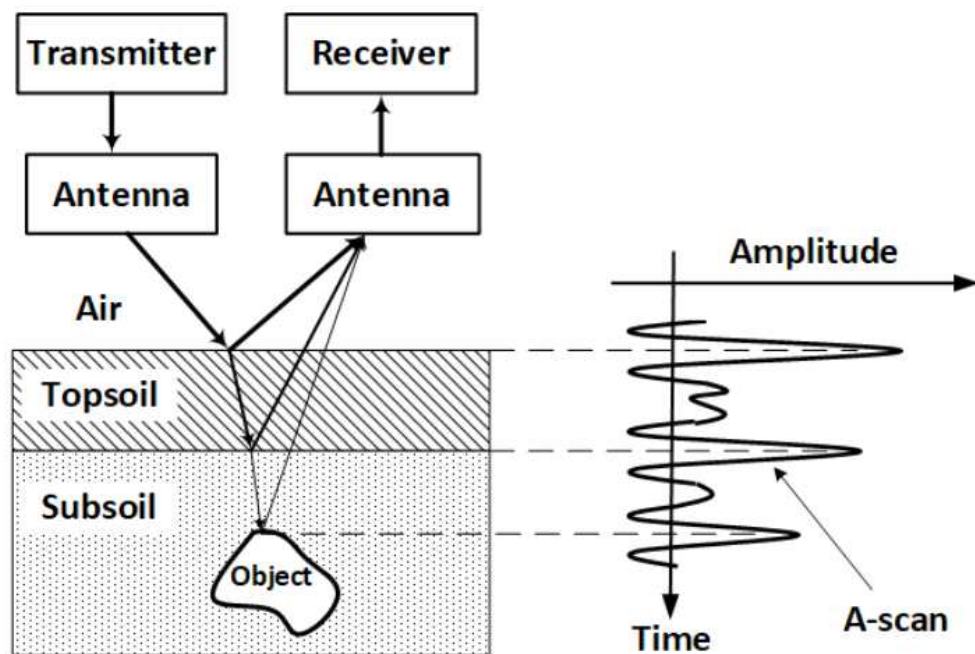
(a)

(b)

(c)

<그림 2> (a)무인이동체를 통한 GPR탐사, (b)헬기를 활용한 GPR탐사, (c)드론을 활용한 GPR탐사

GPR 탐사시 자료를 획득하는 방법은 아래와 같이 Radio Wave대역의 전자기파를 발사하고 이 전자기파는 지층하부나 빙하하부를 통과하거나 반사하게 된다. 전자기파가 하부구조를 통과하면서 반사되는 신호는 수신부로 다시 수신되어 이 신호는 하부 구조의 특성에 따라 반사하는 정도가 다르게 된다. 수신 단에서 수신한 반사 신호는 데이터처리장치로 전송되고 분석을 통해 지층이나 빙하하부의 구조물의 위치, 깊이, 두께 등을 파악하게 되며 이를 통해 하부 얼음 층, 바위 층, 빙하 내부 구조 등을 이해할 수 있다.[16]



<그림 3> Ground Penetrating Radar(GPR) 원리[25]

GPR탐사는 건축 구조물 탐지, 지하 구조물 탐지, 고고학적 유물 탐지등 다양한 분야에 활용되며 특히 지질조사분야에 많이 사용되는 탐사방법으로 남극의 크레바스탐사에도 가장 많이 활용되는 탐사이다. 하지만 GPR탐사는 비파괴 검사의 일종으로 기존 구조나 물체를 파괴하지 않고 탐지 및 분석이 가능하나 지질의 종류와 특성, 특히 빙하의 특성에 따라 탐사결과가 달라질 수 있어 정확한 탐사결과를 위해 환경에 대한 정확한 설정과 자료판독이 가능한 경험치가 요구된다.

## 1.2 공중탐사(Aerial Surveys)

항공기나 드론 등을 이용하여 지상에서는 보이지 않는 지역이나 지형을 조사하고 데이터를 수집하는 공중탐사(Aerial Surveys)를 통해 지리적 정보, 지형지물, 도로, 건물, 작물, 자연 환경 등 다양한 정보를 수집할 수 있다.

공중탐사는 아래와 같은 다양한 종류와 방법으로 이뤄지고 있다.

## 가. 항공기

고정의 항공기나 헬리콥터를 사용하여 고해상도 사진이나 비디오를 촬영하는 방식이며 카메라, LiDAR, 열화상 카메라, GPR, IPR 등을 장착하여 탐사를 하게 된다. 지정된 경로를 따라 비행하거나, 때에 따라 그리드 패턴으로 지정된 지역을 완전히 커버하는 형태로 비행하게 되며 카메라는 일정한 간격으로 사진을 촬영하여 전체 지역을 포괄하는 이미지를 얻기도 한다.[2]



<그림 4> 헬리콥터에 GPR장착 모습

## 나. 드론

작은 무인 항공기라고 불리는 드론을 활용하여 카메라, LiDAR, 적외선 카메라, GPR 등을 장착하여 다양한 지형을 조사하며 항공기보다 달 수 있는 무게의 한계로 대형카메라나 센서 보다는 상대적으로 무게가 가벼운 소형을 주로 많이 장착하여 탐사를 하게 된다.

드론탐사는 사전에 프로그래밍된 경로를 따라 비행하거나 조종사에 의해 조종하는 방식으로 이뤄지며 항공기를 활용한 탐사보다 더 작은 영역을 더 상세하게 조사할 수 있는 장점이 있다.



<그림 5> GPR-drone[26]

이러한 방법들은 일반적으로 지도 작성, 환경 모니터링, 도시 계획, 재난 대비, 농업 등 다양한 분야에서 활용되며 데이터 수집 후, 이를 분석하여 특정한 목적에 맞게 활용되기도 한다. 특히 남극과 같은 위험요소가 많은 지역의 안전을 위한 크레바스 탐사에도 많이 사용되는 탐사방법 중 하나이다.

남극에서의 공중탐사는 환경 연구, 지리학적 조사, 기후 연구, 자원 탐사 등의 다양한 목적으로 활용되고 있다. 남극 대륙은 대부분 빙하로 덮여 있어 지형이 매우 다양하기 때문에 공중탐사는 이 지역의 지형과 지리적 특성을 단시간에 조사하여 지도화하고, 지형 변화나 빙하의 움직임을 연구하는 데 유용한 조사방법이다.

남극은 지구 환경 및 기후에 큰 영향을 미치는 중요한 지역으로 공중탐사를 통한 빙하의 두께, 빙하의 운동, 해빙 및 얼음의 변화 등을 연구하여 기후 변화에 대한 이해를 높이고 환경 변화 모니터링으로 기후 및 환경연구에 활용할 수 있으며 자원을 포함한 다양한 지형과 생태계를 가지고 있기 때문에 자연 생태계와 생물 다양성을 조사하여 보전과 관리에 도움이 되는 정보를 제공하는데 활용될 수 있다. 남극에서는 극지역 특성상 항공 사고나 긴급 상황이 발생할 수 있어 비행경로 및 빙하 상황 등을 파악하여 항공 안전을 지원하고, 긴급 구조 활동에 필요한 정보를 제공하는데도 활용가능하다.

이러한 목적으로 남극에서의 공중탐사는 항공기나 드론을 활용하여 다양한 센서와 장비를 이용하여 데이터를 수집하고 분석하고 이는 남극 지역의 이해를 높이고, 그 지역의 자원과 환경을 보존하고 관리하는 데 중요한 역할을 한다.

### 1.3 Satellite Imagery

위성 영상 기술은 항공기나 드론이 아닌 위성을 통해 지구 표면의 이미지를 촬영하는 기술로 남극에서 다양한 목적으로 사용된다.[2][3]

위성 영상을 통해 얼음층과 빙하를 관찰하고 빙하의 두께, 구조, 운동 등을 모니터링, 기후 변화에 따른 얼음층의 변화를 연구, 고해상도 이미지는 남극 지형의 지도화에 활용된다.

남극 지역의 기후를 모니터링, 해빙, 빙하 녹는 정도, 지표 온도 등의 모니터링을 통해 기후 변화에 대한 데이터를 수집하고 분석하여 예측이 가능하며 남극의 자연 환경 변화를 관찰하고 생태계의 변화나 환경오염 등을 탐지한다. 또한 해빙, 얼음층의 변화 등으로 인한 해양 및 생태계의 영향을 조사하는데 활용된다.

