

# 방향성 수중 청음기용 배열 최적화 및 성능 평가

Evaluation of performance and optimization of sensor array for directional hydrophone development



2019. 12

연구 수행 기관

한국해양과학기술원



# 제 출 문

해양수산과학기술진흥원장 귀하

본 보고서를 “방향성 수중 청음기용 배열 최적화 및 성능 평가” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 12.

총괄연구책임자 : 조 성 호

참 여 연 구 원 : 강돈혁, 박지성  
김한수, 김미라

**이면은 공백임**

## 〈 요약문 〉

<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구의</li> <li>- 목적 및 내용</li> </ul>	<p>[목적] 기존 수중청음기(hydrophone)가 가지는 방향성 측정 불가능 제한 요소를 해결하기 위한“방향성 탐지용 수중청음기 센서부 개발 및 운용 프로그램 개발”을 연구 목표로 함</p> <p>[세부 목적]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 방향성 탐지용 수중청음기 센서부 통합 및 개발</li> <li>- 방향성 수중 신호 처리, 운용 및 가시화 프로그램</li> <li>- 수중음 분석용 수온, 수심 측정 센서 통합</li> <li>- 해상 시험 검증을 통한 시험 평가 수행</li> </ul> <p>[ 1차년도 연구 주요 내용 - 2018 ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시스템 개념 및 센서부 설계</li> <li>- 운용성 기반의 설계 및 prototype 제작</li> <li>- 수중 음향자료 처리 알고리즘 분석 및 구현</li> <li>- 방향성 청음기 수신 감도 평가</li> <li>- 실험실 조건 및 해양에서의 운용성 평가 (1차)</li> </ul> <p>[ 2차년도 연구 주요 내용 - 2019 ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1차년도 시험 평가 결과 기반의 성능 보완 및 제작 (최종 개발품)</li> <li>- 시스템 성능 및 개발 장비의 신뢰성 시험 인증</li> <li>- 해상 시험 평가를 통한 실해역 성능 평가 (2차)</li> <li>- 사업화 계획 제시</li> </ul>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구개발성과</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방향성 탐지용 수중청음기 센서부 설계 및 제작 기술 국내 확보</li> <li>- 수중청음기 신호 처리 및 가시화 기술 국내 확보</li> <li>- Single unit 형태의 방향성 수중청음기 시스템 (옵션: 수심, 수온 센서)</li> </ul>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구개발성과의</li> <li>- 활용계획</li> <li>- (기대효과)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연안 수중 공사 수중 소음 측정, 생태계 보호를 위한 방향성 수중 소음 측정에 활용</li> <li>- 국방 분야의 수중 표적 탐지를 위한 방향성 수중청음기 활용</li> <li>- 방향성 수중청음기의 국내 개발 기술 확보</li> <li>- 고가의 외국산 장비 도입 비용 절감 및 유지 보수 수월</li> </ul>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 핵심어</li> <li>- (5개 이내)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방향성 수중청음기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방향성 신호 처리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가시화 프로그램</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시험 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>

## < SUMMARY >

<b>Purpose &amp; Contents</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Final Goal: To solve the limitations (non-directional detection) of existed single hydrophone, that is widely utilized in coastal industry, marine ecosystem, and defence field, this project will develop directional hydrophone and its operational program.</li> <li>○ Specific Goal <ul style="list-style-type: none"> <li>- Development of directional hydrophone sensor</li> <li>- Development of signal process software, operation/visualization program</li> <li>- Sea Acceptance Test (SAT) for performance verification of the developing system</li> </ul> </li> <li>○ 1st Year (2018) <ul style="list-style-type: none"> <li>- System conceptual design, and directional sensor design</li> <li>- Design with operability and prototype production</li> <li>- Analysis and realize of underwater signal's algorithm</li> <li>- Evaluation of receiving sensitivity of the sensor</li> <li>- Operational evaluation in laboratory and sea test (1st stage)</li> </ul> </li> <li>○ 2nd Year (2019) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Complement performance and production from 1st year test results</li> <li>- Certification of performance and responsibility</li> <li>- Operational evaluation in laboratory and sea test (2nd stage)</li> <li>- Suggestion of business plan</li> </ul> </li> </ul>				
<b>Results</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technical acquisition of directional hydrophone design and production</li> <li>- Technical acquisition for signal process and visualization</li> <li>- Directional hydrophone in single unit type</li> </ul>				
<b>Expected Contribution</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Application of measuring directional underwater noise for coastal industry and ecosystem protection</li> <li>- Application of naval defence</li> <li>- Domestic technical acquisition for directional hydrophone</li> <li>- Reduce the cost of introducing expensive foreign equipment and easily maintenance</li> </ul>				
<b>Keywords</b>	- Directional hydrophone	- Directional signal process	- Visualization program	- Test evaluation	-

## < Content >

Chapter 1	Outline of research & development (R&D) project	7
1.	The purpose of R&D	7
2.	The necessity of R&D	7
3.	The importance of R&D	9
4.	Critical technologies and field applications of R&D	10
5.	The scope of R&D	11
Chapter 2	Status of technology development at domestics & overseas	15
1.	Status and standard of technology development at domestics & overseas	15
2.	Status of market at domestics & overseas	15
3.	Competition of institution at domestics & overseas	16
4.	Status of intellectual property rights	17
Chapter 3	Contents and achievements of research performance	18
1.	Contents of research performance	18
Chapter 4	Achievement of goal and contribution to related field	96
1.	Achievement of goal	96
2.	Contribution to related field	98
Chapter 5	Application plan to R&D achievements	100
1.	Utilization plan to R&D achievements	100
2.	Expectation effectiveness	101
Chapter 6	Security level of R&D achievement	102
Chapter 7	Research facilities and equipment registered in the National science & technology comprehensive information system	103
Chapter 8	Performance of implementation of safety measurements such as laboratories in accordance with R&D task	104
Chapter 9	Typical research performance of R&D tasks	106
Chapter 10	Others	107
Chapter 11	References	108

## 〈 목 차 〉

제1장 연구개발과제의 개요 .....	7
제1절 연구개발의 목적 .....	7
제2절 연구개발의 필요성 .....	7
제3절 연구개발의 중요성 .....	9
제4절 연구개발 대상의 핵심기술 .....	10
제5절 연구개발의 범위 .....	11
제2장 국내외 기술 개발 현황 .....	15
제1절 국내·외 기술 개발 현황 및 수준 .....	15
제2절 국내·외 시장현황 .....	15
제3절 국내·외 경쟁 기관 .....	16
제4절 지식재산권 현황 .....	17
제3장 연구 수행 내용 및 성과 .....	18
제1절 연구 수행 내용 .....	18
제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	96
제1절 목표 달성도 .....	96
제2절 관련 분야 기여도 .....	98
제5장 연구개발성과의 활용계획 .....	100
제1절 연구개발성과의 활용방안 .....	100
제2절 기대효과 .....	101
제6장 연구개발성과의 보안등급 .....	102
제7장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황 .....	103
제8장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 .....	104
제9장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 .....	106
제10장 기타 사항 .....	107
제11장 참고 문헌 .....	108



# 제1장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발 목적

- 복수의 소형 단일 수신기를 임의의 공간 내에 배열하여 수중음원(생물/비생물/수중공사 음원 등)의 방향성 및 세기를 탐지하는 방향성 수중청음기 개발 및 통합 시스템 국산화를 목적으로 개발하는 것이 목적임 (그림 1-1)



그림 1-1. 제품 시스템 개념도.

## 제2절 연구개발의 필요성

- 현재까지 수중에서 발생하는 소음(선박, 수중공사, 생물)에 대한 기본적인 측정 시스템은 단일의 무방향성 수중청음기를 이용하여 단순히 소음의 크기만을 측정함. 이러한 단일 수신용 수중청음기는 1970년대 이후 현재까지도 해양 조사 및 해양 공사 등 해양 전 분야의 수중 소리 연구 및 응용에 광범위하게 사용하고 있음(그림 1-2)
- 국내에서 활용하고 있는 다양한 수중청음기는 모두 수중음의 크기만 측정할 뿐 방향성 탐지는 불가능한 단일 수중청음기(무방향성 수중청음기)를 사용하며, 방향성 탐지를 위해서는 여러 대의 단일 청음기를 동시에 설치해야 하는 어려움이 있음



그림 1-2. (a) Teledyne Reson사가, (b) B&K사가, (c) High-Tech사가 개발한 무방향성 수중청음기.

- 상용품인 무방향성 수중청음기는 모두 국외에서 수입하여 사용하지만 센서부, 케이블, 운용 프로그램을 포함하면 대당 약 20,000 달러 (2천 만원) 이상의 비용이 소요됨

- 국방용으로 수중 잠수함 탐지 등의 목적으로 일부 방위사업체에서 시험 제작하고 있으나 현재까지도 민수용으로 전환은 제한되고 있으며, 여전히 수 백억원의 비용을 투자하는 복수의 단일 수중청음기를 일정 간격으로 연결하여 수중 표적의 방향을 탐지하는 수중감시 체계를 활용 중임
- 이러한 제한점을 극복하기 위하여 최근 미국, EU, 중국 등을 중심으로 소형 구조이지만 방향성 탐지가 가능한 센서부 및 관련 시스템 개발이 진행되고 있음. 이러한 개발 방향은 기존의 광범위한 수중청음기 시장 선점 및 연구 확대의 두 가지 측면에서 각국은 개발 기술에 대한 정보 교환을 제한하고 있는 상황임
- 따라서, 본 연구개발에서는 방향성 탐지용 수중청음기 개발을 위해 가장 빠른 접근 방법으로 기존의 단일 수신 센서를 활용한 소형 공간 내 복수 배열 및 관련 신호 처리를 활용하여 해양 산업용 및 관련 해양 연구용 방향성 탐지용 수중청음기 장비를 개발하고자 함
- 개발될 연구장비는 연구 측면에서는 방향성 탐지용 수중청음기 개발 기술 우위 확보, 시장성 측면으로는 기존 무방향성 청음기 시장에서의 장비 우수성을 통한 시장 선점의 가능성이 매우 크므로 빠른 시기의 연구 진행이 필요함

○ 정부지원의 필요성

- 국내에서 방향성 탐지용 수중청음기 개발에 대해 상대적으로 비중이 낮아 기술 확보도가 낮은 수준임
- 국외에서 방향성 청음기를 도입하여 사용 중에 있지만, 내부에 탑재된 수중 음원 방향성 탐지 알고리즘에 대한 핵심 기술의 기술이전 없이 운용성 위주로만 사용되고 있어 국산화 기술 개발이 필요한 실정임 (그림1-3)



그림 1-3. KIOST 도입한 Wave glider와 방향성 수중청음기.

- 그러나 원천 기술 개발이 이루어진다면 후속으로 해양장비 개발을 위한 국가 R&D 개발로 확장이 가능함
- 또한 4차 산업혁명에 발맞추어 수중의 무인자율 비행체와 같은 플랫폼과의 연동을 통해 해양산업 및 해양 생태계 생물들의 시/공간적인 서식지 집단이동이나 군집특성을 파악하고, 더욱이 해군의 무기체계로 발전 제안할 수 있는 부분임
- 따라서 미래해양산업기술개발사업의 일환으로 방향성 탐지용 수중청음기에 대한 중기적인 다년도 연구 개발이 필요함

### 제3절 연구개발의 중요성

○ 국방 분야 (수중 표적, 수중 소음 등) 측면에서 중요성

- 수중소음, 수중 잠수함 탐지 등 국방 분야의 모든 수중의 소리를 측정하는 시스템은 단일 하이드로폰을 기본으로 하고 있음. 단일 하이드로폰은 다양한 기술 개발이 이루어지고 있으나, 방향성 추적이 불가능한 분명한 한계점이 있었음
- 이러한 무지향성 측정의 한계점을 극복하기 위하여 단일 하이드로폰을 여러 개 혹은 수십 개를 연결시킨 선배열 센서를 이용하여 방향성 추적에 적용하고 있으나 고비용, 운용의 어려움 때문에 국방 등 제한적인 부분에만 활용하고 있음 (그림1-4)
- 해군 무기 체계의 비용 절감, 작전 개념 향상 및 운용성 향상 측면에서 방향성 측정 하이드로폰 이론 정립 및 개발은 중요한 기술 개발 요소임

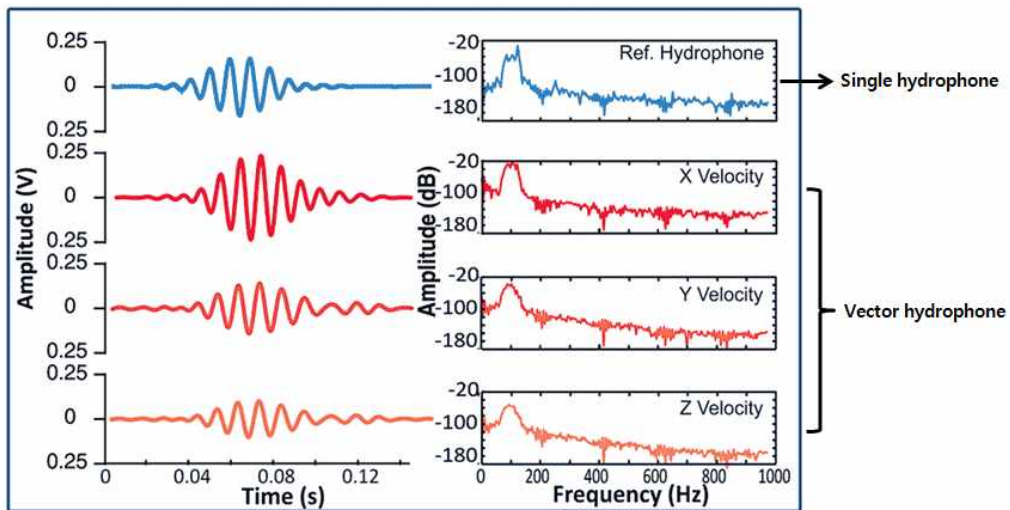


그림 1-4. 단일 vs. 방향성 하이드로폰의 수신 신호 차이.

○ 민간 분야에서의 중요성

- 해양 생물 소음, 연안 항만 건설에 따른 수중소음, 해양 포유류 보호 측면에서 수중소음 크기 및 방향성 측정은 중요 기술임
- 국방 분야와 달리 투입 예산이 부족한 민간 부분에서는 많은 단일 하이드로폰 적용이 어려워 수중소음 분석에 어려움이 있으나, 방향성 하이드로폰 활용이 가능하면 다양한 연구 측면 및 활용성이 증가할 것임

○ 산업적 측면에서의 중요성

- 단일 하이드로폰은 전 세계 수중 소음 측정 연구 및 시설에 활용하고 있고, 특히 고가의 군 무기체계 시장에서 중요한 기술 요소임
- 현재 방향성 측정 하이드로폰은 기술 보호를 이유로 장비 시장에서 활성화 되지 못하고 있는 상태로 민간 부분에서의 장비 개발이 이루어진다면 산업적으로 부가가치를 높일 수 있는 요소 기술임(그림 1-5)

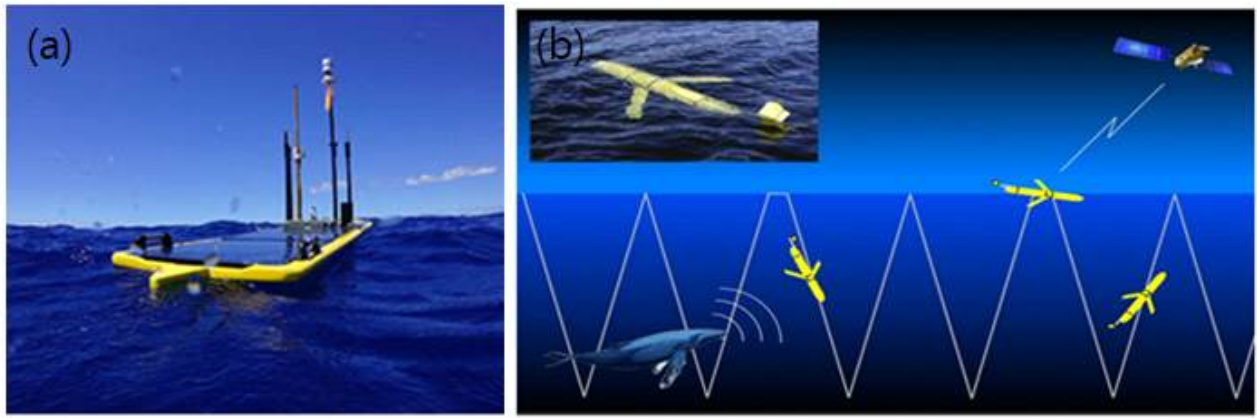


그림 1-5. 방향성 하이드로폰 적용 가능한 수상/수중 무인자율비행체 예.

### 제4절 연구개발 대상의 핵심기술

- 방향성 탐지 수중청음기 개발에 필요한 핵심 기술 (그림1-6)
  - 최근까지 진행된 방향성 탐지용 수중청음기(벡터 하이드로폰) 개념 분석
  - 방향성 탐지 수중청음기의 적용 알고리즘 분석
  - 복수의 수중청음기 최적 공간 배열 설계
  - 방위추정 신호처리 기술(Beam-forming 알고리즘) 설계 및 구성
  - 소형화된 데이터 획득 시스템 설계 및 구성
  - 개발된 H/W 분석용 S/W 제작
  - 개발 시스템 실험역 검증 시험

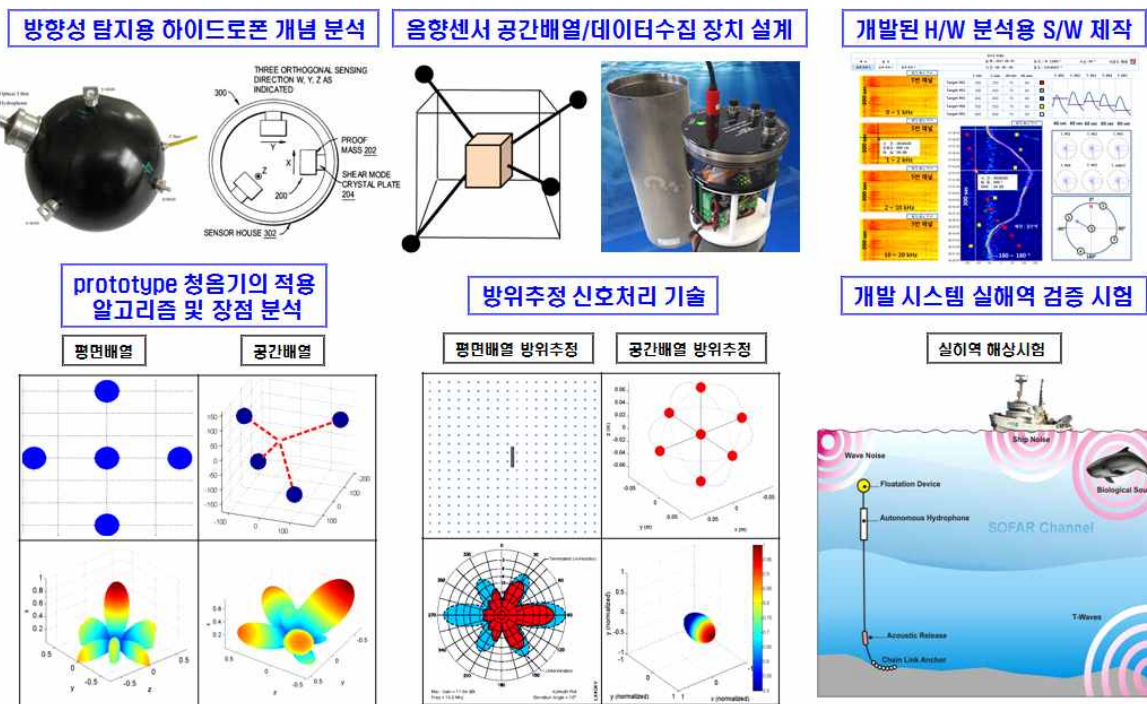


그림 1-6. 방향성 탐지용 수중청음기 개발 핵심기술 구성도.

