

극지 무인로봇 구현을 위한 극지
환경데이터분석 및 주요기능 연구

A Study on Polar Environmental Data Analysis and
Functions for Implementation of Polar Unmanned Robot



연구기관

극지연구소

2019. 11. 20.

선박해양플랜트연구소

제 출 문

선박해양플랜트연구소장 귀하

본 보고서를 “극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발”에 관한 연구과제(위탁과제 “극지 무인로봇 구현을 위한 극지 환경데이터분석 및 주요기능 연구”에 관한 연구)의 보고서로 제출합니다.

2019 . 11 . 20.



연구수행기관명 : 극지연구소 기술지원실

연구책임자 : 신 동 섭

참여연구원 : 이 주 한
김 수 환
최 형 규
정 창 현
윤 동 진
김 형 권
박 태 운
현 창 옥

보고서 초록

과제고유 번호	PG19020	해당단계 연구기간	19.5.1~19.11.30	단계 구분	
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	위탁과제			
연구과제명	대과제명	극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발			
	세부과제명	극지 무인로봇 구현을 위한 극지 환경데이터분석 및 주요기능 연구			
연구책임자	신동섭	해당단계 참여연구원수	총 : 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 천원 기업: 천원 계 : 천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 9 명 내부: 9 명 외부: 명	총 연구비	정부: 3,000천원 기업: 천원 계 : 3,000천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 기술지원실		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	24
<ul style="list-style-type: none"> - 극지 무인수중로봇 구현에 필요한 극지환경 분석과 무인수중로봇설계에 필요한 환경데이터 분석 - 극지 무인수중로봇활용 선진사례 및 개발에 필요한 주요기능 연구 - 극지 탐사 장비의 기능 및 사용자별 요구조건 도출 - 빙저탐사 사례연구 - 극지무인로봇 ICT원천기술개발에 필요한 사항들 파악 및 이해를 통한 성공적인 원천기술개발에 활용가능 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	극지 무인로봇, 환경데이터, 주요기능,			
	영 어	Polar Unmanned Robot, Environment Data, Main Function			

요 약 문

I. 제 목

극지 무인로봇 구현을 위한 극지 환경데이터분석 및 주요기능 연구

II. 연구의 목적 및 필요성

극지 무인수중로봇 ICT원천기술개발을 위해 극지환경 분석 및 무인수중로봇설계에 필요한 환경데이터분석과 극지 무인수중로봇활용 선진사례 및 개발에 필요한 주요기능 분석연구가 필요하다. 극지 무인로봇이 활용될 지역에 대한 환경데이터 획득 및 분석자료는 극지 탐사용 무인수중로봇 설계에 반영하고 필수 주요기능에 대한 연구는 ICT원천기술 확보를 위한 무인로봇 개발 설계에 필요하다.

III. 연구내용 및 범위

- 극지 관심해역별 환경 데이터 조사·분석
- 극지 빙저 탐사 장비의 기능 및 사용자별 요구조건 도출

IV. 연구결과

- 무인로봇 활용지역에 대한 환경 분석
- 극지 무인로봇 ICT원천기술 설계 및 개발에 필요한 요구사항 도출

S U M M A R Y

I. Title

A study on polar environmental data analysis and functions for implementation of polar unmanned robot

II. Object and necessity

The objective of this study is to be necessary to analyze the environmental data for the analysis of the polar environment and the design of the unmanned underwater robot, and to analyze the required functions for the development and use of the polar unmanned underwater robot. Acquisition and analysis of environmental data for the area where the polar unmanned robot will be used is reflected in the design of the unmanned underwater robot for polar exploration. Research on essential functions is necessary for the design of unmanned robot development to acquire ICT source technology.

III. Contents and Extents

- Environmental Data Survey Analysis by regions of Polar Interest.
- Derivation of functional and user requirements for polar exploration equipment in under ice.

IV. Result

- Environmental analysis of unmanned robot application area
- Derivation of requirements for designing and developing polar unmanned robot ICT technology.

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	Polar environmental data survey and analysis	6
Section 2	Polar exploration equipment function and user requirements.....	10
Chapter 3	Conclusion	24



목 차

제1장 서론	5
제1절 연구목표	5
제2절 연구내용	5
제2장 본론	6
제1절 극지 환경데이터 조사 및 분석	6
1.1 빙저호,빙봉탐사관련 기초자료 조사	6
1.2 쇄빙연구선 활용 극지탐사	9
제2절 극지 탐사장비의 기능 및 사용자별 요구조건 도출.....	10
2.1. 선진 탐사기술 사례연구	10
2.2. 빙저탐사 사례연구	18
2.3. 수요조사 및 요구사항 분석	22
제3장 결론	24

제1장 서론

제1절 연구목표

본 과제는 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발을 위해 필요한 극지 환경데이터분석 및 주요기능 연구가 핵심이다. 본 연구를 위해 크게 두가지로 연구목표를 설정하였다. 크게 극지 무인 수중로봇이 활용될 극지환경분석과 해외 개발활용 사례 및 개발에 필요한 주요기능 연구로 나눌 수 있다. 각 연구목표별 세부사항은 아래와 같다.

- 극지 무인수중로봇 구현에 필요한 극지환경 분석 및 무인수중로봇설계에 필요한 환경데이터 분석
 - 극지사용가능 무인수중로봇설계에 있어 실제 투입하여 연구가 수행될 지역의 환경분석
 - 극지 무인로봇이 활용될 지역에 대한 지역별/시기별 환경데이터획득 및 분석 자료를 극지 탐사용 무인수중로봇 설계에 반영
- 극지 무인수중로봇활용 선진사례 및 개발에 필요한 주요기능 연구
 - 혹한의 극지에서 무인수중로봇을 활용하여 연구를 수행한 선진기관의 사례 분석을 통해 해결이 필요한 문제점 파악 및 설계시 추가 반영이 필요한 부분에 대한 해결방안 연구
 - 극지 무인로봇 개발을 위한 원천기술 확보를 위해 필수 주요기능에 대한 연구를 통해 극지 최적의 로봇개발 설계를 위한 자료확보

제2절 연구내용

위의 세부 목표에 따른 주요 연구내용은 아래와 같다.

- 극지 환경 데이터 조사 및 분석 :
 - 주요 연구지역 탐사장비 운용을 위한 환경자료 조사
 - 환경조사를 통한 탐사장비 설계에 필요 최적의 데이터 생산
- 극지 탐사 장비의 기능 및 사용자별 요구조건 도출 :
 - 선진 탐사기술 사례분석
 - 선진연구동향 파악
 - 빙저탐사 사례 연구
 - 연구분야별 수요조사 및 요구사항 분석

제2장 본론

제1절 극지 환경데이터 조사 및 분석

1.1 빙저호, 빙붕탐사관련 기초자료 조사

남극연구를 위한 여러 자료들을 보다보면 다양한 얼음형태가 있는 것을 볼 수 있다. 특히 많이 언급되는 용어로는 빙하(Glacier), 빙상(Ice Sheet), 빙붕(Ice Shelf), 빙산(Iceberg), 빙저호(Subglacial lake)등 많은 종류의 얼음관련 용어들이 있다. 이중 위에 언급한 빙저호는 거대한 빙상아래 얼음으로 덮힌 호수를 말하며 빙붕은 빙하가 바다 쪽으로 흘러나온 얼음으로 얼음이 육지로부터 떨어져 나오면 빙산이 된다. 여러 얼음중 이 두 가지를 주로 언급하는 이유는 다른 얼음에 비해 탐사가 어려워 아직까지 많은 탐사가 이루어지지않아 연구가치가 아주 높은 지역이기 때문이다.