위성 영상 기술은 광학, 열적외선, 레이더 센서 등을 사용하여 지구 표면의 다양한 정보를 수집하고, 수집된 자료는 남극 지역의 지형, 기후, 환경 변화 등을 연구하는 데 사용하며 이를 통해 지구 환경에 대한 이해를 높이고, 환경 보전 및 관리에

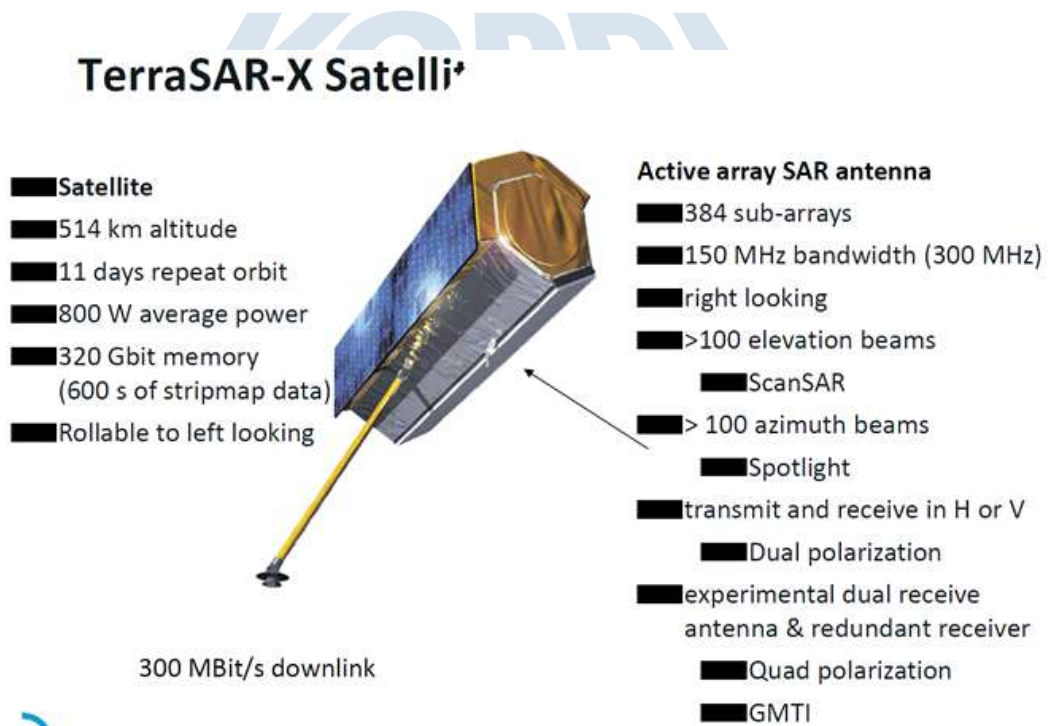
기여할 수 있다.

남극 탐사를 위해 사용되는 여러 종류의 SAR (Synthetic Aperture Radar) 위성 중 몇 가지 대표적인 SAR 위성을 살펴보고자 한다.[19]

가. Sentinel-1: 유럽 우주국(ESA)이 운영하는 Sentinel 프로그램의 일부로, 지구 관측을 위한 레이더 위성으로 지구 표면의 관측을 위해 C 밴드의 SAR를 사용한다. 높은 해상도의 이미지 제공으로 지형, 빙하, 해빙 등을 모니터링하는 데 사용된다.

나. RADARSAT Constellation Mission (RCM): 캐나다 우주국이 운영하는 레이더 위성으로, 세 개의 위성으로 구성되어 있으며, C 및 X 밴드의 SAR를 사용하여 지구 표면을 관측하며, 남극의 얼음층과 지형을 조사하는 데 활용된다.

다. TerraSAR-X: 독일 우주국인 DLR이 운영하는 위성으로, X 밴드의 SAR 기술을 사용하며 높은 해상도의 이미지를 제공하여 지질학, 지형, 빙하의 변화 등을 연구하는 데 사용된다.



(a)



band	frequency $f_0$	wavelength $\lambda = c/f_0$	typical application
Ka	27 – 40 GHz	1.1 – 0.8 cm	airport surveillance
K	18 – 27 GHz	1.7 – 1.1 cm	little used (H <sub>2</sub> O absorption)
Ku	12 – 18 GHz	2.4 – 1.7 cm	<b>satellite altimetry</b>
X	8 – 12 GHz	3.8 – 2.4 cm	<b>SAR</b> , marine radar, weather radar
C	4 – 8 GHz	7.5 – 3.8 cm	<b>SAR</b> , weather radar
S	2 – 4 GHz	15 – 7.5 cm	long-range weather radar
L	1 – 2 GHz	30 – 15 cm	<b>SAR</b> , traffic control
P	0.3 – 1 GHz	100 – 30 cm	experimental SAR

(b)

<그림 6> (a) TerraSAR-X 위성 제원과 (b) SAR 위성 사용 주파수대역

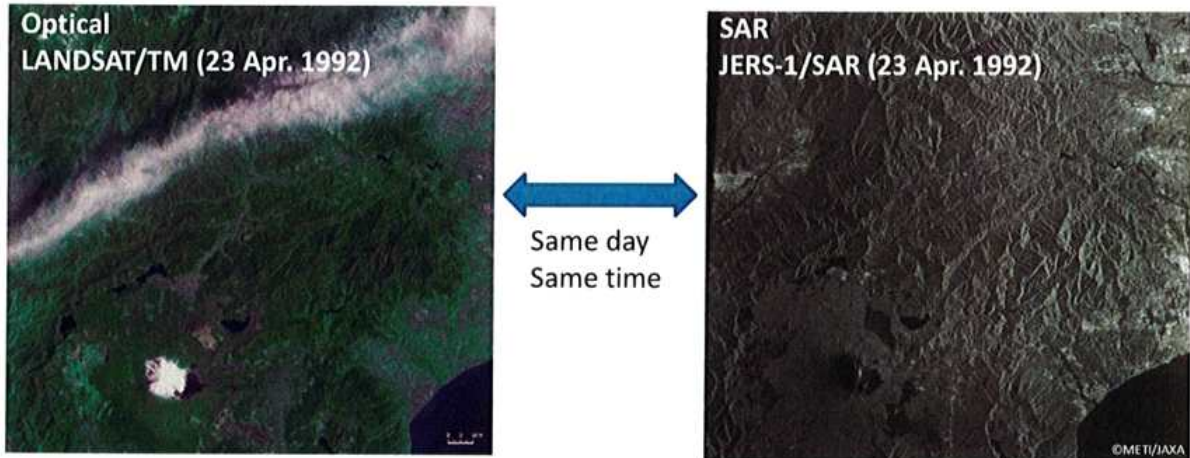
SAR 위성을 통한 남극 탐사 기술을 살펴보면 SAR 위성은 마이크로파 레이더를 사용하여 지구 표면에 전파를 방출하고 이 전파는 얼음이나 지표면에서 반사되거나 흡수된다. 이중 지표면에서 반사된 레이더 신호는 위성으로 되돌아와 수신되며 이 반사된 신호는 지표면의 특성에 따라 다르게 변형되기 때문에 수신된 신호를 분석하여 위성은 지구 표면의 이미지를 생성하게 된다. SAR 기술은 위성의 움직임과 레이더의 방향성을 조절하여 고해상도의 이미지를 생성하게 되며 SAR 위성은 흐린 날씨, 밤이나 어두운 환경에서도 활동할 수 있어 남극과 같이 극지역의 특수한 환경에서도 연구에 많은 활용이 가능하다.[4]

이러한 SAR 위성은 얼음층의 두께, 지형 변화, 빙하 운동, 해빙 등을 모니터링하고 연구하는 데 필수적인 도구로 사용되며 특히 극지역에서의 기상 조건이 극심할 때에도 지속적으로 데이터를 수집하여 남극 지역의 변화를 연구하고 이해하는 데 활용되고 있다.

위성을 활용한 탐사시 광학(Optical) 이미지와 SAR(Synthetic Aperture Radar) 이미지가 사용되며 각 이미지별 특징을 살펴보면 광학 이미지는 다양한 색상 정보를 제공하여 시각적으로 정보 파악이 가능한 반면 날씨 조건에 민감하여 구름, 안개등이 있는 날에는 이미지 품질이 저하되거나 촬영이 힘든 점이 있다. SAR 이미지는 날씨와 일조상황과 관계없이 이미지를 촬영할 수 있는 장점이 있는 반면 광학 이미지처럼 색상정보가 아닌 반사된 전파의 특성을 기반으로 하는 정보로 인해 해석의 어려움이 존재한다.