## 제5절 연구개발 범위

### 1. 연구개발의 목표 및 내용

#### 가. 연구개발 최종 목표

구 분	내 용		
최종목표	- 수산, 해양 생태계, 해양 조사, 연안 공사 활용을 위한“수중음 측정용 방향성 탐지용 수중청음기 센서부 통합 개발 및 운용 프로그램 개발”		
최종목표 설정근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수 십 년간 연안 공학, 해양 생태계, 수중소음 조사 등 수산·해양 분야에서 사용했던 수중청음기(hydrophone)는 수중음의 크기만 측정할 뿐 방향에 대한 정보 수집이 불가능하여 수중음의 정보 해석에 한계가 있었음</li> <li>- 최근 국외에서 국방 분야의 특수 목적으로 고가의 방향성 탐지용 수중청음기 개발이 진행되는 추세임</li> <li>- 본 연구의 참여 연구진은'17년 자체 선행 연구를 통해 방향성 탐지용 수중청음기 개발 가능성 파악을 마쳤음</li> <li>- 본 연구에서는 범용의 중·저가용 방향성 탐지용 수중청음기를 국내 개발하여 국내·외에 판매 가능한 상용품 개발을 추진</li> </ul>		
세부목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방향성 탐지용 수중청음기 센서부 통합 및 개발</li> <li>- 방향성 수중 신호 처리, 운용 및 가시화 프로그램 개발</li> <li>- 수중음 분석용 수온, 수심 측정 센서 통합</li> <li>- 해상 시험 검증을 통한 시험 평가 수행</li> <li>- 개발품 성능 목표</li> </ul>		
	개발품 성능평가 기준	성능 목표치	비고
	측정 주파수 범위	50 ~ 10,000 Hz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 탐지대상 주파수 대역 고려                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 선박 : 50 ~ 1,000 Hz</li> <li>· 생물 : 10,000 Hz 미만</li> </ul> </li> <li>- 국외 개발장비 (Ultra Electronics USSI의 DIFAR 센서) 대비 탐지 주파수 대역 증가</li> </ul>
	측정 방위 정확도	±5°	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국산 상용 제품(Ultra Electronics USSI), DIFAR 센서(국방용 장비)의 방위 정확도(광대역 신호 : ±25°, High SNR 신호 : ±5°)를 목표 성능으로 제시</li> </ul>
	운용 수심	최대 100 m 미만	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 천해역 기준으로 설정</li> </ul>
	수온측정범위	0 ~ 20 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 100m미만 해수의 수온변화 기준</li> </ul>
	수심측정범위	최대 100 m 미만	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 운영수심에 따른 수심 선정</li> </ul>

나. 1차년도 세부 연구개발 목표 및 내용

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비 (천원)	수행기관
방향성 탐지용 수중청음기 센서부 통합 및 시제품 제작	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방향성 탐지 수중청음기 시스템 개념 및 운용 개념 설계</li> <li>- 방향성 탐지 수중청음기 사양 설계</li> <li>- 공간배열 시제품 센서 제작</li> <li>- 음향신호 분석용 자세, 수온, 수심 측정센서 개념 및 사양 설계</li> <li>- 공간배열 센서 성능 측정 시스템 제작</li> <li>- 공간배열 음향신호와 음향 보조데이터 자료 통합 시스템 제작</li> </ul>	115,580	(주) 에이더블테크놀로지 (주관)
방향성 탐지용 수중 신호처리 알고리즘 구현 및 해상 검증 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시제품 소형화를 위한 수중청음기 공간배열 최적 설계 알고리즘 구현</li> <li>- 공간배열 음향신호와 음향 보조데이터 자료 연동 알고리즘 분석 및 구현</li> <li>- 수중음원 방위추정 알고리즘 분석 및 구현</li> <li>- 제작된 시제품 실험역 해상시험 실시</li> </ul>	50,000	한국해양과학기술원 (공동)

다. 2차년도 세부 연구개발 목표 및 내용

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비 (천원)	수행기관
방향성 탐지용 수중청음기 시스템 실용화 및 통합 신호처리 운영 프로그램 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1차년도 시제품 시험평가 결과 성능 보완 개념 설계 및 구현</li> <li>- 임베디드 형태의 신호처리 제어부 H/W 개발품 제작</li> <li>- 배열신호 실시간 데이터 수집 S/W 개발</li> <li>- 방향성 탐지 수중청음기 상용 개발품 제작</li> </ul>	158,109	(주) 에이더블테크놀로지 (주관)
방향성 탐지용 수중청음기 시스템 실용화를 위한 신호처리 알고리즘 구현 및 해상 검증 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 복수의 수중음원 방위추정 알고리즘 분석 및 구현</li> <li>- 개발 시스템 성능 및 개발 장비의 신뢰성 시험</li> <li>- 실용화 개발품 실험역 해상시험 실시</li> </ul>	67,761	한국해양과학기술원 (공동)

## 2. 연구개발 성과 목표

### 가. 정량적 성과목표 및 성과지표

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)
최종목표	방향성 탐지용 수중청음기 시스템 상용품 개발 및 시스템 신뢰성 확보	센서 공간 배열 설계 및 제작	수중 센서부 물리적인 크기 (가로×세로 : 30cm×30cm미만)	20	환경센서 내장 및 입체 공간배열 국내 최초 설계	설계반영 타당성 시험
		공간배열 센서방수	수심 100 m 미만	20	국내 최초 설계된 소형공간배열센서 제작 및 방수 요건	IP68 (공인인증 시험) 자체 제작 압력 챔버 검증
		센서부 주파수 탐지 영역	50 - 10,000 Hz	10	선박 및 생물 탐지 주파수 영역, Ultra Electronics USSI사가 개발한 DIFAR 센서 기준	주파수 탐지 자료 제시 외부기관 시험 평가회의 (신호처리부와 음향센서부 연동을 통한 전기적인 음향신호 획득 및 주파수 탐지영역 데이터 제시)
		신호처리부 방향성 탐지 정확도	± 5 °	30	세계 최고기술을 보유한 Ultra Electronics USSI사가 제작한 방향성 수중청음기 방위추정 각도 기준	자체시험 성적서 (음향수조)
		시험 성적서 및 검증 평가서	1회	20	개발 시스템 신뢰성 확보	실패역 시험평가 시험 기관 성적서 및 외부기관 시험평가회의 검증서 (특허 출원)
1차년도 (2018년)	방향성 탐지용 수중청음기 센서부 개발	센서 공간 배열 설계 및 제작	수중 센서부 물리적인 크기 (가로×세로 : 30cm×30cm미만)	30	환경센서 내장 및 입체 공간배열 국내 최초 설계	설계반영 타당성 시험
		공간배열 센서방수	수심 100 m 미만	20	국내 최초 설계된 소형공간배열센서 제작 및 방수 요건	IP68 (공인인증 시험) 자체 제작 압력 챔버 검증
	신호처리 개발 및 방향성 탐지 평가	신호처리 현장 데이터 제시	2회	20	시스템 현장 적용 및 운용성	유효 데이터 획득 여부 (신호처리부와 음향센서부 연동을 통한 전기적인 음향신호 획득 및 주파수 탐지영역 데이터 제시)
		방위추정 알고리즘 검증	± 5 °	30	기존 방위추정 알고리즘과 개발 알고리즘과 상호 비교	자체 검증
2차년도 (2019년)	수중 청음기 상용품 개발	센서부, 케이블, 신호처리부 통합 장비 제시	1 대	50	설계 사양 및 기능 기준	사양 확인
	방향성 탐지용 수중청음기 상용품 시스템 신뢰성 확보 및 평가	실패역 시험 평가	2 회	25	개발 시스템 신뢰성 확보	실패역 시험 평가 외부기관 시험 평가회의
		논문게재	1편	10	개발 시스템 활용	KCI 등재저널 이상
		개발 장비의 수중 환경 성능 평가	수심 100 m 미만	15	수중 설치 센서의 방수 요건	KOLAS 인증 시험 성적서 제출

### 3. 연구개발 로드맵

해양산업 및 해양생태계 활용을 위한 방향성 탐지용 수중청음기 시스템 개발	연구 목표	1차년도	2차년도
		방향성 탐지용 수중청음기 센서부 개발 및 통합 운용 프로그램 개발	방향성 탐지 수중청음기 시스템 설계 및 시제품 제작
	연구 내용		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방향성 탐지용 수중청음기 센서부 통합 및 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2D/3D 공간배열 센서 최적화 설계</li> <li>- 공간 배열 센서 소형화</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방향성 탐지 수중청음기 시스템 개념 및 사양 설계</li> <li>• 설계사양 기반 복수의 수중청음기 최적 공간 배열 설계</li> <li>• 시제품 형태의 공간 배열 센서 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1차년도 시제품에 대한 시험 평가 결과 기반의 성능 보완</li> <li>• 방향성 탐지 수중청음기 상용 개발품 제작</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방향성 수중 신호처리, 운용, 및 가시화 프로그램               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실시간 음향 신호 처리 기술 개발</li> <li>- 수중 음원 방위 추정 알고리즘 분석 및 구현</li> <li>- 신호 처리부 모듈화 및 소형화</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신호 처리 제어부 및 운영 개념 설계 및 개발</li> <li>• 수중 음원 방위 추정 알고리즘 해석 및 구현</li> <li>• 공간 배열 센서 성능 검증 시스템 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 임베디드 형태의 신호처리 제어부 H/W 개발품 제작</li> <li>• 배열신호 실시간 데이터 수집S/W 개발(임베디드)</li> <li>• 개발 시스템 성능 및 개발 장비 신뢰성 시험</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수중 음원 분석용 수온, 수심 측정 센서 통합               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 음향신호 분석용 보조 데이터 수집 센서 모듈화</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 음향신호 분석용 수온, 수심 측정센서 개념 및 사양 설계</li> <li>• 공간배열 음향신호와 음향 보조 데이터 자료 통합 시스템 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 음향신호 및 분석 보조 데이터 통합</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방향성 탐지 수중청음기 해상 검증 시험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험역 음향 시험을 통한 방향성탐지 1차 성능 평가 (실험실, 해상 시험장, 실험상)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험역 음향 시험을 통한 방향성 탐지 2차 성능 평가 (해상 시험장, 실험상)</li> </ul>




## 제2장 국내외 기술 개발 현황

### 제1절 국내·외 기술 개발 현황 및 수준

- 2차 세계대전 이후 현재까지도 수중의 소리를 측정하는 기본 장비는 무방향성 탐지용 수중청음기 이었음
- 이들 수중청음기는 대부분 단일 혹은 여러 개의 수중청음기를 연결한 선배열 센서로 고비용 및 운용의 어려움이 있었음
- 2000년 이후 최근 들어 방향성 추적이 가능한 벡터 하이드로폰 개념이 제안되었고, 각 국에서는 해양 생태계, 연안 공사, 해양방위 등의 활용 목적으로 방향성 수중청음기 개발을 착수하고 있음
- 해당 기술은 표적 탐지 및 추적에 장점이 있어 다양한 기술 개발이 이루어지고 있음에도 각국에서는 자료 공개에 제한을 두고 있음
- 한정적이지만 학술적인 목적으로 결과들이 발표되고 있으나 센서의 수출은 각국에서 강하게 제한하고 있는 분야임
- 현재 기술적으로 성숙도를 가진 나라는 미국, 중국, 영국, 터키, 네덜란드 등 수중음향 장비 개발 분야의 선진국들로 해당 기술의 교류 혹은 센서 기술 이전 등은 매우 어려움 상태임
- 기존 상용제품으로 미국 최대의 방위산업체인 Ultra Electronics USSI사는 5개의 수중청음기를 이용하여 방위를 추정하는 DIFAR 센서를 개발하였음. 수신 주파수 대역은 100 - 5,000 Hz이고, 수중 표적의 방위 측정 범위는 광대역신호에서는  $\pm 25^\circ$ , 신호대잡음비(SNR)가 높은 수중 표적신호에 대해서는  $\pm 5^\circ$ 로 성능이 제시되어 있음. 하지만 연구용으로 국내 도입이 제한되어 있음 (표 2-1)

표 2-1. Ultra Electornics사가 개발한 DIFAR 센서.

DIFAR 센서	기존 상용제품 사양 (DIFAR 센서)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 측정 주파수 범위 : 100 - 5,000 Hz</li> <li>- 방위 정확도 : (광대역신호 : <math>\pm 25^\circ</math>, High SNR 신호 : <math>\pm 5^\circ</math>)를 목표 성능으로 제시</li> <li>- 높이 : 28.2 cm</li> <li>- 직경 : 21.0 cm</li> </ul>

### 제2절 국내·외 시장현황

- 국내·외 수중에서 활용하는 수중청음기 활용 시장은 수중음향 분야 대학, 국립연구소,

민간 연구소, 산업체, 국방 분야 등으로 구성되어 있음

- 수중청음기 주활용 시장은 수중음향 분야 대학 약 15개, 관련 연구소 약 10개, 방산산업체 약 7개, 조선산업 약 5개, 관련 업체 약 25개 이상으로 파악되고 있으며, 해당 기관들은 복수의 수중청음기를 기반으로 연구 및 산업계에 활용하므로 일정 수준 이상의 국내 시장은 형성되어 있다고 판단됨
- 국외의 경우 대형 음향장비 개발사의 독점적 지위에 따른 고가의 장비 가격 위주(단일 무방향성 청음기는 대당 약 2천만원, 방향성 수중청음기 시스템은 대당 약 1억원) 형성되어 있으므로 상대적으로 중저가의 장비 사양으로 경쟁시 기술 수준만 이룬다면 충분히 경쟁력이 있다고 판단됨
- 국내 시장은 해군 관련 방위산업체의 주도 특수목적으로 주문 제작되며 일반산업체 및 공공기관에서 사용하는 제품은 전량 수입품이다. 해양안전 및 생태계 관련 산업 수요 증가로 해외뿐만 아니라 국내에서도 판매 수요가 증가하는 추세임

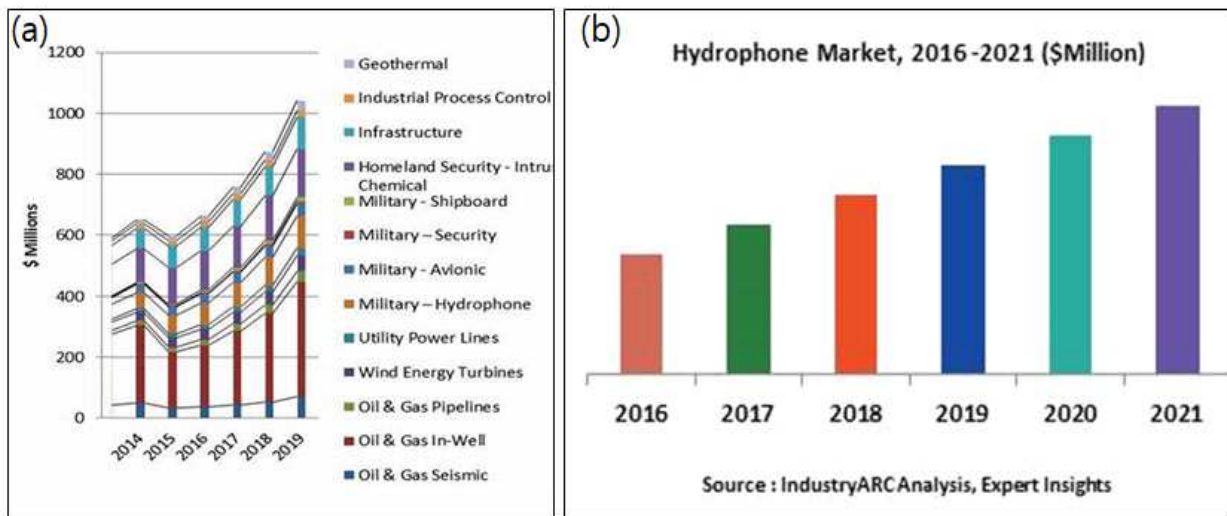


그림 2-1. (a) 군용하이드로폰 수요, (b) 수중청음기 시장 증가 추세(2014-2016 증가기준).

### 제3절 국내·외 경쟁 기관

- 국내에서는 방위사업청이나 국방과학연구소가 선행연구 측면으로 방산업체 혹은 대학의 위탁연구로 개발이 진행되고 있으나 기술의 완성도 및 활용성에 대해서는 보안으로 분류되어 기술 접근이 불가능함
- 일부 수중음향 관련 대학에서 알고리즘 연구 혹은 여러개의 선형 무방향성 하이드로폰을 연결하여 방향성 추정 알고리즘을 연구하나 장비 제작까지는 진행하지 못하고 있음
- 네덜란드 Microflow 사는 수중에서 발생하는 소음의 방향성 탐지 및 추적이 가능한 소형의 벡터센서를 개발하였으나, 자체적인 기술 개발을 통한 노하우에 대한 교류가 불가하며 센서의 국내 수입 또한 불가함 (표 2-2)
- 영국에 본사를 두고 있는 Ultra Electronics(UE) 사는 항공기나 해군 함정에서 수중의

잠수함의 위치를 추적하기 위한 sonobuoy를 개발하여 전 세계 해군을 대상으로 수출을 하고 있다. 하지만 수중에 투하된 sonobuoy는 단발성의 사용으로 인해 해양을 연속적으로 탐사하는 목적으로는 사용되기 불가능한 단점이 있으며, 군사적인 목적 이외에 민간 영역에서는 사용이 불가능 함 (표 2-2)

- 중국이나 터키에서도 다양한 군사적 또는 민간 영역에서 방향성 탐지용 수중청음기 개발을 시도하고 있으나, 국내 도입은 현실적으로 쉽지 않으며 시스템 내부에 방향 탐지 알고리즘에 대한 기술적 교류는 제한된 상태임

표 2-2. 국외 기업에서 개발한 방향성 수중청음기 예.

Microflown사가 개발한 방향성 수중청음기	Ultra Electornics사가 개발한 sonobuoy	중국에서 개발한 MEMS형 방향성 수중청음기
		

#### 제4절 지식재산권 현황

- 국내에서 방향성 탐지관련 수중 음향센서 개발에 대한 특허는 한국해양과학기술원, 국방과학연구소, (주)한화와 같이 정부출연연구소 또는 방위사업체에서 출원하고 있음
- 공동연구기관인 한국해양과학기술원은 연구용 형태의 소형 공간배열센서를 자체적으로 제작하여 육상, 실험실 규모의 수조시험 및 실해역 해상시험을 통해 수중음원의 방위를 추정하는 알고리즘에 대한 특허를 보유하고 있음
- 국방과학연구소에서 특허 등록된 음향 벡터 센서는 수중에서 발생하는 음압을 섬모형 소자에 수신되는 전기적인 신호를 통해 방향성을 감지하는 방법을 채택하여, 본 과제에서 구현하는 방향 탐지 알고리즘과는 상이함
- (주)한화에서 개발한 벡터 하이드로폰은 수중 신호에 대한 x, y, z 방향의 가속도를 이용하여 방향성을 탐지하는 알고리즘으로 본 과제에서 구현하는 방향 탐지 알고리즘과는 상이함

# 제3장 연구 수행 내용 및 성과

## 제1절 연구 수행 내용

- 방향성 탐지 수중청음기 시스템은 방향성 측정을 위하여 복수의 수중청음기 배열과 비음향 센서로 구성된 방향성 탐지용 수중청음기, 복수의 센서로부터 수신된 신호를 증폭하고 증폭된 신호를 디지털로 변환하는 신호처리 제어부, 수신된 음향 및 비음향 센서데이터를 실시간으로 전시 및 저장을 수행하고 수신된 데이터로부터 방위를 탐지하는 실시간 신호처리 소프트웨어로 구성됨
- 공동 연구기관인 한국해양과학기술원은 방향성 탐지용 수중청음기의 배열 구조설계와 신호처리 알고리즘을 개발하였고 최종적으로 시스템을 검증하는 부분을 담당하였고 주관기관인 에이더블테크놀러지는 시스템의 소형화 및 상용화를 고려한 제작과 신호처리 알고리즘을 적용한 소프트웨어 개발을 수행하였음

### 1. 방향성 탐지 수중청음기 센서부 통합 및 시제품 제작

#### 가. 센서배열 최적화

- 방향성 탐지용 수중청음기 시스템은 연구 목적과 필요성에 따라 광범위한 주파수 대역에서 정확한 방향 탐지가 가능하고 소형화를 목표로 개발하였음
- 정확한 방향 탐지를 위해서는 센서 개수가 많고 센서 간격이 넓을수록 유리하나 시스템 운용 측면에서는 센서 개수와 센서 사이즈를 최소화하는 것이 유리함
- 한국해양연구원은 시뮬레이션을 통해 최적화 설계를 진행하였고 시뮬레이션 결과 센서 수와 센서 간격을 최소로 하고 공간 에일리어싱이 발생하지 않는 3가지 배치 방안(그림 3-1)이 제시되었고 그 중에 센서 간격을 최소화 할 수 있는 방식으로 선정
- 최종적으로 제시된 배치안은 센서 수 6개, 센서 간격 0.05 m, 평면배열 형상으로 제시하였음

센서 수	배열형상	센서 간격 (m)	수평 유효 빔 폭 (°) @ 10 kHz	수직 유효 빔 폭 (°) @ 10 kHz	공간 에일리어싱 발생 유무	기타사항	KIOST 제시안 (순위)
5	평면	0.050	5.645	25.651	무	탐지 오차 5° 이상	
		0.060	4.701	23.381	무	제시된 배치안	3
		0.070	4.035	21.524	유	오탐지 발생	
		0.075	3.757	20.886	유	오탐지 발생	
		0.080	3.520	20.213	유	오탐지 발생	
	공간	0.075	3.757	5.944	유	수직 빔 조향 시 사용 가능	
6	평면	0.050	3.698	20.717	무	제시된 배치안	1
		0.060	3.088	18.898	무	제시된 배치안	2
		0.070	2.632	17.477	무	배열 크기 축소 필요	
		0.075	2.457	16.886	무	배열 크기 축소 필요	
		0.080	2.307	16.340	무	배열 크기 축소 필요	
	공간	0.075	2.457	4.270	무	수직 빔 조향 시 사용 가능	
7	평면	0.050	2.476	16.956	무	연산 시간 증가	
		0.060	2.075	15.459	무	연산 시간 증가	
		0.070	1.754	14.306	무	연산 시간 증가	
		0.075	1.631	13.821	무	연산 시간 증가	
		0.080	1.528	13.375	무	연산 시간 증가	
	공간	0.075	1.631	3.102	무	수직 빔 조향 시 사용 가능	
기존	공간	0.075	1.906	1.857	무	수직 빔 조향 시 사용 가능	

제시된 배치안  
 제외된 배치안  
 기존 배치안

그림 3-1. 배열센서 배치안.

---

(1) 최적 배열센서 배치안 선정기준 및 방안

(가) 에일리어싱 최소화

- 에일리어싱 : 배열센서를 이용하여 표적을 탐지하는 경우 빔 패턴의 부배열 발달로 인해 표적이 존재하지 않는 방위에서 표적이 탐지되는 모호성 발생
- 표적 탐지 시 오탐지를 최소화하기 위하여 공간 에일리어싱이 최소화 되어야 함
- 목표 탐지 주파수 내에서 배열센서 배치 형상에 따른 공간 에일리어싱 분석
- 공간 에일리어싱이 최소화 되는 최적 배열센서 배치 형상 결정

(나) 유효 빔 폭 최소화

- 빔 패턴 주배열의 유효 빔 폭이 넓어질수록 탐지오차가 비례하여 증가하므로, 유효 빔 폭이 최소화 되어야 함
- 일반적으로 동일 주파수에서 배열센서 수가 증가할수록 유효 빔 폭이 감소됨
- 공간상에 배치된 배열센서를 이용하여 빔 형성 시 조향 방위에 따른 유효 빔 폭 분석
- 최적의 유효 빔 폭이 도출되는 최소 배열센서 수 결정

(다) 방향성 탐지 알고리즘 속도 최적화

- 실시간 탐지를 수행하기 위하여 방향성 탐지 알고리즘 구현 속도가 최소화 되어야 함
- 배열센서 개수에 따른 알고리즘 연산량 계산 필요
- 방향성 탐지 알고리즘을 C언어로 구현 시 연산 속도 확인
- 실시간 탐지를 위한 최대 배열센서 수 결정

(2) 평면 배열 특징

- 센서 배열 최종안은 센서 수 6개, 센서 간격 0.05m, 평면배열 형상으로 제시하였고, 공간 배열 대비 장점과 단점은 다음과 같다.

