

극지 수중로봇 활용 수중통신 네트워크 기술
조사 및 환경 데이터 획득

Underwater communication network technology research
using polar underwater robots and environmental data
acquisition



연구기관

극지연구소

2022. 11. 30.

선박해양플랜트연구소



제 출 문

선박해양플랜트연구소장 귀하

본 보고서를 “극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발”에 관한 연구과제(위탁과제 “극지 수중로봇 활용 수중통신 네트워크 기술 조사 및 환경 데이터 획득”에 관한 연구)의 보고서로 제출합니다.

2021 . 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	PG22050	해당단계 연구기간	22.1.1~22.11.30	단계 구분	
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	위탁과제			
연구과제명	대과제명	극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발			
	세부과제명	극지 수중로봇 활용 수중통신 네트워크 기술 조사 및 환경 데이터 획득			
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"> - 극지 수중로봇 활용 수중통신 네트워크 기술조사 - 통신수명 연장을 위한 효율적 에너지 관리기술 동향 - 극지 탐사 기술 전문가 자문 및 문헌 자료 조사 - 극지무인로봇 ICT원천기술개발을 위해 극지 수중통신 네트워크 기술 조사 및 분석하며 분석된 결과는 원천기술개발에 활용가능 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	극지 수중 무인로봇, 수중통신, 수중 네트워크, 음파통신, 광통신			
	영 어	Polar underwater unmanned vehicle, Underwater Communication, Underwater Network, Acoustic Communication, Optical Communication			



요 약 문

I. 제 목

극지 수중로봇 활용 수중통신 네트워크 기술 조사 및 환경 데이터 취득

II. 연구의 목적 및 필요성

극지 무인수중로봇 ICT원천기술개발을 위해 극지 수중로봇 활용예정 탐사지역에 대한 환경자료 획득과 극지 무인수중로봇설계에 있어 기존 로봇기술과 필요한 기술에 대한 분석연구가 필요하다. 활용될 지역에 대한 환경데이터 획득 및 분석자료는 극지 탐사용 무인수중로봇 설계에 반영하고 극지 수중통신 네트워크 기술 분석 및 필요 주요기능에 대한 연구는 ICT원천기술 확보를 위한 무인로봇 개발 설계에 필요하다.

III. 연구내용 및 범위

- 극지 탐사환경을 고려한 극지 환경 데이터 획득
- 극지 수중로봇 활용 수중통신 네트워크 기술 조사

IV. 연구결과

- 극지 탐사 활용지역에 대한 환경 자료 획득
- 극지 사용 수중로봇 활용 수중통신 네트워크 기술 및 사례 분석

S U M M A R Y

I. Title

Exploration underwater communication network technology research using polar underwater robots and environmental data acquisition

II. Object and necessity

The objective of this study is to be necessary to acquire the environment of the exploration area to be used for the polar underwater robot and the existing robot technology and necessary technologies in the design of the polar unmanned underwater robot. Environmental data acquisition and analysis data on the area to be used are reflected in the design of the unmanned underwater robot for polar exploration, and the research on existing underwater communication network are necessary for the development and design of the unmanned robot to secure the ICT source technology.

III. Contents and Extents

- Acquisition and analysis of polar environment data considering polar exploration environment
- Research on underwater communication network technology using polar underwater robots

IV. Result

- Environmental analysis for polar exploration areas
- Analysis of underwater communication network technology and case using underwater robots

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	Research on underwater communication technology using polar underwater robots	6
Section 2	Research on efficient energy management technology for polar underwater exploration.....	23
Chapter 3	Conclusion	29



목 차

제1장 서론	5
제1절 연구목표	5
제2절 연구내용	5
제2장 본론	6
제1절 극지 수중로봇 활용 수중통신 기술 연구.....	6
1.1 극한 환경에서의 무선통신.....	6
1.2 수중통신 기술.....	7
제2절 극지 수중탐사를 위한 효율적 에너지 관리기술 연구.....	23
2.1. 에너지 절약 기술	23
2.2. 에너지 관리 기술.....	24
제3장 결론	29



제1장 서론

제1절 연구목표

본 과제는 극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT원천기술 개발을 위해 필요한 극지 수중로봇 활용 대상 탐사지역 환경 데이터 취득분석 및 극지 수중로봇을 활용한 수중통신 네트워크 기술연구가 핵심이다. 본 연구를 위해 크게 두 가지로 연구목표를 설정하였다. 크게 극지 무인 수중로봇 탐사지역 환경데이터 획득과 극지 수중로봇 활용 수중통신 기술과 극지 탐사 시 활용 가능한 효율적인 에너지관리기술에 대한 연구로 나눌 수 있다. 각 연구목표별 세부사항은 아래와 같다.

- 극지탐사환경을 고려한 극지환경 데이터 취득 및 분석
- 극지 수중로봇 활용 수중통신 기술
- 극지 탐사시 활용가능 효율적 에너지 관리기술

제2절 연구내용

위의 세부 목표에 따른 주요 연구내용은 아래와 같다.

- 극지탐사환경을 고려한 극지환경 데이터 취득 및 분석 :
 - 극지 무인수중로봇설계에 필요한 탐사지역에 대한 환경데이터 취득 및 분석
- 극지 탐사용 수중로봇 활용 빙붕·빙저호 탐사 기술 연구 :
 - 극한환경에서 무선통신 기술
 - 수중통신에 사용되는 기술
 - 최신 수중통신 기술 동향
 - 수중통신에 사용되는 에너지 절약 기술
 - 수중통신 에너지 관리 기술
 - 수중통신 에너지 최적화 기술

제2장 본론

제1절 극지 수중로봇 활용 수중통신 기술 연구

1.1 극한 환경에서의 무선통신

극한 환경에서 사용되는 무선통신시스템은 고온 또는 저온, 극단적인 날씨 등으로 일반 환경 하에서 설계된 시스템들과는 다른 특화된 기술이 요구된다. 특히 심해와 같은 상황에선 높은 압력과 조류, 높은 염분도, 남극과 북극과 같은 바다의 경우 영하의 수온이라 더욱 더 극한환경이라고 볼 수 있다. 이를 위해서 기존의 기술 외에 특화된 보다 진보된 기술들이 필요하다.

극한 환경에서의 무선통신은 신호대 잡음비가 좋지 않으며 도플러효과로 인한 문제점과 긴 시간지연을 비롯하여 무엇보다 통신을 위해 더 많은 전력과 에너지를 소비하게 된다. 이러한 환경 하에서는 주파수 대역폭 제한이 있을 수밖에 없으며 이를 위해 보다 더 다양한 효율적인 통신방법과 에너지 관리기술들이 필요하다. 극한 환경에서 존재하는 문제점과 한계를 극복하기 위해 위에서 언급한 여러 환경 별로 지속적인 연구가 필요한 분야는 우리의 미래 산업을 살리고 번영시킬 수 있는 좋은 기회이다.

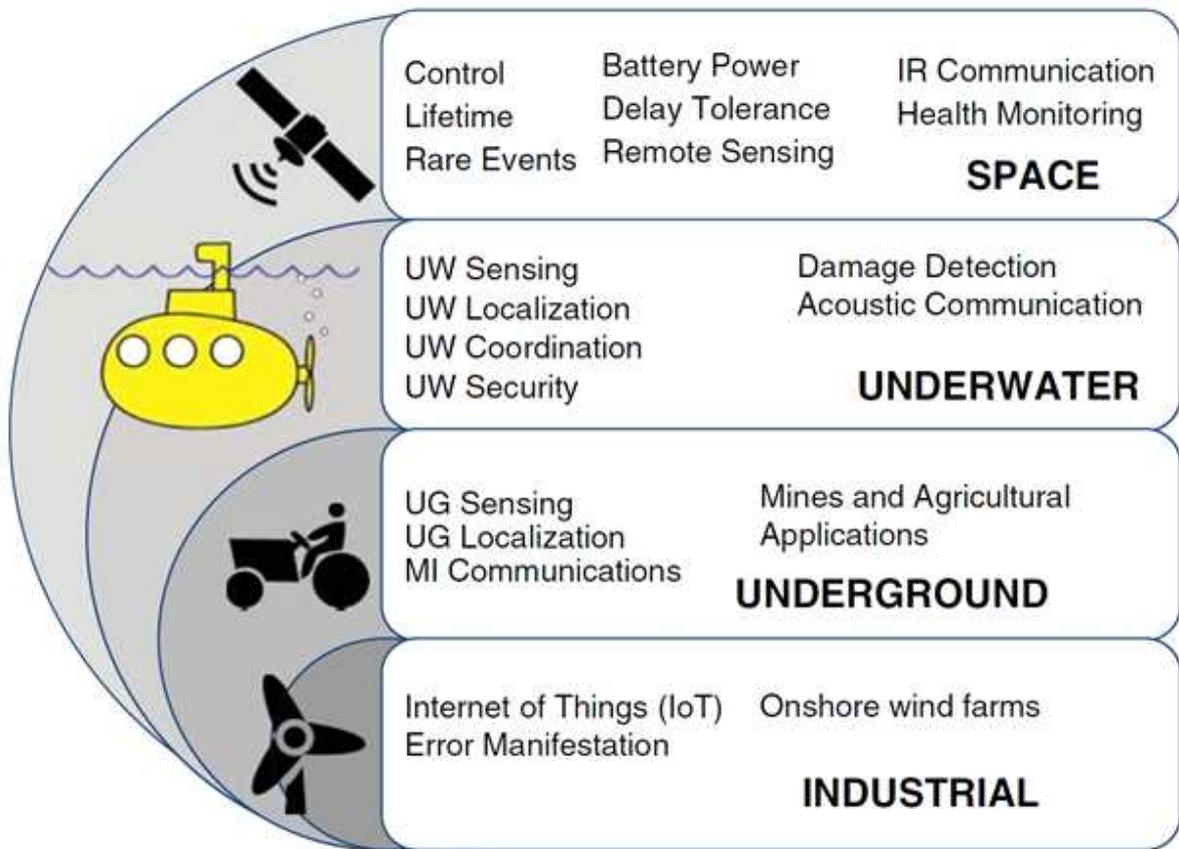
극한환경은 우주환경과 수중환경, 그리고 땅속과 산업적인 측면의 환경으로 나눠볼 수 있다. 우리가 접할 수 있는 극한 환경의 대표적인 곳이 바다 속 수중환경이다. 바다는 지구의 72%이상을 차지할 정도로 우리가 살고 있는 대륙보다 훨씬 큰 환경이지만 여러 가지 극한 환경으로 보다 지속적인 환경에 대한 연구와 기술 개발이 요구되고 있다. 오래전부터 수중에서의 통신 문제를 해결하기 위해 지속적인 연구가 진행되어왔으며 최근에는 보다 진보된 다양한 연구성과로 과거대비 보다 다양한 방법의 수중통신이 시도되고 있다.

극한 환경의 하나인 수중에서 통신을 위해 많은 도전적인 이슈가 존재하고 있다. 유선방식의 경우는 시스템으로 지속적인 파워 공급이 가능하지만 무선의 경우 배터리와 같은 독립적인 에너지원을 사용함에 따른 제한적인 파워로 인한 문제점이 있으며 데이터 전송속도의 문제로 전송지연, 데이터 오류, 동적인 수중특성에 따른 통신채널 장애, 그리고 보안에 취약한 문제를 안고 있다.