	Pros	Cons
SAR Sensors	<ul style="list-style-type: none"> <li>Not dependent on clear sky/time of day</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Difficult to interpret the imagery</li> <li>Geometric Distortion</li> </ul>
Optical Sensors	<ul style="list-style-type: none"> <li>Similar to the image by digital camera</li> <li>Acquired imagery like view from sky</li> <li>Easy to interpret the imagery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cannot observe under <u>the</u> bad weather condition/night time</li> </ul>

<표 1> 광학이미지와 SAR이미지 비교



<그림 7> 같은 지역, 같은 시각에 촬영된 광학이미지와 SAR이미지[18]

남극에서는 날씨변화가 심하고, 밤이 길게 이어지는 등의 특성 때문에 SAR 이미지가 더욱 유용하게 활용되며, 필요시 광학 이미지와 결합하여 보다 전체적인 정보를 얻는 형태로 활용되고 있다.

#### 1.4 IPR(Ice-Penetrating Radar)

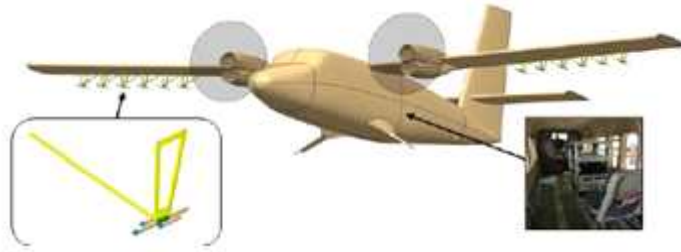
IPR(Ice-Penetrating Radar)은 얼음을 통과하여 지하 구조를 탐사하는 레이더 기술로 얼음과 빙하 안쪽의 구조를 조사하여 지하 지형과 얼음 층의 특성을 이해하고 모니터링하는 데 사용된다. 남극에서는 다음과 같은 방식으로 IPR 기술이 활용되고 있다.

가. 빙하 및 얼음 조사: 남극의 빙하와 얼음층을 통과하여 지하 구조를 탐사하고 이를 통해 얼음 층의 두께, 구조, 밀도, 녹는 정도 등을 조사하여 빙하의 물리적 특성을 이해한다.

나. 지하 지형 모니터링: 지하 얼음 아래의 지형을 탐사하여 지하 호수, 강, 지하 얼음의 특이한 구조 등을 탐지하며 이는 지하 지형의 특성을 이해하고 지질학적인 연구를 가능케 한다.

다. 빙하 운동 연구: 빙하 내부의 구조를 파악함으로써 빙하의 운동 패턴을 이해하고 이는 빙하의 움직임, 녹는 정도, 기후 변화에 따른 빙하의 반응 등을 연구하는데 중요한 자료로 활용된다.

라. 생태계 및 자원 탐사: 얼음 아래에 있는 호수나 지하 생태계를 발견하여 연구하거나, 자원 탐사를 위해 얼음 아래에 숨겨진 지형을 탐사할 때도 사용된다.



	UWB radar sounder/imager	Comment
Frequency range	170-470 MHz	Bandwidth selectable
Transmit power	0.5-1 kW	Determined by the power available from the aircraft
Mode of operation	Chirped pulse	
Antenna	16-element cross-track array under both wings	
Gain	10-14 dBi	
Pulse widths or chirp length	1 $\mu$ s and 10-20 $\mu$ s	1 $\mu$ s for shallow ice and 10-20 $\mu$ s for ice thicker than 1 km
Pulse repetition frequency	10 kHz	
Waveform generation	8-channel DDS	
Digitization	14-bit	

<그림 8> 남극탐사에 활용된 IPR 제원

그림 8은 올해 극지연구소에서 남극탐사시 활용했던 IPR개념도와 제원을 보여주고 있다. IPR은 남극에서 빙하 및 얼음층의 내부를 탐사하여, 빙하의 특성과 지하구조를 조사하고 이해하는 데 중요한 도구중 하나로, 이를 통해 기후 변화에 따른 빙하의 변화를 모니터링하고, 지구 환경 및 지질학적 이해를 증진시키는 데 활용될 수 있다.

## 제2절 극지 수중탐사활용에 필요한 보조장비 관련 최신기술 조사

### 2.1 패키징

남극에서의 장비나 물품 운송 및 보관은 극지역의 특수한 환경에 대한 고려가 필요하다. 이 지역은 극한의 추위와 거대한 얼음층이 특징이기 때문에 운송 및 보관에 있어 특수한 패키징 기술이 필요하다. 저온 내구성 패키징, 단열재 활용, 방수 및 방습처리, 진동 및 충격 흡수재 사용, 진공포장, 극지용 화물 컨테이너 설계등 다양한 기술들이 사용되고 있다.[11]

가. 저온 보존용 패키징: 남극의 추위는 다양한 물품 중 특히 탐사장비나 부품 등에 매우 큰 영향을 미친다. 장비가 동결되거나 파손 등으로 제대로 동작할 수 없는 상황이 발생할 수 있기 때문에, 저온 보존용 패키징은 내부 온도를 유지하고 보호할 수 있는 기술이 필요하며 이를 위해 내부에 열 저항성이 높은 재료를 사용하여 보존성을 높이고, 물품의 온도를 안정화시킬 수 있다.

나. 내습 방지 및 방수 기술: 극지역은 건조한 환경일 수 있지만, 물품이 내습을 방지하고 방수 처리가 되어야 한다. 빙하와 눈이 녹을 경우 습기가 발생할 수 있기 때문에, 물품을 보호하기 위해 방수 기술 적용이 필요하다.

다. 내부 패키징 안정화: 운송 중 물품이 이동하거나 충격을 받을 수 있기 때문에 진동과 충격으로부터 물품을 보호하기 위해 내부 패키징을 설계되어야 한다.

라. 경량화 및 튼튼한 소재 사용: 남극으로의 운송은 운송비용 및 효율성을 고려해야 하기 때문에 경량이면서도 튼튼한 소재를 사용한 패키징 설계가 요구된다. 이는 운송 중 발생할 수 있는 고립된 환경에서의 물품 보호가 중요하기 때문이다.

마. 화학 물질 및 식품 안전성: 남극에서 사용되는 물품 중 화학 물질이나 식품은 안전하게 운송되어야 한다. 이에 대한 특수한 패키징은 해당 물품의 안전성을 보장하고 극지역에서의 사용이 가능하도록 하여야 한다.

이러한 특수한 패키징 기술은 극지역의 특수한 환경에서 물품을 안전하게 운송하고 보관하는 데 큰 역할을 할 것이며, 이는 남극의 과학 연구나 여타 활동에서 필수적으로 고려되어야 하는 부분이다.

## 2.2 이동

혹한의 지역에서 극한 환경과 어려운 조건을 고려하여 특별히 설계된 기술들 중 사람과 장비의 이동을 위해 다양한 기술들이 활용가능하다.

먼저 이동을 위해서는 혹한의 추위를 견딜 수 있는 특수한 의류와 장비가 고려되어야 하며 또한 현재 자신의 위치 파악도 중요한 부분이라 GPS와 내비게이션 기술도 고려되어야 한다. 원하는 목표지점까지 안전한 이동을 위해서는 다양한 이동수단이 활용될 수 있다.

남극과 같은 혹한의 지역에서 이동, 특히 얼음과 눈 위에서 원활하게 움직이기 위해 눈 위에서 움직일 수 있는 특수한 차량이나 슬레이 등의 탈것이 필요하다. 또한 이러한 탈것들은 추위와 얼음에 강한 재료로 만들어져야 하며 엔진이나 전장 등도 특수한 방법으로 보호되도록 제작되어야 한다.

남극에서 사람과 장비를 이동하는 데 사용되는 주요 수단은 다음과 같다.

### 가. 스노우 모빌(Snowmobile)

얼음과 눈 위에서 움직일 수 있는 모터사이클 형태의 차량으로, 얼음 평원에서 의 짧은 이동이나 작은 거리 이동에 사용된다.

### 나. 아크틱 트럭 및 트랙터 트레일러(Tractor and Tractor Trailers)



<그림 9> 아크틱 트럭

대형 장비나 물자를 운반하기 위해 사용되며, 빙하 위에서 무거운 화물을 운반하는 데 사용된다.

### 다. 슬레이(Sledges)

눈 위에서 끌어서 이동하는 특수한 차량으로, 사람이나 소량의 물자를 운반하기 위해 사용된다.



<그림 10> 남극에서 물자 및 인력 수송에 사용되는 시설들

라. 비행기/헬리콥터

극지역에서 이동이 어려운 지형을 뛰어넘어 이동하기 위해 사용되며 남극의 산악 지형이나 빙하 위에서 이동하는 데 특히 유용하다.



<그림 11> 남극에서 활동중인 비행기와 헬리콥터

마. 쇄빙선(Icebreaker)

얼음으로 뒤덮인 남극 바다를 이동하는 경우 얼음을 깨면서도 안전하게 이동을 위해 쇄빙선이 사용된다.