(가) 평면 배열 장점

- 배열 내 구조물 간소화로 구조물에 의한 다중 반사 최소화
- 빔 포밍 시 수평 빔 조향만으로 방향성을 탐지하므로 연산시간 감소
- 수직 유효 빔 폭이 증가함으로 배열센서가 일정 각도로 기울어지더라도 방향성 탐지 성능 유지
- 수평 유효 빔 폭이 감소함으로 공간 배열과 동일한 수의 센서 사용 시에도 탐지 성능 증가
- 공간 배열 대비 센서부 크기 축소

(나) 평면 배열 단점

- 수평 방위만 탐지 가능함으로 수직 유효 빔 폭 내에서 센서부 수평 유지 필요

(3) 최적 배열센서 제작

- 1차년도 시험평가를 통해 2차년도에는 제작된 공간배열 센서부의 취약점을 개선하는 방향 적용

- 1차년도에는 7개 센서로 구성된 [3-3-1] 공간배열로 구성하였음.(그림 3-2) 하지만, 공간상에 배열된 센서의 구조적인 크기로 인해 수중센서부의 물리적인 크기 목표치인 가로×세로 : 30cm×30cm미만으로 제작하기에 제한성이 존재함. 또한 7개의 센서로 구성되어 방위 추정알고리즘을 계산하는 연산량이 많아 시스템 적용에 제한성이 있음을 확인
- 2차년도에는 수중 센서부의 물리적인 크기를 만족하고, 방위 추정 알고리즘 연산량을 줄이기 위해 6개 센서로 구성된 평면배열로 방향성 탐지용 수중청음기 배열센서 설계를 변경하여 적용 (그림 3-3)
- 6개 센서의 평면배열 설계 변경 시 ① 배열크기 최소화, ② 평면배열 전환 시 탐지방위 정확도, ③ 연산 속도를 고려하여 배열을 설계함
- 2차년도 방향성 청음기 초기 제작품 형태를 이용한 KIOST 실내 1차 수조시험을 2019년 6월 중순에 실시함
- 1차 수조시험은 수평 방위 탐지 시험 및 수직 방위 한계점 시험을 실시함
- 수평방위 탐지시험은 총 8개의 지점에서 시험을 진행하였으며, 주파수 2 - 10 kHz 대역에 CW 신호를 이용하여 시험 실시
- 수직 방위 탐지 한계점 시험은 1개의 지점에서 음원의 수심을 2 - 7 m까지 변경하며 시험 실시

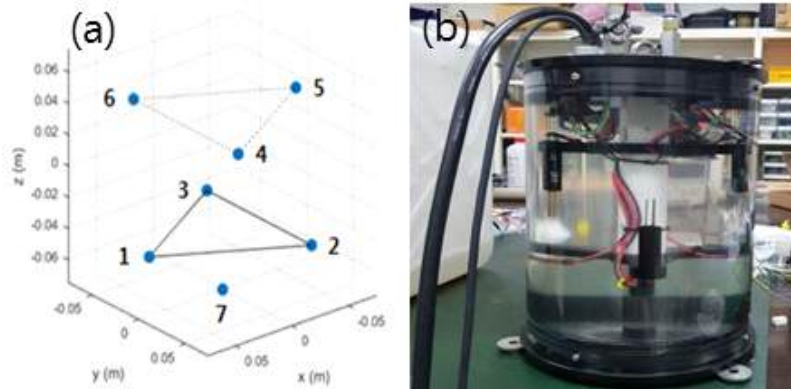


그림 3-2. (a)1차년도 공간배열 형상 (b) 1차년도 제작품.

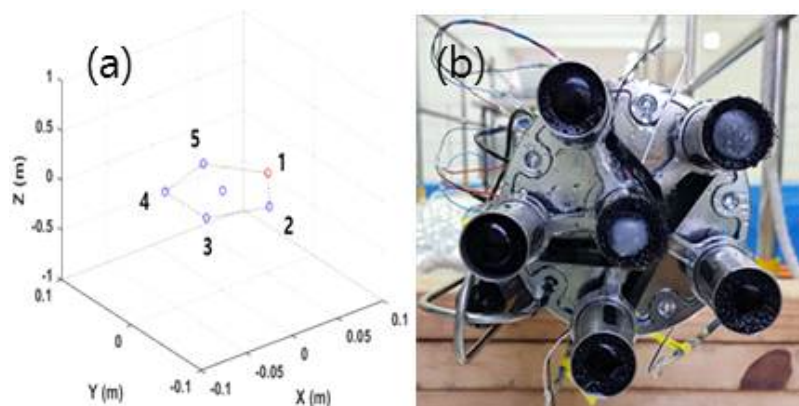


그림 3-3. (a)2차년도 공간배열 형상 (b) 2차년도 제작품.

---

나. 방향성 탐지용 수중청음기 센서부 시제품 제작

(1) 1차년도 시제품 평가결과 및 보완사항 도출

- 센서배열 최적화를 통해 공간배열 구조에서 평면배열 구조로 설계 변경하면서 상용성이 가능한 시제품을 제작하기 위해 보완사항을 도출하였고 내용은 다음과 같음
- 최종 목표치인 가로 30cm, 세로 30cm 이하로 목표한 규격을 만족(그림 3-4) 하지만 상용적 측면에서 외형이 크다는 단점이 지적되었다. 직경은 물리적으로 줄이기 힘들더라도 공간배열 구조에서 평면배열 구조로 변경하여 높이를 최대한 축소할 필요성이 제기되었다. 또한 재질이 아크릴로 제작되어 충격에 취약한 구조로 상용성이 저하되므로 재질을 아크릴 보다 강한 재질을 사용하기로 결정



그림 3-4. 1차년도 방향성 수중청음기 시제품.

- 센서 고정방식이 볼트로 센서를 고정하는 방식으로 진동성분이 전달되기 쉬운 구조 (그림 3-5)라 판단되며 이에 대한 보완 필요성이 제기되었으며, 센서 케이블은 노이즈 유입을 막기 위해 쉴드 케이블로 제작하였고 센서는 외부노이즈 유입에 대해에 취약한 open 구조로 되어있어 이에 대한 보완 필요성이 있어 쉴드캡 장착을 결정

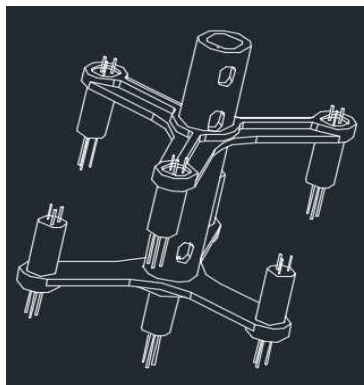


그림 3-5. 1차년도 공간배열 센서 고정프레임.

- 센서와 수중 케이블이 일체형으로 제작되어 설치 및 운영에 불편함이 있었고 케이블 구성이 음향(하이드로폰) 수신용 케이블과 비음향(방위, Pitch, Roll, 수온, 수심) 수신용 케이블로

총 2개의 케이블로 제작(그림 3-6)되어 있어 설치 및 운용성이 매우 불편하였음. 또한, 해양 환경과 같이 열악한 환경 조건에서 적합하지 않은 일반 피복 케이블로 제작되어 있음



그림 3-6. 1차년도 일체형 이중 케이블 방식.

- 수중청음기 내부회로는 전치증폭기, 비음향 센서 통신보드로 각각 구성(그림 3-7)되어 조립성이 저하되고 많은 공간 사용의 효율성이 저하되었다. 따라서 2차년도에는 하이드로폰 전치 증폭기, 비음향 통신보드를 통합하고 전원은 단일전원을 사용하여 통합보드를 제작하기로 결정

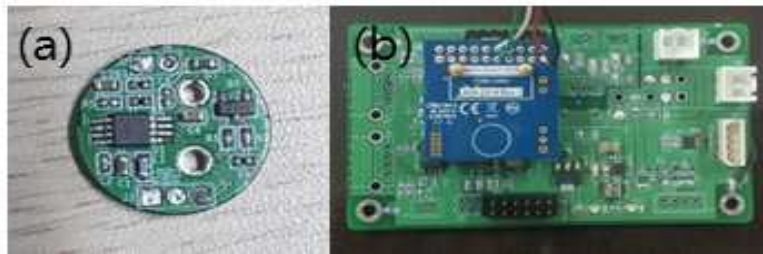


그림 3-7. (a)1차년도 전치증폭기 (b)1차 년도비음향 통신보드.

(2) 2차년도 센서부 제작

- 최종 시제품은 1차년도 보완사항을 바탕으로 센서 배치 및 고정방식에 대한 설계변경을 하였고 외부 하우징 사이즈와 재질을 설계 변경하였다. 사용의 편리 및 생산성을 높이기 위한 방안으로 수밀 커넥터와 수중 케이블을 자체 제작 하였고 내부적으로 음향 및 비음향 보드를 통합하였다. 아래 그림(그림 3-8)은 최종적으로 제작된 시제품의 외형 사진과 단면도임

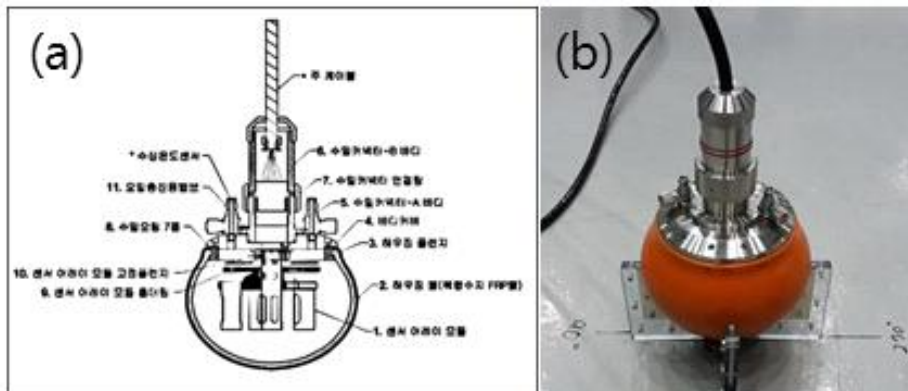


그림 3-8. (a) 2차년도 시제품 단면도 (b) 2차년도 시제품 사진.



(가) 센서 고정 프레임

○ 1차년도는 센서 고정 프레임은 센서 장착 시 센서가 진동에 대한 영향을 받기 쉬운 구조이며, 센서(하이드로폰)에 전치증폭기를 바로 장착하는 구조로 개별 하이드로폰에 양전원을 각각 공급해야하는 구조로 제작하였다. 이러한 방식은 케이블이 많아져서 작업성이 떨어지는 단점이 있었다. 2차년도 개발에서는 쉴드 케이블을 사용하지 않고 노이즈 차폐용으로 쉴드캡을 제작하였고 센서 하우징 내부에는 진동 차단용으로 타공 스폰지를 내장하였다. 쉴드캡 측면에 축방향의 장홀을 내어 스폰지로 인해 발생될 기포가 잘 제거되도록 설계하였음. 배치안에 따른 모델링 결과는 아래와 같다.(그림 3-9)

- 노이즈 차폐용 쉴드캡 재질 : 티타늄
- 노이즈 차폐용 쉴드캡 특징 : 기포 제거용 측면 창
- 센서 진동차단 방안 : 타공 타입 스폰지 내장

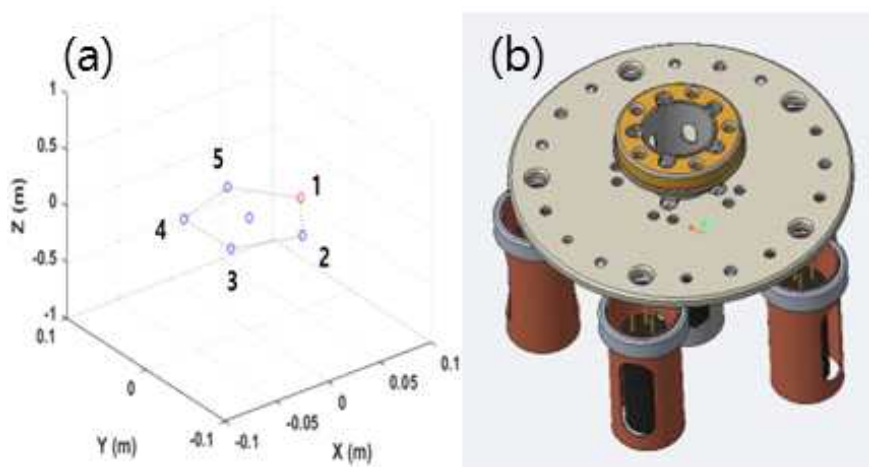


그림 3-9. (a)최종 배열센서 배치안  
(b)센서 고정프레임 모델링.

○ 외부 하우징 제작 전 개별 센서 고정프레임의 성능을 확인하기 위해 6월 13일 ~ 14일, 16일 총 3일간 해양연구원 본원에서 해양연구원과 공동으로 수조시험을 진행하였으며, 성능을 검증 결과는 7월 2주차에 이상 없음을 보고 받고 외부 하우징 설계를 진행하였음

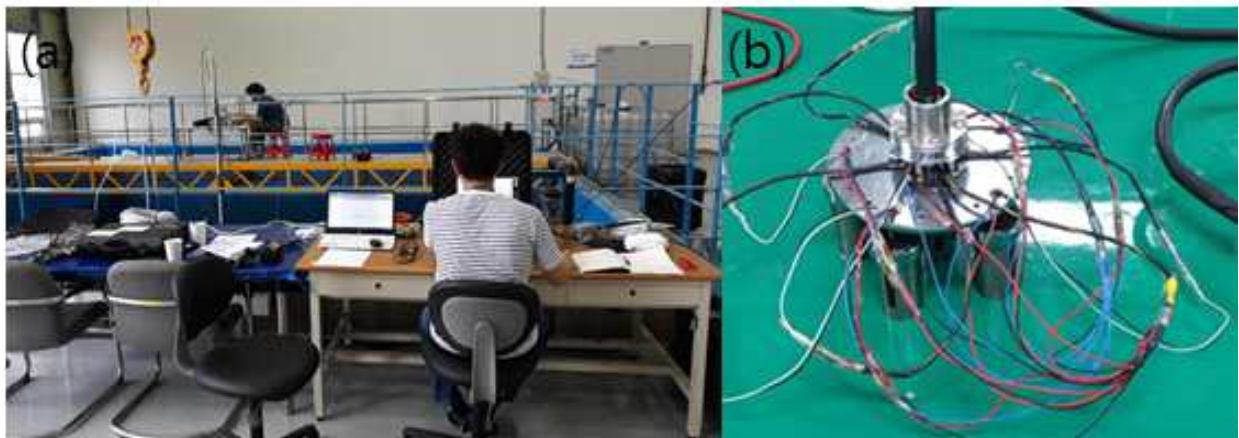


그림 3-10. (a) 최종 배치안 수조시험 (b) 센서 고정 프레임 사진.

(나) 센서 외부 하우징

- 방향성 수중청음기의 전체적인 외형 구성은 크게 앞에서 설명한 센서 고정 프레임 (센서 어레이 모듈)과 음향 반사 특성과 강도를 고려하여 복합수지 FRP로 제작한 하우징 볼로 제작 (그림 3-11)
- 커넥터, 오일 충전구, 센서를 장착하는 바디 커버는 SUS로 제작하였으며 하우징 볼 내부에는 음향 전달 특성을 고려한 절연유를 충전
- 수밀 커넥터를 제외한 외형 사이즈는 21.4cm(지름) x 22.3cm(높이)로 설계 목표 대비 30% 이상 사이즈를 축소
- 방향성 수중청음기 하우징은 외관의 모양을 원형으로 제작하기 위해 수지금형을 통해 제작 (그림 3-12 ~ 그림 3-13)
- 상부 덮개의 수밀을 위해 오링 제작용 금형을 제작

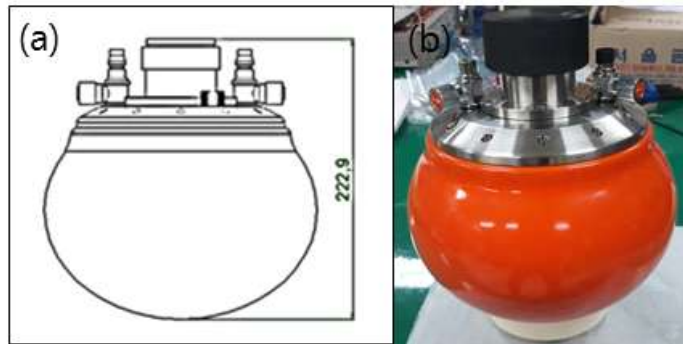


그림 3-11. (a)외부 하우징 치수 (b)외부 하우징 사진.

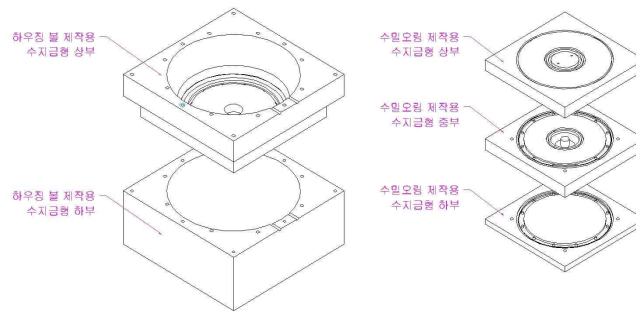


그림 3-12. 외부 하우징(하우징 볼) 수지금형 조립도.



그림 3-13. 외부 하우징(하우징 볼) 수지금형 사진.

- 수밀 관련하여 자체 압력 챔버 시험[그림 3-14. (a)] 및 해상시험을 시험 완료
- KOLAS 공인인증을 2019년 12월 26일에 인증시험을 진행 [그림 3-14. (b)]
- 2020년 1월 20일 인증서를 발급 완료



그림 3-14. (a) 자체압력시험 (b) KOLAS 공인인증 시험.

- 1차년도에는 수중케이블은 2개를 사용하여 설치 및 운영성이 떨어졌으며 외부 피복이 해양 환경에서 사용하기에 내구성이 부족한 케이블을 사용
- 케이블을 1개로 통합하고 외부 피복이 강한 우레탄 케이블을 자체 제작함 (그림 3-15)
  - 케이블 외부 피복 : 우레탄
  - 케이블 내부 : 케이블라 편조 인장선 사용
  - 케이블 구성 : AWG18 3가닥, AWG24 2심 Twisted Pair 9개
  - 차폐방안 : AL+PS테이프 사용

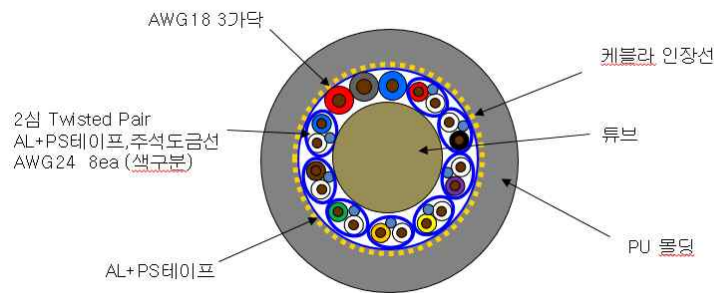


그림 3-15. 자체 제작 케이블 단면도.

- 1차년도에는 디지털 통신부와 아날로그 신호부 각각 두 개의 케이블 사용하였지만 2차년도에는 한 개의 케이블로 음향 신호와 비음향 신호를 수신하는 방식으로 비음향 센서의 디지털 노이즈가 음향 신호에 영향을 줄 수 있어 우레탄 케이블 제작 전 케이블 노이즈 특성 시험을 진행함
  - 노이즈 특성에 대한 영향 시험을 한 결과 기존 통신방식인 RS-422로 통신을 할 경우 아래와 같이 노이즈가 유기됨

- 통신 레벨과 통신 속도의 적합성 시험 결과 적합한 통신방식으로 LVDS(Low Voltage Differential Signal)를 선정하였고 최종적으로 자체 제작한 LVDS-UART 컨버터로 통신시험을 수행함(그림 3-16)
- 측정 결과 노이즈 유기 현상은 없었고 통신은 정상적으로 수신됨을 검증(그림 3-17)



그림 3-16. 케이블 노이즈 영향 시험 구성도.

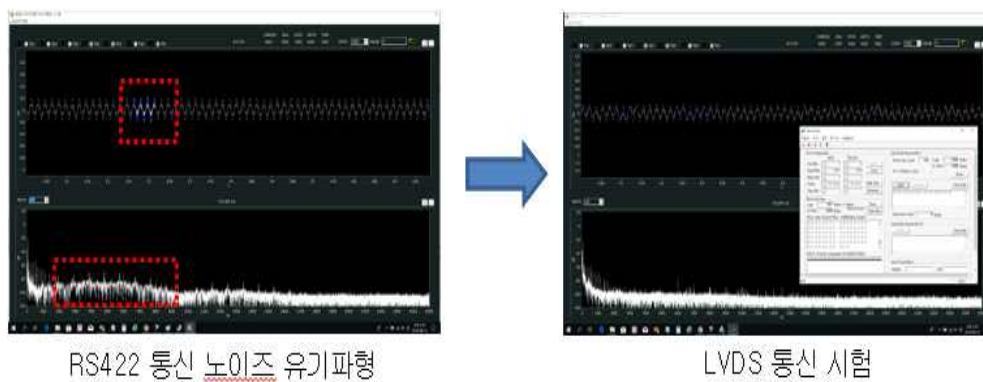


그림 3-17. 케이블 노이즈 영향 시험 비교 결과.

- 자체 제작된 케이블은 센서와 케이블을 분리하도록 수밀커넥터를 추가
- 상용 수밀 커넥터는 고가여서 제품의 상용화에 적합하지 않아 판단하여 자체 개발(그림 3-18)



그림 3-18. 자체개발 수밀 커넥터 사진.