호수위로 거대한 빙하가 덮혀있는 빙저호는 육지가 없는 북극에는 존재하지 않으며 남극에만 존재한다. 빙저호는 오랜기간동안 햇빛이 도달하지 않았지만 여기에도 생명체가 자라고 있는 것으로 알려져 있다. 빙저호의 존재는 육지와 해양 빙하환경에 많은 영향을 미칠 수 있어 지질학과 생물학적 상호 작용을 이해하는데 있어 중요한 역할을 할 수 있다. 또한 호수의 극한 환경은 초기 지구 또는 행성의 환경과 유사할 수 있어 생명이 시작된 환경을 이해하는데도 많은 도움이 될 수 있다. 연구를 위해 기존 호수를 오염시키지않고 빙저호 아래까지 도달하기위해 많은 방법들이 사용되어져왔다. 빙저호 바닥의 퇴적물은 과거 기후연구에 중요한 단서가 될 수 있다. 또한 기온상승으로 인해 빙붕 하부 해수 순환은 빙붕의 붕괴를 가속화한다고 알려져 있어 빙저호 연구와 함께 빙붕하부 탐사는 지구온난화 원인 규명에 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 극지 무인수중로봇 개발은 이러한 연구에 필수적인 부분이며 연구지역 탐사를 위해서는 관련 기초환경자료 조사는 중요한 부분이다. 아래는 남극대륙에 존재하는 알려진 빙저호의 위치와 대표적 빙저호들에 대한 기본 정보를 정리한 것이다.

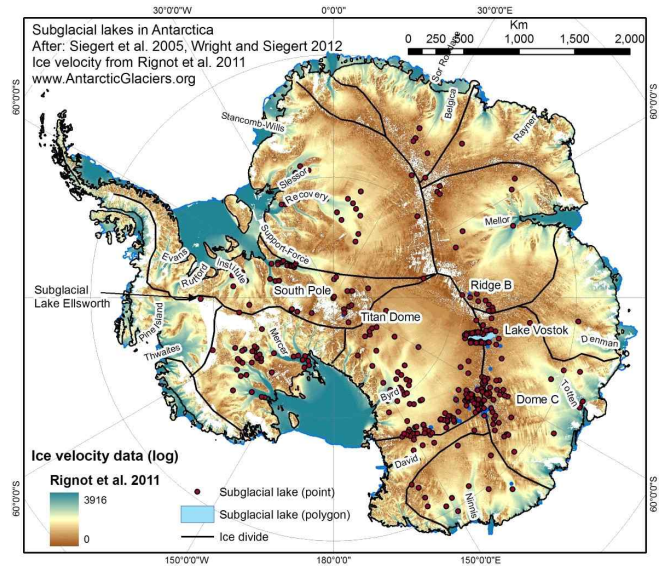


그림 1 남극대륙의 빙저호들

(<http://www.antarcticglaciers.org/glacier-processes/glacial-lakes/subglacial-lakes/>)

Name	Depth(m)
Lake Vostok	1067
Concordia Lake	126
South Pole Lake	32
Subglacial Lake	156
Whillans3(Lake Whillans)	6

표 1 대표적인 빙저호의 수심

현재까지 알려진 가장 크고 깊은 빙저호는 Lake Vostok으로 수심이 1,000m 이상으로 알려져 있으며 이외에도 약400개 이상의 빙저호가 확인되고 있다. 빙저호 탐사는 주로 구멍을 빙저호 표면까지 뚫어 탐사장비를 내려 연구하는 방식이 사용되어지고 있다. 수km이상의 깊이까지 드릴링을 위해 열수를 이용한 방식을 사용하고 있다. 초기에 사용된 드릴링 방법은 샘플오염 우려가 있어 최근에는 이러한 오염방지를 위해 보완된 청정열수 드릴방식이 많이 사용하고 있다.

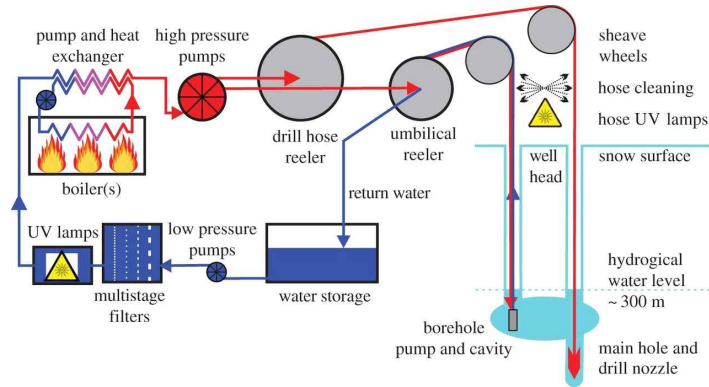


그림 2 CHWD(Clean Hot Water Drill) water circulation system 구조
 (https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2014.0304)

빙저호내부의 물은 해수가 아닌 담수이며 위로 얼음으로 덮혀있어 공기층은 존재하지 않는다. 담수와 해수의 음속변화가 다르기 때문에 빙저탐사용 무인로봇개발시 수중통신을 위해 고려되어야 할 정보중 하나이다.

그동안 극지연구소에서도 여러차례 빙봉과 빙저호탐사를 수행하였다. 장보고 과학기지 인근 가장 큰 빙하로 알려진 David Glacier엔 2.2~2.4km깊이에 빙저호가 존재하고 있으며 수심은 수m~수십m 이내로 추정된다. 장보고과학기지 인근 대표적인 빙봉중 하나인 Nansen Ice Shelf는 얼음두께가 100m~1km정도되며 빙봉아래 수심은 1km정도 된다. 탐사를 위해 다양한 연구장비들이 활용되었고 그중 AMIGOS라는 장비를 사용하여 얼음과 얼음하부 바다의 온도측정결과는 아래 표와 같은 결과를 보였다.