<그림 12> 쇄빙연구선 아라온호

바. 무인기(Unmanned Aerial Vehicle)/드론

헬기나 항공기 운항이 어려운 환경에 무인기는 원격 조정 또는 정해진 항로를 따라 다양한 센서를 부착하여 탐사할 수 있는 방법으로 드론과 함께 최근에 많이 활용되고 있다. 특히 목표점까지 이동을 위한 경로선정을 위한 사전 탐사시 유용하게 활용될 수 있다.



<그림 13> 무인기

사. 보행 및 스키

짧은 거리 이동이나 특정 지형에서는 보행이나 스키를 사용하여 이동한다.

이러한 수단들은 각각의 상황과 목적에 따라 적합한 이동 수단으로 활용되며 남극의 특수한 지형과 환경에 적합한 수단을 선택하여 이동을 보다 안전하고 효율적으로 할 수 있다.

## 2.3 에너지 공급

남극에서 전원을 공급하는 데는 다양한 에너지 공급 기술이 사용된다. 이 지역의 특수한 환경과 극한한 기후를 고려하여 다양한 방법으로 전력을 확보한다.

### 가. 디젤 발전기(Generator)

디젤 발전기는 연료를 연소하여 전기를 생산하며 극지역의 추운 기후에서도 상대적으로 안정적으로 작동할 수 있는 장점이 있다.



<그림 14> 디젤발전기를 사용하여 장비에 전력을 공급  
출처: <https://www.honda.co.uk/industrial/products/generators.html>

### 나. 태양광 발전(Solar Power)

남극의 여름은 24시간 동안 해가 비추는 '백야'기간 동안 태양광 패널을 통해 태양 에너지를 수집하여 전기를 생산하는 방법을 사용할 수 있다. 국내경우엔 태양고도를 고려하여 보통 45°기울기로 설치를 하지만 남극의 경우 태양의 고도가 낮아 거의 수직에 가깝게 패널을 설치하게 된다. 블리자드와 같은 강한 바람에도 견딜 수 있게 견고한 구조로 설치가 되어야하며 특히 겨울엔 태양이 전혀 없는 밤이 지속되는 '흑야'로 인해 전력생산이 어려운 단점이 있다.

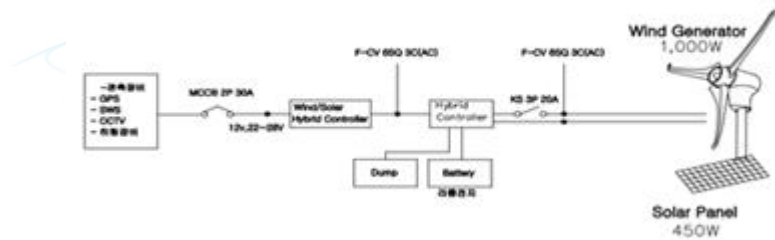


<그림 15> 남극 지진관측을 위한 장비 전력공급을 위한 태양광 설치



#### 다. 풍력 발전(Wind Power)

남극은 강력한 바람이 부는 지역으로, 풍력 발전은 바람을 이용하여 전기를 생산하는 방식이다. 그림 16은 올해 장보고 기지인근에 설치한 풍력발전기로 장비에 안정적인 전원을 공급하기 위해 설치를 하였다. 겨울철엔 태양이 없어 태양광발전은 힘들지만 풍력발전의 경우 겨울에도 전력생산을 할 수 있어 보통 태양광과 풍력을 같이 하나의 시스템으로 설치하는 경우가 많다.



<그림 16> 남극에 설치한 상시 전력공급시스템 설치

#### 라. 핵발전(Nuclear Power)

일부 연구 시설에서는 핵 발전을 통해 전력을 공급하기도 한다. 안정성과 공급량 면에서 유리한 점이 있지만, 안전 문제와 환경 영향 등이 고려되어야 한다. 스테프(Stuff)조사[22]에 의하면 1961년부터 2015년까지 남극대륙에는 45개 이상의 소형 방사선 발전기가 운영되었다고 한다. 방사선 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 원자력전지인 방사성 동위원소 열전기 발전기(RTG:Radioisotope Thermoelectric Generator)는 우주탐사선의 전력원으로 많이 쓰이는 발전기로 수명이 40년 이상 되기 때문에 배터리교체가 쉽지 않은 남극에서 유용한 에너지원 중 하나로 그림 17은 남극 뉴질랜드 스콧기지에서 약 25분 거리에 미국 RTG가 사용되는 예를 보여주고 있다.



<그림 17> 남극 뉴질랜드 스콧기지인근 미국 RTG사용[22]

#### 마. 연료전지(Fuel Cells)

일부 연구소나 시설에서는 연료전지를 사용하여 전력을 공급하기도 한다. 특히 극지역의 추운 기후에서도 상대적으로 안정적으로 작동할 수 있는 장점이 있다. 다양한 연료전지들이 개발되고 사용되고 있으며 남극과 유사한 혹한의 화성과 달 탐사를 위한 착륙선에는 고체산화물(Solid Oxide) 연료전지가 DC전원 공급을 위해 사용되었다.



<그림 18> 고체산화물 연료전지를 사용한 화성/달 착륙선[27]

이러한 다양한 에너지 공급 기술은 남극과 같은 극지역에서 전력을 공급하는 데 사용되며, 각각의 장단점과 특성을 고려하여 선택된다. 이 지역의 특수한 환경과 기후를 고려하여 안정적이고 지속 가능한 에너지 공급은 중요한 문제로 지속적으로 연구되고 시도되고 있다.

## 2.4 안전 장비/통신 장비[23]

극지역에서 안전장비와 통신장비는 극한의 환경과 특수한 조건을 고려하여 사용된다. 이 지역에서는 극단적인 날씨, 눈보라, 극한의 온도 등으로 인해 안전하고 효율적인 통신과 안전이 보장되어야 한다.[13]

### 가. 안전 장비

1) 보온 및 방한 의류: 극지역에서는 추위로부터 보호하기 위해 보온성이 뛰어난 의류가 필요하다. 특히 얼음과 눈이 많은 지역에서는 방한 의류도 중요하다. 극지방에서의 피복착용방법은 레이어 시스템을 권장한다. 레이어 시스템은 기능성 소재 피복을 겹쳐 입어 따뜻한 공기층을 형성해 36.5℃의 체온을 유지하고 보온하는 극지 피복 착용법이다.

2) 특수 장비 및 보호구: 얼음 위에서의 안정성을 위해 스파이크가 달린 신발, 눈보라를 막아주는 고글 등의 장비와 보호구가 필요하다. 상시착용 안전장비로는 헬멧, 하네스, 설상화, 아이젠 등이며 비상시엔 이중화, 주마, 크램폰, 피켈 등을 갖춰야한다.



(a)



(b)



(c)

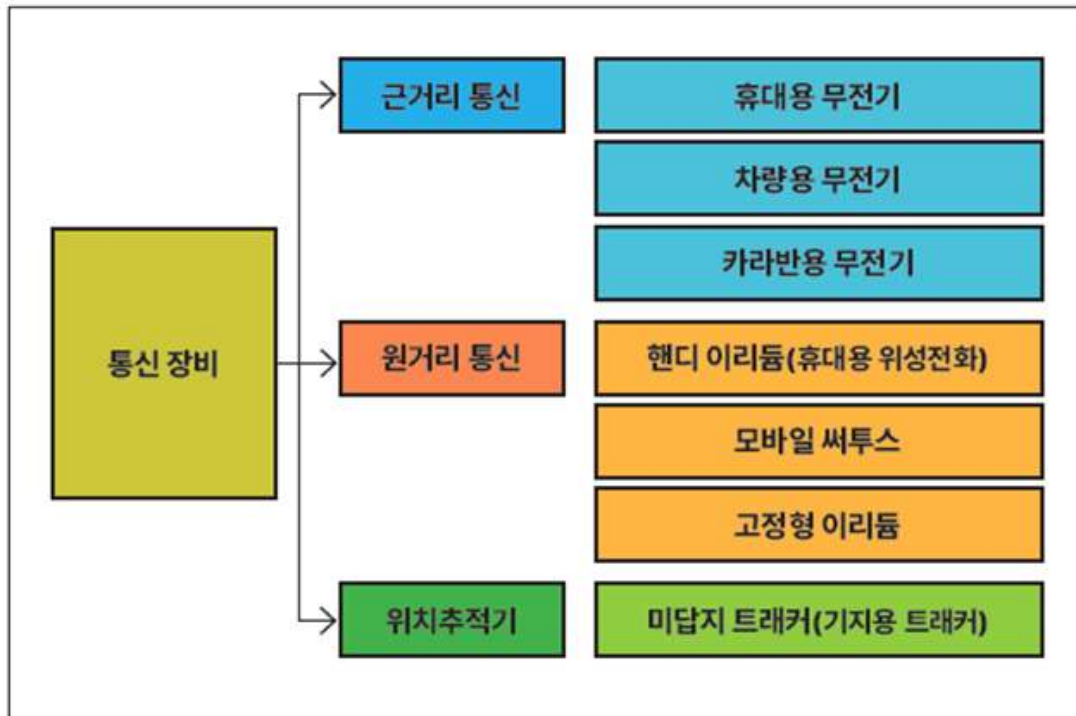
<그림 19> (a)극지피복, (b)안전장비류, (c)피복과 안전장비 착용 모습

나. 통신장비

내륙탐사에서 사용되는 통신 장비는 근거리 통신 장비, 원거리 통신 장비 그리고 위치추적기로 구분된다. 근거리 통신장비는 일반적으로 사용하는 무전기로 휴대용 무전기와 차량용, 카라반용 무전기로 나뉜다.