(다) 음향 및 비음향 통합보드

- 1차년도 보완사항으로 음향/비음향 통합보드개발(그림 3-19)의 필요성이 있었으며 세부 보완사항은 다음과 같음
- 1차년도 전원 종류는  $\pm 5V$ ,  $+7V$ 로 전원의 종류가 많아 케이블 심수가 증가하여야 하는 단점이 있었고 하이드로폰 전치증폭기의 전압범위가 작은 단점이 있었다. 따라서 전원은  $+12V$  단일전원으로 공급하고 각각의 출력전압은 전치증폭기용으로  $\pm 11V$ , 비음향 통신보드용으로  $+5V$ 를 공급하도록 설계변경 하였다. 필연적으로 사용되는 DC/DC컨버터의 Switching 잡음을 최소화 하기 위해 필터 및 LDO를 내장하였고 전압강하를 감안하여 전치증폭기는  $\pm 11V$ 를 공급하도록 설계
- 통신케이블 노이즈 영향 시험을 통해 기존 RS422통신에서 LVDS 통신으로 설계 변경
- 회로의 이상이 없는지를 확인하기 위해 전원을 모니터링하는 회로를 추가하였고 하이드로폰에 시험 신호를 전송할 수 있도록 설계 변경
- 사용되는 MCU는 오실레이터를 내장된 모델을 선정하고 내부 메모리가 내장된 MCU를 사용하여 디지털 잡음을 최소화

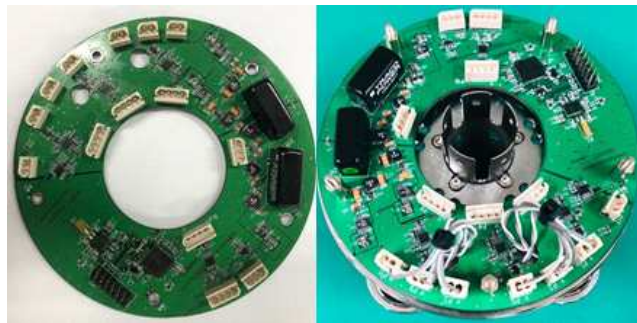


그림 3-19. 음향 및 비음향 보드 실물 사진.

- 음향 및 비음향 센서부는 음향센서 6채널과 비음향 센서 3채널로 구성되며, 비음향 센서는 온도, 수심, 자세(compass, roll, pitch) 센서로 구성된다. 음향신호는 전치증폭기에 의해 증폭된 아날로그 신호를 전달하고, 비음향 센서는 회로에 내장된 MCU에 의해 수신된 데이터를 LVDS 통신을 통해 전달한다. 전체적인 회로 구성도(그림3-20)는 아래와 같음

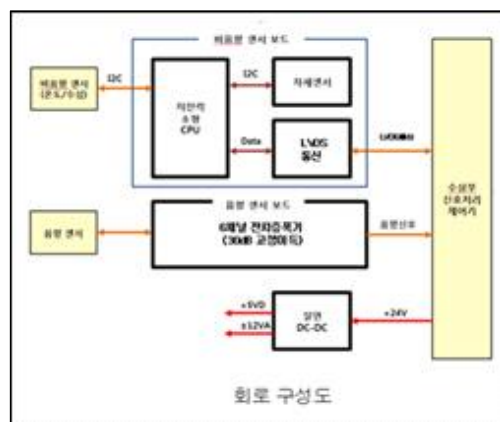


그림 3-20. 통합보드 회로 구성도.


○ 음향/비음향 통합보드 주요사양은 다음과 같음

- 외경 사이즈 : 직경 110mm이하
- 공급 전원 : +12V/220mA이하
- 비음향 데이터 : 수심, 수온, 방위, 자세(pitch,roll), 전압( $\pm 11VA, 5VD$ )
- 음향 채널 수 : 6채널

■ 수중청음기 사양

- 방향성 탐지용 수중청음기의 개별 센서 모듈은 Teledyne사의 AQ-1(표 3-1)을 사용하여 배열을 구성하였으며 상용품을 사용함으로써 추가적인 교정 없이 사용 가능함

표 3-1. 수중청음기 주요사양.

항 목	값	
SENSITIVITY (dBv re 1 $\mu$ Pa @ 20 C)	-201	
CAPACITANCE (nF @ 20 C)	14.5	
FREQUENCY RESPONSE ( $\pm 1.5$ dB)	1 Hz to 10 kHz	
DEPTH (METERS)	1732	
DIMENSIONS (length x diameter)	4.5 cm x 1.6 cm	
WEIGHT	17.3 g	
LEADS	Solder pins	

■ 전치증폭기 사양

- 개별센서 모듈의 신호증폭용으로 개발된 전치증폭기는 저 잡음 OP AMP를 사용하여 제작되어 있으며 OP AMP는 양전원을 사용하며 고정이득은 30 dB로 제작하였음 (그림 3-21)

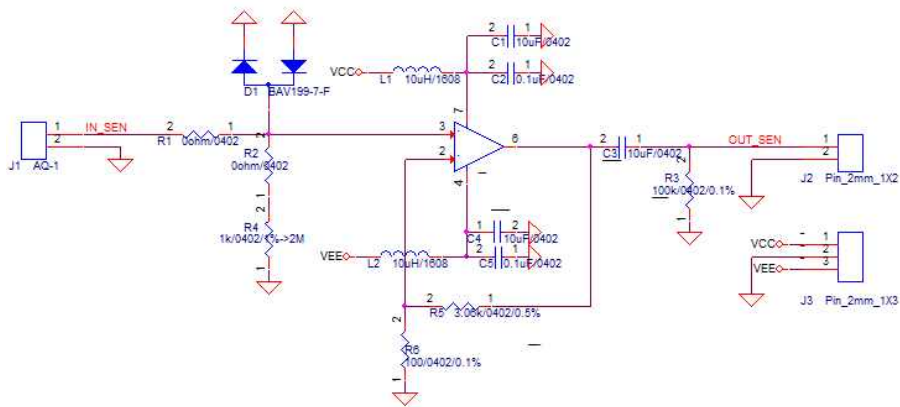


그림 3-21. 전치증폭기 회로도.

▪ 비음향 센서 사양

- 비음향센서는 방위, ROLL, PITCH, 수심, 수온과 같은 비음향 데이터를 측정 및 수집하여 LVDS를 통해 수상부로 전송하는 역할을 하며 상용품을 사용함으로 추가적인 교정 없이 사용 가능함
- 신호처리 제어부와의 통신 : 메인CPU는 TI MSP430시리즈를 사용하며 자세, 수심, 수온 센서와 I2C통신을 하여 데이터를 획득 한다. 또한 장거리 통신을 위해서 LVDS로 변환하여 전송함
- 자세센서 : 방위 측정범위 0°~360°, 방위 정확도는 ±2.5°이며 3축(x,y,z) 가속도 측정이 가능한 BNO055(표 3-2)를 사용하며 주요 제작사양은 아래 표와 같음

표 3-2. 자세센서 주요사양.

항 목	값	비고
Heading / Yaw	0° ~ 360°	
Heading accuracy	± 2.5°	
Pitch	-180° ~ +180°	
Roll	-90° ~ +90°	

- 수심/수온센서 : 수심 및 수온 센서는 상용품인 MSR5387을 사용하여 추가적인 교정 없이 사용 가능함(표 3-3)

표 3-3. 수심 및 수온센서 주요사양.

항 목	값	비고
Pressure		
Operating Pressure	0 ~ 30bar	
Relative Accuracy(0~40℃)	± 200mbar	
Temperature		
Operating Temperature	-20 to +85℃	
Absolute Accuracy(0~60℃)	± 1.5℃	

다. 신호처리 제어부 시제품 제작

(1) 1차년도 시제품 평가 및 보완사항 도출

- 1차년도 신호처리 제어부 H/W는 자체 제작된 방향성탐지 수중청음기 수신앰프와 상용 NI-DAQ, 그리고 전원 공급장치로 구성(그림 3-22)하여 데이터를 획득
- 1차년도 신호처리 제어부 H/W는 아래와 같은 보완 사항이 있다.
  - 수신앰프, 상용 DAQ, 전원 공급 장치의 사이즈가 크고 무거워 이동이 불편함
  - 수신앰프와 상용 DAQ간에 케이블이 많아 설치가 불편함
  - 고가인 상용 DAQ를 사용하므로 가격 경쟁력이 없음

---

< 1차년도 신호처리 제어부 주요사양 >

- A/D분해능 : 16bit
- A/D샘플링 : 채널 당 50ksps
- 필터범위 : 50Hz~10KHz
- 이득제어범위 : 0~60dB, 10dB STEP
- 비음향 데이터 수신 : 수심, 수온, 방위, 자세(pitch,roll)
- 음향 수신 채널 : 7채널

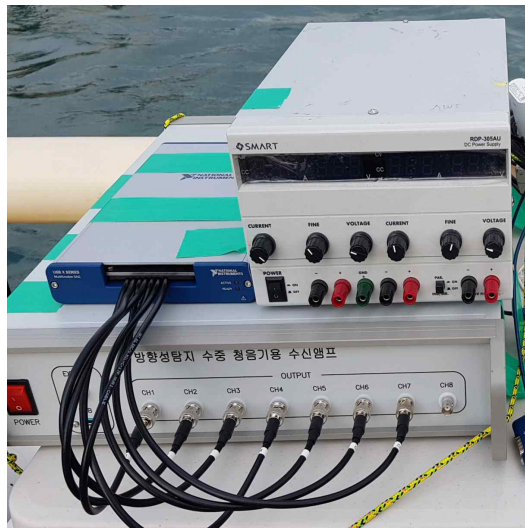


그림 3-22. 1차년도 신호처리 제어부.

(2) 2차년도 제어부 제작

- 2차년도 신호처리 제어부 H/W는 1차년도의 단점을 보완하기 위해 수신앰프를 초소형화 하였으며, 상용 DAQ를 자체개발 하였다. 1차년도의 모든 기능을 하나의 보드로 제작하여 사이즈와 무게를 줄였고 무엇보다도 상용 DAQ를 자체 개발함으로써 값비싼 상용 DAQ를 대체하였음(그림 3-23 ~그림 3-24)

< 2차년도 신호처리 제어부 주요사양 >

- A/D분해능 : 24bit
  - A/D샘플링 : 채널 당 64ksps
  - 필터범위 : 50Hz~10KHz
  - 이득제어범위 : 0~60dB, 10dB STEP
  - 비음향 데이터 수신 : 수심, 수온, 방위, 자세(compass, pitch, roll),
  - 센서 내부 전압 모니터링( $\pm 11VA$ , 5VD)
  - 음향 수신 채널 : 6채널
-



- GPS 모듈 내장
- 외부 입력 전원 : +24V (아답터 제공)

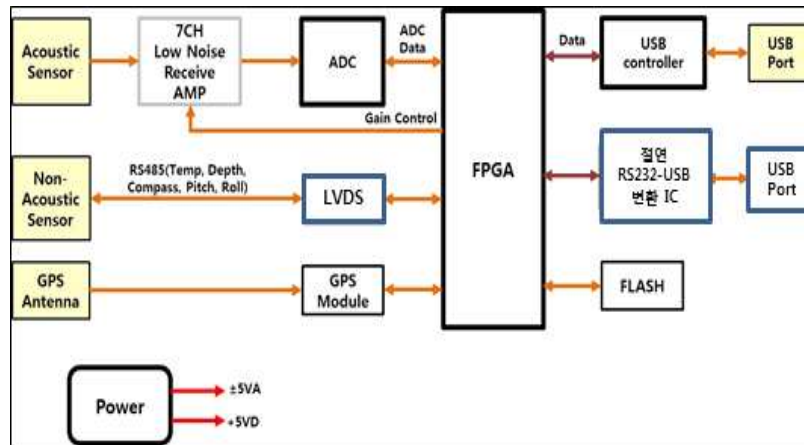


그림 3-23. 신호처리 제어부 회로 구성도.



그림 3-24. 신호처리 제어부 마더보드 사진.



그림 3-25. 신호처리 제어부 수신앰프 사진.

- 신호처리 제어부는 이동형 랙에 수신앰프, DAQ, 전원공급장치 기능을 탑재하였고 노트북을 올려놓고 사용하기 용이하도록 커넥터부를 측면에 설계하였음(그림 3-26)

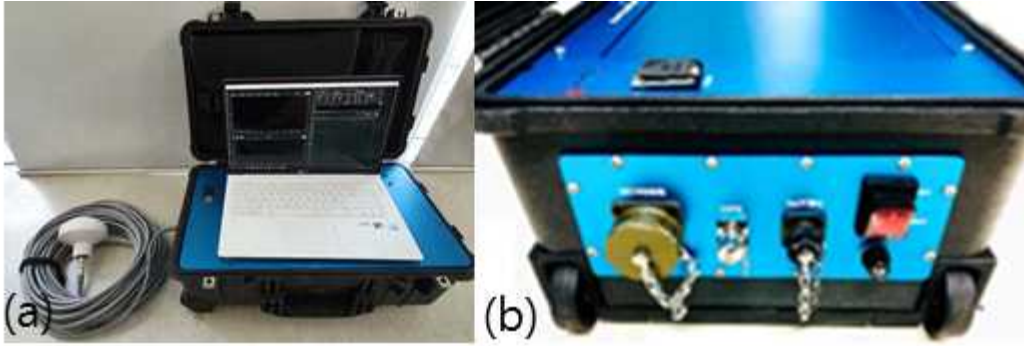


그림 3-26. (a)신호처리 제어부 운용구성 (b)신호처리 제어부 측면도.

- GPS 안테나는 이동형 케이스에 내장(그림 3-27)하여 이동에 편리하도록 제작하였음



그림 3-27. GPS 안테나 케이스.

라. 실시간 데이터 수집 및 신호처리 소프트웨어

(1) 배열 음향신호와 음향 보조데이터 자료 연동 알고리즘

- 자이로 센서의 필요성

- 수중에서 공간 배열센서가 운동하게 되면 전체 배열 위치 및 자세각이 달라짐
- 공간배열 센서의 자세각이 달라지면 도출된 빔 패턴으로부터 표적을 탐지하는 것이 쉽지 않음
- 공간 배열센서를 이용하여 수중에서 표적을 탐지하기 위해서는 자이로 회전 측정이 필수적임
- 또한 실시간 탐지를 수행하기 위하여 음향신호와 시간 동기화된 자이로 회전 자료가 획득되어야 함

- 자이로 회전

- 자이로 회전은 Roll, Pitch, Yaw로 직교좌표계 3축 회전 변환이 존재함(그림 3-28)
- Roll은 X축 기준 시계방향 회전임
- Pitch는 Y축 기준 시계방향 회전임
- Yaw는 Z축 기준 시계방향 회전임

- 각 3축 회전 변환을 조합하여 공간 배열센서가 수중에서 운동하는 경우 배열 위치 및 자세각을 계산하여 보정함

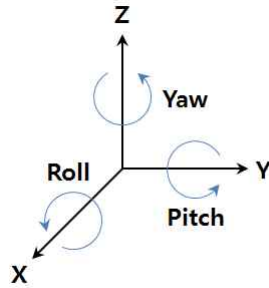


그림 3-28. 자이로 회전.

○ 자이로 회전변환

- 자이로 회전변환은 행렬연산 기반으로 계산되어짐
- 기존 배열센서의 직교좌표(x,y,z)로 구성된 행렬과 Roll, Pitch, Yaw 회전변환 행렬을 곱하면 자이로 회전에 의해 변환되어진 배열센서의 직교좌표가 도출됨(그림 3-29)
- 자이로 센서로 측정된 자이로 회전변환 자료를 이용하여 공간 배열센서의 실시간 위치 및 자세각을 계산함

$$\begin{pmatrix} \text{변환된} \\ \text{배열센서} \\ \text{직교좌표} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Roll} \\ \text{회전변환} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Pitch} \\ \text{회전변환} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Yaw} \\ \text{회전변환} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{기존} \\ \text{배열센서} \\ \text{직교좌표} \end{pmatrix}$$

그림 3-29. 자이로 회전 변환.

○ 배열 음향신호와 자이로 회전변환 자료 연동

- 공간 배열센서 운동 시 자이로 회전변환 및 표적신호 탐지 자료를 측정함
- 공간 배열센서에 부착된 자이로 센서로부터 측정한 Roll, Pitch, Yaw 자료를 이용하여 공간 배열센서의 회전변환을 수행함
- 측정된 자이로 회전정보는 음향신호와 연동되어 데이터가 저장됨
- 공간 배열센서의 실제 움직임과 자이로 변환된 센서의 움직임을 비교 검증함(표 3-4)

표 3-4. 공간 배열센서 운동 시 자이로 회전변환 보정.

Time 12:24:40	Time 12:24:41	Time 12:24:42	Time 12:24:43

Time 12:24:44	Time 12:24:45	Time 12:24:46	Time 12:24:47
			
Time 12:24:48	Time 12:24:49	Time 12:24:50	Time 12:24:51
			
Time 12:24:52	Time 12:24:53	Time 12:24:54	Time 12:24:55
			
Time 12:24:56	Time 12:24:57	Time 12:24:58	Time 12:24:59
			

- 공간 배열센서 운동 시 자이로 회전을 보정하며 표적 신호 탐지를 수행함
- 자이로 회전변환 적용 전에는 표적의 방위를 제대로 탐지하지 못함
- 자이로 회전변환 적용 후에는 표적의 방위를 잘 탐지하는 것을 확인함(그림 3-30)
- 공간 배열센서가 운동에 의해 배열센서의 위치 및 자세각이 변함에도 동일한 방위에서 표적을 탐지하는 것을 확인함

- 그러므로 수중에서 공간 배열센서를 계류 및 예인 시 발생하는 운동 상태를 반영하여 표적을 탐지하는 것이 가능함

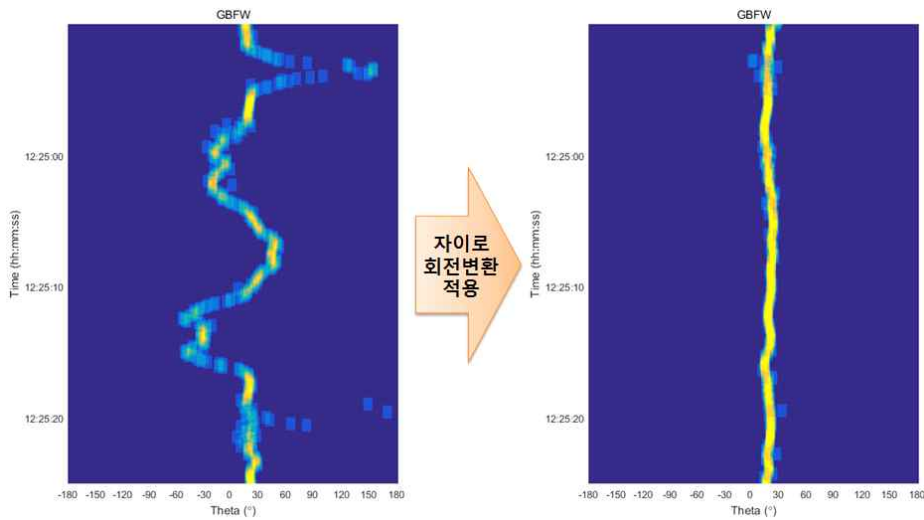


그림 3-30. 공간 배열센서 운동 시 표적 신호 방위 탐지.

○ GPS 연동

- 방향성 탐지 측정 시스템에 GPS 안테나를 설치하여 방향성 청음기의 실시간 위치정보를 수신해서 측정된 GPS 위치정보는 음향신호와 연동되어 데이터가 저장됨
- GPS를 지도상에 도시하여 실시간 위치를 확인 가능하도록 설정함(글미 3-31)

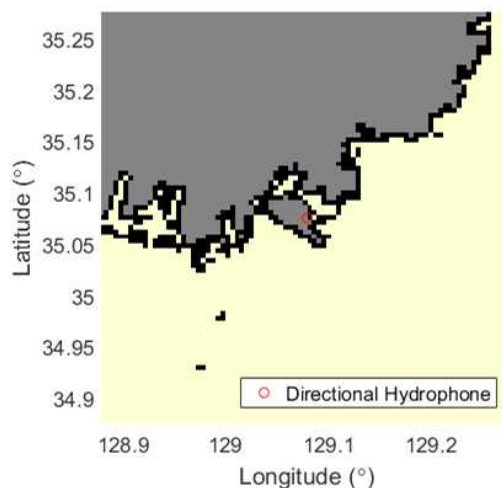


그림 3-31. 공간 배열센서 GPS 위치.

(2) 수중음원 방위추정 알고리즘 개발

○ 1차년도 방위추정 알고리즘

- 본 과제에서 개발되는 방향성 탐지용 수중청음기의 측정 주파수 범위는 50 ~ 10,000 Hz 로, 1차년도에는 해당 주파수 범위에 포함되는 수중음원 방위 추정 알고리즘 구현

- 1차년도 수신된 신호의 특정 주파수 대역 선정을 통한 수중음원 방위 추정 알고리즘 구현(그림 3-32)
- 방향성 탐지 수중청음기를 이용한 수중음원 방위추정 알고리즘은 배열센서의 조합에 따른 기존 빔 형성(Conventional Beam-Forming, CBF)에 의해 도출된 빔 패턴을 합성하는 기법임
  - 수중음원 방위추정을 수행하기 위하여 자이로 회전변환에 의해 도출된 각 센서의 공간상 위치를 직교좌표로 도출함 [알고리즘 모식도 : S1]
  - 각 배열센서에서 수신된 디지털 음향신호는 Fast Fourier Transform(FFT)을 이용하여 주파수 영역으로 변환함 [알고리즘 모식도 : S2, S3]
  - 방향성 탐지용 수중청음기의 각 센서를 2~7개 조합으로 그룹화하여 탐지 주파수 구간에서 센서의 그룹별로 CBF를 계산함 [알고리즘 모식도 : S4, S5]
  - 각 그룹에 대해 CBF로 계산된 빔 패턴을 정규화하고, 방위각에 대해 모두 곱하면 GBF에 의한 빔 패턴이 도출됨 [알고리즘 모식도 : S6]
  - GBF 빔 패턴을 탐지 주파수 구간에 대해 비상관적으로 합산하면 WGBF에 의한 빔 패턴이 도출됨 [알고리즘 모식도 : S7]
  - WGBF 빔 패턴의 최고정점 방위를 계산함으로써 수중음원 탐지 방위를 도출할 수 있음 [알고리즘 모식도 : S8]
  - 이로써 CBF 기법에 비해 성능 및 방위 정확도를 향상시킬 수 있는 GBF 및 WGBF 기법을 수립함
  - 결정된 방향성 탐지 수중청음기의 배열 형상을 고려하여 방위추정 알고리즘을 적용한 MATLAB 코드 작성

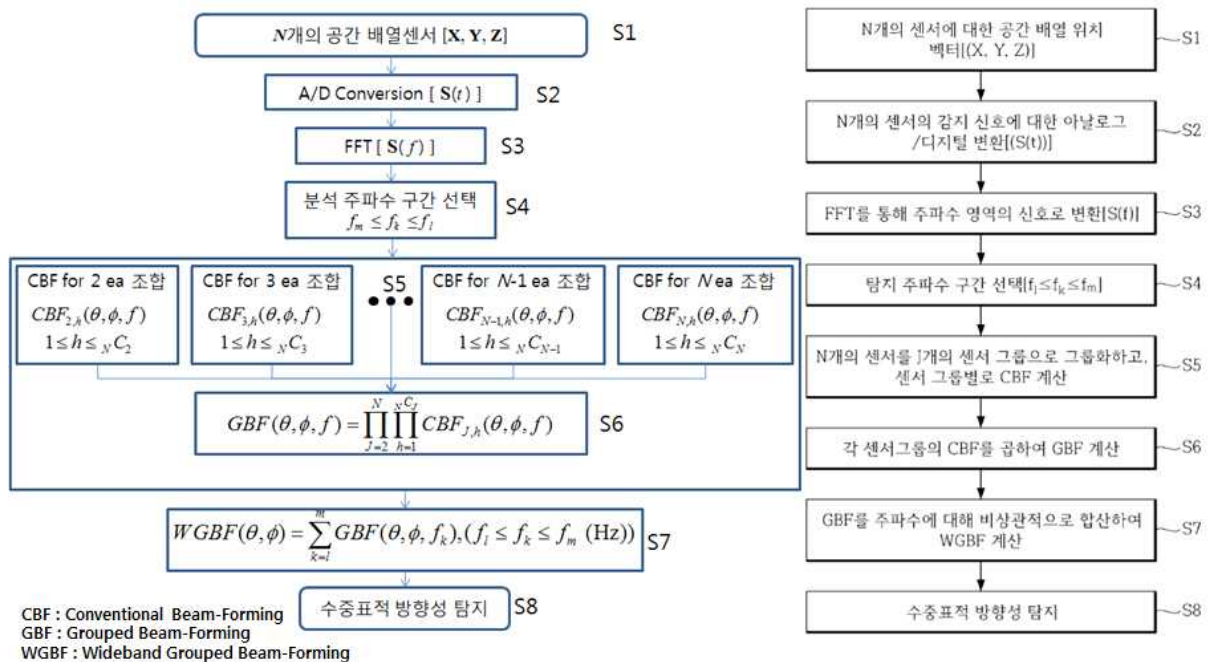


그림 3-32. 방위추정 알고리즘 모식도.