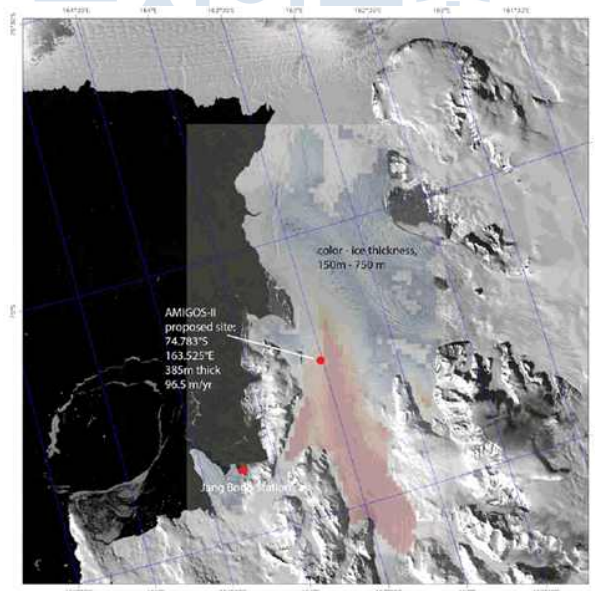


그림 3 난센빙봉에 설치된 AMIGOS위치

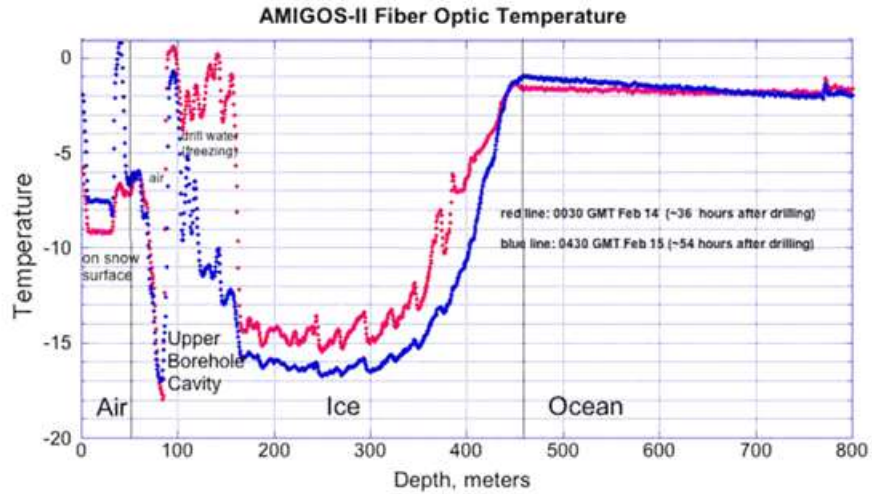


그림 4 AMIGOS로 관측된 Air-Ice-Ocean 온도 프로파일

그림3은 난센빙봉에 Air층과 Ice층 그리고 빙봉저 바다의 온도를 측정할수 있는 장비인 AMIGOS가 설치된 위치를 보여주고 있다. 그림4는 대기와 얼음내, 그리고 빙봉하부 바다의 온도를 측정한 결과로 빙봉을 뚫고 빙봉하부로 갈수록 온도가 높아져 바다의 경우 어느정도 일정한 온도분포를 보여주고 있음을 알 수 있다. 즉 이러한 온도프로파일정보를 통해 얼음의 두께가 어느정도 인지도 알 수가 있다.

1.2 쇄빙연구선 활용 극지탐사

연구기간중 2개월에 걸쳐 아라온호를 활용한 북극 연구탐사가 수행되었다. 연구 성격에 따라 베링해와 척치해 중심으로 탐사를 한 해양물리탐사, 동시베리아해를 중심으로한 지구물리탐사로 진행이 되었다.

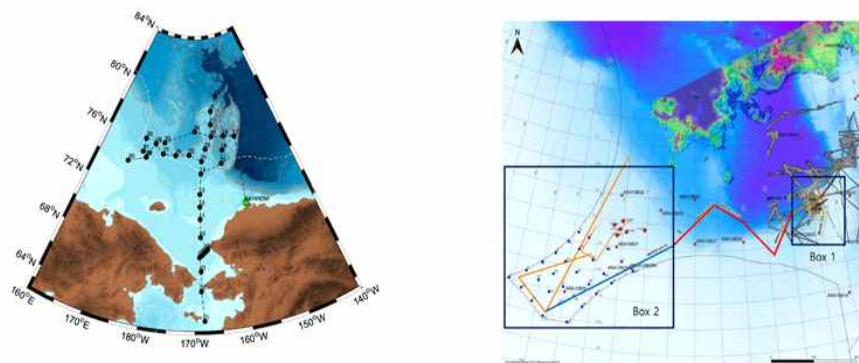


그림 5 해양물리탐사(좌)와 지구물리탐사(우) 지역

본 탐사에서 특징적인 것은 수중통신에 중요한 음속프로파일이 일반적으로 알려진 바다와는 다르게 나타난 것이다. 남극도 북극과 비슷한 음속프로파일을 보여주고 있다. 남극과 북극의 바다는 기존의 일반바다와 달리 표면의 온도가

상당히 낮은 편이다. 얼음으로 인해 바다내부보다는 표면의 온도가 더 차가우며 얼음의 영향으로 염분도에도 영향을 미쳐 아래와 같은 결과를 보여준다.

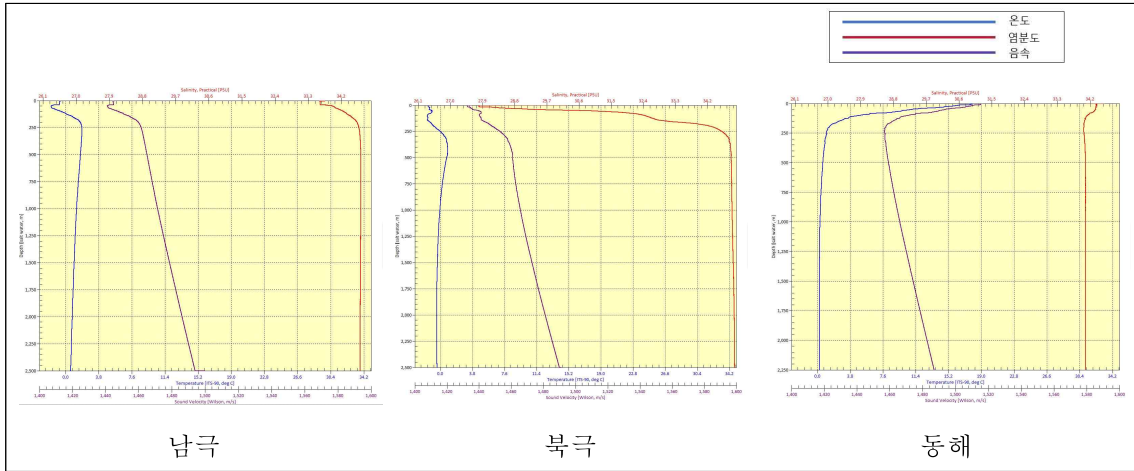


그림 6 쇄빙연구선 아라온호를 통해 획득된 수심별 온도, 염분도, 음속변화

그림6은 남/북극과 우리나라 동해안에서 관측한 유사 수심지역의 온도와 염분도, 음속데이터를 보여주고 있다. 남극과 북극은 비슷한 형태의 변화그래프를 보여주고 있으며 온도는 표층이 가장 낮은 온도를 보이고 있다. 염분도는 250m정도까지 증가하다가 이후부터는 일정한 값을 유지하는 것을 볼 수가 있다. 반면에 음속의 경우 동해는 250m정도까진 감소하다가 다시 증가하는 양상을 보이는 반면 남극과 북극의 경우는 표층부터 계속 증가하는 현상을 볼 수 있다. 일반적인 무인수중로봇의 경우 극지에서 볼 수 있는 음속변화가 고려되지 않아 모든 음향신호를 이용한 탐사데이터 정확도가 떨어질 수 있다. 이러한 음속프로파일 정보는 극지용 무인수중로봇 개발시 반영되어야 하며 이를 통해 보다 정확한 데이터 취득이 가능하리라 판단된다.