원거리 통신장비는 핸드형 이리듬 위성전화와 모바일 씨투스, 고정형 이리듬이 있다.

위치추적기는 크레바스와 블리자드와 같은 악조건의 남극 탐사시 본인의 위치를 위성으로 관제센터로 보내어주기 때문에 가능한 탐사시 착용을 하는 것이 유리하다.



<표 2> 통신장비 구분

극지역에서의 안전과 효율적인 통신은 극한의 환경에서 생존하기 위해 중요하다. 따라서 안전장비와 통신장비는 극지역 탐사 및 활동에서 필수적인 요소로 활용된다.

## 2.5 이동경로 예측 기술

남극과 같은 극지역에서는 크레바스와 같은 위험한 지형 요소를 회피하면서 안전한 이동 경로를 예측하는 데 다양한 기술이 사용된다.

### 가. 위성 이미지 및 지도

위성 이미지와 지도를 사용하여 크레바스가 발생할 가능성이 있는 지역을 파악할 수 있으며 위성 데이터는 지형과 얼음의 형태, 표면의 변화 등을 보여주어

안전한 경로를 설정하는 데 도움이 된다. 크게 광학센서와 SAR센서가 사용되며 주로 SAR센서가 탑재된 극궤도 위성이 많이 활용된다.

#### 나. 레이더 및 센서 기술

레이더와 다양한 센서 기술을 사용하여 지하 얼음 구조를 탐지하고 크레바스와 같은 잠재적인 위험 지점을 감지하며 Ground Penetrating Radar(GPR)기술이 대표적으로 많이 사용되는 기술이다.

#### 다. 드론 탐사

최근에는 드론기술이 발달하면서 드론에 각종센서를 달아 공중에서 지형을 조사하고, 얼음 표면의 변화나 위험 지점을 식별하여 안전한 이동 경로를 예측한다. 이는 위험한 지역을 직접 접근하지 않고도 탐사하고 분석할 수 있는 장점이 있으나 장착가능한 무게의 제한으로 한 번에 많은 센서를 장착하기 힘든 단점이 있다.

#### 라. 위험 지역 지정 및 표시

이미 탐사된 위험한 지역은 지도상에 표시되거나 특별한 표지나 표시물을 이용하여 멀리서도 인지할수 있도록 하여, 안전한 경로를 지정하는 데 활용할 수 있다.

#### 마. 모니터링 및 경로 예측 시스템

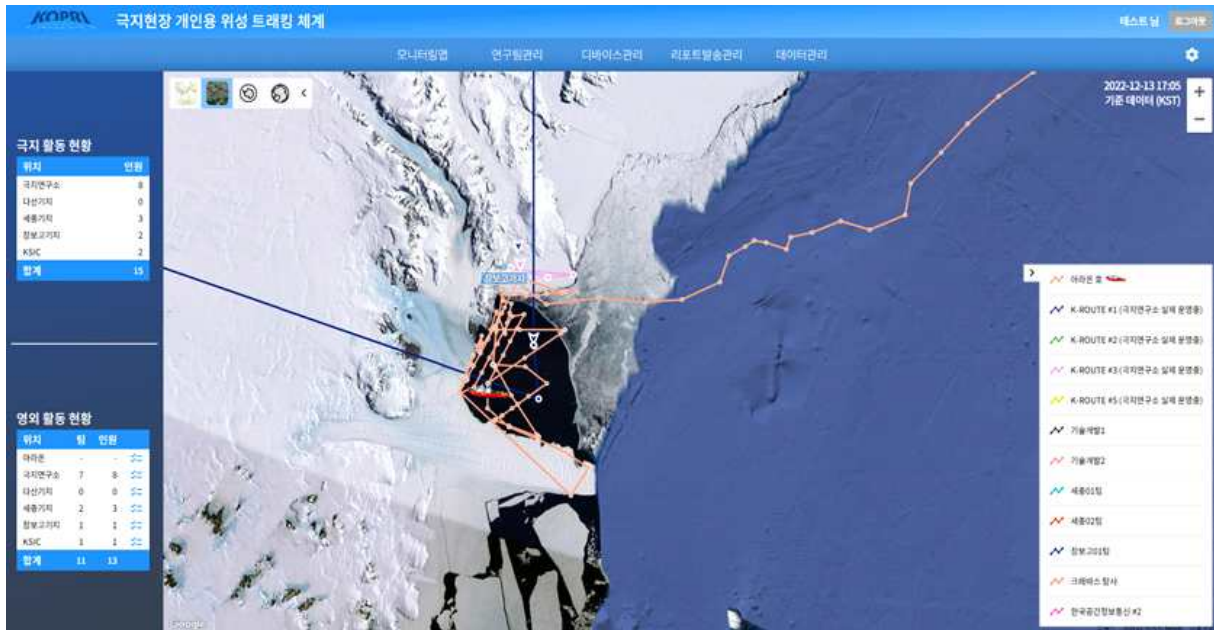
고급 모니터링 시스템과 예측 알고리즘을 사용하여 얼음의 이동과 변화를 추적하고 예측을 통해 얼음의 변화에 따라 경로를 업데이트하여 안전한 이동이 가능하도록 하는데 사용된다.

이러한 기술과 데이터를 결합하여 크레바스와 같은 위험한 지형을 회피하면서 안전한 이동 경로를 계획하고 예측하는 데 도움이 되며, 이는 극지역에서의 탐사와 이동을 보다 안전하고 효율적으로 만들어주는데 도움을 준다.

## 2.6 실시간 극지 연구활동 모니터링

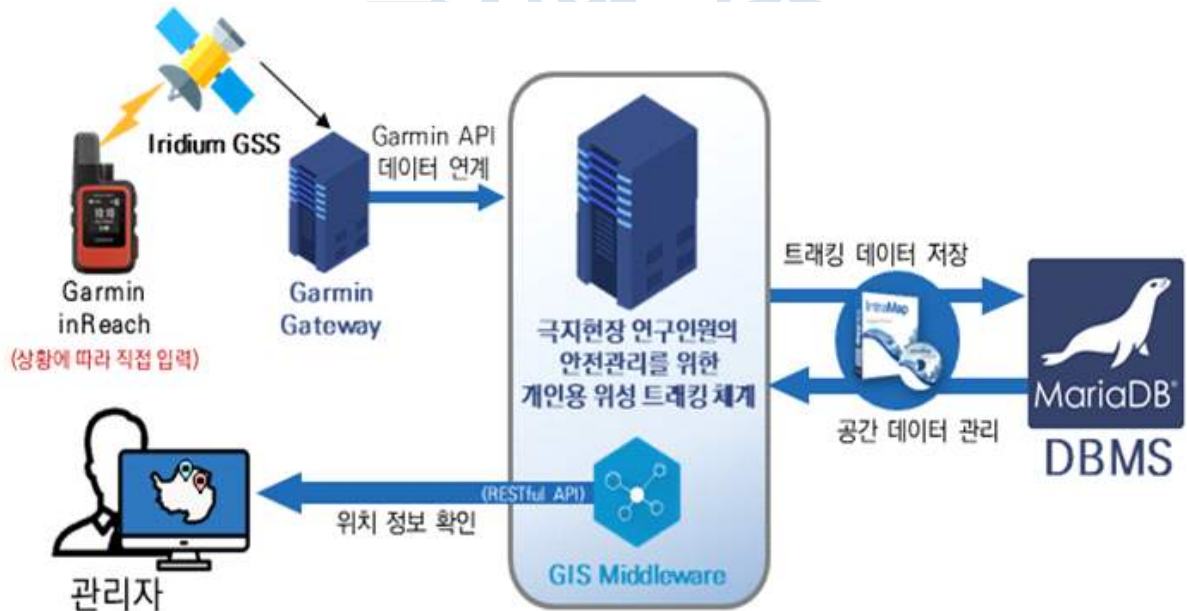
극지현장에서 탐사시 탐사인원의 안전관리를 위해 개인용 위성 트래킹 시스템은 중요한 역할을 한다. 극지 연구 활동시 극지 통신환경에 적합한 GPS트래킹 서비스를 시스템에 적용함으로써 탐사 인원 위치파악 및 탐사활동 관리, 안전문제에 신속한 대응이 가능하다. 주요기능으로는 위성 GPS기반 트래킹 서비스와 각 디바이스 및 탐사 인원 통합관리, 그리고 위성 트래킹 시스템과 외부 시스템

간 연동이다. 외부 시스템간 연동의 경우 카카오 채널 알림톡과 같은 외부시스템과 연계를 통한 알림과 특정 이메일로 발송이 가능하다.