극지연구소는 국내 최초 쇄빙 연구선 아라온 호를 활용하여 남극과 북극에서 다양한 수중환경 연구를 수행하고 있으며 많은 연구에 있어 수중통신은 필수적인 기술 중 하나이다. 극지바다 속에서 통신을 위해서는 일반 전자기파로는 물속에서 흡수도가 높아 먼 곳까지 전달이 되지 않는다. 이러한 이유로 수중통신을 위해서는 음향신호를 사용하게 된다. 음향신호는 주파수에 따라 수중에서 장거리통신까

지도 가능하기 때문에 대부분의 수중로봇 통신을 위해 음향신호를 사용하고 있다. 이러한 경험과 관련데이터는 극지수중로봇설계에 반영될 예정이다.

또한 극지탐사를 위한 수중로봇 개발에 있어 수중환경 분석은 중요한 부분이다. 음향신호는 바닷속 수온과 염분도에 영향을 받으며 극지바다는 수온과 염분도 특성이 다르다. 이러한 극지바다의 특성은 극지탐사용 수중로봇 설계 시 반드시 반영이 되어야하며 극지바다의 수온과 염분도 측정데이터는 수중통신 설계에 있어 중요한 부분이다.



<그림 1> 무선센서 네트워크와 어플리케이션 사용이 어려운 네가지 영역[14]

1.2 수중통신 기술

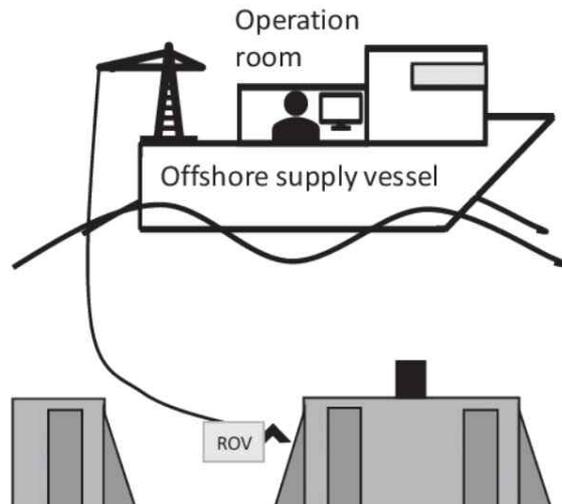
수중통신이란 수중에서 상호간에 다양한 신호를 통한 전송기술을 활용하여 정보를 전달하는 방식을 포함하는 개념을 말하며 다양한 통신기술을 통해 데이터를 송수신할 수 있는 기술을 말한다. 수중에서 통신은 바다의 물리적 특성으로 일반적인 통신환경과 많은 차이가 있어 원활한 통신을 하는데 있어 많은 어려움이 있다. 관련기술이 발전되고 수중통신에 대한 다양한 연구들이 진행되면서 수중통신은 군

사목적의 용도뿐만 아니라 해양연구에서도 필수적인 기술이 되었고 쓰나미와 해저 지진과 같은 재난위험을 감시하고 방사능, 적조현상, 수온 이상 등의 다양한 해양 환경 감시에도 활용되는 등 그 범위가 점차 확대되고 있다.

수중통신을 위한 방식으로는 아래와 같이 크게 유선통신과 무선통신 방식으로 나뉘 볼 수 있다.

1.2.1 유선통신

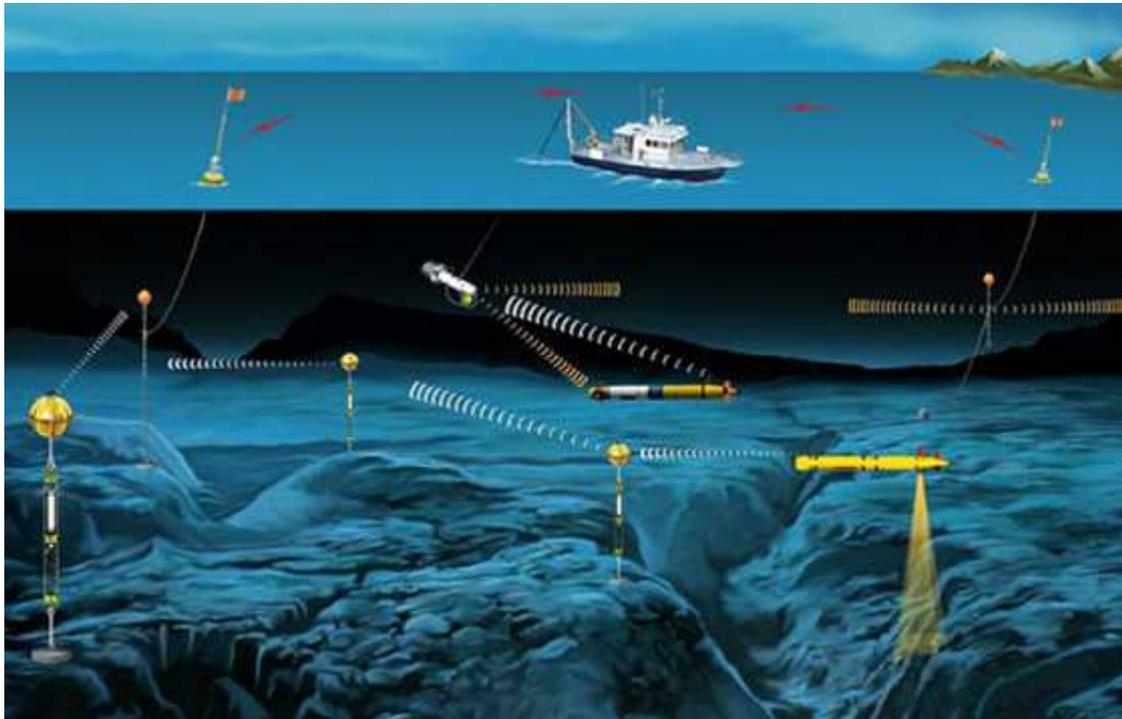
유선통신은 장비에 케이블이 직접 연결되어 통신하는 방식으로 무선통신에 비해 바다의 물리적 환경으로부터 영향을 덜 받기 때문에 보다 안정적인 통신이 가능하다는 장점이 있다. 장기적인 유선통신환경을 위해서는 자연재해와 동물습격으로부터 케이블이 견뎌낼 수 있는 피복과 전송선로의 기술 등이 사용되어야 한다. 수중무선통신에 비해 비교적 난이도가 낮으며 통신거리가 장거리, 단거리냐에 따라 광케이블과 동축케이블, 유선랜 케이블 등이 사용되고 있다. 수중로봇에 유선통신이 사용되는 예로는 원격조정 잠수정(ROV)를 활용한 탐사이다. 직접적인 연결을 통한 유선통신방식은 선박으로부터 충분한 전력공급이 가능하고 데이터 대역폭이 넓어 실시간 영상정보도 지연 없는 송수신이 가능하다. 그러나 무선통신 방식에 비해 수심이 깊은 심해에서 사용하기엔 케이블운용의 어려움이 있으며 또한 많은 비용과 더 넓은 장비운용공간을 필요로 할 뿐만 아니라 케이블이 끊어지거나 꼬이는 문제점을 내포하고 있어 사용에 있어 제한적인 단점이 있다.



<그림 2> 유선통신을 사용하는 ROV사용 예[1]

1.2.2 무선통신

수중 무선통신을 위한 환경은 육상 무선통신을 위한 환경에 비해 통신을 위한 조건으로 볼 때 극한환경이라 볼 수 있다. 대기중의 공간과 달리 물속에서는 일반적으로 알려진 무선신호의 전송이 어려우며 일반적으로 사용하고 있는 무선통신기술은 물속에서는 바로 적용할 수가 없다. 제한된 대역폭과 에너지공급의 제한에 따른 문제 점등 다양한 제한사항이 있음에도 유선통신에 비해 다양한 장점들이 많아 다양한 방식의 기술을 통한 수중통신방식이 사용되고 있다. 최근에는 수중에서 군사적 전략 감시, 해양오염 감시, 연안 탐사, 기후변화 감시등 다양한 해양 연구의 중요성이 커짐에 따라 증가될 것으로 예상되는 수중로봇과 같은 무인 이동체와의 통신을 위해 높은 대역폭과 빠른 전송속도를 가지며 신호지연이 낮은 수중 무선통신 기술의 필요성은 날이 높아지고 있다.

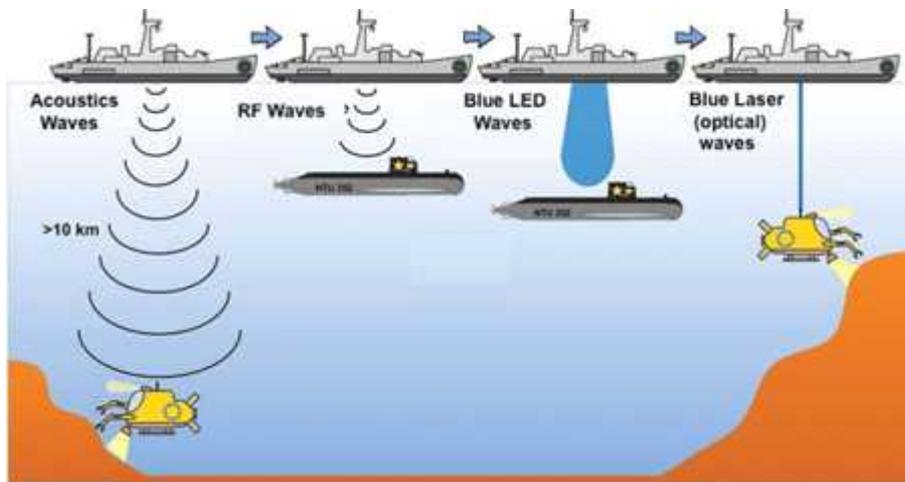


<그림 3> 수중통신의 다양한 활용 예[31]

수중 음향통신에 대한 연구는 오래전부터 있어왔지만 음파 대역의 한정된 전송대역폭과 수중 환경으로 인한 긴 다중파 지연확산 등의 문제로 수십 Kbps 전송속도라는 기술적한계가 수중 무선통신의 활성화에 걸림돌이 되어왔다. 전송대역폭 문제를 해결하기 위해 RF 주파수 대역을 이용한 수중무선통신으로 속도를 좀 더 올릴 수 있지만 통신거리가 수m인 단점으로 한계가 있다. RF 통신의 전송속도는 사용되는 주파수와 수중조건과 환경에 따라 변화되는 투자율, 유전율, 도전율, 그리고 불륨전하밀도에 의존한다. 전송속도 측면에선 수중 RF무

선통신방식보다는 높고, 전송거리가 수중 RF무선통신보다 10배 이상 크지만 수중 음향통신보다는 매우 근거리이고 저전력과 낮은 복잡도를 갖는 수중 무선광통신에 대한 연구개발도 진행되고 부분적으로 사용되고 있다. 육상과 우주 환경에서 연구개발 되어온 무선광통신을 수중환경에서 신뢰할 수 있는 수중 무선광통신으로 개발하기 위해서도 극복해야할 기술적 이슈가 있다. 낮은 연안 바다부터 심해 혹은 극지바다까지 수중환경의 다양한 물리화학적 생물학적 현상으로 발생하는 수중 광신호 전파특성에 대한 이해와 이를 위한 다양한 기술개발이 필요하다.

수중통신에 사용되는 신호방식으로 가장 많이 사용되고 있는 음파를 활용한 방식, 빛의 신호를 활용한 방식, RF신호를 활용한 방식과 자기유도를 활용한 방식으로 나뉘볼 수 있다.