○ 복수의 수중음원 방위추정 알고리즘

- 2차년도에는 수중음원의 수신 주파수 대역 분포를 분석하고, 수중음원의 종류에 따라 주파수를 분리하여 복수의 수중음원에 대한 방위 추정 알고리즘 구현하였음(그림 3-33)
- N개의 센서에 대한 공간 배열 위치 벡터 설정 (N = 6개의 평면배열 구성)
- N개 센서의 수신신호에 대한 아날로그신호를 디지털 신호로 변환
- 각 센서에 수신된 신호의 FFT를 통한 주파수 영역의 신호로 변환
- N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하고, 센서 그룹별로 CBF 계산 수행 (전체 6개의 청음기로, 2개 센서 조합 = 15, 3개 센서 조합 = 20, 4개 센서 조합 = 15, 5개 센서 조합 = 6, 6개 센서 조합 = 1)
- 각 센서 개수별로 조합된 CBF를 곱하여 GBF(Grouped Beamforming) 값 계산
- 특정한 수중음원 신호가 수신된 주파수 구간에 따른 GBF를 주파수 대역에서 비상관적으로 합산하여, 복수의 수중음원 분리
- 복수의 수중음원 방향성 탐지

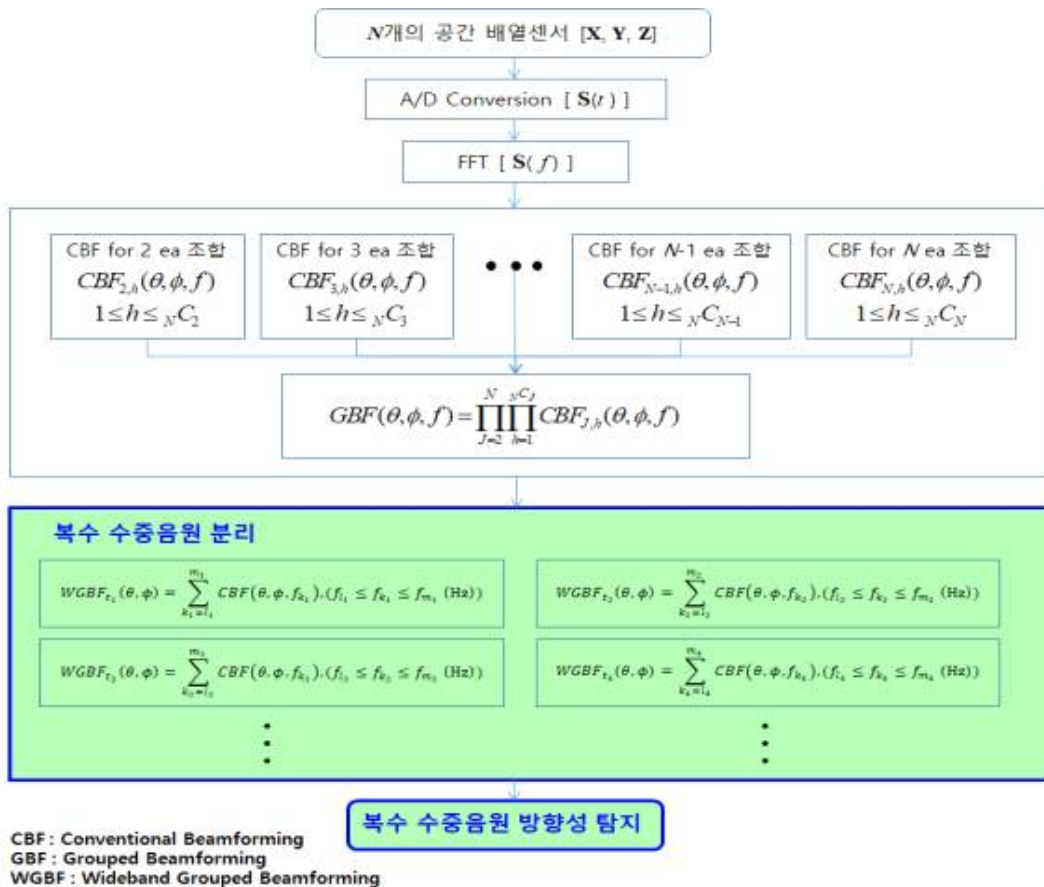


그림 3-33. 복수 수중음원 알고리즘 모식도.

(3) 배열신호 실시간 데이터 수집 및 신호처리 S/W 개발

- 방향성 수중 신호 처리, 운용 및 가시화 프로그램 개발 및 신호처리 제어부에서 수신 데이터의 총괄적인 연산 수행을 목적으로 배열 신호 실시간 신호처리 소프트웨어를 개발하였음

○ 소프트웨어 주요 내용

- 방향성 탐지 결과의 최종적인 분석 S/W 개발
- GUI로 구성하여 사용자의 접근성 향상
- 신호의 시간 및 주파수 영역의 확인 기능
- 파워 스펙트럼 확인 기능
- 탐지 신호의 협대역 및 광대역 분석 설정 기능
- 실시간 표적의 방위 추정 확인 기능

(가) 소프트웨어 기능설명

- 공간 배열의 실시간 데이터 수집 소프트웨어는 Microsoft사의 MFC를 이용하여 구현(그림 3-34, 그림 3-35)하였으며 아래 그림과 같은 메인화면의 구성을 갖는다. USB 통신 드라이버를 구현을 통하여 디지털 데이터를 수신하고 이를 처리하여 표적의 방위각을 추정함



그림 3-34. 실시간 데이터 수집 및 신호처리 소프트웨어 메인화면.

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| ① 데이터 획득 시작 중지      | ⑩ 제어설정(파일저장 및 수신이득) |
| ② 저장 파일 불러오기        | ⑪ 각도 별 탐지각도 분포      |
| ③ 종료                | ⑫ 탐지 주파수 설정         |
| ④ 시간신호 채널 선택        | ⑬ 실시간 탐지 그래프        |
| ⑤ 채널신호              | ⑭ 그래프 확대/축소         |
| ⑥ 주파수 영역 채널선택       | ⑮ 콤팩스 보상            |
| ⑦ 주파수 영역 신호         | ⑯ 비음향 데이터 수신 제어     |
| ⑧ GPS정보, 전압 모니터링 도시 | ⑰ 탐지 주파수 위상 표시      |
| ⑨ 비 음향 정보 도시        | ⑱ 선택된 채널 파워스펙트럼 표시  |

그림 3-35 소프트웨어 GUI 기능 설명



○ 실시간 표적의 방위 추정 기능

- 주파수 선택창을 통하여 선택된 주파수의(100Hz 범위) 방위를 실시간으로 계산하여 최대 60 sec동안 방위탐지 결과를 도시(그림 3-36)한다. 이 주파수를 변경 하여 다른 대역 신호의 방위도 탐지 가능함

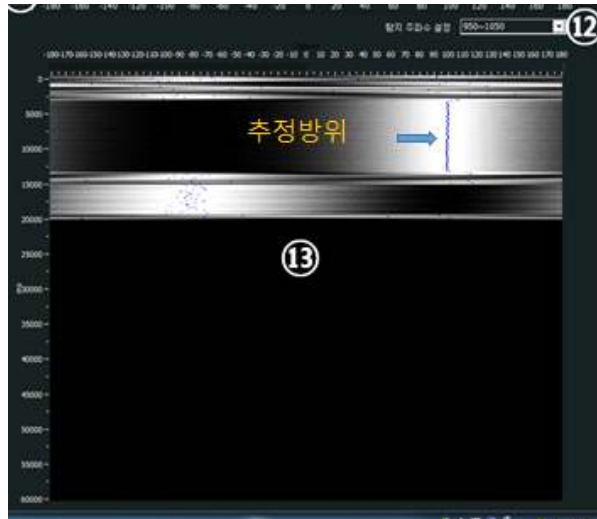


그림 3-36. 실시간 방위 추적기능.

○ 신호의 시간 및 주파수 영역의 확인 기능

- 시간 신호의 선택 창을 통하여 선택된 신호를 실시간으로 도시하고 채널 선택 창을 통하여 선택된 채널의 주파수를 도시함(그림 3-37, 그림 3-38)

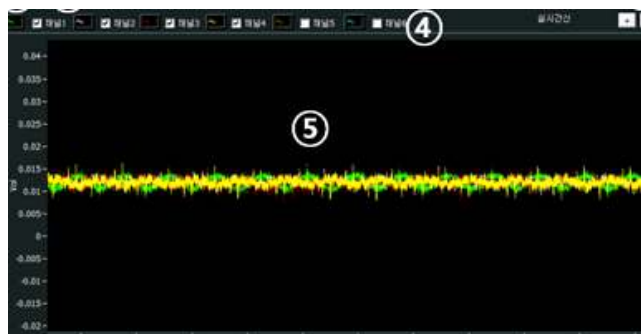


그림 3-37. 시간 영역 확인 기능.



그림 3-38. 주파수 영역 확인 기능.

- 파워스펙트럼 확인 기능 -> 탐지각 분포 기능(그림 3-39)
  - 효율적인 UI구성을 위하여 선택된 실시간으로 탐지되는 각도의 분포를 표시함 (0~360도)



그림 3-39. 탐지각도분포 GUI.

- GUI구성을 통한 사용자의 접근성 향상
  - 실시간으로 입력되는 GPS데이터, HEADING, ROLL, PITCH등의 정보를 문자로 표시함 (그림 3-40)
  - 파일 저장 기능 및 파일이름 설정 기능을 구현



그림 3-40. 비음향 데이터 도시 GUI.

## 2. 개발 시스템 성능 및 개발 장비의 신뢰성 시험

- 개발 시스템의 성능 및 개발 장비의 신뢰성 시험은 마일스톤 상에서는 수조시험에 국한되어 있으나 본 장에서는 육상시험, 수조시험, 해상시험을 모두 포함한다. 육상시험은 개발품에 대한 하드웨어 설계사양 및 기능을 만족하는지에 대한 시험을 목적으로 하며, 수조 및 해상 시험은 개발품의 주요 설계 목표인 방향성 탐지 정확도를 평가를 목적으로 함

### 가. 방향성 탐지용 수중청음기 시스템 육상시험

- 방향성 탐지용 수중청음기 시스템 육상시험은 1차년도 시스템 개념 및 운영 개념 설계를 바탕으로 한 마일스톤 수행체계를 통하여 시험절차서 및 성적서(그림 3-41)를 제작하였음
- 시험절차서 및 성적서는 성과목표의 평가기준에 따른 설계반영 타당성 시험, 설계 사양 및 기능 시험, 센서부 주파수 탐지영역에 대한 전기적 특성 시험, 시스템 현장 적용 및 운용성 평가, 현장점검 보완사항에 대한 평가 기준과도 부합함
- 성과 지표 중 수중 청음기 상용품 개발에 대한 설계 사양 및 기능 기준에 대한 사양 확인은 아래 내용을 모두 포함하며, 마일스톤1.1 분리형 센서 제작 및 마일스톤1.4 목형을 이용한 제작에 대해서는 시험 항목에 포함하지 않으며 최종보고서에 연구개발 수행내용에서 다룸

○ 시험 항목에 대한 마일스톤 및 성과목표에 대한 평가기준과의 관련성은 아래 표(표 3-5, 표 3-6)를 참고함

표 3-5. 시험항목과 평가지표 관련성 요약.

구분	시험 항목	관련성	평가방법
수중 센서부	물리적 크기	성과지표-센서 공간배열 설계 및 제작 성과지표-수중 청음기 상용품 개발 마일스톤 1.1 공간배열센서 개선	수중 센서부 물리적인 크기 측정 (30cm×30cm미만) 수조 시험을 탐지정확도 시험을 통한 타당성 시험
	방수	성과지표-공간배열 센서 방수 성과지표-수중 청음기 상용품 개발 성과지표-개발 장비의 수중환경 성능평가	수심 100m 이내 -공인인증서 제출
	주파수 탐지영역	성과지표-센서부 주파수 탐지영역 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	주파수 응답특성 제시
	전원 출력 정확도	마일스톤 1.2 전원 모니터링 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	비음향 데이터 수신을 통한 전원 정확도 측정
신호처리 제어부 하드웨어	수신앰프 이득정확도	마일스톤 1.2 ADC를 통한 음향데이터전송 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	음향데이터 이득정확도 시험
	수신앰프 AGC제어	마일스톤 1.2 수신앰프 이득제어 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	수신앰프 이득제어시험
	비음향센서 수신	마일스톤 1.2 수중부 비음향 데이터 전송 마일스톤 1.2 전원 모니터링 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	비음향센서 데이터 수신시험
	상태 LED제어	마일스톤 1.4 소형화 및 H/W 상태 LED표시 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	상태 LED제어시험
	GPS 수신	마일스톤 1.1 GPS 연동 운영 마일스톤 1.2 고성능 하드웨어 제작 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	GPS 수신 및 저장 연동확인 시험
실시간 데이터 수집 소프트웨어	USB 통신	마일스톤 1.3 USB 드라이버 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	체크섬 에러 횟수로 통신에러 확인
	표적방위 추정기능	마일스톤 1.3 표적방위추정기능 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	수조에서 측정된 값을 Matlab과 overlap 비교시험
	신호확인 기능	마일스톤 1.3 신호확인기능 마일스톤 1.2 채널 FFT 연산 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	신호의 시간 및 주파수 영역 도시 기능 확인

	파워스펙트럼 기능	마일스톤 1.3 파워스펙트럼 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	선택된 채널의 파워스펙트럼 표시확인
	GUI구성	마일스톤 1.3 사용자 고려 GUI 성과지표-수중 청음기 상용품 개발	GUI 사양에 대한 구성 확인

표 3-6. 시험절차서 식별자.

식 별 자	시험명	비고
T-S/S-물리적크기	센서부의 물리적 크기 측정	
T-S/S-방수	센서부의 10bar 압력 측정	자체시험
T-S/S-주파수 탐지영역	비음향보드 증폭회로의 특정 주파수 응답 시험	
T-S/S-전원출력정확도	비음향보드의 전원 출력 정확도 측정 시험	
T-HW-수신앰프 이득정확도	수신앰프의 이득정확도 시험	
T-HW-수신앰프 AGC제어	수신앰프의 AGC제어 시험	
T-HW-비음향센서 수신	비음향센서의 데이터 수신여부 시험	
T-HW-상태 LED 제어	전원 및 통신 상태 LED 작동 여부 시험	
T-HW-GPS 수신	GPS 데이터 수신 시험	
T-S/W-USB 통신	10분간 체크섬에러 시험	
T-S/W-표적방위 추정기능	표적에 따른 수신데이터를 Matlab과의 결과 비교	
T-S/W-신호확인 기능	신호의 시간 및 주파수 영역 표시 여부	
T-S/W-파워스펙트럼 기능	선택된 채널 파워스펙트럼 표시 여부	
T-S/W-GUI 구성	GUI로 구성되어 있는지 여부	

방향성 탐지용 수중청음기 시스템 성적서				식별 번호		T-방향성-시스템
				작성 일자		2019.09.23
				버전		1.0
				수정 일자		2019.09.30
사업명	미래해양산업기술개발사업	검사 구분	시스템 검사	제조사	에이더블테크놀로지	
품명	방향성 탐지용 수중청음기 시스템	품번	AWT-19-HYD	시리얼 번호	001	
판정 결과	■ 합격	시험일자 2019.09.30				소요 시간 분
	□ 불합격	시험자 (서명)		검사자 (서명)	확인자 (서명)	
		이승재 / 김도환		이승재	정성명	
구분	시험 항목	기준값	측정결과			
1)센서부	물리적크기	가로X세로: 30cmX30cm 미만	-	23cmX22cm		합격
	방수	수심 100m(10bar) 미만	-	10bar		합격
	전치증폭기 주파수 탐지영역	측정주파수 : 50Hz ~10,000 Hz 측정포인트 : 22포인트, 0dB 오차범위 : ±0.5 dB	CH1	첨부참고		합격
			CH2			
			CH3			
			CH4			
			CH5			
	전원 출력 정확도	±5% 이하	V_D+	4.97	0.60%	합격
			V_A+	10.9	0.91%	
			V_A-	11	0%	
2)신호처리 제어부 H/W	수신엠프 이득정확도	측정주파수 : 50Hz ~10,000 Hz 측정포인트 : 22포인트, 0dB 오차범위 : ±0.5 dB	CH1	첨부참고		합격
			CH2			
			CH3			
			CH4			
			CH5			
	수신엠프 AGC제어	측정주파수 : 1KHz 이득제어 : 0dB~60dB, 10dB Step	CH1	정상제어		합격
			CH2	정상제어		
			CH3	정상제어		
			CH4	정상제어		
			CH5	정상제어		
비음향센서 수신	데이터 수신여부	방위	정상 수신		합격	
		ROLL				
		PITCH				
		수심				
		온도				
상태LED제어	전원 LED ON : 전원 정상 전원 LED OFF : 전원 비정상 통신 LED ON : 통신 정상 통신 LED OFF : 통신 비정상	-	정상 체크		합격	
		GPS 수신	융합데이터 연동 저장		합격	
		3) 실시간 데이터 수집 소프트웨어	USB 통신	10분간 체크범에러 0회 이하	-	이상없음
표적방위 추정기능	Matlab과의 결과 비교		-	첨부참고		합격
신호확인 기능	신호의 시간 및 주파수 영역 표시		-	정상 표시		합격
파워스펙트럼 기능	선택된 채널 파워스펙트럼표시		-	정상 표시		합격
GUI 구성	GUI로 구성되어 있는지 여부		-	정상 구성		합격

그림 3-41. 방향성 탐지용 수중청음기 시스템 성적서.

○ 성과 지표에 대한 주요 시험 내용은 다음과 같음

### (1) 센서부 물리적 크기 측정 시험

- 방향성 탐지용 수중청음기 센서의 수중환경 성능평가의 주요 성과 지표 중 하나로 센서부 외부 하우징의 물리적 크기를 측정하는 시험이다. 육상부 시험에서는 센서부 외부 하우징의 물리적 크기만을 측정하며, 수조 및 해상 시험을 통해 설계반영 타당성 시험을 수행한다. 설계 반영에 대한 타당성 기준은 측정 여부를 통해 판정한다. 시험 규격은 가로×세로 크기가 30cm×30cm 미만이며, 도면상으로 21.4cm(지름) × 22.3cm(높이)이며, 측정 시 22cm(지름) × 23cm(높이)로 측정되었음(그림 3-42)



그림 3-42. (a)센서부 외부 하우징 지름 측정 (b)센서부 외부 하우징 높이 측정.

### (2) 센서부 압력 시험

- 방향성 탐지용 수중청음기 센서의 수중환경 성능평가의 주요 성과 지표 중 하나로 센서의 방수 능력을 시험하는 것으로 해상시험을 통해 내압시험을 수행하였고, KOLAS 인증을 받은 상태이지만 상용화를 고려하여 자체 보유한 압력 시험 장치를 통해 내압 시험을 수행함
- 시험 규격은 10분 동안 10bar의 압력을 가한 뒤 동작 상태를 확인하는 것으로 시험 결과는 정상 동작을 함(그림 3-43)



그림 3-43. 센서부 하우징 불 자체 압력 시험.