<그림 20> 실시간 극지 연구활동 모니터링 주 화면

탐사대원이 소지한 트래킹 디바이스 장비와 GPS시스템을 이용하여 탐사대원의 위치정보를 특정하고 특정된 위치정보는 이리듐 위성을 통해 Gateway로 전파되며 트래킹 서비스 서버로 전달되는 형태로 시스템이 구성된다.



<그림 21> 실시간 극지 연구활동 모니터링 시스템 구성

현재 남극에서 사용 중인 소형 위성 트랙커는 다양한 센서가 내장되어있으며 위성과의 통신을 통해 해당서버로 데이터전송이 가능하다. 응급시 SOS를 간단히

보낼 수 있는 기능과 탐사대원간의 메시지 송수신등 다양한 기능을 탑재하고 있어 남극과 같은 극한지역에서 유용한 장비중 하나이다.



<b>일반</b>
방수등급: IPX7
크기: 5.17x9.90x2.61cm
무게: 100g
배터리타입: 리튬이온(1,250mAh)
인터페이스: USB-C
온도조건: -20℃ ~ 60℃
<b>지도&amp;메모리</b>
waypoint/favorites/locations: 1,000
courses: 100
activities: 200
<b>센서</b>
GPS,GALILEO,QZSS,COMPASS,High-Sensitivity Receiver,GPS Compass

<그림 22> 위성 트래커 사양

## 2.7 적정 온도 유지기술

극지역에서 일정한 온도를 유지하는 기술은 매우 중요한 부분으로 특히 연구시설, 생활환경, 장비 등을 안정적으로 유지하고 보호하기 위해 다양한 기술이 사용되고 있다. 단열기술, 열제어 및 관리기술등이 대표적인 기술이며 외부로부터 전력공급이 쉽지 않은 상황에서 효율적으로 적정 온도를 유지하는데 있어 단열기술 관련하여 많은 연구가 이뤄지고 있다. 단열을 위해 다양한 단열물질이 사용되고 있으며 표 3은 단열물질별 열전도도와 사용가능 온도를 보여주고 있다.

Insulation material	Thermal conductivity at 25°C (W/mK)	Temperature range (°C)
Vacuum insulation panels	0.003	
Silica aerogel	0.01	-200 to 800
Aerogel sheets	0.013	Up to 600
Air	0.025	-
Glass fibre mat	0.035	-200 to 500
Cellulose	0.035	Up to 50
Polyurethane	0.036	-40 to 105
Mineral fibre	0.037	Up to 650
Polystyrene	0.037	-40 to 80
Cellular glass	0.048	-200 to 400
Calcium silicate	0.065	Up to 650
Expanded perlite	0.076	Up to 650
Ceramic fibre	0.08	Up to 1260
Gas-filled panels	0.03-0.09	
Phase change materials		50-150
Water	1.6	
Sodium silicate	0.103	
Paraffin	0.25	

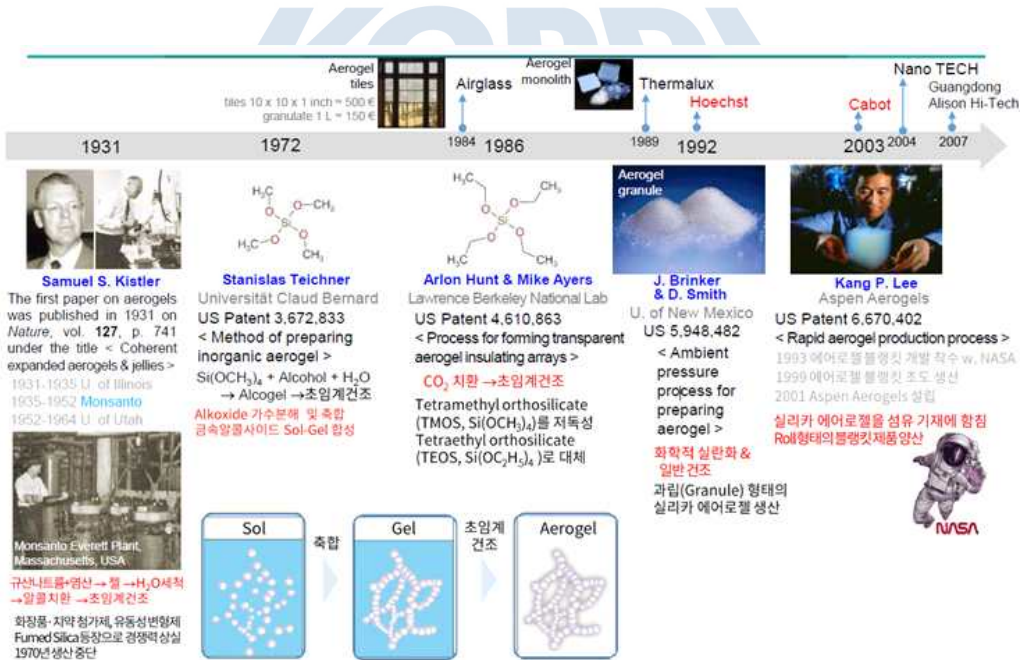
<표 3> 단열물질별 열 전도도[7]



지구상에 존재하는 단열효과가 가장 높은 것으로는 진공단열재를 들 수 있다. 실제로 국내의 경우 특수 냉장냉동시설과 주택시공에도 사용되고 있다. 진공단열재는 단열효과는 뛰어나지만 원하는 크기로 주문생산을 해야 된다는 점과 단열재 표면에 상처가 나면 쉽게 단열구조가 파괴되어 단열효과가 급격하게 떨어지며 생산단가도 높은 편이라 남극에서 사용되는 장비나 물품, 구조물등과 같이 제각각인 구조에서 사용하는 데는 한계가 있어 활용도가 떨어진다.

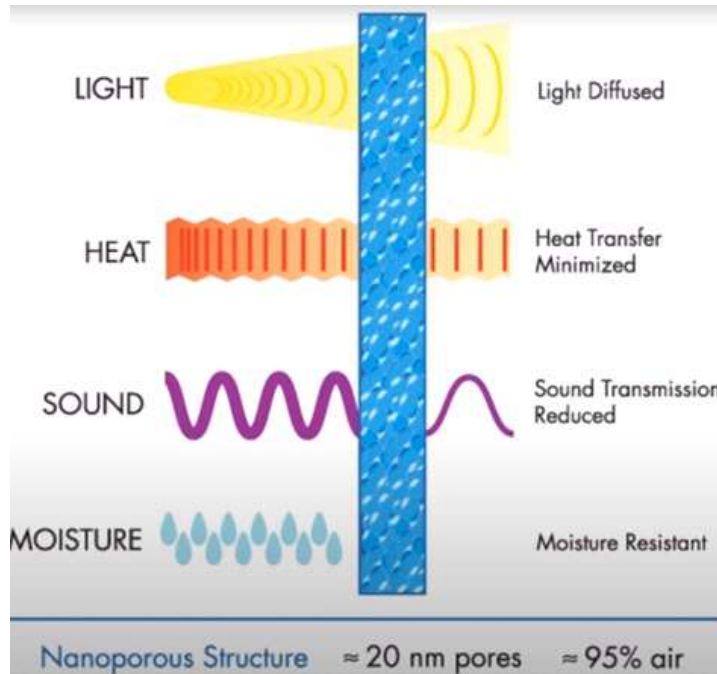
위의 표3에서 보는 바와 같이 진공단열재 다음으로 단열성능이 좋은 것으로 보이는 실리카 에어로젤은 많은 연구와 다양한 제품들이 개발되고 있어 남극활용 가능성이 높아지고 있다.[5][9]

에어로젤(aerogel)은 공기를 뜻하는 'aero'와 고체화된 액체를 의미하는 'gel'의 합성어로 고체상태의 물질로 젤에서 액체 대신 기체로 채워져 있는 형태를 의미한다. 1931년 스티븐 키슬러(Steven Kistler)에 의해 세상에 알려진 물질로 99%이상이 공기로 채워져 있어 2002년 세상에서 가장 가벼운 고체로 기네스 북에도 등재된 물질이다.[12] 2003년엔 한국의 공학자 이강필 박사가 설립한 Aspen Aerogels를 통해 세계 최초로 상용화에 성공함으로써 다양한 분야에서 실리카 에어로젤이 개발되고 사용되고 있다.