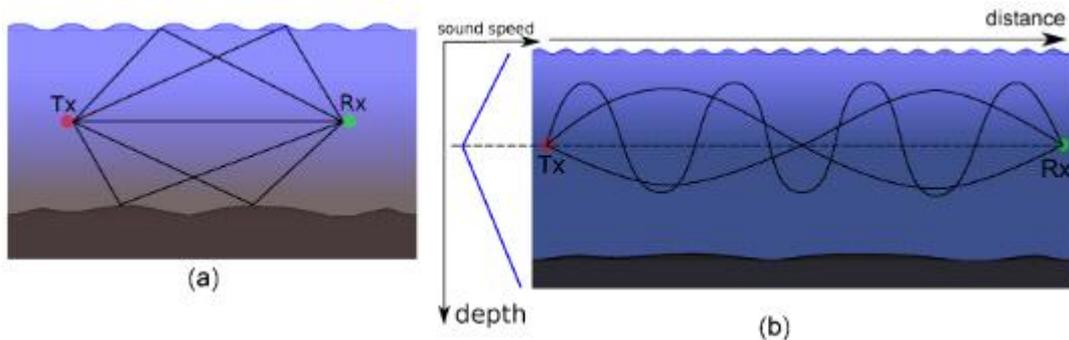
<그림 4> 다양한 수중통신시스템 비교[2]

가.음향통신

음파를 이용한 수중통신방식은 낮은 대역폭과 높은 전송손실, 시변환 다중전파로 인한 높은 지연과 도플러확산으로 시공간적 변동으로 인해 가능한 전송대역폭이 제한되어 수 Km의 장거리통신에서는 수십kbps, 수미터의 근거리통신에서는 수백kbps의 전송이 가능하다. 아래 표 1에서 알 수 있듯이 수중환경이 역동적으로 변화되는 도전성으로 여전히 극복해야 할 이슈로 존재하며, 특히 주파수 종속적인 감쇄와 시변 다중파 전파와 높은 지연으로 인접 심별간 간섭이 발생으로 전송속도 향상에 한계가 있다.

Distance	Range (km)	Bandwidth (kHz)	Data Rate (kbps)
Very Long	1000	< 1	≈ 0.6
Long	10 - 100	2 - 5	≈ 5
Medium	1 - 10	≈ 10	≈ 10
Short	0.1 - 1	20 - 50	≈ 30
Very Short	< 0.1	> 100	≈ 500

<표 1> 수중 음향통신의 전송거리,대역폭,전송속도



<그림 5> 음향신호의 다중경로 전파:(a)천해에서 단거리경우 (b)심해에서 장거리 경우[3]

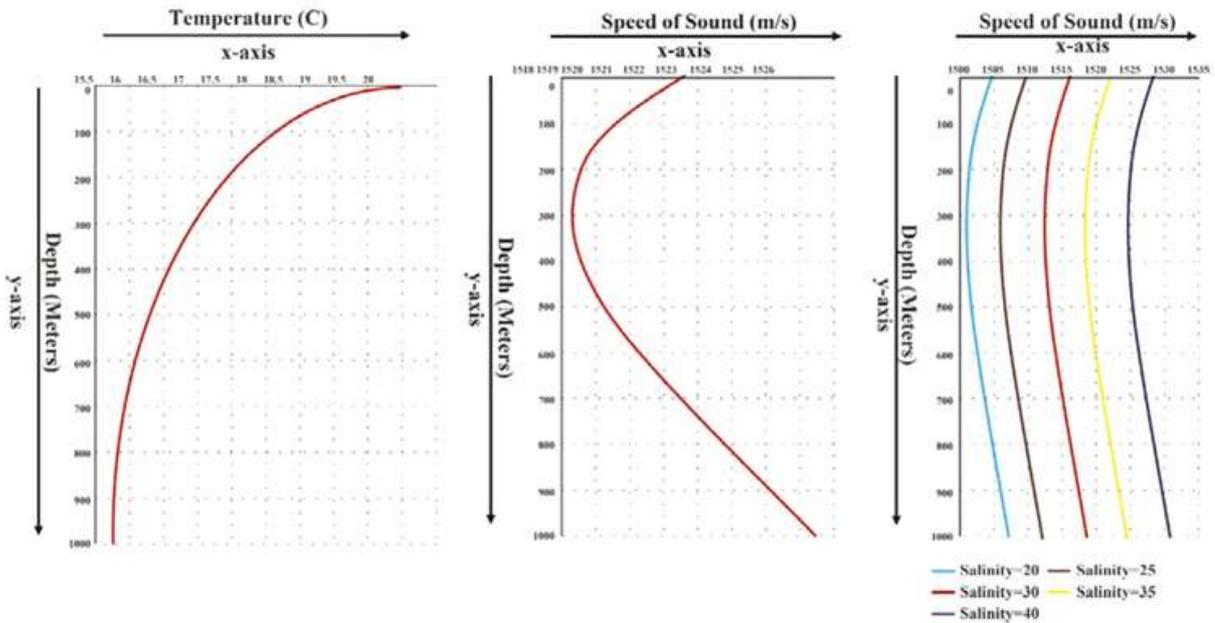
수중 음향통신은 음파 또는 초음파를 사용하여 수중에서 무선으로 정보를 전송하는 기술로 수중 음향모뎀 하드웨어와 소프트웨어 제작 기술, 수중 음파통신 프로토콜 기술, 수중 음파통신 네트워크 기술, 수중 응용 시스템 및 서비스 기술 등이 포함된다. 연구초기에는 두 디바이스간 점대점(point to point)형태의 음향통신 기술들이 개발되어 왔으나, 최근 들어 다수의 수중 디바이스가 참여하여 정보를 생성하고 이를 효율적으로 전달하는 수중 음향 네트워크 시스템에 대한 기술 개발이 활발하게 수행되고 있다. 특히 수중 네트워크 시스템은 수중센서를 활용하여 정보를 수집하는 수중센서 노드, 클러스터 내에 위치한 수중센서 노드들과 수중 음파통신을 수행하여 이들을 제어하고 관리하는 수중 싱크노드, 수표면에 위치하여 수중 싱크노드 및 지상 네트워크와 연동하는 수표면 게이트웨이 등으로 구성되며, 시스템을 구성하는 각 개체간의 통신속도와 통신거리 증대 및 전송오류 저감을 위한 수중 음파통신 기술들과 수중 음파통신 시스템의 전체적 효율성 및 안정성 제고기술 등이 연구의 중심이 되고 있다.

수중 음향통신의 채널특성을 살펴보면 파동은 물체가 생성하는 주기적인 진동이 매질을 통해 전달되는 물리적 현상으로 파동의 진행방향과 매질의 진동방향이 동일한 종파이며, 기체, 액체 또는 고체 상태의 매질을 통해서만 전달되는 특성이 있다. 음파의 속도는 매질에 따라 다르지만 대략적으로 상온의 대기 속에선 340m/s, 수중에선 1,500m/s, 철에서는 5,120m/s의 속도로 전파된다. 수중에서

활용되는 음파는 수온, 염분도, 깊이에 따른 수압의 변화에 따라 물속에서 진행속도도 변하게 된다. 아래 물속에서 음파의 진행속도를 계산하는 수식에서 보는바와 같이 음파의 진행속도를 결정하는데 있어 수온(T), 염분도(S), 수심(d)이 변수로 작용하는 것을 알 수 있다.

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016d$$

아래 그림 6에서 보는바와 같이 일반적으로 수심이 깊어질수록 수온은 낮아지게 되고 염분도가 높을수록 음속은 증가하게 된다.

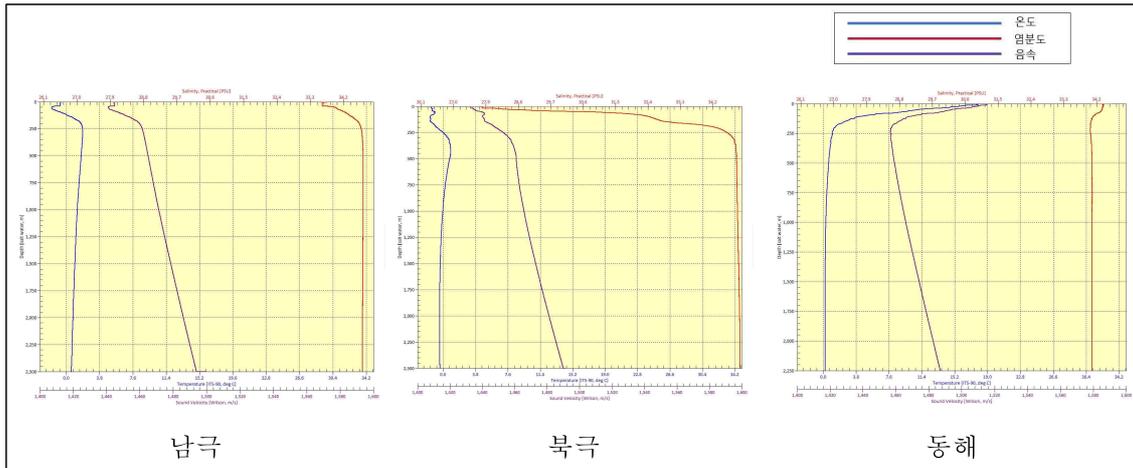


<그림 6> 음속, 수온, 염분도, 깊이에 따른 변화 비교[5]

그러나 극지에서 수중로봇을 활용한 탐사를 한다면 극지환경에서의 음속정보를 반영하여야만 한다. 그림 7은 쇄빙연구선 아라온 호의 CTD장비를 활용하여 관측된 데이터로 남극과 북극은 비슷한 음속 프로파일 형태를 보이지만 일반적으로 알려진 바다의 패턴을 보이는 동해에서의 관측데이터와는 차이를 알 수 있다. 남극과 북극의 바다는 기존의 일반바다와 달리 표면의 온도가 상당히 낮은 편이다. 얼음으로 인해 바다내부 보다는 표면의 온도가 더 차가우며 얼음의 영향으로 염분도에도 영향을 미치게 된다.

그래프상의 데이터를 보면 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 극지에

서 볼 수 있는 음속변화가 고려되지 않아 모든 음향신호를 이용한 탐사데이터 정확도가 떨어질 수 있다. 이러한 음속프로파일 정보는 극지용 무인수중로봇 개발 시 반영되어야 하며 이를 통해 보다 정확한 데이터 취득이 가능하리라 판단 된다.