제2절 극지 탐사장비의 기능 및 사용자별 요구조건 도출


2.1 선진 탐사기술 사례연구

우리나라는 1988년에 남극 킹조지 아일랜드에 처음으로 세종과학기지를 건설하면서 본격적으로 극지연구를 할 수 있었다고 볼 수 있다. 하지만 세종기지인근 외에는 주도적인 극지해양연구는 할 수 없었다. 2009년 12월에 순수 국내 기술로 건조된 국내최초 쇄빙연구선 아라온호가 출항을 시작하였다. 2010년 1월에 남극얼음을 힘차게 깨면서 진행하는 쇄빙시험성공을 시작으로 남극과 북극 해양연구시대를 열게 되었다. 그러나 지금까지 극지 탐사를 위한 무인수중로봇개발에 대한 경험이 전무하여 여러 선진국과 공동연구를 통한 연구를 수행해왔어야 했다. 미국을 비롯한 여러 극지연구 선진국에선 이미 수십년 전부터 극지연구를 위한 다양한 무인로봇을 개발하여 연구에 투입해왔다. 아래와 같이 극지 무인탐사로봇분야 자체기술을 보유하고 있는 선진기관들의 사례를 살펴봄으로써 최신 무인수중로봇의 기술현황을 파악할 수 있다.

가. 우즈홀 해양연구소(WHOI)

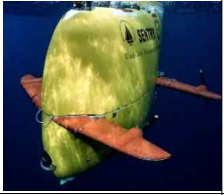


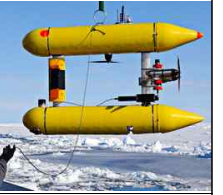
우즈홀 해양연구소는 대표적인 해양연구소로 무인수중로봇 개발 및 운용을 위해 수많은 개발인력과 운용인력을 보유하고 있으며 지금까지 다양한 쌓아온 다양한 수중로봇의 개발 및 운용경험으로 수많은 연구성과를 보여주고 있다. 현재 우즈홀 해양연구소가 개발하여 보유중인 무인수중로봇들은 아래와 같다. 이 중 HOV Alvin과 HOV Deepsea Challenger는 유인수중로봇이라 여기에선 제외하고자한다. 아래 무인수중로봇 중 가장 흥미로운 로봇은 ROV와 AUV기능을 결합한 NUI로 여러 차례 북극 해빙저 탐사를 성공적으로 수행하였고 지금도 지속적인 성능향상을 하고 있다. 우즈홀 해양연구소에서 운용되고있는 대부분의 무인수중로봇은 남극과 북극현장연구를 위해 개발되어 수많은 탐사경험을 가지고 있으며 활용된 수중로봇현황은 아래와 같다.

○ ROV

Name	Jason/Medea
Image	
Dimension (W*D*H) (m)	2.2*3.4*2.4
Weight (kg)	4,672
Depth range (m)	6,500
Maximum speed	~ 1m/s
Sensors	Pressure, Altimeter, DVL (300kHz-100m, 1200kHz-30m) USBL, Multi-Beam
Function	Forward sampling drawer 2 swing arms
Experience	Arctic



Jason은 개발된지 오래된 모델이지만 북극을 중심으로 꾸준한 탐사를 수행하고 있다. 상대적으로 크기가 좀 있는편이라 아라온호와 같은 후갑판이 좁은 타입의 연구선에는 적합하지 않을 것으로 보인다.

○ AUV

Name	SENTRY	Puma&Jaguar	REMUS	SeaBED
Image				
Dimension (m)	2.2(W)*2.9(D)*1.8(H)	2(L)*1.5(H)	0.7(Dia)*3.84(L)	2(L)*1.5(H)
Weight (kg)	1,250	250	862	250
Depth range (m)	6,000	6,000	6,000	5,000
Maximum speed	1.0 m/s	-	2.6 m/s	0.6 m/s
Sensors	CTD, Multibeam, SBP, Side scan sonar, Magnetometer	Puma : Sonar, CTD, Chemical Sensor Jaguar : Sonar, Camera	Dual frequency Side Scan Sonar, Multibeam, SBP, CTD, ADCP	Multibeam, CTD, Magnetometer, EH chemical sensor
Function	USBL Nav with real-time Acoustic Communication	Puma : water column survey Jaguar : sea floor survey	Emergency transponder, mission abort, ascent weight drop, Iridium	low-speed photographic, acoustic bathymetric mapping
Experience	-	Arctic, Antarctic	Antarctic	Arctic

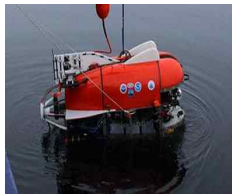
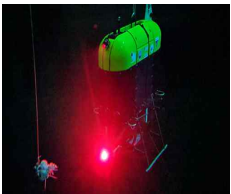
다양한 종류의 AUV를 보유하고 있으며 Puma&Jaguar는 남극과 북극 모두에 탐사경험을 갖춘 모델이다. 이중 REMUS는 노르웨이 대표 해양탐사장비업체인 Kongsberg Maritime에 기술이전을 한 모델로 시스템안정성에서도 높은 성능을 자랑하는 모델이다.

○ AUV(Glider)

Name	Slocum Glider	Spray Glider
Image		
Dimension (m)	0.22(Dia)*1.5(L)	0.2(Dia)*2(L)
Weight (kg)	70	60
Depth range (m)	1000	1,500
Maximum speed	1 m/s	0.25 m/s
Sensors	Selective Option ADCP, CTD, Echosunder, PAR, Oxygen, Acoustic Modem	CTD, ADCP, Fluorometer, External bladders, Altimeter
Function	Long-range and duration capabilities Vertical profile and horizontal moving	GPS, Iridium Communication
Experience	Antarctic	-

글라이더는 상대적으로 오랜시간동안 탐사가 가능하여 극지에서도 많이 활용되는 무인로봇중 하나이다. 이중 Slocum 글라이더는 여러차례 아라온호를 활용하여 남극탐사에 사용된 모델이다.

○ HROV (Hybrid Remotely Operated Vehicle)



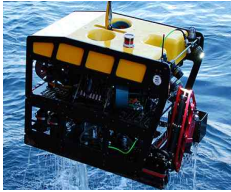
Name	NUI(Nereid Under Ice)	Mesobot
Image		
Dimension (m)	3(L)*1(W)*1.8(H)	-
Weight (kg)	2,000	-
Depth range (m)	2,000	1,000
Maximum speed	1.3 m/s	-
Sensors	CTD, Fluorometer, Multibeam, imaging sonar	-
Function	7-function manipulator, support for 10 auxiliary sensors	pumped-filter sampler, enabling to capture geochemical samples, plankton, microbe or seawater
Experience	Arctic	-

하이브리드형 ROV개발사례는 많지 않으며 이중 우즈홀해양연구소에서 개발한 NUI는 현재 탐사에 활용되는 하이브리드형 ROV의 대표주자라 할 수 있다. 기존의 개념을 깬 두꺼운 umbilical cable이 아닌 순수 광케이블을 통신케이블로 적용함으로써 20km까지 ROV모드로 운용이 가능하여 빙봉하부탐사에도 유용한 로봇이다. 또한 일반적인 ROV에선 운용하기 힘든 탐사형태인 Yo-Yo형 탐사등 다양한 탐사를 수행가능하다.