<그림 23> 실리카 에어로젤 개발 역사[1]

에어로젤은 빛을 퍼지게 하는 특성이 있어 조명분야에도 사용이 가능하며 원하지 않는 음향 잡음을 줄여주기 때문에 방음분야에도 사용가능하다. 가장 큰 특징인 열전달특성이 높아 단열재로도 많은 활용이 되고 있으며 소수성으로 만들어질 경우 발수특성이 있어 곰팡이가 생기지 않도록 하는데도 도움이 되는 것으로 알려져 있다.



<그림 24> 에어로젤의 특성[28]

에어로젤의 개발은 우주연구에도 높은 활용도를 보여주고 있다.[6] 미국항공우주국(NASA)의 경우 처음으로 우주 비행사를 위한 담요와 우주복에 적용하여 실용화한 사례가 있으며 화성탐사로봇 ‘소저너(sojourner)’에도 단열을 위해 사용되었다. 2006년엔 우주선 ‘스타더스트(stardust)’호 외부에 에어로젤을 부착하여 혜성으로부터 빠른 속도로 튀어오는 미립자들을 포집하는 역할도 성공적으로 수행하였다.



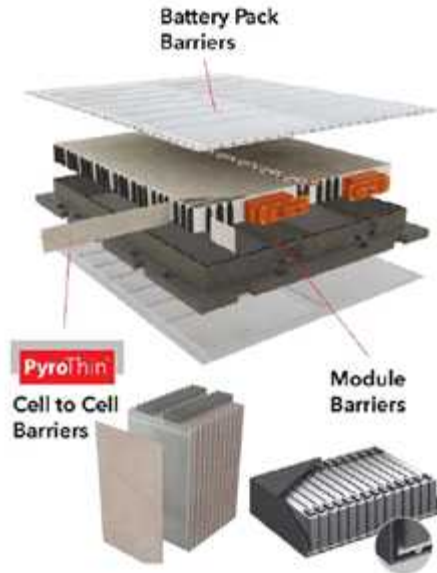
(a)

(b)

<그림 25> (a)우주비행사와 우주선에 사용, (b)우주 미립자 포집[29]

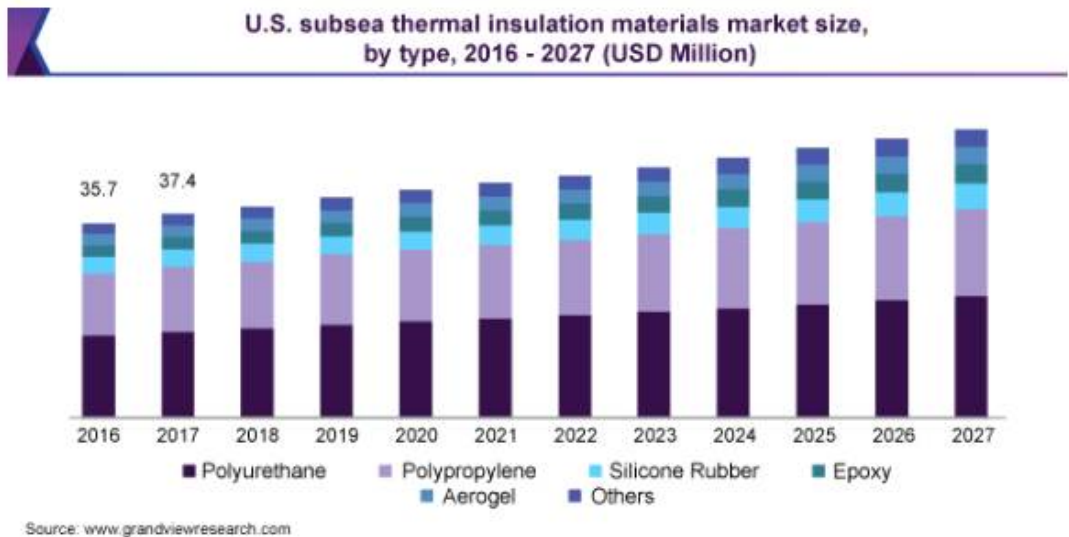
증가하는 전기차수요만큼 전기차 배터리 자연 발화, 전기차 사고로 인한 화재 등 안전사고 관련 뉴스를 자주 접하게 된다. 전기차 사고 중 가장 위험한 요소 중 하나가 배터리 열 폭주위험으로 고온의 열이 배터리 셀 사이로 확산되는 것을 방지하고 배터리 열 폭주로 인한 열 확산을 지연시키기 위한 방화 재료로 에어로젤이 대안으로 활용될 수 있다. 배터리 팩 내부의 제한된 공간으로 기존

단열재의 적용은 어렵지만 두께가 얇으면서 우수한 단열성능을 가지는 에어로젤은 이러한 배터리 열 폭주를 막는데 좋은 솔루션이 될 수 있다.



<그림 26> 전기자동차 배터리 팩 적용예[1]

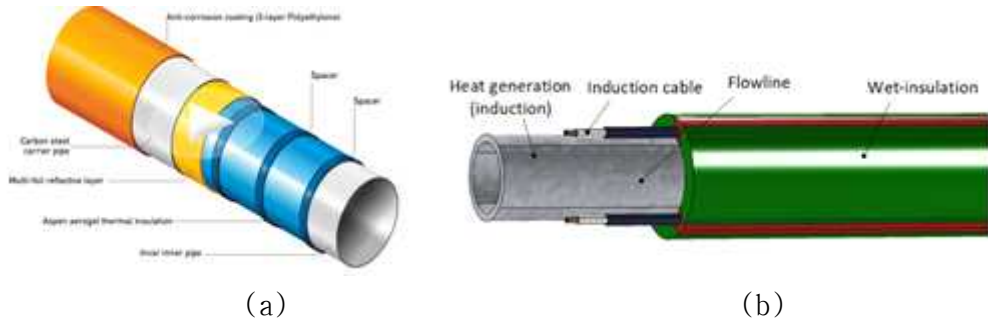
극지수중로봇은 저온의 수중에서 사용되기 때문에 에어로젤의 수중물체에 사용 가능성 있는 있는 사례를 살펴보면 현재까지 주로 활용되는 분야는 수중 파이프라인 보온에 에어로젤을 비롯한 다양한 단열재가 사용하는 것으로 조사되었다.



<표 4> 미국 수중 단열 시장 조사[24]

grand view research 조사자료[24]에 따르면 파이프라인 단열에 주로 사용되는 물질로는 Polyurethane이 가장 많았으며 Polypropylene, Silicone Rubber, Epoxy, Aerogel의 순으로 2016년 이후 점점 aerogel의 사용률이 조금씩 높아

지고 있는 것을 볼 수 있다.



<그림 27> (a)PIP방식과 (b)Direct insulated Pipe방식

수중 파이프라인 단열을 위해 PIP(Pipe in Pipe)방식과 Direct insulated pipe(Wet insulated pipe)방식이 많이 적용되는 방식이며 현재까진 Wet insulaton형태인 Direct insulated pipe방식이 보다 많이 사용되고 있다.[14][15][21]

에어로젤 제조업체로 유명한 Aspen Aerogels사는 수중 단열을 위해 Spaceloft Subsea pipe-in-pipe(PIP) insulation system이란 제품을 개발하여 판매하고 있다. pre-packaged Spaceloft Subsea system은 다양한 패넬크기와 두께로 사용이 가능하며 soft하며 flexible한 특성으로 원통형의 AUV에도 적용이 가능하다.



<그림 28> Aspen Aerogels사 PIP insulation system

이러한 다양한 기술들은 극지역에서의 생활, 연구, 탐사 활동에서 안정된 온도를 유지하는 데 사용되며 극한의 환경에서 안전하고 효율적인 활동을 지원하고, 장비와 인프라를 보호하는 데 중요한 역할을 한다.

## 2.8 이동용 컨테이너

남극과 같은 극한의 환경에서 장비나 물품을 안전하게 운송하는데 컨테이너는 좋은 이동수단이 될 수 있다. 일반 컨테이너는 단열효과가 없어 남극과 같은 환경에서 단열 컨테이너는 유용한 대안이 될 수 있다. 국내의 경우 극지연구소와 한국철도기술연구원이 공동으로 스마트 고단열 컨테이너를 개발하여 현재 남극에서 사용하고 있다.