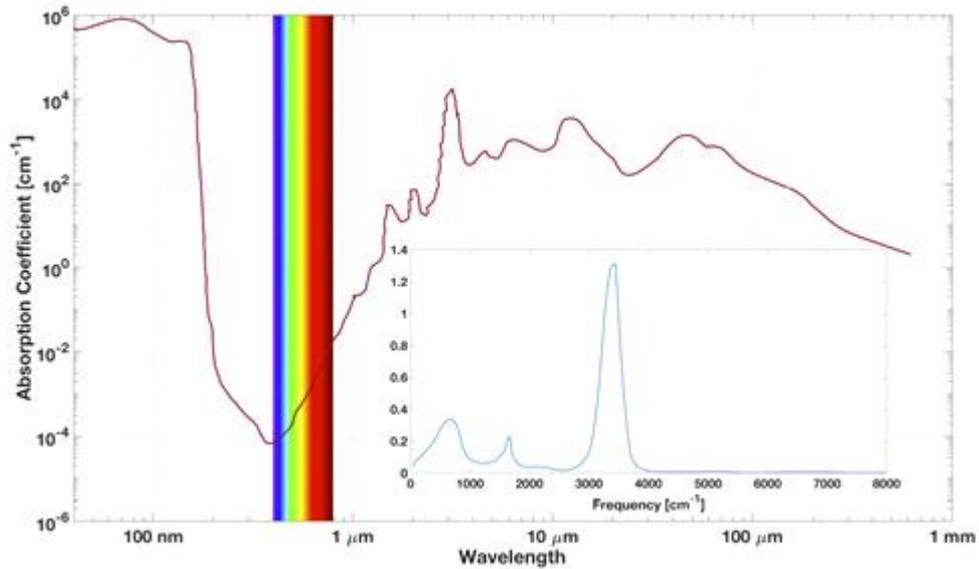
<그림 7> 쇄빙연구선 아라온호를 통해 획득된 수심별 온도, 염분도, 음속변화

수중통신은 음향 주파수 대역 기반으로 전송기술로서 상당한 개선이 있었지만 다양한 수중 이동체, 센서, 관측기 등이 발생하는 수십Mbps데이터를 저지연으로 전송하기에는 적합하지 않다. 그럼에도 불구하고 음향통신방식은 가장 보편적인 수중통신방식으로 지금까지도 가장 많이 사용되고 있는 기술이며 다양한 주파수 영역대의 음향을 이용하여 수중에서 근거리는 물론 수십km의 원거리까지 무선으로 데이터 전송이 가능한 대표적 기술이다.

나. 광통신

광통신 기술은 특히 근거리에서 많은 양의 데이터를 전송할 수 있는 기술로 광케이블을 이용한 유선방식과 광원을 이용한 무선방식이 있다. 광케이블을 이용하는 유선방식은 전기신호를 광신호로 변경하는 발광소자로 이뤄진 송신부와 신호를 전송하는 역할을 하는 광케이블, 수신된 광신호를 전기신호로 변환하는 수광소자의 수신부로 이뤄진다. 무선 광통신 방식은 발광다이오드(LED)나 레이저와 같은 광원을 이용하여 통신하는 방식으로 수중환경에서 광신호의 급격한 감쇠로 통신거리가 한정되지만 최대 수Gbps의 데이터전송이 가능한 장점이 있다. 수중음향통신의 경우 해수의 온도변화와 분포영향에 민감하며 음파속도가 1,500m/s정도로 상대적으로 느린 편이다. 해수면에서 발생하는 선박 엔진소음, 스크루 소음등의 잡음에 취약하며 다중 경로 전파와의 간섭에 취약하며 무엇보다

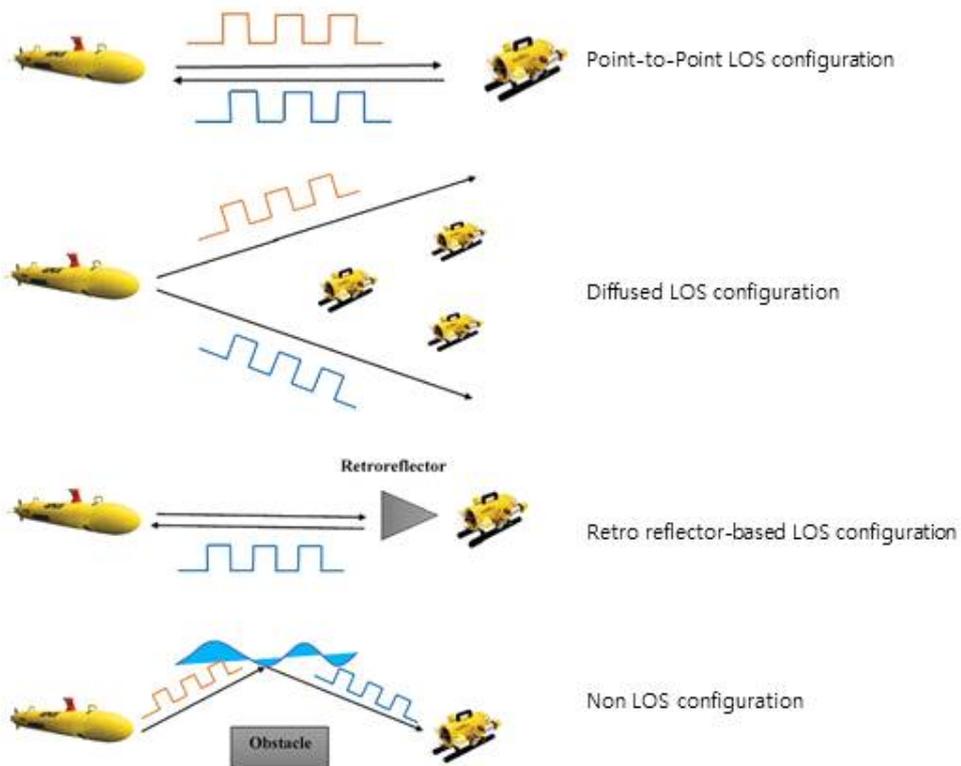
다 데이터 전송속도와 제한된 대역폭은 다양한 응용분야 면에서 부족한 면이 있다. 높은 소비전력과 시스템크기도 제약요소로 작용한다. 이러한 여러 부족한 점들을 광통신을 활용하게 되면 많은 부분을 해소할 수 있다. 주로 사용되는 광원으로는 아래 그림 8에서 보는바와 같이 흡수도가 가장 낮은 청색광이나 녹색광을 많이 사용한다. 수중에서 전파속도는 빛의 속도로 이동하기 때문에 고속전송이 가능하며 해수의 온도변화와 무관하며 다양한 수중잡음에 강한 장점이 있다.



<그림 8> 수중에서 광파 감쇠[32]

하지만 광통신방식도 단점이 존재한다. 흡수와 산란, 난류, 빔 확산과 정렬, 다중 간섭, 물리적 방해, 배경잡음 등은 광통신에서 장애요소이다. 무엇보다 송수신거리가 짧다는 것이 가장 큰 단점중 하나이기 때문에 두 가지의 결합한 하이브리드형태의 통신시스템 연구도 활발히 진행되고 있다.

수중 광통신의 장점은 다양한 분야에 활용이 되고 있다. 화상이나 데이터를 실시간으로 모니터링하거나 제어가 필요한 수중로봇 운용, 레저 활동이나 수중작업 등 дай버들의 수중활동증가로 дай버들의 안전과 원활한 작업수행을 위하여 дай버 통신 분야, 기동중인 잠수함과의 통신을 위한 해양방위산업 분야, 넓은 범위의 수중에 걸쳐서 각종 수중정보를 수집하고 이를 수중 기지국에 전송하는 수중통신 네트워크 분야 등 다양한 분야에 활용이 가능하다.



<그림 9>수중로봇 운용에 광통신 활용예[7]

다.RF통신

수중에서 RF 흡수도는 아래의 수식에서 알 수 있는 바와 같이 전도율, 투자율, 주파수와 관련이 있다.

$$\alpha(f) = \sqrt{\pi\sigma\mu_0} \sqrt{f} = \kappa \sqrt{f}$$

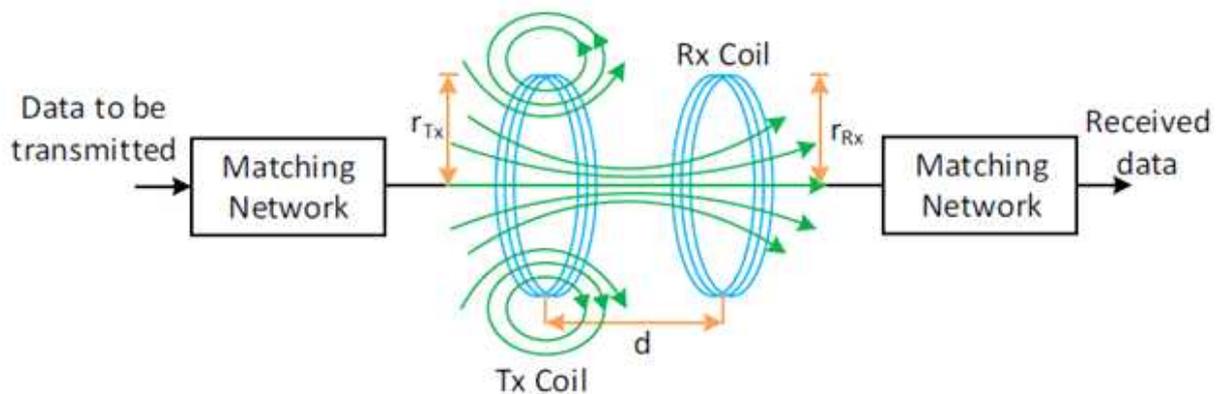
f :radio carrier frequency
 σ :water conductivity
 μ_0 :permeability of the vaccum $4\pi \times 10^{-7}$

육상에서는 무선통신방식으로 RF통신을 가장 많이 사용하지만 수중에선 주변잡음으로부터 강하고 고속전송이 가능한 점과 염분도와 탁도에도 영향을 별로 받지 않는 장점이 있는 반면 전파의 흡수도가 너무 높아 단거리통신밖에 되지 않기 때문에 상대적으로 적게 활용되고 있다. 전송거리를 늘리기 위해선 보다 큰 대형안테나가 필요한 점과 가격과 에너지효율 면에서 떨어지는 단점이 있다.

라.자기유도 통신

자기유도(Magnetic Induction)방식 통신은 코일 안테나에 교류전류를 가하면 생성되는 자기장 영역을 이용하여 정보를 전송하는 근거리 무선통신 기술 중의 하나이다. 전자파를 이용하는 지상에서의 무선 통신 기술과 달리 수중 센서 네트워크를 위한 음파 기반의 수중 음향 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 수중음향통신에 대한 여러 가지 제약조건에 대한 대처방안으로 자기장 통신의 적용가능성이 제기되었으며 현재까지도 여러 연구가 진행되고 있다.

자기유도방식 통신은 아래 그림 10과 같이 송신단(Tx)의 코일안테나에 교류전류를 가하면 생성되는 자기장 영역을 이용하는 무선통신기술로 해당 자기장이 거리 d 만큼 떨어진 수신단(Rx)의 코일 안테나에 전류를 유도하는 방식으로 데이터를 전송하게 된다.



<그림 10>MI 통신기술[5]

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \mu_r N I(t) A}{4\pi d^5 \hat{B}}$$

B:transmitted magnetic flux density
 μ_0 :magnetic permeability constant
 μ_r :relative permeability of the medium
 N:the number of turns in the coil
 I(t):time-varying current in the coil
 A:coil area
 d:distance between the transmitter and the receiver coil

자기유도방식 통신은 전송지연이나 다중경로 페이딩에 영향을 받지 않고 비교적 데이터 전송속도도 빠른 편이다. 또한 에너지 소모가 작고 저비용으로 구현이 가능한 장점을 가지고 있으며 보안성이 뛰어나다. 하지만 자기유도방식도 수중에선 감쇠가 심하며 안테나의 코일권선수와 임피던스 등에 영향을 받는 단점

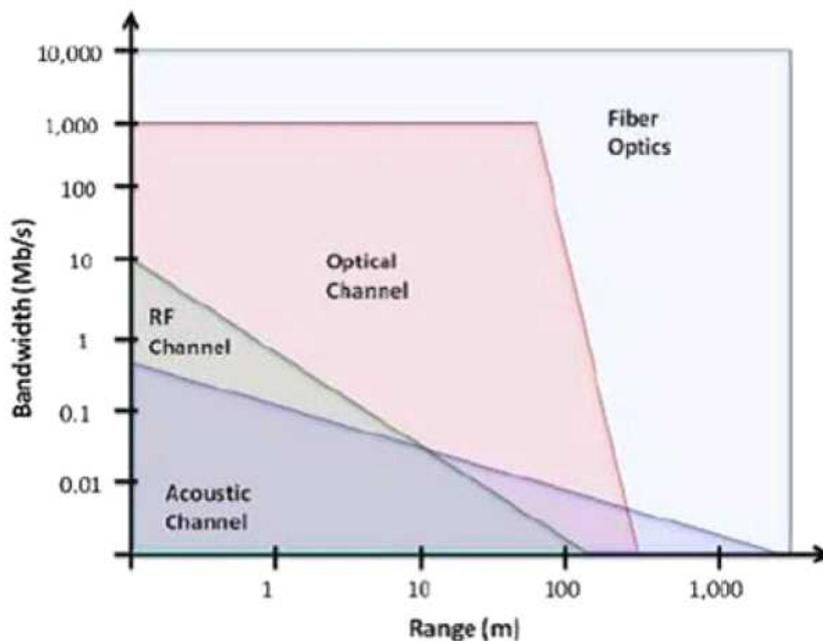
을 안고 있다.