나. MBARI(Monterey Bay Aquarium Research Institute)





MBARI는 몬테레이에 있는 대표적인 해양연구소로 ROV와 AUV등을 자체개발 및 운용하고 있다. 이중 Mini ROV는 크기가 소형이면서도 다양한 기능을 북극에서 성공적으로 수행한 경험을 가지고 있어 극지활용도가 높을 것으로 판단된다. 무인운용과 tether가 필요없는 AUV(autonomous underwater vehicles)도 여러모델을 개발하여 연구에 사용하고 있다.

○ ROV

Name	Ventana	Doc Ricketts	Mini ROV
Image			
Dimension (m)	3(L)*1.7(W)*2.2(H)	1.8(W)*3.65(L)*2.1(H)	1.2(L)*0.88(W)*0.6(H)
Weight (kg)	3,380	4,762	362
Depth range (m)	4,000	4,000	1,500
Maximum speed	-	-	-
Sensors	CTD, transmissometer, fluorometer, acoustic flow meter, spatial laser	CTD, transmissometer, oxygen sensor	CTDO, 1.2MHz DVL, 3-axis Digital compass, Scanning sonar
Function	USBL, HD camera, Gigabit ethernet port, Fiber Optic Gyro	Swing arm, Sample drawer, 7 Video Channel, Ethernet port(10/100b, Gigabit)	5 function ECA manipulator arm, Auto Depth, Heading, Observation mode
Experience	Arctic, Antarctic	Arctic	Arctic

총3종의 ROV를 보유하고 있으며 모든모델이 극지탐사경험을 보유하고 있다. 이 중에서 극지용으로 관심이 가는 모델은 Mini ROV이다. 사용가능 수심은 1,500m이지만 소형의 크기에 다양한 탐사가 가능하며 소형연구선에서도 충분히 활용이 가능하며 이미 북극에선 많은 탐사경험을 보유하고 있는 모델이다.

○ AUV

Name	Imaging AUV	Seafloor Mapping AUV	Upper Water Column AUV	Tethys(LRAUV)
Image				
Dimension (m)	0.53(Dia)*5.30(L)	0.53(Dia)*5.30(L)	0.54(Dia)*3.66(L)	0.31(Dia)*2.3(L)
Weight (kg)	680	680	476	110
Depth range (m)	6,000	6,000	6,000	-
Maximum speed	1.54 m/s	1.54 m/s	1.54 m/s	0.5 m/s
Sensors	Camera : 1.8s/fire Automated Visual Event Detection System	Multibeam, SBP, Sidescan sonar, CTD, FS-AU Sonar	CTD, Oxygen sensor, Ultraviolet Spectrophotometer, Laser Optical Plankton Counter	-
Function	Using VARS(Video Annotation and Reference System)	Email position via Iridium satellite net Homerpro acoustic beacon	gulper samplers : 1.8L water samples	research more than 1,000km monitoring biological process
Experience	-	Arctic	Arctic	Antarctic



총4종의 AUV중 Tethys는 장거리탐사를 위해 개발된 모델로 1,000km이상 탐

사가 가능하며 실제로 남극탐사에 사용된 적이 있는 모델이다.

다. 영국 국립 해양연구소(National Oceanography Centre)




NOC는 영국 남부지방인 사우스햄튼 위치한 영국의 대표 해양연구소로 많은 수중로봇개발 및 운용을 통한 연구를 수행하고 있다.

○ ROV

Name	Isis	Hybis
Image		
Dimension (m)	1.5(W)*2.7(L)*2(H)	-
Weight (kg)	3,400	-
Depth range (m)	6,500	6,000
Maximum speed	1 m/s	-
Sensors	Avoidance Sonar Multibeam Echsounder	-
Function	Auto Depth, Altitude, Heading 2 Manipulator 6 push Core Box	Mounting different modules for sampling Controlled by the fibre optical cable
Experience	Antarctic	-

2종의 ROV는 운용수심이 6,000m이상되는 심해용 수중로봇으로 이중 ISIS는 남극탐사 경험을 가지고 있다.

○ AUV

Name	Autosub3	Autosub6000	Autosub Long Range
Image			
Dimension (m)	0.9(Dia)*7(L)	0.9(Dia)*5.5(L)	0.64(Dia)*3.6(L)
Weight (kg)	2,400	2,000	660
Depth range (m)	1,600	6,000	6,000
Maximum speed	-	1.0 m/s	0.4 m/s
Sensors	MRU6, CTD, ADCP, Echo Sounder, transmissometer, oxygen sensor	Scanning sonar, collision avoidance sonar, Multibeam, ADCP	ADCP, CTD, Communication antenna(Iridium, Wifi, GPS)
Function	mapping out both ice above and sea bed	Deeper than Autosub3 Possible to survey ice area	Maximum survey range : 6,000km 2-buoyancy wings Little energy consumption
Experience	Arctic, Antarctic	Arctic, Antarctic	Arctic, Antarctic

개발 보유중인 AUV는 극지방 활용도가 높기 때문에 모든 모델이 남극과 북극탐사경험을 가지고 있다.

2.2 빙저탐사 사례연구

전세계적으로 이슈가 되고있는 지구온난화 원인을 밝힘에 있어 어느 곳보다 빠른 속도로 변화가 관측되는 남극과 북극은 좋은 연구지역이라 할 수 있다. 특히 육지와 연결된 대형얼음인 빙붕 하부는 탐사가 쉽지 않은 지역이라 많은 연구자들이 관심을 가지고 있다. 지금까지 여러 차례에 걸쳐 수많은 연구자들이 다양한 탐사장비를 활용하여 빙붕저 탐사를 실시해왔다. 본 연구와 관련하여 수많은 탐사사례 중 최근 5년간 사용된 탐사장비를 중심으로 연구를 실시하였다.

극지연구에 사용된 무인수중로봇들은 크게 ROV, AUV로 나눌수 있지만 tether에 연결된 ROV는 빙붕저탐사에 한계가 있어 주로 AUV를 많이 활용하고 있다. ROV와 AUV는 각각 탐사특성에 따라 장점과 단점을 가지고 있다. ROV는 선박으로부터 지속적으로 파워공급이 가능하여 장시간 탐사는 가능하지만 연결된 케이블로 인해 빙붕하부와 같은 곳에는 탐사에 제한적이다. 반면 AUV는 연결된 케이블이 없어 빙붕하부 깊숙이까지 탐사는 가능하지만 외부로부터 파워공급을 받을수 없어 오랜시간 탐사에 한계점이 있다. 최근엔 이러한 AUV의 단점보완을 위해 Docking System이라는 개념이 나오고 있으나 아직 천해에 국한되어있으며 극지와 같은 환경에 적용되기까진 좀 더 많은 기간이 걸릴 것으로 예상된다. 이러한 문제점 때문에 최근 몇 년전 부터는 극지탐사에 있어 ROV가 가지는 장점과 AUV장점을 결합한 형태인 Hybrid Underwater Robot가 여러 곳에서 사용되고 있는 것을 볼 수 있다. 최근 5년간 빙저탐사 무인수중로봇의 탐사동향을 연구함에 있어 크게 Hybrid 수중로봇과 기타 해빙연구경험이 있는 무인수중로봇으로 나뉘 살펴보고자한다.