스마트 고단열 컨테이너는 20ft 표준규격으로 국내기업에서 생산한 흡드 실리카(Fumed Silica) 진공단열재를 적용하여 단열성을 높였으며 지속적으로 구조 개선을 통해 효율성을 높이고 있다. 그림 30에서 보는 바와 같이 첫 개발 시제품(a)의 경우 폴리우레탄폼과 합판, 그리고 진공단열재와 스테인레스 판으로 제작을 하였고 이후 단열재 포함 압착방식으로 일체형 벽체 제작 후 박스를 용접하는 방식을 적용하고 폴리에스테르강판과 30T두께의 진공단열재와 폴리우레탄폼과 알루미늄판 마감(b)으로 제작이 되었다. 세 번째 개선모델에선 더 두꺼운 진공단열재를 적용하고 철판보다 더 가볍고 강도가 좋은 LiteTex composite sheet를 진공단열재 양쪽에 적용하여 단열성을 극대화한 제품(c)으로 개선되었다. 그림 29는 최근에 개선된 스마트 고단열 컨테이너(c)의 벽면구조로 진공단열재 두께를 40T로 변경하고 양쪽에 PET Structural foam 16.5mm를 적용후 최종벽면은 LiteTex composite sheet로 마감된 구조이다.



<그림 29> 개선된 스마트 고단열 컨테이너에 적용된 벽면구조



(a)



(b)



(c)

<그림 30> 스마트 고단열 컨테이너 개발((a)->(c))

## 제3장 결론

극지무인로봇 ICT 원천기술개발에 필요한 사항들이 무엇인지를 제대로 파악하고 이해하였고 특히 올해 수행한 연구를 통해 수중로봇 활용을 위한 탐사기술과 보조 기술들이 남극 탐사 활동에 매우 유용한 도구임을 확인할 수 있었다.

수중로봇은 얼음 아래 수중 환경에서 탐사 및 연구를 진행하는데 있어서 탁월한 성능과 유연성을 제공하고 뛰어난 수중 탐사 능력과 데이터 수집 기능을 통해 남극의 해양 및 얼음층의 구조, 지질학적 특성 등을 조사할 수 있다. 이러한 수중로봇의 활용을 위해서는 높은 해양학적 지식과 함께 효율적인 제어 시스템, 센서 기술의 발전, 효율적인 통신 기술뿐만 아니라 탐사기술 자료와 보조장비 관련 최신기술등도 필요함을 알 수 있었다. 남극에서의 수중로봇 활용을 위한 다양한 탐사기술 및 관련 기술의 조사를 통해, 극지역 탐사 및 연구에 있어서 높은 유용성과 효율성을 제공할 수 있음을 확인할 수 있었다. GPR, 항공조사, 위성 영상 등의 탐사 기술은 얼음 아래 구조와 지질학적 특성을 조사하는데 매우 유용하며, 이러한 데이터는 남극의 환경과 지질학적 특성에 대한 이해를 높일 수 있다. 게다가, 패키징 기술과 에너지 공급 방법은 극지역에서의 장비 및 물품 운송, 보관, 에너지 공급을 효율적으로 관리하는데 중요한 역할을 하며 안전장비 및 통신장비는 안전과 원활한 의사소통을 보장하며, 이동경로 예측기술은 위험 지역을 회피하면서 목적지까지 안전하게 이동하는데 필수적이다. 또한, 실시간 극지 연구 모니터링과 적정온도 유지기술은 극지역 탐사 및 연구 활동에서 안정성과 효율성을 높이는데 필수적인 기술이다. 이러한 보조기술의 발전은 수중로봇의 작동 안정성과 성능 향상에 기여하며, 극지역 탐사 활동에서의 활용 가능성을 높일 것으로 기대된다.

결론적으로, 수중로봇과 관련된 탐사기술과 보조기술의 발전은 남극 탐사 활동에 새로운 가능성을 부여하고, 성공적인 탐사를 위한 연구환경을 만들어 줄 수 있다. 이러한 탐사기술과 보조기술의 발전은 남극 연구 및 탐사 분야에서 지속적인 연구와 발전이 필요한 분야이며 이는 앞으로 성공적인 원천기술개발이 가능토록 하는데 활용될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 송민규., (2023) 에어로젤 단열재 기술개발 동향 및 향후 적용 전망, 제10회 건축용 단열재 정책 및 기술세미나, (주)화학경제연구원
2. S.S.Thompson., (2020) Comparing satellite and helicopter-based methods for observing crevasses, application in East Antarctica, Cold Regions Science and Technology 178
3. Barbara Barzycka., (2023) Comparing of Three Methods for Distinguishing Glacier Zones Using Satellite SAR Data, Remote Sensing 2023,15,690
4. Jingjing Zhao., (2022) Detection of Surface Crevasses over Antarctic Ice Shelves Using SAR Imagery and Deep Learning Method, Remote Sensing, 2022, 14, 487
5. Ting Wang., (2020) Ultralow-temperature superelastic polymer aerogel with high strength as great thermal insulators under extreme conditions, Journal of Materials Chemistry A
6. James E. Fesmire., (2018) Layered Composite Extreme(LCX) thermal insulation systems, NASA Kennedy Space Center, 2018
7. Neha Hebalkar., (2017) Development of nanoporous aerogel-based thermal insulation products:'Make in India' initiative, Current Science, Vol.112, No.7
8. Ram R. Ratnakar., (2023) Effective thermal conductivity of insulation materials for cryogenic LH2 storage tanks:A review, International journal of hydrogen energy 48(2023) 7770-7793
9. J.E. Fesmire., (2016) Layered composite thermal insulation system for nonvacuum cryogenic applications, Cryogenics 74(2016) 154-165
10. Yuying Liang., (2017) Thermal performance and service life of vacuum insulation panels with aerogel composite cores, Energy and Buildings 154(2017), 606-617
11. Packing and Shipping Instructions version13, Antarctic Support Contractor for the National Science Foundation Office of Polar Programs
12. 서동진., (2022) 초경량 실리카 에어로젤 초단열재의 현황 및 전망, Clean Technol., Vol.28, No.4, 2022, 301-308
13. Andy Selters., Glacier Travel & Crevasse Rescue, Second Edition, The Mountaineers Books
14. Nsidibe Sunday., (2021) An Overview of Flow Assurance Heat Management Systems in Subsea Flowlines, Energies 2021, 14, 458
15. Qung Cao., (2022) A Review of Corrosion under Insulation: A Critical Issue in the Oil and Gas Industry, Metals 2022, 12, 561
16. Rebecca M. Williams., (2022) Crevasse Detection in Ice Sheets Using Ground Penetrating Radar and Machine Learning, IEEE Journal of Selected Topics in applied earth observations and remote sensing, Vol.7, No 12.
17. Rodrigo Zamora., (2022) Recent advances in energy management for Green-IoT: An up-to-date and comprehensive survey, The IAHS Assembly in Foz do Iguacu, 318
18. Ryo Michishita, (2019) Introduction of Remote Sensing-Basic Principle & Application, Remote Sensing Technology Center of Japan
19. Patric Berens., (2022) Introduction to Synthetic Aperture Radar(SAR), RTO-EN-SET-086
20. L.Ravanel., (2022) Multiparameter monitoring of crevasses on an Alpine glacier to understand formation and evolution of snow bridges, Cold Regions Science and Technology, 203, 103643
21. Tom Phalen., (2007) Update on Subsea LNG Pipeline Technology, Offshore Technology Conference



22. Radioactive generators powered Antarctic science  
(<https://www.stuff.co.nz/the-press/news/104291748/radioactive-generators-powered-antarctic-science>)
23. 2022 남극내륙탐사안전매뉴얼. 극지연구소
24. Subsea Thermal Insulation Materials Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Polyurethane, Polypropylene), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027
25. Ikechukwu K. Ukaegbu et al, Nonintrusive\_Depth\_Estimation\_of\_Buried\_Radioactive Wastes using GPR and a Gamma Ray Detector
26. Multicopter Borne Ground Penetrating Radar(GPR) System, PT.Prima Energy Resources
27. Ian Jakupca, Update on NASA Applications using Solid Oxide Fuel Cell and Electrolysis Technologies
28. Aerogel:The solution to Oil Spills
29. Stardust samples exceed expectations, NBC News







## 극지<sub>주</sub>연구<sub>의</sub>소

1. 이 보고서는 선박해양플랜트연구소에서 시행한 주요산업의 위탁연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 선박해양플랜트연구소에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.