현재 활용되거나 연구되고 있는 네가지 통신방식에 대해 자료를 조사 연구해본 결과 네가지 방식 모두 장단점을 다 가지고 있어 상황에 따라 적절한 통신방식을 선택하거나 몇 가지를 결합한 하이브리드형태의 시스템을 고려해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

지금까지 조사한 결과에 의하면 아래 표 2와 그림 11로 정리해 볼 수 있다. 장거리전송을 위해서는 음향통신이 최선이나 근거리경우는 광통신, 자기유도통신, RF통신 등 상황에 맞게 선택할 필요가 있어 보인다.

	UAC (acoustic)	UOC (optical)	UMIC (magnetic induction)	URFC (radio frequency)
Energy efficiency	low	Better than UAC and URFC	Better than UAC and UOC and URFC	Better than UAC
Range	Long(>1km)	10-100m	10-100m	<10m
Data Rate	Low(kb/s)	High(Mb/s to Gb/s)	High(Mb/s)	High(Mb/s)
Speed	About 1,500m/s	2.2~3x10 ⁸ m/s	EM waves speed	EM waves speed
Cost	High	Lower than acoustic	low	high
Security	Unsecured	Unsecured	More secured	secured

<표 2> 물리적 계층 수중무선통신 기술 비교



<그림 11>수중통신 채널 별 전송범위와 대역폭 비교[6]

1.2.3 수중통신기술 동향

수중 무선통신은 연결된 수중 센서들, 무인 수중로봇, 수중 디바이스, 표층 기지국등과 같은 다양한 시스템과의 효과적인 정보교환을 위해 필요한 기술이며 이는 수중 생물, 수중 인간 활동, 갑작스러운 자연재해 등 다양한 수중환경을 연속적이며 장기적인 모니터링에 사용될 수 있다.

수중 유선네트워크 구성시 고비용과 설치와 회수 시 상당한 시간이 소요되며 보다 광범위의 탐사가 필요할 경우 유선으로 수중통신시스템을 구성하기엔 상당한 어려움이 있으나 수중 무선통신기술을 활용하면 이러한 문제들을 해결할 수 있다.

수중통신 시스템은 시스템운용에 있어 많은 기능들을 수행하게 된다. 각각에 연결된 디바이스들의 동작상황을 지속적으로 모니터링하여 관리를 하게 되고 보다 효율적인 운용을 위해 네트워크관리기능을 수행하게 된다. 수중에 설치된 각 디바이스의 위치를 감시하여 최적의 통신이 가능케하며 데이터 송수신과 리소스 할당 및 관리 등을 수행한다. 그 외 원활한 시스템 운용을 위한 배터리관리기술, 메모리관리, 트래픽 조절, 보안등의 문제들도 모니터링하면서 시스템이 운용되게 된다.

수중통신을 함에 있어 통신에 영향을 미치는 다양한 요소들이 존재한다. 근거리를 제외한 중장거리엔 음향통신채널을 사용하기 때문에 대부분의 요소들은 음향통신문제점과 관련된 것들이다. 수중네트워크 주변의 환경잡음과 유속, 가변적인 수온과 염분도와 수압, 짧은 배터리 수명과 전송오류에 따른 높은 데이터 재전송확률, 다중경로에 따른 신호지연 등은 수중통신의 효율을 떨어뜨리는 산재된 문제들이다.

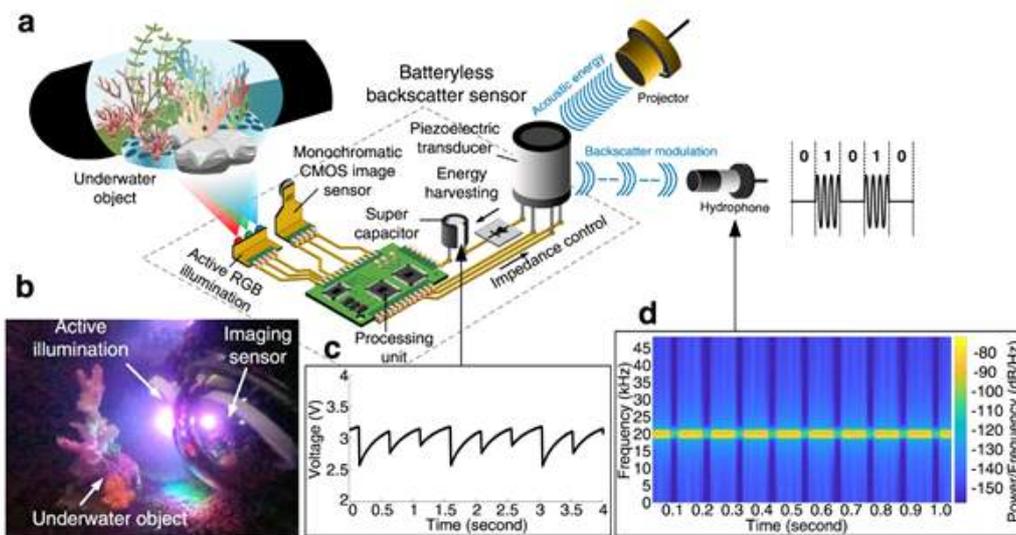
현재 전 세계적으로 발전된 수중통신시스템을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다.

가.에너지 하베스팅.

사용하지 않는 에너지를 유용한 전기에너지로 변환하고 저전력 무선 전력통신을 통한 에너지 하베스팅과 원격지와의 전자계에너지를 통한 자력 배터리충전 기술등이 있다. 특히 최근엔 MIT에서 수중에서 음향신호를 전기에너지로 바꾸는 원리를 활용하여 세계 최초로 배터리없이 동작하는 수중 무선카메라를 개발하여 그 결과를 발표하였다.



<그림 12> 배터리 없는 수중 카메라[24]

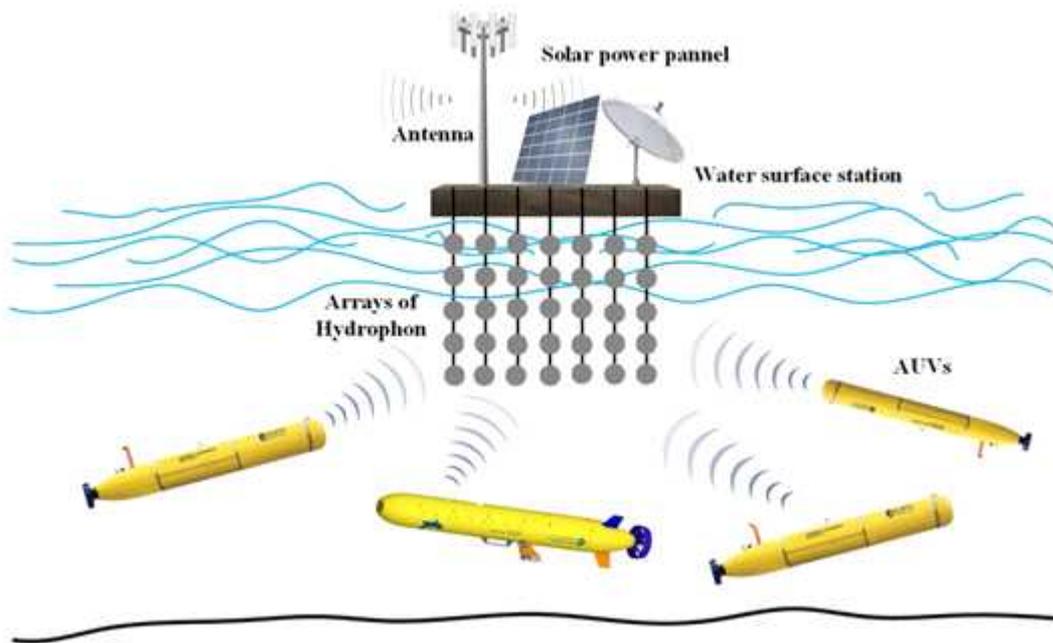


<그림 13> 수중 후방산란 영상[13]

그림 13에서 외부로부터 음향신호를 수신하면 압전방식의 트랜스듀서에 의해 후방산란 영상을 촬영할 센서동작을 위한 전기로 변환한다. 변환된 전기에너지는 슈퍼커패시터에 저장되고 영상촬영 센서인 CMOS 센서와 3개의 LED를 동작하는데 사용된다. 촬영된 영상은 자료를 수신할 외부 하이드로폰으로 전송하게 된다.

나. Massive MIMO 적응형 수중통신

MIMO는 Multiple Input Multiple Output의 약어로 다중 입출력이 가능한 안테나 시스템을 말한다. 즉 다수의 안테나를 사용하여 다중경로로 신호를 송수신하여 간섭을 줄이고 전송용량과 전송속도를 증가시키는 기술이다. 앞에 붙은 Massive를 사용한 것은 많은 안테나를 사용한다는 의미를 가지고 있다. 수중통신에 적용되는 MIMO기술은 수많은 하이드로폰 어레이를 통한 큰 규모의 수중네트워크 구성이 가능하며 이미지, 오디오, 영상신호 등의 멀티미디어 데이터 전송이 가능해진다.



<그림 14> 음향 Massive MIMO 시스템

다. 수중통신을 가능케하는 mmWaves

mmWave는 30~300Ghz대역주파수로 파장 길이가 1cm~1mm를 갖는 대역을 말한다. 밀리미터파는 물속에서 손실에 대한 단점도 있지만 짧은 파장으로 동일면적에 상대적으로 많은 안테나를 실장 할 수 있고 신호를 특정방향으로 집중하여 송수신할 수 있어 낮은 주파수에서보다 전송 효율을 높일 수 있다. 이러한 특성으로 대용량의 네트워크구성에 활용성이 있으며 효율성이 좋으며 대역폭이 큰 것도 장점이다.

라. NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access)

NOMA는 기존의 OFDM방식이 갖고 있던 주파수 자원 할당 관점에서의 직교성을 깨고 같은 주파수 자원상에 두 대 이상의 디바이스의 데이터를 중첩 할당하여 자원효율을 높이는 방법으로 각 디바이스로부터 주파수나 시간, 코드 자원 등을 공유하여 정해진 자원으로 디바이스를 좀 더 많이 수용할 수 있도록 한 다중접속방식이다. 육상의 통신방식으로 이미 사용이 되고 있으며 수중통신적용분야에도 연구들이 진행되고 있다.