(3) 이득 정확도 및 주파수 응답 특성시험

- 방향성 탐지용 수중청음기 센서의 수중환경 성능평가의 주요 성과 지표 중 센서부 주파수 탐지영역의 전기적인 주파수 탐지영역 확인 시험으로 주파수 응답 특성이 50-10,000 Hz 이내에 설계되었는지를 확인하는 시험임
- 센서부에 내장된 전치증폭기(비음향보드 주파수 응답 그래프)와 신호처리 제어부(수신앰프 주파수 응답 그래프)에 포함된 수신앰프의 이득 정확도와 주파수 응답 특성시험으로 이득정확도는 사용 주파수 대역에서 해양 시스템의 일반적인 관리 규격인  $\pm 0.5$  dB 이내로 한다. 자체 관리 규격은  $\pm 0.2$  dB이며, 규격을 충분히 만족하는 것을 알 수 있음 (그림 3-44 ~그림 3-49)

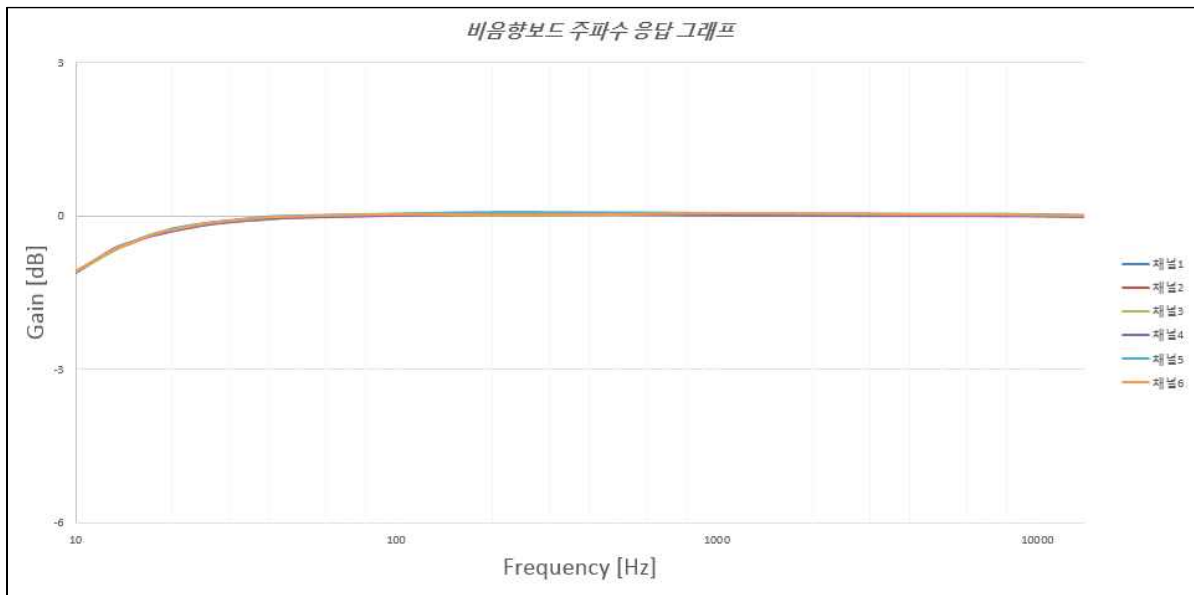


그림 3-44. 전치증폭기 주파수 응답특성.

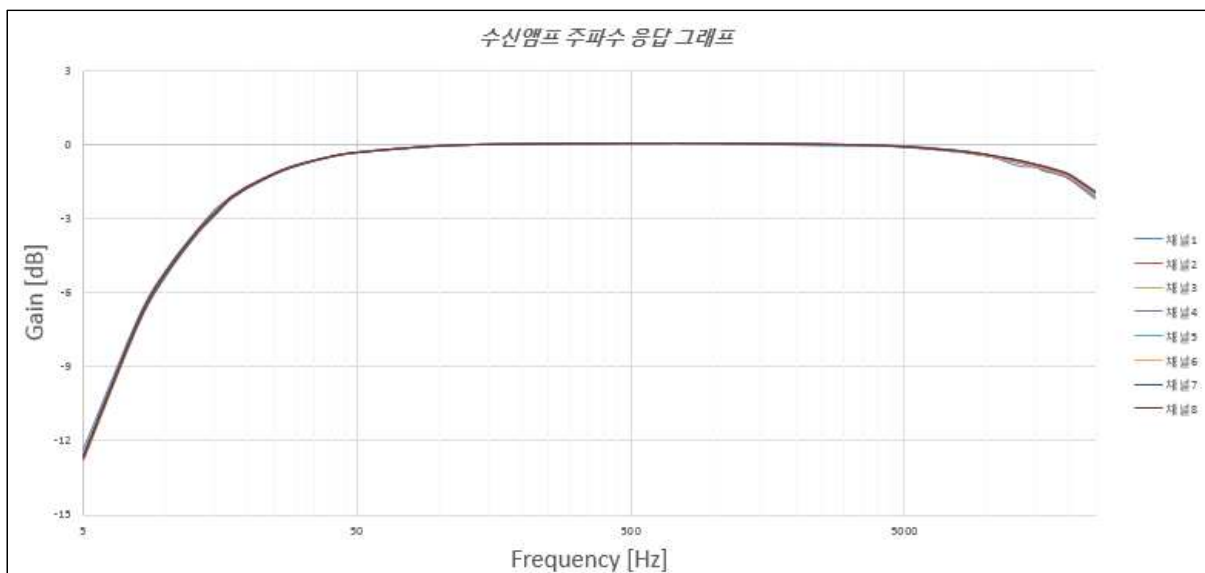


그림 3-45. 신호처리 제어부 주파수 응답특성.

주파수	채널					
	채널1	채널2	채널3	채널4	채널5	채널6
10	-1.091	-1.099	-1.109	-1.113	-1.098	-1.095
13	-0.695	-0.691	-0.695	-0.656	-0.683	-0.683
15	-0.534	-0.527	-0.518	-0.506	-0.516	-0.525
17	-0.399	-0.391	-0.395	-0.4	-0.385	-0.389
18	-0.359	-0.35	-0.358	-0.365	-0.338	-0.344
19	-0.322	-0.311	-0.32	-0.332	-0.304	-0.303
20	-0.28	-0.281	-0.291	-0.297	-0.258	-0.277
25	-0.178	-0.163	-0.176	-0.184	-0.154	-0.16
30	-0.118	-0.104	-0.117	-0.122	-0.1	-0.102
40	-0.072	-0.057	-0.064	-0.052	-0.022	-0.031
50	-0.028	-0.017	-0.027	-0.029	-0.004	-0.009
100	0.007	0.026	0.014	0.009	0.034	0.03
200	0.002	0.03	0.013	0.029	0.064	0.021
500	0.018	0.048	0.032	0.028	0.057	0.027
1000	0.002	0.039	0.025	0.021	0.046	0.049
3000	0.001	0.02	0.02	0.002	0.033	0.035
5000	0	0.014	0.017	0.002	0.028	0.024
8000	-0.002	0.015	0.013	0	0.028	0.022
9000	-0.006	0.01	0.01	0	0.023	0.018
10000	-0.007	0.011	0.007	-0.003	0.022	0.014
13000	-0.01	0	0.004	-0.014	0.01	0.006
14000	-0.02	-0.005	-0.006	-0.019	0.006	0

그림 3-46. 전치증폭기 주파수 응답특성 (단위 : dB).

주파수	채널					
	채널1	채널2	채널3	채널4	채널5	채널6
10	0.010	0.002	-0.008	-0.012	0.003	0.006
13	-0.011	-0.007	-0.011	0.028	0.001	0.001
15	-0.013	-0.006	0.003	0.015	0.005	-0.004
17	-0.006	0.002	-0.002	-0.007	0.008	0.004
18	-0.007	0.002	-0.006	-0.013	0.014	0.008
19	-0.007	0.004	-0.005	-0.017	0.011	0.012
20	0.001	0.000	-0.010	-0.016	0.023	0.004
25	-0.009	0.006	-0.007	-0.015	0.015	0.009
30	-0.008	0.006	-0.007	-0.012	0.011	0.008
40	-0.022	-0.007	-0.014	-0.002	0.028	0.019
50	-0.009	0.002	-0.008	-0.010	0.015	0.010
100	-0.013	0.006	-0.006	-0.011	0.014	0.010
200	-0.025	0.004	-0.014	0.003	0.038	-0.006
500	-0.017	0.013	-0.003	-0.007	0.022	-0.008
1000	-0.028	0.009	-0.005	-0.009	0.016	0.019
3000	-0.018	0.002	0.002	-0.017	0.015	0.017
5000	-0.014	0.000	0.003	-0.012	0.014	0.010
8000	-0.015	0.002	0.000	-0.013	0.015	0.009
9000	-0.015	0.001	0.001	-0.009	0.014	0.009
10000	-0.014	0.004	0.000	-0.010	0.015	0.007
13000	-0.009	0.001	0.005	-0.013	0.011	0.007
14000	-0.013	0.002	0.001	-0.012	0.013	0.007

그림 3-47. 전치증폭기 주파수별 이득오차 (단위: dB).



주파수	채널					
	채널1	채널2	채널3	채널4	채널5	채널6
5	-12.33	-12.596	-12.742	-12.703	-12.597	-12.855
8	-6.914	-7.043	-7.199	-7.121	-7.092	-7.261
10	-5.091	-5.181	-5.324	-5.242	-5.234	-5.366
13	-3.471	-3.521	-3.641	-3.568	-3.569	-3.667
15	-2.783	-2.673	-2.772	-2.713	-2.71	-2.944
17	-2.184	-2.197	-2.286	-2.232	-2.235	-2.307
18	-1.994	-2.007	-2.09	-2.039	-2.04	-2.108
19	-1.832	-1.838	-1.915	-1.869	-1.872	-1.935
20	-1.687	-1.688	-1.761	-1.718	-1.721	-1.78
25	-1.168	-1.163	-1.219	-1.186	-1.186	-1.233
30	-0.857	-0.846	-0.891	-0.864	-0.865	-0.874
40	-0.504	-0.489	-0.52	-0.503	-0.502	-0.527
50	-0.334	-0.319	-0.343	-0.331	-0.329	-0.348
100	-0.072	-0.059	-0.073	-0.068	-0.064	-0.075
200	0.006	0.015	0.004	0.007	0.011	0.003
500	0.029	0.038	0.024	0.03	0.034	0.027
1000	0.03	0.038	0.024	0.03	0.034	0.027
3000	-0.065	-0.013	-0.029	-0.024	-0.017	-0.026
5000	-0.075	-0.102	-0.121	-0.122	-0.107	-0.116
8000	-0.252	-0.299	-0.329	-0.329	-0.301	-0.32
9000	-0.334	-0.379	-0.408	-0.409	-0.377	-0.398
10000	-0.432	-0.457	-0.489	-0.492	-0.455	-0.477
13000	-0.873	-0.711	-0.748	-0.756	-0.71	-0.73
15000	-0.916	-0.875	-0.925	-0.938	-0.878	-0.902
16000	-1.078	-0.957	-1.01	-1.027	-0.962	-0.985
18000	-1.203	-1.132	-1.188	-1.21	-1.136	-1.157
20000	-1.411	-1.325	-1.386	-1.417	-1.329	-1.353
25000	-2.246	-2.042	-2.106	-2.165	-2.015	-2.073

그림 3-48. 수신앰프 주파수 응답특성(단위:dB).

주파수	채널					
	채널1	채널2	채널3	채널4	채널5	채널6
5	0.31	0.05	-0.10	-0.06	0.05	-0.21
8	0.19	0.06	-0.09	-0.01	0.01	-0.15
10	0.15	0.06	-0.08	0.00	0.01	-0.13
13	0.10	0.05	-0.07	0.00	0.00	-0.09
15	0.01	0.12	0.02	0.08	0.08	-0.15
17	0.06	0.04	-0.05	0.01	0.01	-0.07
18	0.05	0.04	-0.04	0.01	0.01	-0.06
19	0.05	0.04	-0.04	0.01	0.01	-0.06
20	0.04	0.04	-0.03	0.01	0.01	-0.05
25	0.03	0.03	-0.03	0.01	0.01	-0.04
30	0.01	0.02	-0.03	0.00	0.00	-0.01
40	0.00	0.02	-0.01	0.01	0.01	-0.02
50	0.00	0.02	-0.01	0.00	0.01	-0.01
100	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01
200	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
500	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00
1000	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00
3000	-0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
5000	0.03	0.00	-0.01	-0.02	0.00	-0.01
8000	0.05	0.00	-0.03	-0.03	0.00	-0.02
9000	0.04	0.00	-0.03	-0.03	0.00	-0.02
10000	0.03	0.00	-0.03	-0.03	0.00	-0.02
13000	-0.14	0.02	-0.02	-0.03	0.02	0.00
15000	-0.03	0.01	-0.04	-0.05	0.01	-0.02
16000	-0.10	0.02	-0.03	-0.05	0.01	-0.01
18000	-0.06	0.01	-0.05	-0.07	0.01	-0.01
20000	-0.07	0.01	-0.05	-0.08	0.01	-0.01
25000	-0.18	0.03	-0.04	-0.09	0.06	0.00

그림 3-49. 전치증폭기 주파수별 이득오차 (단위: dB).

(4) 방위추적 기능시험

- 방위추적 기능시험은 수조시험 항목에 해당하나 육상시험에서는 수조시험 측정결과를 Visual C++로 구현한 결과와 Matlab로 분석한 결과를 오버랩을 통해 결과가 다르게 나오는지 여부를 평가하는 항목으로 마일스톤 항목 중 하나이다. 시험결과는 Matlab 과 비교 시 정상적으로 방위추적 알고리즘을 수행되는 것을 확인할 수 있음(표 3-7)

표 3-7. 방위추적 알고리즘 비교 시험 결과.



(5) 공기 중 검사장치 시험

- 방향성 수중 청음기 센서를 시험하기 위해 매번 수조시험을 하는 것은 현실적으로 어려움이 있으며 이를 육상부에서 시험하기 위한 공기 중 검사장치의 필요성이 있으며 이를 위해 아래와 같은 공기 중 검사 장치를 제작(그림 3-52).
- 시험 장치의 구성(그림 3-51)은 음향 챔버에 스피커를 통해 음원을 구동하고 필요 시 하이드로폰의 감도를 측정하기 위해 마이크로폰을 장착할 수 있도록 구성하였다. 음원은 신호발생기에 의해 스피커를 구동하여 발생시켜 최종 조립 된 방향성 수중청음기의 방향 탐지 여부 및 하이드로폰 극성 연결 상태를 시험함

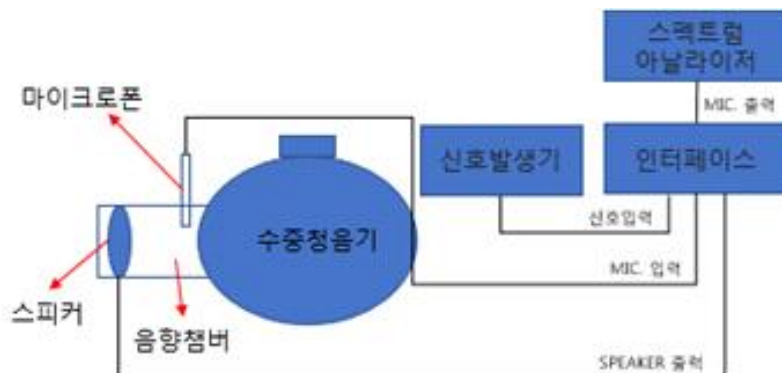


그림 3-51. 공기 중 검사장치 구성도.

○ 수중청음기 극성 확인 시험

- 극성확인 시험방법 : 1kHz 100msec 구동 후 전 채널 극성 비교

- 극성확인 시험결과 : 전 채널 극성 동일

○ 방향 탐지 여부 확인 시험

- 시험방법 : 7 kHz 연속 신호 0°에서 탐지여부 확인
- 시험결과 : 7 kHz 방위 탐지 확인 [그림 3-53 (a)]

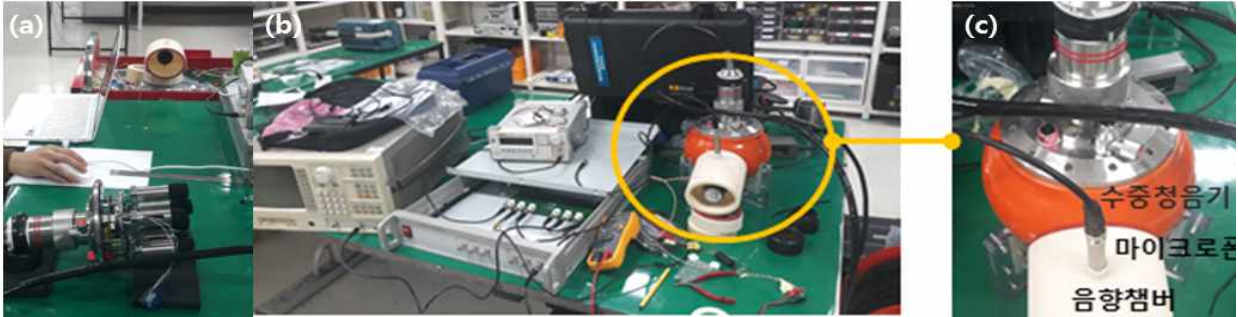


그림 3-52. (a)절연유 충전 전 시험 (b)절연유 충전 후 시험환경 (c)절연유 충전 후 시험환경 확대.

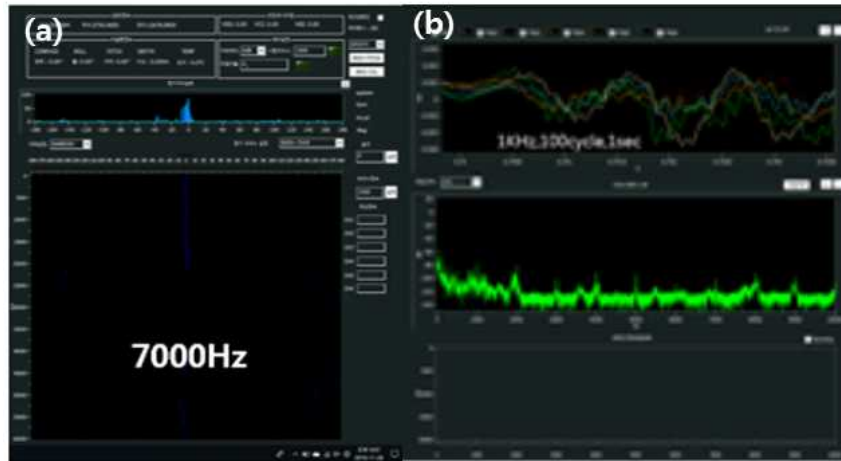


그림 3-53. (a)방위 탐지 시험 (b)극성 확인 시험.

(6) 방향성 탐지용 수중청음기 시스템 사양

- 방향성 탐지용 수중청음기 시스템 주요 사양(표 3-8), 신호처리 제어부 하드웨어 세부사양(표 3-9), 방향성 탐지용 수중청음기 센서부 세부사양(표 3-10), 소프트웨어 세부사양(표 3-11)은 다음과 같음

(가) 방향성 탐지용 수중청음기 시스템

표 3-8. 방향성 탐지용 수중청음기 시스템 주요사양.

항목	주요 사양	사양 충족 여부
주파수 탐지 영역	50 ~ 10,000 Hz	충족
방향성 탐지 정확도	± 5°	충족
운용 수심	최대 100m	충족
공급전원	+24VDC / 450mA	충족

(나) 신호처리 제어부 하드웨어

표 3-9. 신호처리 제어부 H/W 세부사양.

항목	주요 사양	사양 충족 여부
이득제어 범위	0 ~ 60dB, 10dB step	충족
필터 범위	50Hz ~ 10KHz	충족
A/D 분해능	24bit (Sigma delta ADC)	충족
A/D 샘플링	64ksps (동시 샘플링)	충족
PC와 통신	USB3.0 : 음향 및 비음향, USB2.0 : GPS	충족
부가기능	GPS모듈 내장	충족
사이즈	신호처리부 케이스 : 502.9 X 279.4 X 193 (mm) GPS 케이스 : 425 X 284 X 155 (mm)	충족
전원	+24VDC / 450mA	충족

(다) 방향성 탐지용 수중청음기

표 3-10. 방향성 탐지용 수중청음기 센서 세부사양.

항목	센서 주요사양	사양 충족 여부
하이드로폰 감도	-201dB re 1V/1uPa	충족
고정이득	30dB	충족
센서 배열	평면배열 6채널	충족
방위센서 정확도	±2.5°	충족
수온센서 정확도	±1.5°C @ 0-60°C	충족
수심센서 정확도	±100mbar @ 0-20bar	충족
부가기능	내부전원 모니터링( ±11VA,+5VD )	충족
케이블 사양	우레탄 몰딩 케이블(기본 120m, 확장 시 150m)	충족
운영 수심	최대 100m	충족
비 음향 통신방식	LVDS(Low Voltage Differential Signal)	충족
통신 속도	통신속도 : 9600bps	충족
센서 사이즈	21.4cm(지름) X 22.3cm(높이)	충족
전원	200mA @ 12VDC	충족

(라) 실시간 신호처리 소프트웨어 주요사양

표 3-11. 실시간 신호처리 소프트웨어 세부사양.

항목	주요 기능	사양 충족 여부
표적의 방위 추정기능	선택된 주파수 대역에서 방위추정 (탐지대역의 협대역 및 광대역 분석)	충족
신호의 시간 영역 도시	선택된 신호의 실시간 도시	충족
신호의 주파수 영역 도시	선택된 신호의 FFT 결과 도시	충족
탐지 각도 분포 도시	탐지 누적 분포도 표시	충족
파워스펙트럼 확인 기능	선택된 신호의 파워스펙트럼 도시	충족
실시간 데이터 저장 기능	실시간으로 음향 및 비음향 데이터 저장	충족
비음향 데이터 도시	GPS, Heading, Roll, Pitch, 수온, 수심 도시	충족

(7) 수중 시험 장치

- 방향성 수중청음기 배열된 단일 수중청음기의 정확한 센서 감도를 시험 위한 방법은 공기 중에서 시험하는 방법과 수중에서 시험하는 방법이 있다. 방향성 수중청음기와 같이 사용 주파수 대역이 낮은 경우에는 매우 큰 수조 또는 바다와 같은 매우 큰 공간을 필요하므로 공기 중에서 시험하는 방법으로 감도를 측정하는 방법이 유용하다. 최종적으로는 수중에서 센서 감도를 검증해야하므로 수중에서 저주파를 구동할 수 있는 수중 송신센서와 송신앰프 및 고정치구가 필요함에 따라 본 수중 시험 장치를 제작하였음 (그림 3-54, 그림 3-55)
- 대략적인 송신센서 및 송신앰프 구동 특성 시험을 목적으로 보유한 미니 수조에서 실험을 진행하였고 제작한 방향성 수중청음기의 센서 감도 및 방향 추정 기능 여부를 시험해본 결과 특정 주파수에서 미니 수조에서도 예상 수신음압과 방향 추정하는 결과를 얻었음(그림 3-56)
- 보유한 미니 수조에 스폰지를 장착하였지만 미니 수조와 같은 좁은 공간에서 연속신호 송신은 멀티패스의 영향을 받을 수 있으므로 정확성은 보장할 수 없으며 대략적인 작동여부 정도만 시험을 진행하였음
  - 시험방법 : 6KHz 2Vrms, 연속신호구동
  - 시험결과 : 채널1 약 -44dBVrms 수신
    - 측정거리 : 0.25m
    - 송신센서 TVR : 122dB @ 6kHz
    - 송신 구동 전압 : 2Vrms
    - 수신센서 RVS : -201dB
    - 전치증폭기 이득 : 30dB
    - 예상 수신음압 :  $-201\text{dB} + 122\text{dB} + 6\text{dB} + 30\text{dB} = -43\text{dB}$



그림 3-54. (a)수조시험구 Top View (b)수조시험구성 Side View.