가.하이브리드 수중로봇

하이브리드형 수중로봇으로 불리는 무인로봇이 꽤 있으나 극지탐사에서 많은 경험을 가지고 있는 것은 우즈홀해양연구소에서 개발하여 운용중인 NUI가 유일하다. 그림7과 같이 일반적인 ROV(왼쪽그림)는 tether에 연결되어 운용되기 때문에 탐사반경이 작고 얼음밀과 같은 탐사에 불리하다. 하지만 NUI(우측그림)는 얇은 광케이블로 연결되어 ROV형태로 운영되기 때문에 탐사반경이 크고 (20km) 다양한 탐사형태가 가능하다.

NUI는 선박이 접근할수 있는 범위내에서 최대한 빙붕 가까운 곳까지 이동 후 ROV모드로 진수하여 연결된 광케이블을 통해 20km까지 빙붕저로 이동이 가능하다. 기존 ROV 경우 연결된 케이블 길이가 20km까지 가능하기 위해서는 케이블을 감고 있을 윈치의 크기가 커지기 때문에 운용자체가 쉽지않다. NUI는

20km길이의 광케이블만 사용하기 때문에 부피와 무게면에서 강점을 가지게 된다. 20km까지 케이블에 연결된 채로 빙봉저 탐사를 마치고 귀환할때는 광케이블없이 AUV모드로 귀환하도록 설계되었다.

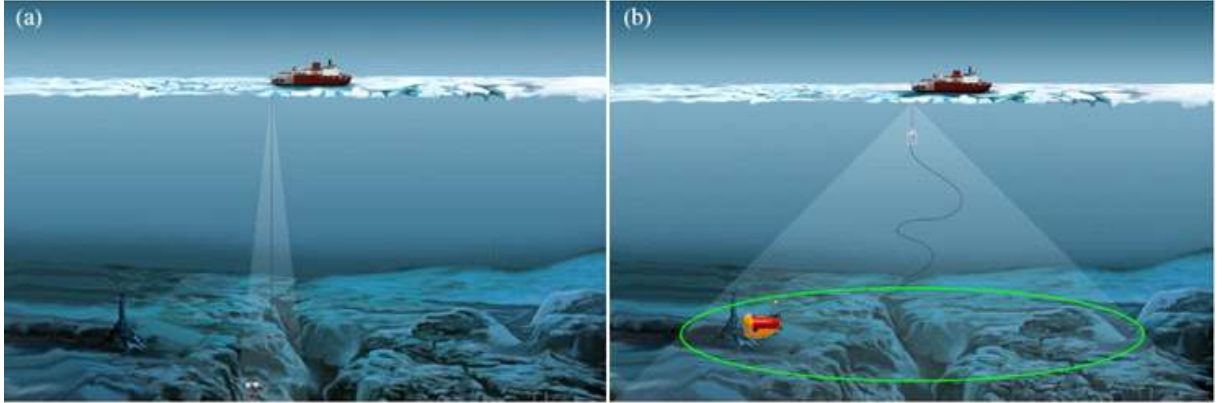


그림 7 기존 ROV 운용방식(좌)와 NUI운용방식(우)

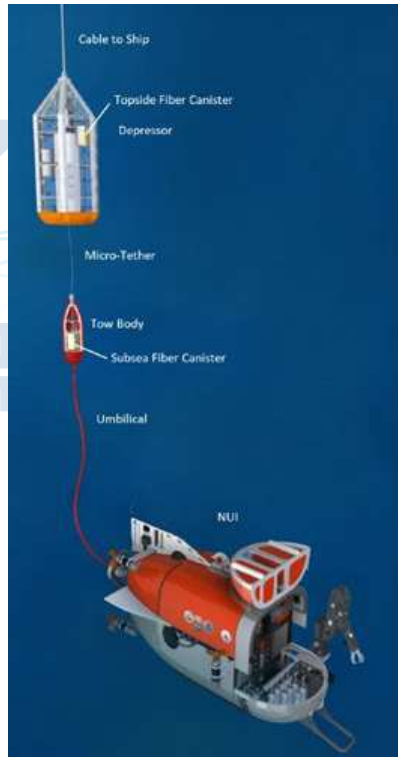


그림 8 NUI시스템 구성도

AUV모드로 진행시 위의 그림의 Tow Body에 연결된 Micro-Tether가 분리되어 내장된 배터리를 동력원으로 하여 연구선박으로 복귀하게 된다.

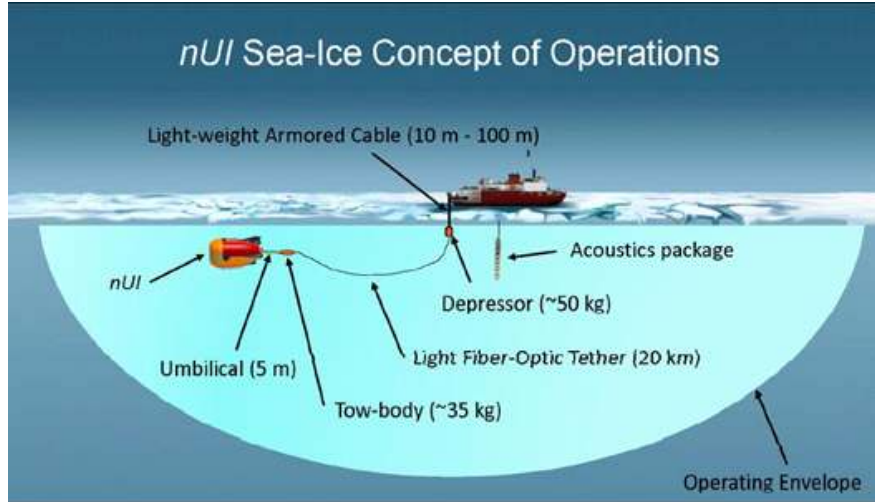


그림 9 NUI를 활용한 운용개념

그림9는 NUI가 운영시 선박과 연결되어 운영되는 형태를 보여주고 있다. 현재는 운용가능 수심이 2,000m이나 현재 더 깊이, 더 멀리, 더 오랜시간동안 운용가능하도록 시스템을 개선하고 있다. 아래는 NUI를 포함한 현재 나와있는 Hybrid형 수중로봇의 대표적인 몇 가지를 보여주고 있다.

Items	Name	NUI	Aquanaut	Sabertooth	Integra300
Image					
Manufacturer		WHOI	Huston Mechatronics	SAAB	Aquabotix
Size		1.8x1.8x3.5	0.66x3.6x2	0.90x0.45x3.6	0.37x0.45x1.11
Weight		1.800	-	650	16
Max Depth		2,000m	3,000m	3,000m	300m
Max Speed		1m/s	-	5knots	5knots

표 2 하이브리드형 무인수중로봇

이중 NUI외에 관심을 가질 필요가 있는 로봇으로는 Huston Mechatronics에서 개발한 Aquanaut이다. ROV형태로 변신하였을때의 모습은 정말 로봇과 흡사한 모형으로 연결된 케이블자체가 없어 운용에 있어 기존 무인로봇과 차별을 보여주고 있다. 목표지점까지 이동하면서 AUV모드로 장착된 각종 센서들로부터 자료를 획득하고 목표지점에 도착했을 때는 ROV로 변신하여 로봇팔을 비롯한 여러장치들로 임무를 수행하는 형태이다. 귀환시는 다시 AUV모드로 변신하여 귀환하게된다. 개발업체의 설명자료에 의하면 연결된 케이블이 없기 때문에 완전독립적인 운용이 가능하여 소형선박이나 헬기에서 떨어뜨리는 형태등 다양한 운용방법이 가능하게 된다. 아직 극지에서 경험은 없으나 추후 극지에서도 성공적으로 동작된다면 상당히 매력적인 무인로봇이 아닌가 생각된다.