마. 수중사물인터넷(IoUT)

유·무형의 여러 객체를 서로 연결해놓은 인터넷을 사물인터넷(IoT)라고 말한다. 개별적으로 존재하던 사물들이 서로 연결됨으로써 다양한 새로운 서비스제공이 가능하게 된다. 이러한 사물인터넷 기술을 바다에 적용한 것이 수중사물인터넷(IoUT:Internet of Underwater Things)이다. 현재 많은 나라에서 해양 자원개발과 수중로봇, 해양생태계 모니터링 등의 다양한 기술을 개발하고 있다. 다양한 수중센서와 네트워크 등을 이용하여 수중에 존재하는 여러 기기와 장치를 서로 연결하고 상호작용하는 것으로 국내의 경우 SK텔레콤이 호서대학교와 함께 공동 연구하여 2018년에 수중사물인터넷을 시연한바 있다.

북극과 남극과 같은 극한 환경 하에서 수중통신은 더 많은 환경적인 제약조건이 존재한다. 특히 얼음하부의 극지 바다 속에서 수중통신을 하는 경우 상부의 얼음으로 인해 수중통신에 많은 어려움이 있다. 최근에 미국의 MIT대학이 중심이 되어 북극 얼음하부에서 수중통신을 활용한 수중항법에 대한 실험결과를 공개했다. 실험은 북극해에서 수행되었으며 무인이동체인 AUV를 진수 및 회수하고 전체시스템을 통제할 센터를 중심으로 각각 2km떨어진 곳에 얼음의 위치정보측정을 위한 총 4개의 디바이스를 얼음에 구멍을 뚫어 얼음 밑까지 설치를 하고 가운데 센터에서 무인이동체인 AUV를 진수하여 실시간으로 AUV의 위치를 관측하는 실험을 성공적으로 수행하였다. 이는 얼음과 같은 제약조건하에서 수중통신의 가능성을 보여준 좋은 예라고 할 수 있으며 얼음으로 뒤덮힌 극지바다에서도 다양한 수중통신을 하는데 도움이 되리라 판단된다.



<그림 15> 북극 얼음하부에서의 수중통신을 위한 시스템 구축[23]



<그림 16> 얼음하부에 설치된 수신기[23]

제2절 극지 수중탐사를 위한 효율적 에너지 관리기술 연구

2.1 에너지 절약 기술

수중 탐사를 위해서는 환경관측을 위한 다양한 무인 로봇, 수중 관측센서 등이 활용되고 있다. 보다 광범위한 범위의 장기관측을 위해서 수중 센서 네트워크를 구성하여 모니터링을 할 수 있는 시스템들을 구축하고 있다. 수중의 경우 지속적인 전력공급이 힘들기 때문에 대부분이 배터리와 같은 전력공급원을 사용하고 있다. 배터리기술이 더 발전하여 외부 전력 공급 없이 장기간동안 전력공급이 가능한 시대가 오기 전까진 최대한 오랜 기간 동안 시스템운동을 위해 최소한의 에너지로 시스템을 운영할 수 있는 방안은 계속적으로 연구가 필요한 부분이다. 장거리 수중통신을 위해 가장 많이 사용하는 음향통신의 경우 송수신시 에너지소비량이 많아 이에 대한 대안으로 광통신, RF통신, 자기유도통신 등 다양한 방식들과 결합하는 형태 등 다양한 연구도 시도되고 있다.

에너지소비가 가장 많은 음향통신시스템을 중심으로 에너지절약을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 하드웨어 설계적 측면에서는 음파를 송수신하는 트랜스듀서의 에너지 소모가 크기 때문에 트랜스듀서 제작시 에너지소모를 줄일 수 있는 방법과 신호처리를 위한 회로설계 기술, 좀 더 배터리를 물리적으로 오래갈 수 있도록 하는 배터리 제작기술등이 대표적이다. 통신 프로토콜 각 계층에서 수행하는 역할에 대한 알고리즘 연구를 통한 에너지관리기술도 연구되고 있으며 추가로 사용가능한 에너지원에 대한 연구도 진행되고 있다.

최적의 경로로 데이터를 송수신하는 것은 에너지소비를 줄일 수 있는 또 다른 대안 중 하나이다. 이러한 역할을 라우팅이라고 하며 이를 위한 라우팅 프로토콜에 대한 연구들도 활발하게 진행되고 있다.

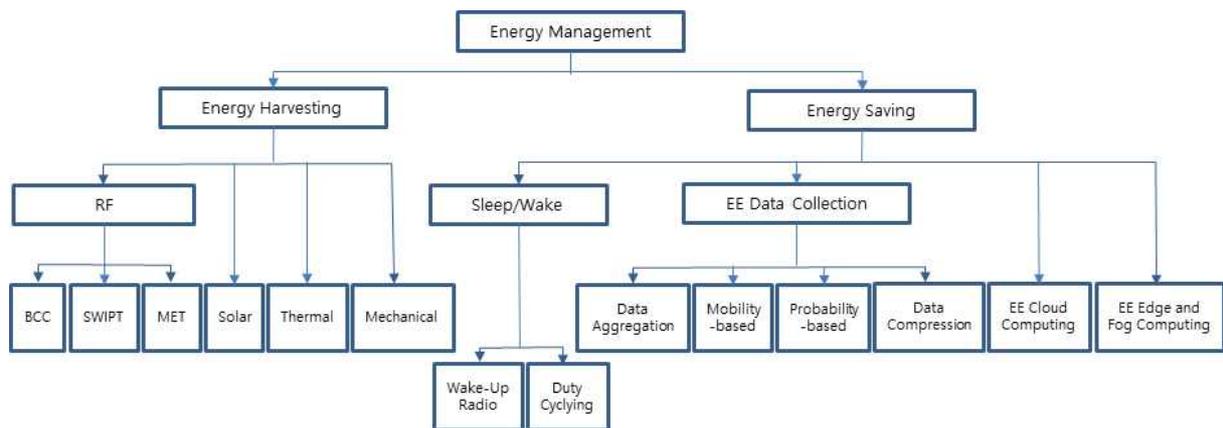
기존 무선네트워크에서 사용되는 MAC(Medium Access Control)를 수중통신 네트워크를 위한 프로토콜로 그대로 사용할 경우 수중 무선네트워크의 낮은 대역폭, 긴 전파지연, 동적채널과 같은 특징으로 매우 비효율적인 결과를 가져올 수 있다. 열악한 수중 환경의 영향으로 인한 여러 가지 문제들을 해결하기 위해 다양한 MAC프로토콜이 제안되었다. 대다수의 MAC프로토콜은 경쟁 기반으로 동작하며 두 개 이상의 센서 노드가 동시에 채널에 접근할 때 패킷 충돌이 발생할 수 있다. MAC프로토콜들은 채널 경쟁을 위해 RTS(Request-To-Send), CTS(Clear-To-Send)와 같은 제어패킷을 이용한다.

Category	Protocol Type	Author	Year
Routing Protocol	Power-efficient routing protocol	Huang, Chenn-Jung et al.	2011
	AUV aided energy-efficient routing protocol (AEERP)	Awais Ahmad et al.	2013
	Energy-efficient chain-based routing protocol (ECBCCP)	Rani,S et al.	2017
	Energy-efficient routing protocol based on layers and unequal clusters (EERBLC)	Wei,J et al.	2018
	Clustered-based energy-efficient routing protocol (CBE2R)	Mukhtiar Ahmed et al.	2018
	The reliable energy-efficient pressure-based routing protocol (RE-PBR)	Ahmad Khasawneh et al.	2018
	Multi-layer cluster-based energy efficient routing (MLCEE)	Khan, W et al.	2019
MAC Protocol	Efficiency Reservation MAC protocol (ERMAC)	Nguyen et al.	2010
	Transmitter-oriented code assignment (TOCA)	Huifang Chen et al.	2013
	Depth-based Layering MAC Protocol (DL-MAC)	Alfouzan et al.	2018
	Energy-conserving and collision-free depth-based layering MAC (DL-MAC)	Alfouzan et al.	2019
	Graph Coloring MAC Protocol (GC-MAC)	Alfouzan et al.	2019

<표 3> 에너지 효율을 고려한 Routing/MAC 프로토콜

2.2 에너지 관리기술

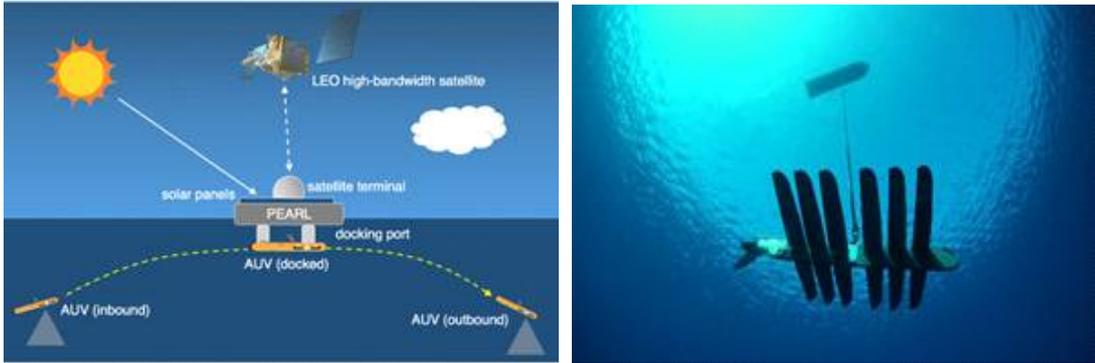
수중사물인터넷(IoUT)의 에너지 문제점을 해결하기 위해 에너지 하베스팅과 에너지 절약기술들이 많이 사용되고 있다. 이러한 기술들을 기본으로 하여 최근에 연구되고 있는 에너지관리기술에 대해 알아보하고자 한다. 그림 17은 에너지 하베스팅과 에너지 절약기술로 나뉘 각 분야별 연구 중이거나 사용 중인 에너지 관리기술을 보여주고 있다.



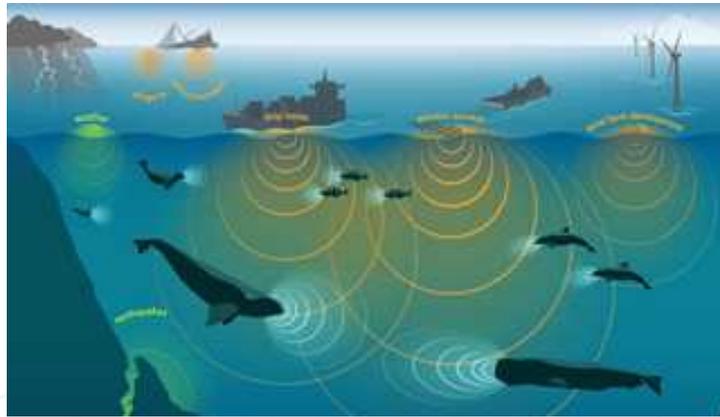
<그림 17> 에너지 관리기술 분류[33]

에너지 하베스팅 분야는 후방산란통신기술(BCC:Backscatter Communication)과 모바일 에너지 전송(MET:Mobile Energy Transfer), 정보와 파워를 무선으로 동시에 전송 가능한 SWIPT(Simultaneous Wireless Information and Power Transfer)기술 등이 있으며 에너지원으로 사용되는 태양에너지, 파력에너지, 다중

소스 에너지 하베스터 등이 있다.