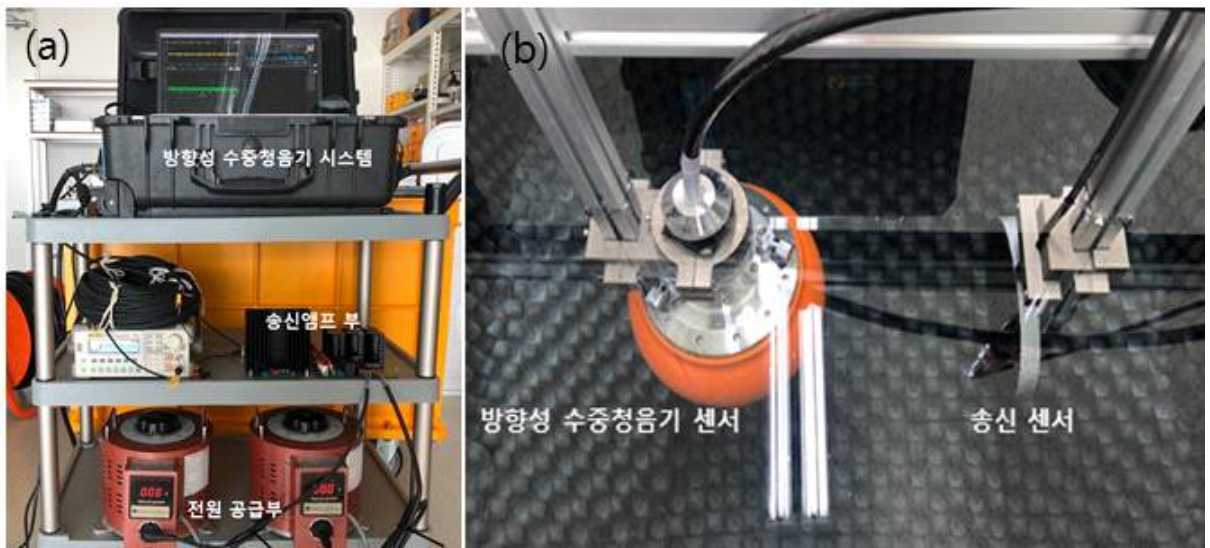


그림 3-55. (a) 전자부 구성 (b)센서 수조 설치 구성.

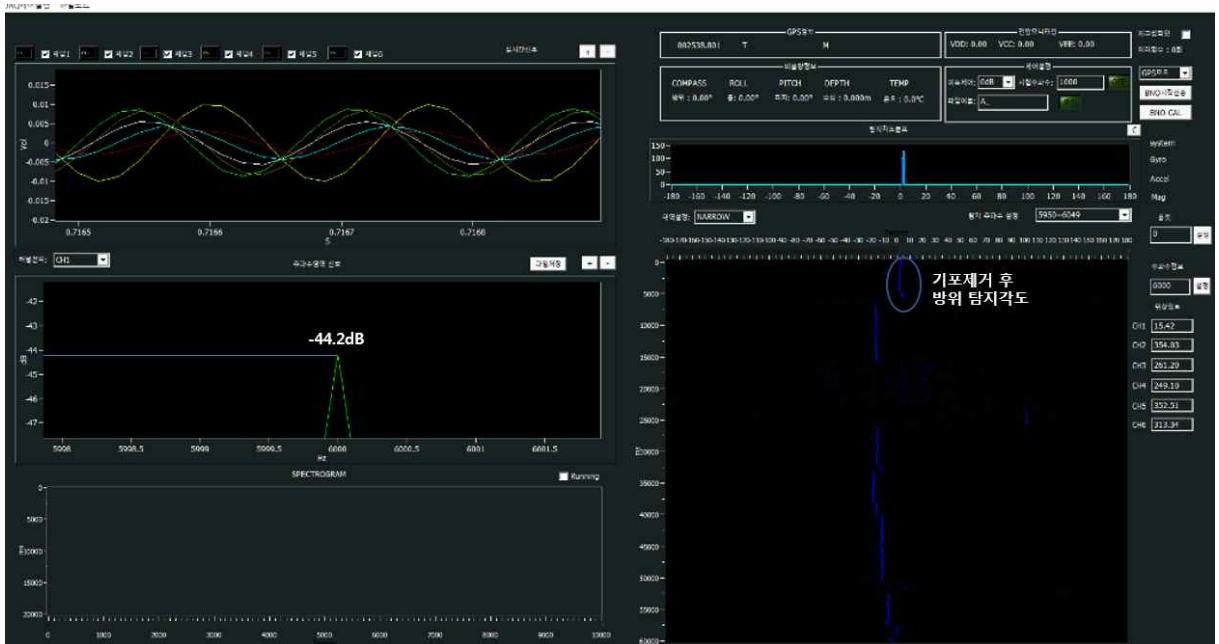


그림 3-56. 수조시험 결과.

나. 방향성 탐지용 수중청음기 시스템 수조시험

(1) 방향성 청음기 초기 제작품 수조시험

- 2차년도(2019년) 방향성 청음기 초기 제작품 형태를 이용한 KIOST 실내 1차 수조시험을 2019년 6월 중순에 실시함
- 주관 연구기관인 AWT에서 제작한 방향성 청음기 초기 제작품의 형태는 그림 3-57(a)와 같이 6개의 방향성 청음기를 평면에 배열한 형태임
- 공동 연구기관인 KIOST에서 제안한 배열형상을 기준으로 5 cm의 반지름을 가진 원형에 5개의 청음기를 72° 간격으로 배열하고 원의 중심에 1개의 청음기를 배치함
- 방향성 청음기 초기 제작품은 최종 시제품을 제작하기 위한 전단계로 배열 센서의 방위 탐지 가능성을 사전에 점검하고자 최종 개발품의 제작 단계에서 시행 착오를 줄이기 위하여 실시함
- 그림 3-57(b)는 KIOST 수조에서 실험 가능하게 초기 제작된 방향성 청음기와 20 m 음향신호 수신 케이블을 연결한 상태임
- 그림 3-57(c)는 초기 제작된 방향성 청음기를 수신하기 위한 시스템으로 ① 수중청음기 수신앰프, ② 상용 NI-DAQ, ③ 전원 공급장치로 구성되어 있음

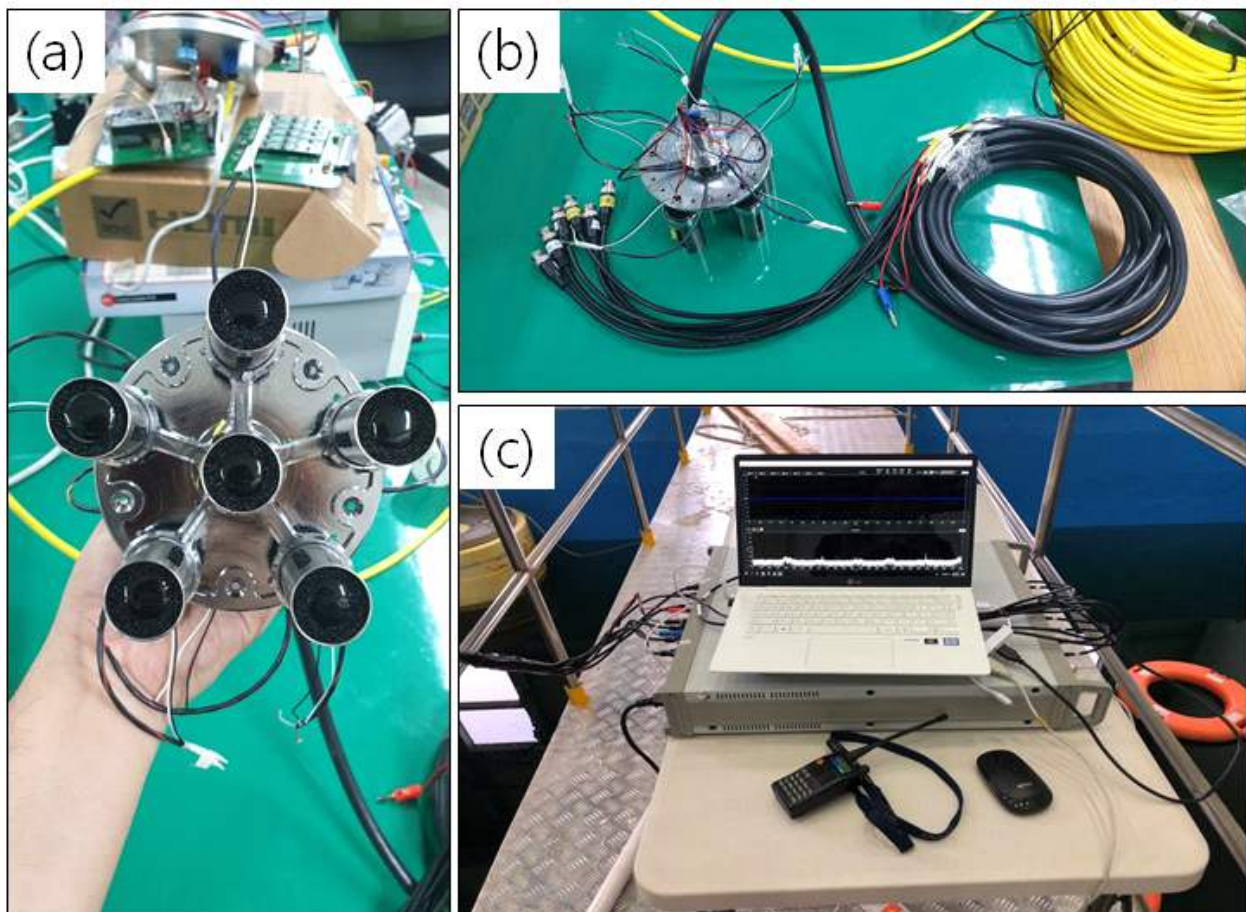


그림 3-57. (a) 2차년도 방향성 청음기 초기 제작품, (b) 초기 제작된 방향성 청음기와 음향신호 수신 케이블, (c) 방향성 청음기 신호처리 제어부 H/W.

- 해상시험 실시 이전에 해상풍, 조류, 해류 등의 물리적 요인과 수층의 음속구조 및 복합적인 수중 소음원과 같은 음향학적 요소에 의해 야기되는 방위추정 저해 요소를 최소화하여 수조 시험을 실시함
- 방향성 청음기 초기 제작품의 수조 시험은 공동 연구기관인 KIOST에서 보유하고 있는 가로: 10 m, 세로: 10 m, 수심: 10 m인 담수 수조(그림 3-58)에서 2019년 6월 방위 측정 시험 실시

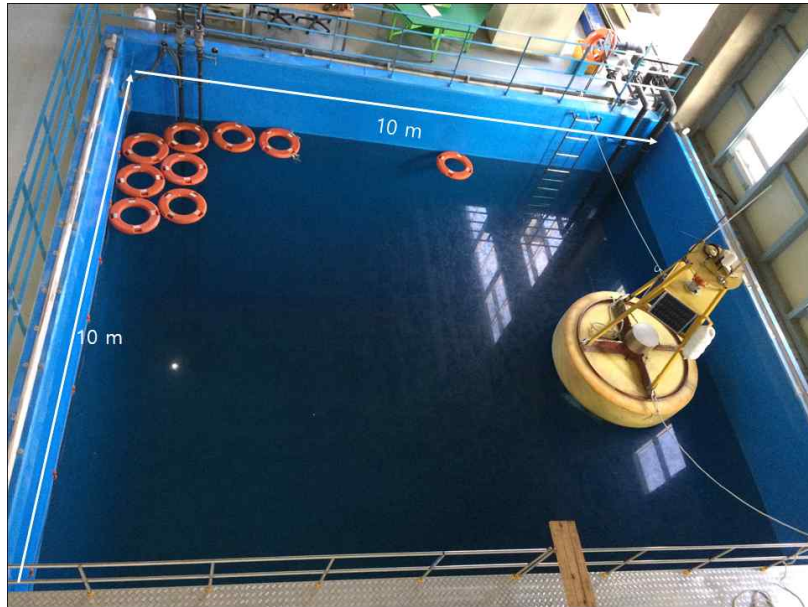


그림 3-58. KIOST에서 보유하고 있는 대형 담수 수조.

- 수조시험은 그림 3-59(a)과 같이 방향성 수중청음기를 수조의 중앙에 위치시키고, 음원발생기의 위치를 변경시키면서 방위추정 수조시험 실시하였으며, 그림 3-59(b)는 1차 수조시험 전경을 보여줌

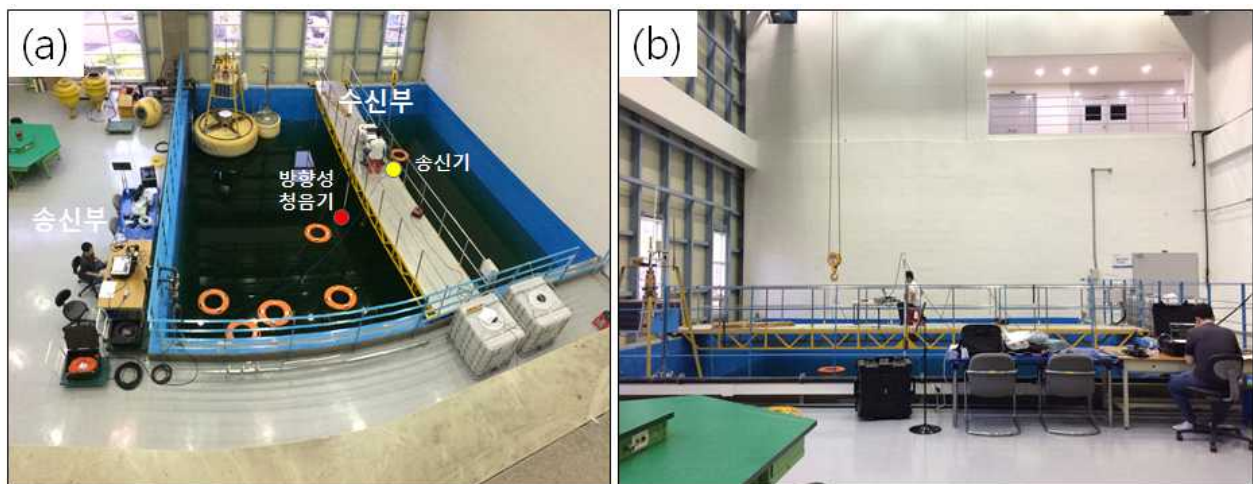


그림 3-59. (a) 1차 수조시험 송신부 및 수신부 운영(2019년 6월 중순), (b) 1차 수조시험 전경.



- 수평방위 탐지시험은 표 3-12의 수평 방위 탐지 시험 모식도와 같이 총 8개의 지점(Pos.1 ~ Pos.8)에서 시험을 진행하였으며, 주파수 2~10 kHz 대역에서 2 ms의 단주기 CW 신호를 이용하여 시험 실시
  - 방위탐지 시 음원(표 3-12, D11)에서 짧은 주기의 신호를 송신하여 수조의 벽 또는 바닥으로부터 반사되는 멀티패스의 간섭을 최소화한 시험으로 진행함
  - 수조시험에서 획득된 음향신호를 방위추정 알고리즘에 적용하여 음원의 방위를 추정함
  - 음원이 위치한 8개 고정점의 방위와 탐지된 방위를 비교하였고, 오차 범위 5° 이내에 수렴하는 것을 확인함(표 3-13, 그림 3-60~그림 3-67)
  - 수조 시험 결과로부터 초기 제작된 방향성 청음기의 수중음원 방위추정이 가능함을 확인함

표 3-12. 초기 제작된 방향성 청음기 수조시험 환경 및 운영 시스템.

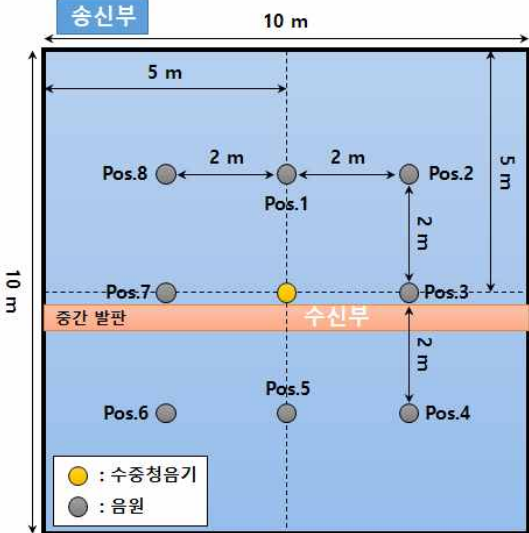



수평 방위 탐지 시험 모식도 (8개 지점)	CW 음원신호 송신부 운영 시스템
	
<p>CW 음원 송신 센서 (음원명 : D11, 제조사 : Neptune Sonar)</p>	<p>방향성 탐지 수중청음기 수신부 운영 시스템</p>
	

표 3-13. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 지점별 방위 오차 시험 결과.

방위탐지 지점 frequency (kHz)	Pos.1 (오차 : °)	Pos.2 (오차 : °)	Pos.3 (오차 : °)	Pos.4 (오차 : °)	Pos.5 (오차 : °)	Pos.6 (오차 : °)	Pos.7 (오차 : °)	Pos.8 (오차 : °)
2	3.4	4.6	3.7	2.5	0.5	2.6	4.5	3.2
3	4.7	4.6	4.6	2.8	1.4	0.6	1.6	1.0
4	2.6	0.4	0.7	3.8	2.4	0.5	2.4	2.8
5	3.7	1.4	0.3	0.2	0.6	2.4	0.6	0.7
6	4.6	1.6	1.3	2.2	2.6	2.5	3.4	2.2
7	1.6	1.6	0.4	1.2	0.4	0.5	0.6	0.8
8	1.4	0.6	1.3	0.2	0.4	2.6	2.6	0.2
9	3.4	1.4	3.3	2.2	0.4	3.4	4.6	2.2
10	0.6	0.4	2.3	3.2	2.6	2.4	3.6	2.2

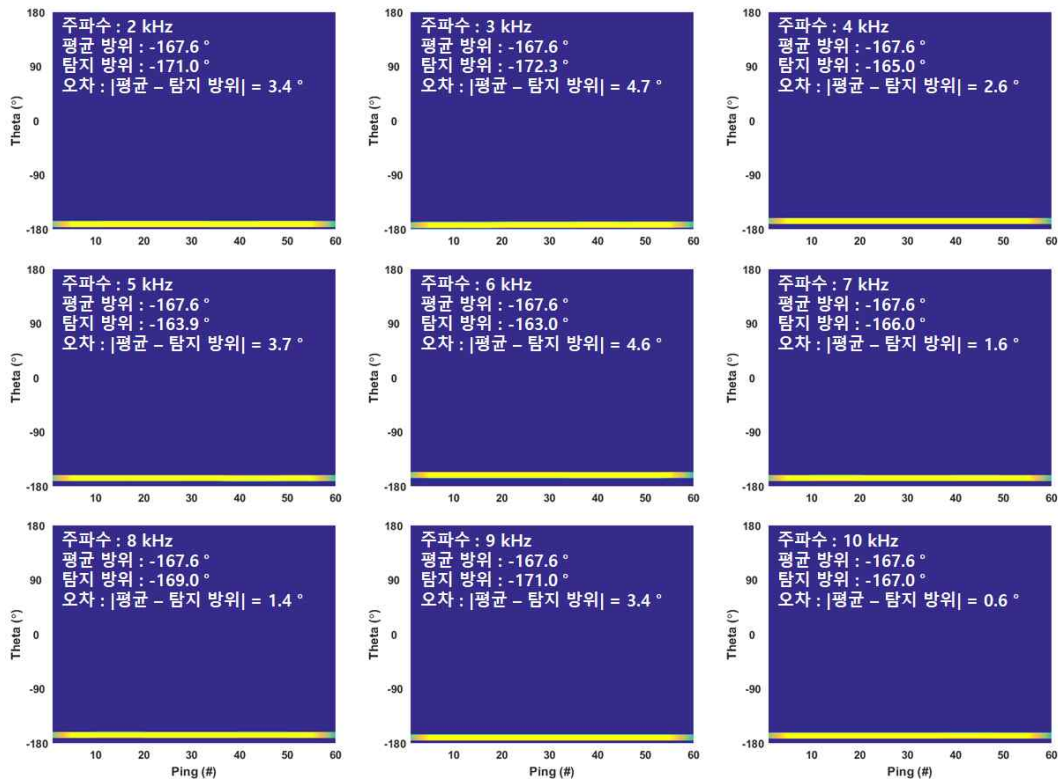


그림 3-60. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 시험 결과(Pos.1).

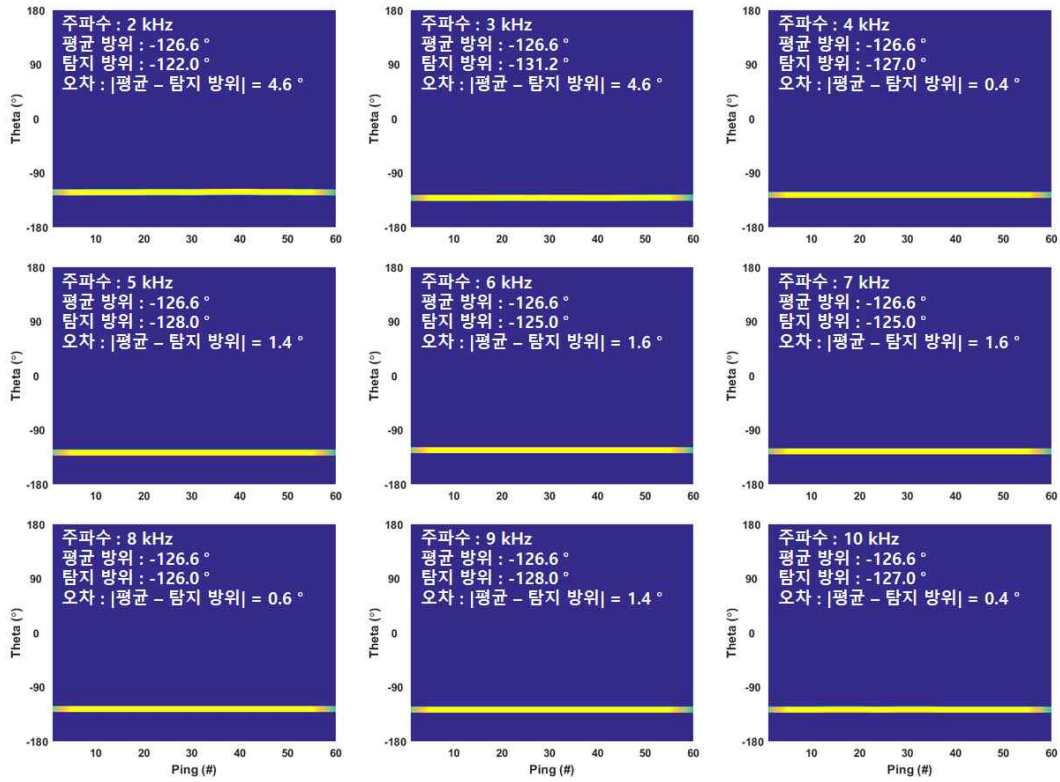


그림 3-61. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 시험 결과(Pos.2).