그림 10 AUV mode(좌)와 ROV mode(우)

나.해빙연구 무인수중로봇

위에서 다른 Hybrid형 무인수중로봇을 제외한 나머지 무인수중로봇 중 북극이나 남극에서 해빙연구를 수행한 로봇에 대해 살펴보고자 한다. 하이브리드 타입과 달리 전통적인 ROV, AUV형태로 극지 해빙연구에 사용된 사례는 많은 편이며 최근5년간 연구사례를 중심으로 조사 및 연구를 수행하였다.

Items Name	NUI	MONACA	V8 M500	Boaty McBoatface	NUPIRI MJKA	Jaguar	DTG2	-	P2
Image									
Manufacturer	WHOI	Tokyo University	AWI	NOC	AMC	WHOI	Deep Trekker	Aarhus Univ	CNR
Size(m)	1.8x1.8x3.5	2.1x0.65x0.4	0.73x0.97x0.75	3.6x1.5x1.5	6.6x1.5x1.5	2x0.34x1.5	0.32x0.26x0.28	0.6x0.43x0.34	1.4x0.35x0.35
Weight(kg)	1,800	235	130	700	1,500	250	8.5	13	40
Max Depth	2,000m	1,500m	500m	6,000m	5,000m	6,000m	200m	-	200
Max Speed	1m/s	2kt	-	1m/s	2.5m/s	0.35m/s	-	-	-
Experience	Arctic	(Antarctic)	Arctic	Antarctic	Antarctic	Antarctic	Arctic	Greenland	Antarctic

표 3 해빙연구 무인수중로봇

표3에서 보는바와 같이 다양한 무인로봇들이 실제로 해빙연구에 사용되고 있음을 볼 수 있으며 특이한 점은 ROV보다는 AUV형태를 주고사용하고 있음을 알 수 있다. 이는 얼음이 있는 지역이라 선이 연결되어있는 ROV는 운용상 많은 어려움이 있기 때문으로 판단된다. 표에 나와있는 V8 M500의 경우도 선박 상에서 운용된 것이 아니라 얼음위에 ROV운용할 정도의 구멍을 뚫고 여기에 ROV를 집어넣어 운용한 형태로 지나다니는 유빙에 대한 장비유실이나 손상걱정을 할 필요가 없다. 실제로 아라온호를 통해 북극에서 몇차례 ROV를 활용한 탐사를 한적이 있으나 이때도 북극해이긴하지만 얼음이 없는 지역에서 탐사를 수행하였다. 반면에 AUV경우는 연결된 선이 없으니 진수전 충분한 조사와 계획된 프로그래밍으로 운용이 가능하지만 유빙은 계속 움직이다보니 예상치못한

유빙과의 충돌이나 신호교란으로 AUV가 손상되거나 유실되는 경우를 많이 목격하였다.

표에 나열된 무인로봇중 MONACA는 기존 AUV와 조금 차별성을 둔 로봇으로 플랩(flap)형 설계로 두 개의 센서를 아래위에 배치할 필요가 없다. 또한 남극과 북극과 같은 추운 곳에서 쉬운 동작과 유지보수를 위해 슬라이딩방식의 레일구조로 설계되어 쉽게 탈부착가능하며 내부가 보이는 몸체설계로 각 부분들의 동작상황을 쉽게 파악할 수 있도록 설계가 되었다. 현재는 자체 시험 중이고 2021년에 남극에 실전투입될 예정이다.

2.3 수요조사 및 요구사항 분석

참여연구원들을 비롯한 관련 극지연구원들을 대상으로 극지무인로봇 수요 및 기본요구사항을 조사하고 이를 토대로 요구사항을 분석하였다. 기본요구사항은 기존에 다른 나라와 공동연구를 통한 무인로봇을 활용한 극지탐사 경험이 있는 연구원들을 대상으로 하였다. 지금까지 극지연구소 주관하에 이루어진 극지무인로봇 탐사는 2014년부터 탐사에 사용이 되어왔다. 주로 수중글라이더와 AUV를 활용한 탐사를 많이 수행하여왔다. 수중글라이더는 한 번에 관측가능한 데이터는 한정적이지만 오랜 시간동안 탐사가 가능하여 극지와 같은 환경에서 즐겨 사용되던 무인로봇중 하나이다. AUV는 글라이더보다는 운용시간은 짧지만 더 많은 양질의 데이터를 획득 할 수 있어 많이 활용되는 또 다른 무인로봇이다. 상대적으로 활용도가 적었던 ROV는 탐사횟수는 적었으나 유일하게 실시간으로 모든 진행사항을 알 수 있는 무인로봇이라 빙봉하부와 같은 곳에도 활용이 가능한 타입이라면 훨씬 활용도가 높아지지 않을까 생각된다. 수요조사를 위해 선박해양플랜트연구소에서 제공된 기본조사항목을 토대로 하였으며 몇차례에 걸쳐 조사를 실시하였다. 먼저 극지무인로봇이 사용될 극지환경에 대한 기본정보들은 기본설계에 있어 필수적인 데이터이다. 이를 바탕으로 극지무인로봇설계에 필요한 요구사항에 대해 분석된 결과는 아래와 같이 정리해 볼 수 있다.

선호하는 운영방식	탐사지역특성	선호취득데이터
<ul style="list-style-type: none"> 선박을 통한 운용 방식(ROV, AUV) 빙저호 탐사 	<ul style="list-style-type: none"> 육상온도:영하50도 수온:영하2.5도 유속:최대35cm/s, 평균10cm/s 염분도:33.0~35psu 탐사반경:AUV형태 시 100km이상 	<ul style="list-style-type: none"> 수온,염분,수심,유속

선호하는 방식으로는 쇄빙연구선 아라온호를 활용하는 방법으로 선박을 통한

운용방식을 선호했으며 빙저호탐사도 가능하면 좋겠다는 의견들이 있었다.

탐사지역특성으로는 쇄빙연구선이 한척뿐이라 지금은 남극과 북극이 각각 여름일때만 탐사를 하지만 추후 겨울에 탐사를 고려하여 외기온도는 영하50도까지로 조사되었으며 수온과 유속, 염분등의 자료는 기존 연구된 자료를 토대로 정리가 되었다. 취득했으면 하는 자료들은 수온과 염분과 유속과 수심데이터로 이 데이터는 연구에 가장 기본이 되는 데이터이기도 하다.