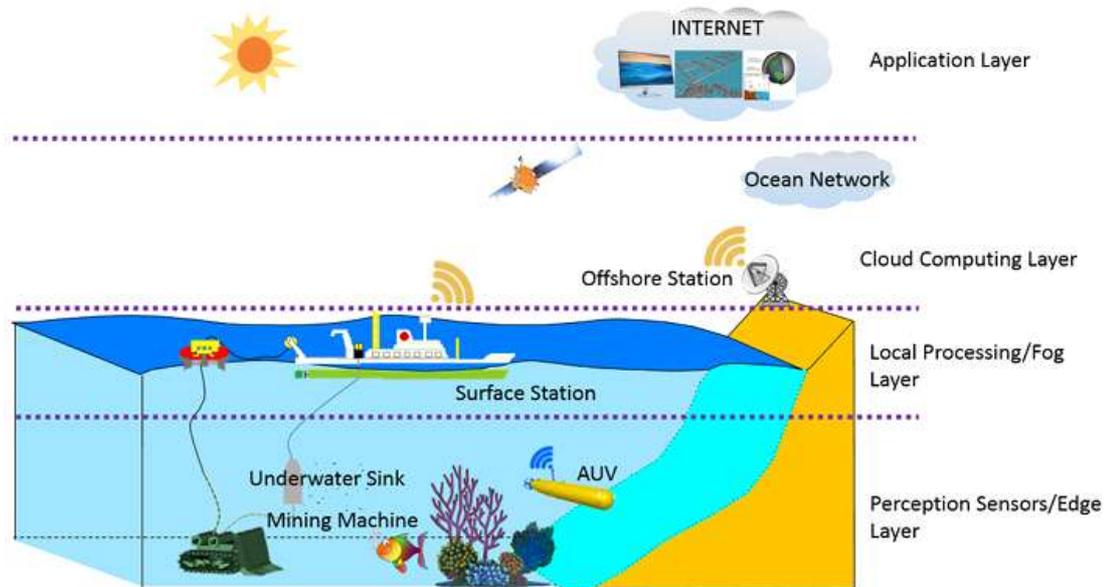


<그림 18> 태양에너지원(좌), 파력에너지원(우)



<그림 19> 다중 소스 에너지 하베스터

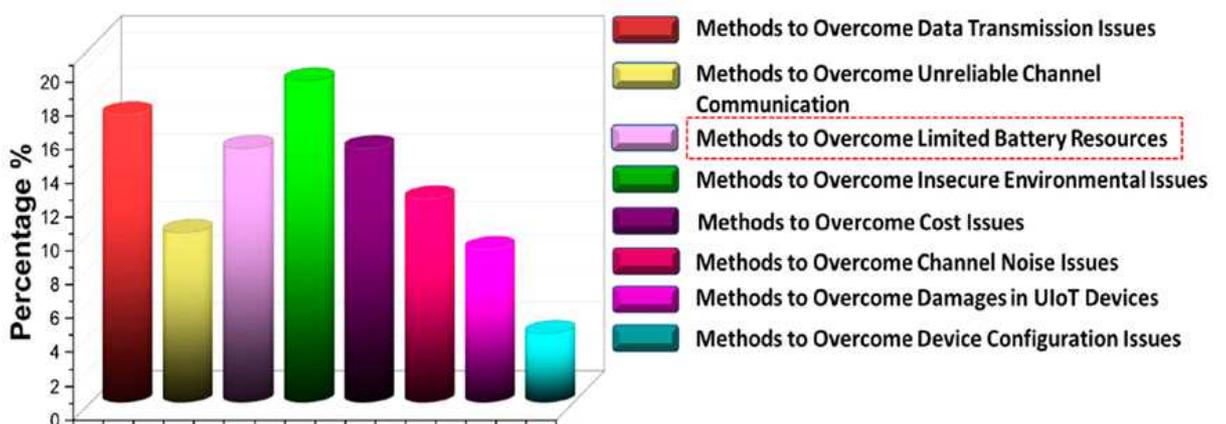
에너지 절약분야는 다양한 기술들이 있지만 특히 최근 많이 연구되고 있는 EE Cloud Computing과 EE Edge and Fog Computing에 대해 살펴보면



<그림 20> 인지 해양 네트워크 구성[12]

그림 20에서 보는 바와 같이 해양네트워크를 구성함에 있어 상단에 클라우드 컴퓨팅 레이어, 중간에 포그 레이어, 하단에 엷지 레이어로 구성해 볼 수 있다. 이름에서 의미하는 바를 알 수 있는 것처럼 클라우드 컴퓨팅은 구름이고 포그는 안개로 구름이 제일 위에 위치하고 안개는 구름과 땅 바다 사이에 위치하고 있다. 여기서 하늘, 즉 클라우드는 서비스를 제공하는 곳이고 바다 속 각종 디바이스가 서비스를 제공받는 곳이라고 한다면 포그는 서비스를 제공받는 곳과 더 가까이에 있게 된다. 포그 계층엔 육상과 통신을 위한 선박이나 부이형 기지국 등이 해당된다. 한 곳에서 관리되는 클라우드 컴퓨팅은 최종 서비스를 받는 곳과 물리적으로 거리가 멀어 시간이 오래 걸리기 때문에 이런 문제들은 가운데 위치한 포그 층에서 해결하게 된다. 제일 아래 존재하는 엷지 컴퓨팅은 바다 속에 실제로 직접적인 관측이 이뤄지는 무인 이동체나 수중로봇, 수중 센서 등이 해당된다. 계층구조로 볼 때 클라우드 컴퓨팅으로 갈수록 거리가 멀어짐에 따라 높은 지연시간을 가지고 되며 디바이스와 가까울수록 지연시간의 문제는 적어지기 때문에 효율적으로 데이터를 처리할 수 있도록 네트워크 구성함으로써 에너지 관리가 가능한 기술로 육상뿐만 아니라 수중에서도 많은 연구가 이뤄지고 있다.

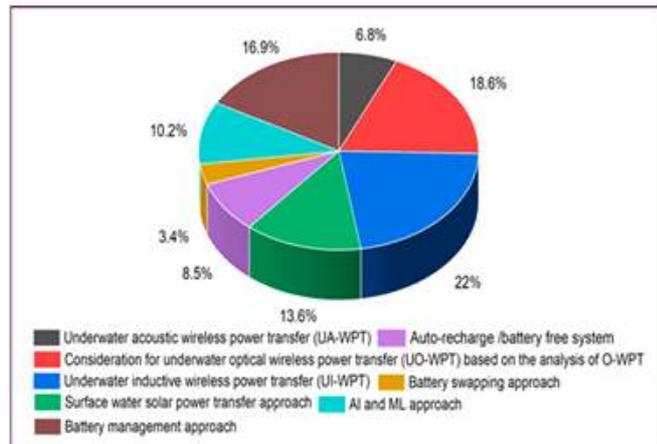
에너지를 최적화하려는 노력은 다양한 방면으로 연구되고 있다. 수중 통신 네트워크를 효율적으로 운용하는데 있어 해결되어야 할 여러 가지 문제점들이 있다. 데이터 전송, 불안정한 채널환경, 보안에 취약한 구조, 고가의 구축비용, 통신에 방해요인인 다양한 주변 잡음, 해류와 해양생물, 해저지진 등 다양한 원인에 의한 장비 손상, 효율적인 장비 설정 등 다양한 문제들이 있으며 이중 한정적인 배터리 파워도 이슈 중 하나이다. 그림 21에서 본 조사결과에서 배터리 파워 이슈는 세번째로 가장 민감한 이슈로 조사되고 있다.



<그림 21> 수중네트워크를 위한 개발필요 기술 분석[4]

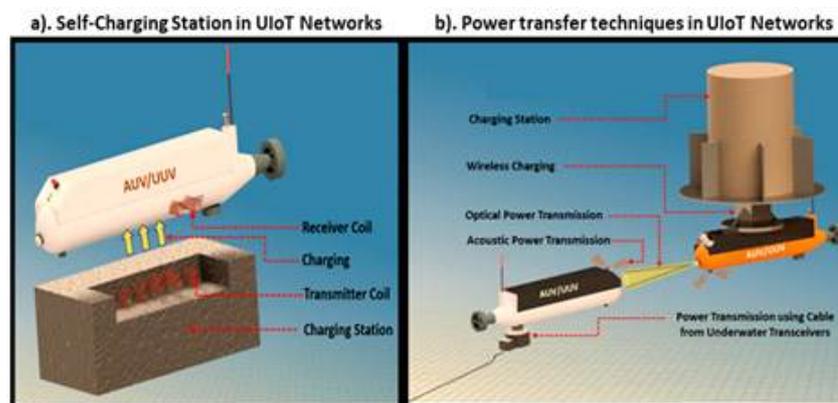
이러한 파워 이슈는 수중통신 네트워크에서 중요한 부분이기때문에 에너지 최적화 쪽에서 보다 세분화된 많은 연구들이 진행되고 있다. 그림 22는 현재 연구

되고 있는 다양한 에너지 최적화 기술에 대한 조사결과를 보여주고 있다. 가장 많은 연구가 이뤄지고 있는 부분은 자기유도를 이용한 파워 전송 쪽이며 이어서 광을 활용한 파워 전송 쪽이다. 음향을 활용한 방식은 상대적으로 낮은 편이며 배터리의 효율적 에너지사용에 대한 기술도 많이 연구되고 있음을 알 수 있다.



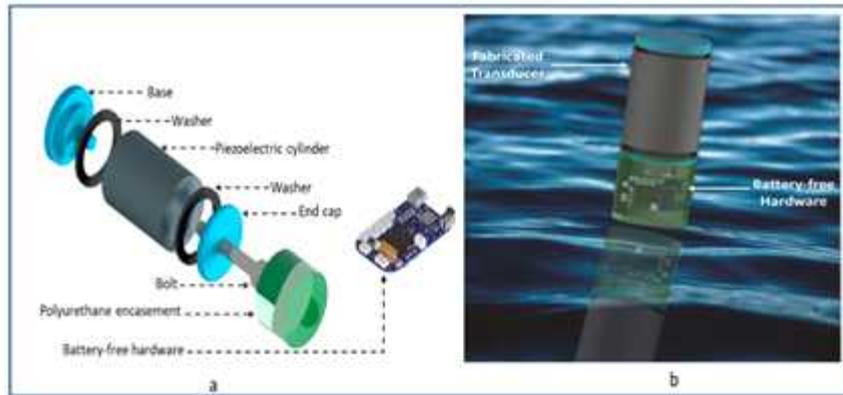
<그림 22> 수중통신 네트워크에서 연구되고 있는 다양한 에너지 최적화 기술 분포[4]

앞에서도 언급된 바와 같이 배터리파워 이슈를 해결하기 위한 다양한 기술들이 시도되고 있다. 많이 개발되고 있는 기술 중 하나는 무선 파워 전송기술이다. 배터리소모가 많은 AUV의 경우 수중에서 다양한 연구를 한 번에 할 수 있지만 과거엔 수면위로 올라와서 다시 배터리를 교체하고 다시 탐사를 하는 형태로 사용되었다. 무선파워 전송기술이 개발되면서 요즘 많이 시도되고 있는 배터리 교체를 위한 수면상승이 필요없이 수중에서 충전하고 바로 탐사를 할 수 있는 점은 매력적인 기술 중 하나라 할 수 있다. 무선 파워 전송 기술은 마이크로파를 이용한 방식과 음파를 이용한 방식, 광을 활용한 방식과 자기유도 커플링을 통한 방식 등 다양한 방식으로 개발되고 있다. 아쉽게도 극지와 같은 환경에서는 아직 활용한 예가 없지만 좀 더 기술이 발전되면 추후엔 극지의 차가운 바다에서도 가능한 날이 오지 않을까 생각된다.



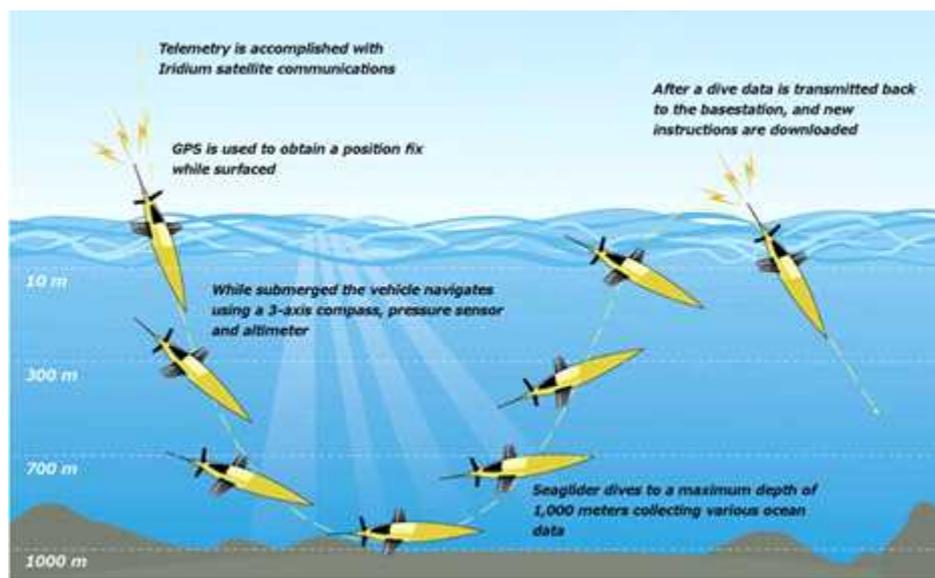
<그림 23> AUV 자가충전소(좌), 수중사물인터넷환경에서 파워충전방식(우)

앞서 수중통신기술동향에서 언급한 MIT에서 최근에 개발한 배터리 없는 수중 카메라도 파워 이슈를 해결하는데 새로운 연구테마로 떠오르고 있다. 지금은 가능성을 보고 시작단계에 불과한 기술이지만 수중에 존재하는 수많은 음향노이즈를 활용하여 전기를 만들어 내는 기술이 계속 발전하여 기존 배터리를 대체할 정도가 된다면 수중통신네트워크 발전에도 엄청난 효과가 있을 것으로 예상된다.



<그림 24> 배터리가 필요없는 센서 개념도

배터리 이슈로 독자적인 수중 장기탐사가 어려운 경우 수중 글라이더가 대안이 될 수 있다. 부력을 이용하여 배터리를 최소한으로 사용함으로써 장기간동안 해양 환경관측이 가능하여 배터리이슈가 해결되기 전까지는 더 많은 연구에 활용이 예상되는 무인 관측장비 중 하나이다.



<그림 25> 수중 글라이더 운용 개념도

제3장 결론

극지연구를 위한 무인로봇 ICT 원천기술개발을 위해 탐사지역 환경데이터 획득과 극지 수중로봇 활용 수중통신 네트워크 기술 연구를 위해 극지 수중로봇 활용 수중통신기술과 극지 수중 탐사 시 적용 가능한 효율적 에너지 관리기술 연구를 수행하였다. 원래 목표중 하나였던 환경데이터 획득은 기존데이터로 충분할 것 같다는 의견에 따라 시행하지 않았다.

국내에선 2018년에 SK텔레콤과 호서대학교를 중심으로 최초로 수중사물인터넷을 시연하였고 올해 미국의 MIT에선 수중에서 사용가능한 배터리가 없는 수중카메라를 개발하는 등 여러 나라에서 수중환경에서의 통신의 어려움을 극복하기 위해 관련 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 육상과 달리 수중환경에서의 통신은 다양한 제한요소로 인해 원활한 통신환경을 구축하는데 많은 어려움이 있는 것은 사실이다. 특히 극지와 같은 추운바다는 더 극한환경이라 상대적으로 극지에 적용한 사례들은 찾아보기 쉽지 않았다. 극지연구소의 경우 해마다 남극과 북극에 다양한 단기, 장기 관측을 하고 있지만 무엇보다 가장 큰 문제점 중 하나는 추운날씨로 인해 제한된 배터리과위의 효율성이 더 떨어져 탐사에 상당한 어려움을 겪고 있다. 이를 위해 더 효과적인 통신기술과 에너지 관리기술은 꼭 필요한 기술이라 할 수 있다.

극지무인로봇 ICT 원천기술개발을 통해 우리만의 한국형 얼음탐사로봇에 이러한 기술들이 잘 반영될 수 있다면 보다 더 효율적인 연구가 이뤄질 것이며 이에 따라 극지연구의 선진화에도 많은 영향을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 그동안 극지연구 경험을 바탕으로 다양한 서적과 웹서핑과 연구논문 등을 참고하여 최대한 많은 데이터를 근간으로 해서 연구를 진행하였다. 이번에 조사된 관련기술과 최신동향 등은 지금 진행 중인 개발업무에 연구 자료로 활용되게 될 것이다. 예전대비 수중통신기술과 에너지 관리기술이 발전되고 사용될 부품들의 성능이 좋아지면서 극지와 같은 혹한에서도 안정적이며 장시간 탐사가 가능하게 날이 당겨질 것으로 기대되며 이는 우리나라 극지연구가 세계극지 연구를 선도해 나가는데 많은 도움이 될 것이다.

결론적으로 본 연구를 수행함에 따라 극지무인로봇 ICT 원천기술개발에 필요한 사항들이 무엇인지를 제대로 파악하고 이해하였고 이는 앞으로 성공적인 원천기술개발이 가능토록 하는데 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Marilla Ramos.,(2020) Human-System Concurrent Task Analysis: An Application to Autonomous Remotely Operated Vehicle Operations, Conference:ESREL 2020 PSAM 15
2. Tsai-Chen Wu, Yu-Chieh Chi.,(2017) Blue Laser Diode Enables Underwater Communication at 12.4 Gbps, Scientific reports Article number:40480(2017)
3. Rahul Mourya., (2021) Robust Silent Localization of Underwater Acoustic Sensor Network Using Mobile Anchor(s), Sensors 21(3) 2021
4. Delphin Raj Kesari Mary, Eunbi Ko.,(2022) Energy Optimization Techniques in Underwater Internet of Things:Issues, State-of-the-Art, and Future Directions. Water 2022,14,3240 2021
5. Kazi Yasin Islam, Iftekhhar Ahmad.,(2022) A survey on energy efficiency in underwater wireless communications, Journal of Network and Computer Applications 198 2022
6. A.N.Jaafar, H.Ja'afar., Overview of Underwater Communication Technology, Proceedings of the 12th National Technical Seminar on Unmanned System Technoloy 2020
7. Deivasigamani Menaka, Sabitha Gauni.,(2022) Challenges and vision of wireless optical and acoustic communication in underwater environment, Research Article
8. Salcha Al-Zhrani, Nada M. Bedaiwi.,(2021) Underwater Optical Communications:A Brief Overview and Recent Developments, Engineered Science, 2021, 16
9. Zheping Yan, Lu wang.,(2018) Polar Cooperative Navigation Algorithm for Multi-Unmanned Underwater Vehicles Considering Communication Delays, Sensors 2018, 18, 1044
10. Muhammad Imran Majid.,Green Energy Harvesting and Energy-Efficient Routing Protocol in Internet of Underwater Things, Role of IoT in Green Energy Systems, 2021
11. Menaka D, Sabitha Gauni.,(2021) Design of Low Power Hybrid Communication Model
12. Huimin Lu(2019) CONet:A Cognitive Ocean Network, IEEE Wireless Communications 26(3):90-96
13. Sayed Saad Afzal, Waleed Akbar.,(2022) Battery-free wireless imaging of underwater environments, nature communications 2022, 13:5546
14. Mohammad Furgan Ali.,(2019) Underwater Communications:Recent Advances 2019, Conference:International Conference on Emerging Technologies of Information and Communications(ETIC) 2019, Bhutan, 8-10
15. Mohammad Furgan Ali., (2020) Recent Advances and Future Directions on Underwater Wireless Communications, Computer Science, Archives of Computational Methods in Engineering 2020 27:1379-1412
16. H.Emre Erdem.,(2019) Analyzing lifetime of energy harvesting underwater wireless sensor nodes, International Journal of Communication Systems 33(3)
17. Habib F.Rashvand., Underwater Acoustic Sensing:An Introduction, Wireless Sensor Systems for Extreme Environments: Space, Underwater, Underground, and Industrial
18. M.Nandhini, V.R.Sarma Dhulipala,(2012) Energy-Efficient Target Tracking Algorithms in Wireless Sensor Networks:An Overview, International Journal of Computer Science and Technology Vol.3
19. Varun G.Menon, Divya Midhunchakkaravarthy.,(2022) Towards Energy-Efficient and Delay-Optimized Opportunistic Routing in Underwater Acoustic Sensor Networks for IoUT Platforms:An Overview and New Suggestions, Computational Intelligence and Neuroscience Vol 2022

20. Hongzhi Guo, Albert A.Ofori,(2021) The Internet of things in extreme environments using low-power long-range near field communication, IEEE Internet of Things Magazine, March 2021
21. Inam Ullah, Gao-Ming SHENG.,(2017) A Survey on Underwater Localization, Localization Techniques and Its Algorithms, Advances in Engineering Research Vol.131
22. Xin Su, Inam Ullah.,(2020) A Review of Underwater Localization Techniques, Algorithms, and Challenges, Journal of Sensors Vol 2020, Article
23. Mary Beth Gallagher,(2021) Navigating beneath the Arctic ice, MIT News 2021
24. Adam Zewe,(2022) MIT engineers build a battery-free, wireless underwater camera, MIT News 2022
25. TARIQ ISLAM, SEOK-HWAN PARK,(2020) A Comprehensive Survey of the Recently Proposed Localization Protocols for Underwater Sensor Networks, IEEE Access Vol.8
26. Chakridhar Reddy Teeneti., (2019) Review of Wireless Charging Systems for Autonomous Underwater Vehicles, IEEE Journal of oceanic engineering
27. Syed Agha Hassnain Mohsan.,(2020) A Review on Research Challenges, Limitations and Practical Solutions for Underwater Wireless Power Transfer, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol.11, No.8,2020
28. Underwater Vehicle Charging:Autonomouos Underwater Vehicles, Unmanned Underwater Vehicles, and Remotely Operated Vehicles(2019), Powering the Blue Economy:Exploring Opportunities for Marine Renewable Energy in Maritime Markets
29. A.S.Ismail, XingFu Wang.,(2022) Routing protocols classification for underwater wireless sensor networks based on localization and mobility, Wireless Networks 2022 28:797-826
30. Lee I E, Chung G C.,(2020) Design of a hybrid free space optical and visible light communication system for indoor wireless data broadcasitng, Journal of Physics:Conference Series 1432
31. Mstocker.,(2022) Making the ocean even smarter!, Ocean Noise
32. Nasir Saeed.,(2018) Underwater Optical Wireless Communications, Networking, and Localization: A Survey,
33. Sana Benhamaid., (2022) Recent advances in energy management for Green-IoT: An up-to-date and comprehensive survey, Journal of Network and Computer Applications, Vol.198



주 의

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.