ROV 필요 기능	AUV필요 기능	자율탐사 선호 형태	탐사 최대수심
<ul style="list-style-type: none"> • 생물/해수채집 • 각종센서 탈부착 가능 • 5-way 카메라 • 카메라용 조명장치 • 방형구 탈부착 • 호버링 • 위치정보 	<ul style="list-style-type: none"> • 각종센서 탈부착 • 5-way 카메라 • 카메라용 조명장치 • 일정수심 유지하면서 이동 	<ul style="list-style-type: none"> • Hybrid ROV 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,000m이내

필요기능으로는 ROV/AUV로 나뉘져 있지만 최종개발선호 형태는 ROV와 AUV기능이 결합된 하이브리드형태이며 각 모드별 기능에 해당된다고 보면 될 것 같다. 탐사최대수심은 지금까지 경험상 탐사했던 수심자료를 토대로 가장 활용성이 높은 범위내로 정했으며 쇄빙연구선 아라온호 선미갑판의 공간을 고려하여 크기는 소형을 선호하였다. 로봇의 형태로는 수중에서 운용시 저항을 줄이기위해 어뢰형상이나 구형상으로 정리가 되었다.

이밖에 고려되어야 할 사항으로 장애물회피기능, 특히 임무를 마치고 수면으로 올라올 때 얼음을 피해야하기 때문에 Navigation설계시 이 부분은 필히 고려되어야 할 사항으로 판단된다. 알려진 바와 같이 저온에서는 배터리방전속도가 빠르기 때문에 AUV모드로 운용시 배터리로부터 파워공급 시간을 최대한 늘릴 수 있는 방안이 고려되어야 한다. ROV모드와 달리 AUV로 동작시는 배터리가 떨어지면 더 이상 아무것도 할 수가 없다. 또한 극지환경에 맞게 탐사수행을 위해 필요시 센서구성이나 시스템설정을 바꿔야 되는경우가 발생하는데 극한환경에서 쉽게 변경이 가능토록 모듈화설계 및 탈,부착이 쉬운구조로 설계가 되어야 한다.

제3장 결론

극지연구를 위한 무인로봇 ICT원천기술개발을 위해 기초환경조사와 주요기능연구를 수행하였다. 국내에는 극지연구를 위한 무인로봇은 전무한 실정이다. 이번연구는 극지연구를 위한 무인로봇이 없기 때문에 수년간 외국연구자들과 공동연구를 통해 극지연구를 수행하면서 쌓아온 경험을 바탕으로 앞으로 국내기술로 개발될 극지 무인로봇설계에 필요한 주요 사항들을 조사 및 분석이 이루어졌다. 현재 운용중인 전세계 극지탐사용 무인로봇의 최신 기술동향 조사와 탐사경험이 많은 연구원들을 대상으로 수행한 요구조건 도출은 앞으로 개발되어야 할 기술에 대한 기본자료로 활용되게 된다. 특히 기존 로봇들의 한계점을 분석함으로써 앞으로 설계시 나아가야 할 방향을 제시하였다. 극지환경을 고려하여 최대한 쉽게 구조변경이 가능하고 유지보수가 용이하며 AUV모드에서도 저전력운용기술을 개발하여 더 오랜시간동안 탐사가 가능하게 된다면 극지연구에 많은 도움이 될 것이다.

결론적으로 본 연구를 수행함에 따라 극지무인로봇 ICT원천기술개발에 필요한 사항들이 무엇인지를 제대로 파악하고 이해하였고 이는 앞으로 성공적인 원천기술개발이 가능토록하는데 활용될것으로 기대된다.

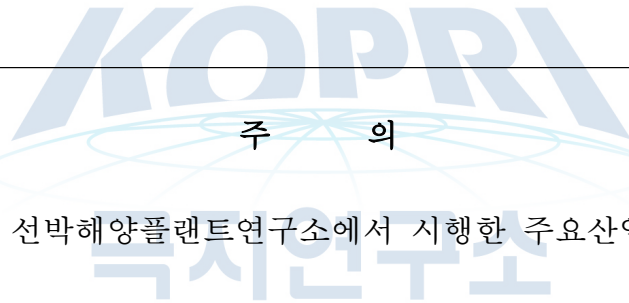


참고문헌

1. Urick, Robert J. 1983. Principles of underwater sound(third edition). Peninsula Publishing
2. Matthew Meister, Daniel Dichek, Anthony Spears, Ben Hurwitz, Charles Ramey, Justin Lawrence, Kit Philleo, Josh Lutz, Jade Lawrence, Britney E.Schmidt, Icefin:Redesign and 2017 Antarctic Field Deployment,
3. Yixing Ying, Jun Han, Guihui Chen, Jianyong Wu, Development of an AUV “Xuanwu-1” with Docking Function
4. Justin E. Manley, Aquanaut: A New Tool for Subsea Inspection and Intervention
- 5.Manley, J., “Unmanned Maritime Vehicles, 20 Years Of Commercial and Technical Evolution,” Proceedings of MTS/IEEE OCEANS 2016, Monterey, California, September 2016.
- 6.Michael V.Jakuba, Christopher R. German, Andrew D. Bowen, Teleoperation and Robotics under Ice:Implications for Planetary Exploration
- 7.Peter W.Kimball, Evan B.Clark, Mark Scully, Kristof Richmond, Chris Flesher, Laura E. Lindzey, John Harman, Keith Huffstutler, Justin Lawrence, Scott Lelievre, Joshua Moor, Brian Pease, Vickie Siegel, Luke Winslow, Donald D.Blankenship, Peter Doran, Stacy Kim, Britney E.Schmidt, William C.Stone, 2018, The ARTEMIS under-ice AUV docking system, Journal of Field Robotics, 35(2), pp.299-308
- 8.Hirokazu Yamagata, Toshihiro Maki, Hiroshi Yoshida, Yoshifumi Nogi, Hardware Design of Variable and Compact AUV “MONACA” for Under-Ice Survey of Antarctica,
- 9.Christian Katlein, Martin Schiller, Hans J. Belter, Veronica Coppolaro, David Wenslandt, Marcel Nicolaus, 2017, A New Remotely Operated Sensor Platform for Interdisciplinary Observations under Sea Ice, Frontiers in Marine Science, Vol 4
- 10.Angelo Odetti, Giorgio Bruzzone, Massimo Caccia, Edoardo Spirandelli, Gabriele Bruzzone, 2017, P2-ROV a portable/polar ROV, OCEANS 2017
- 11.Justin E.Manley, 2016, Unmanned Maritime Vehicles, 20 Years of Commercial and Technical Evolution
- 12.Stephen McPhail, Rob Templeton, Miles Pebody, Daniel Roper, Richard Morrison, Autosub Long Range AUV Missions Under the Filchner and Ronne Ice Shelves in the Weddell Sea, Antarctica - an Engineering Perspective
- 13.A.V.Inzartsev, A.M.Pavin, N.I.Rylov, Development of the Auv automatic docking methods based on echosounder and video data
- 14.Ahmad Mahmood Tahir, Jamshed Iqbal, 2014, Underwater Robotic Vehicles:Latest Development Trends and Potential Challenges,
- 15.Enrica Zereik, Marco Bibuli, Nikola Miskovic, Pere Ridao, Antonio Pascoal, 2019, Challenges and future trends in marine robotics,
- 16.Maaten E. Furlong, Dave Paxton, Peter Stevenson, Miles Pebody, Stephen D.

McPhail, James Perrett, 2012, Autosub Long Range: A Long Range Deep Diving AUV for Ocean Monitoring





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.