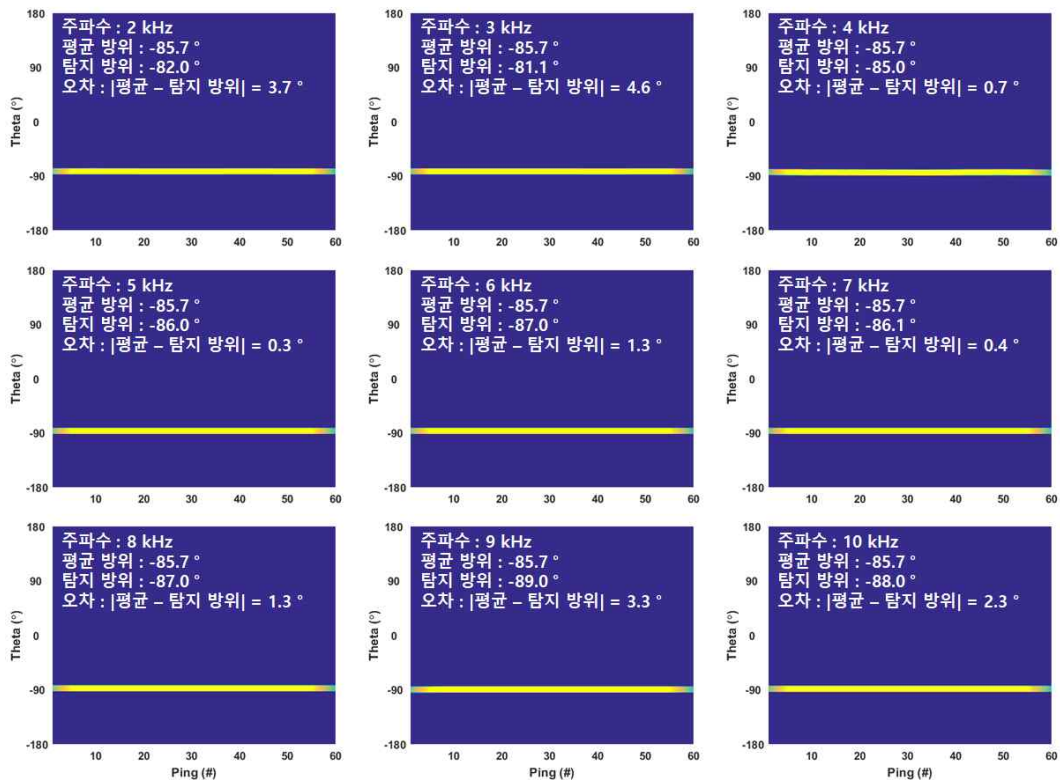


그림 3-62. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 시험 결과(Pos.3).

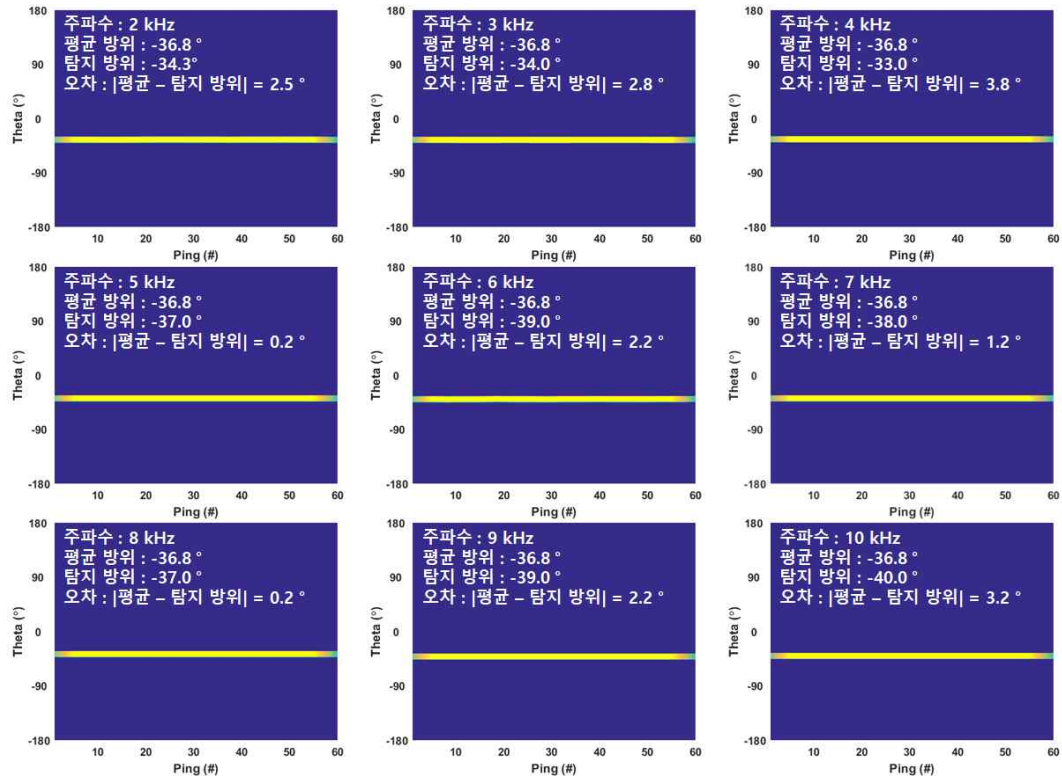


그림 3-63. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 시험 결과(Pos.4).

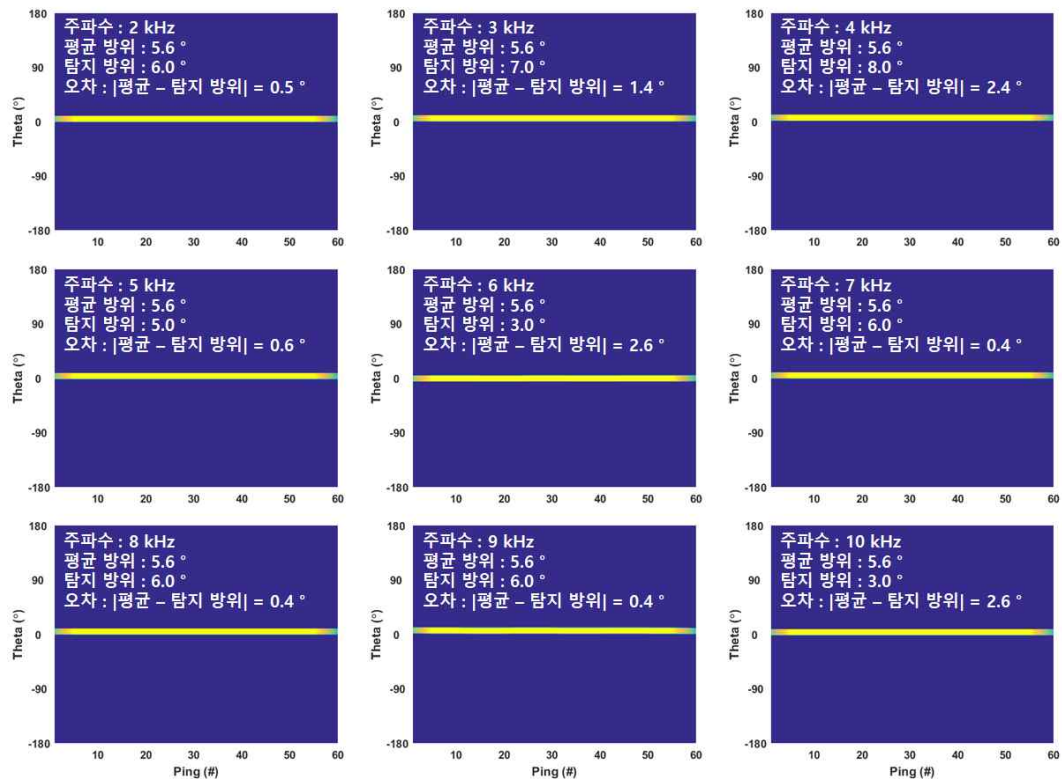


그림 3-64. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 시험 결과(Pos.5).

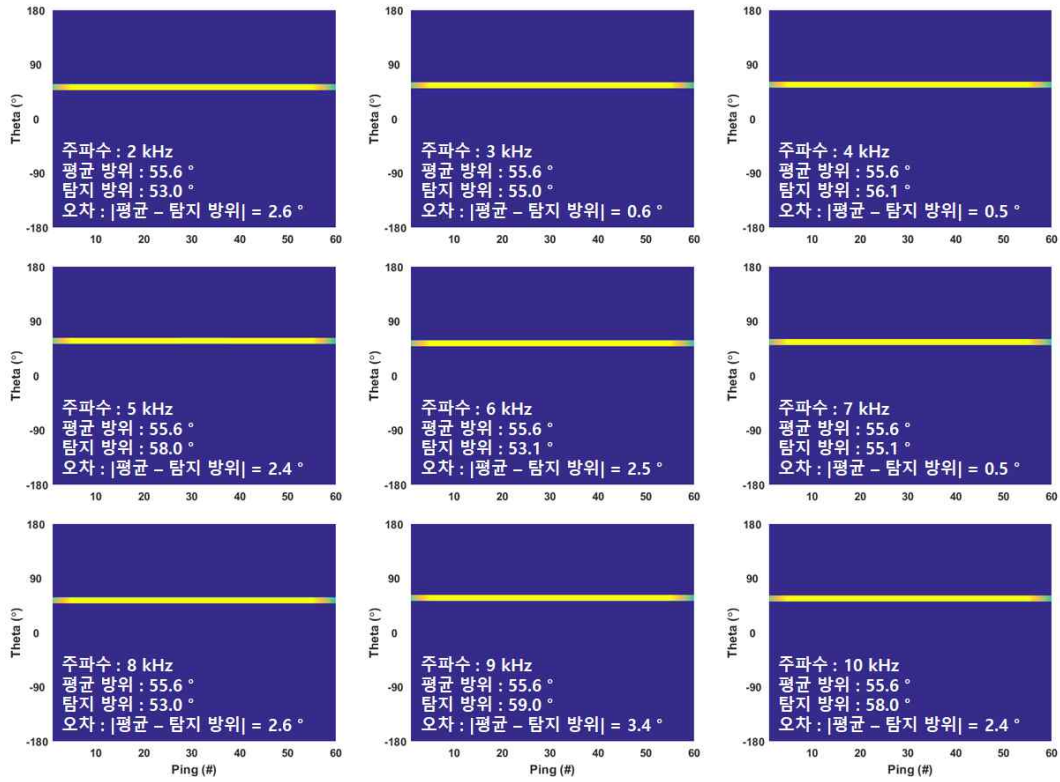


그림 3-65. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 시험 결과(Pos.6).

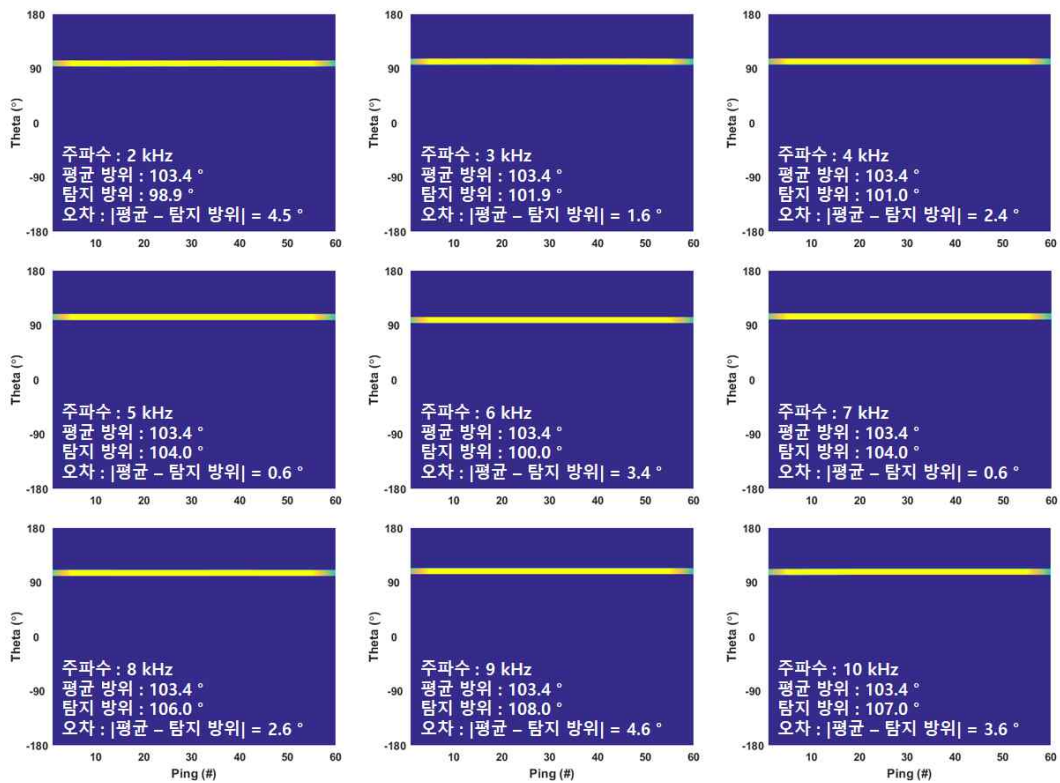


그림 3-66. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 시험 결과(Pos.7).

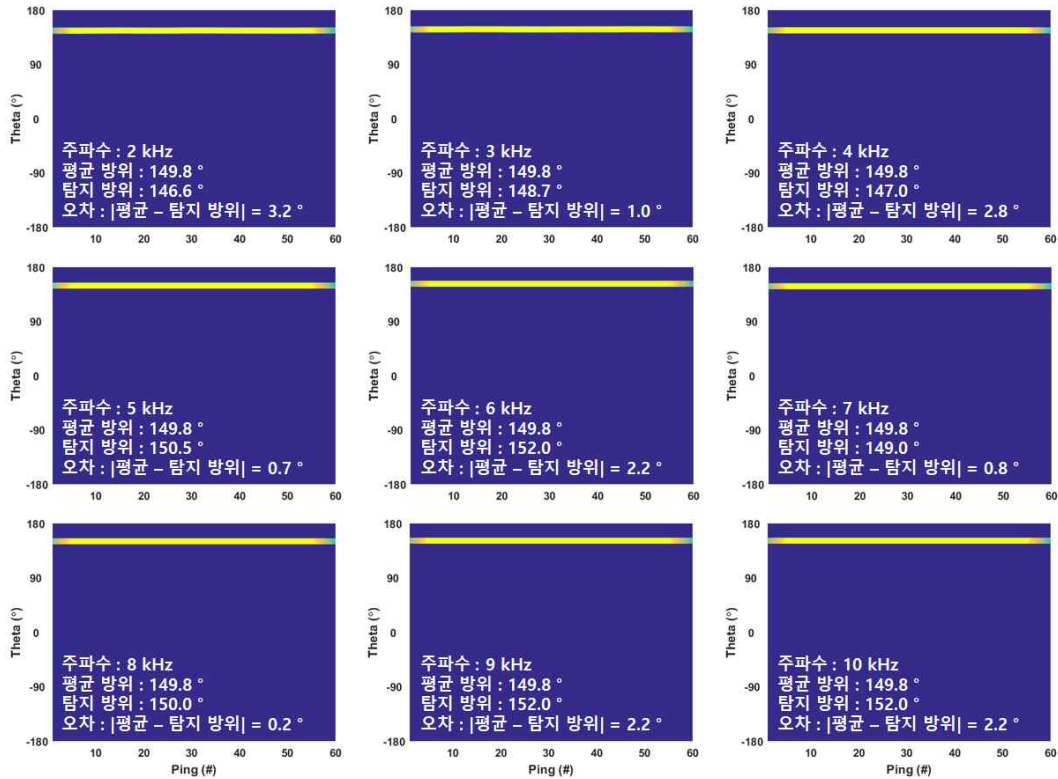


그림 3-67. 초기 제작 방향성 청음기 방위탐지 시험 결과(Pos.8).

(2) 방향성 청음기 최종 시제품 수조시험

- 음향 센서 및 비음향 센서를 통합한 실험역 적용용 배열센서를 제작하였으며, 2019년 10월 시스템 안정성 및 신뢰성 확인을 위한 2차 수조시험 실시함
- 그림 3-68은 방향성 청음기 최종 시제품의 전체 구성도이며, ① 방향성 청음기, ② 신호처리 제어부 H/W, ③ GPS, ④ 수중케이블로 구성되어 있음



그림 3-68. 방향성 청음기 최종 시제품 구성.

- 수조시험은 방향성 수중청음기를 수조의 중앙에 위치시키고, 음원 발생기의 위치를 변경시키면서 방위추정 수조시험 실시함

표 3-14. 방향성 청음기 최종 시제품 수조시험 환경 및 운영 시스템.

수평 방위 탐지 시험 모식도	수평 방위 탐지 시험 실사 전경
음원신호 송신부 운영 시스템	방향성 청음기 수신부 운영 시스템
<p>수중음원 및 방향성 청음기 (음원명 : D11, 제조사 : Neptune Sonar)</p>	<p>2차 수조시험 전경 (2019년 10월)</p>

- 수평방위 탐지시험은 표 3-14의 수평 방위 탐지 시험 모식도와 같이 총 8개의 지점(Pos.1 ~ Pos.8)에서 고정점 시험을 진행하였으며, 수중 이동음원에 대한 방향 탐지 시험을 병행하여 진행함
- 방위탐지 수조 시험의 송신부 및 수신부 시스템은 표 3-14과 같이 운영하였으며, 아래와 같은 조건으로 실시함
  - 수중음원 : D11 (Neptune Sonar)
  - 고정점 시험은 주파수 3 - 10 kHz 사이를 총 4개의 구역(주파수 구역 ① : 3 - 4 kHz, ② : 4 - 6 kHz, ③ : 6 - 8 kHz, ④ : 8 - 10 kHz)으로 분리하여 신호를 구성함
  - 고정점 시험의 송신신호 형태는 각 구역의 FM 신호를 3.6 ms의 길이로 구성하여 1 초당 1회씩 20회 송신함(그림 3-70)
  - 음원신호의 송신 방법은 최초 약 5초간은 신호를 송신하지 않으며, 이후 20 회 정도 음원신호를 송신하고, 이후 5초간 신호를 송신하지 않는 전체 데이터에서 수조의 경계면 반사파와 분리된 직접파 신호(그림 3-70)만을 추출하여 방위 탐지 알고리즘을 적용함
  - 음원의 실제 방위는 방향성 탐지 수중청음기의 중심으로부터 각 고정점의 방위를 측정함

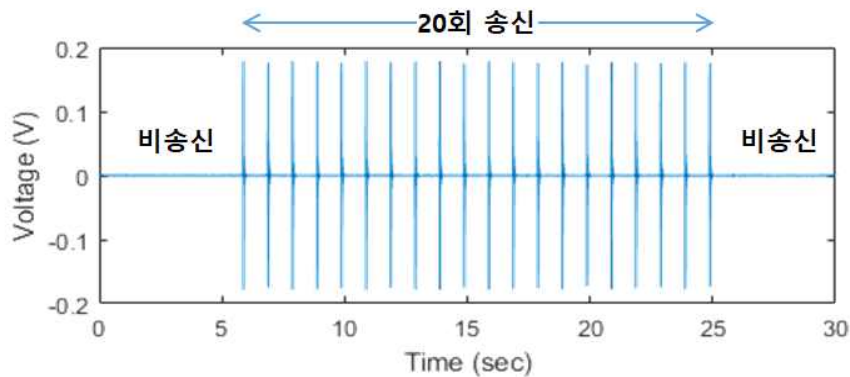


그림 3-69. 방위탐지 시험 전체 송신신호 형태.

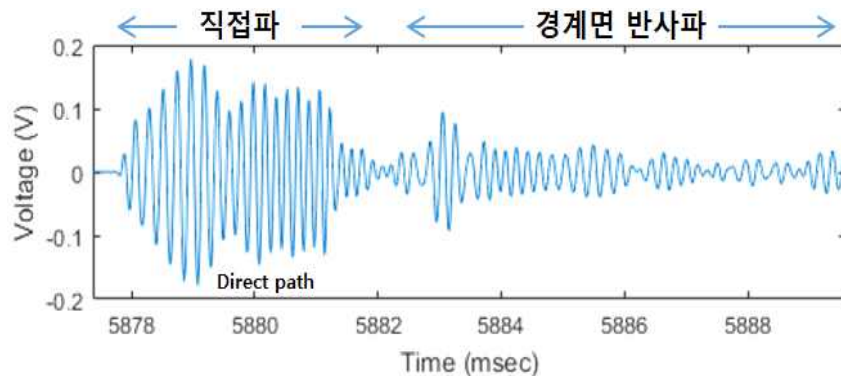


그림 3-70. 수신기에 수신된 송신신호의 직접파 및 경계면 반사파 구역.

- 방위 탐지는 그림 3-71 (a)과 같이 구성된 방향성 청음기에 수신된 6개의 직접파 신호를 본 연구에서 제안하는 방위 탐지 알고리즘인 GBF를 적용하여 수중음원의 방위를 계산함



- 개발된 방향성 청음기는 6개의 센서가 수평적으로 그림 3-71 (b)와 같이 구성되어 있으며, 6개의 센서로 2, 3, 4, 5, 6개의 센서 조합수는 전체 57개 임
- 표 3-15은 방위 탐지 알고리즘인 GBF를 적용하기 위하여 57개의 센서 조합 구성도 및 조합된 센서 형상을 나타냄

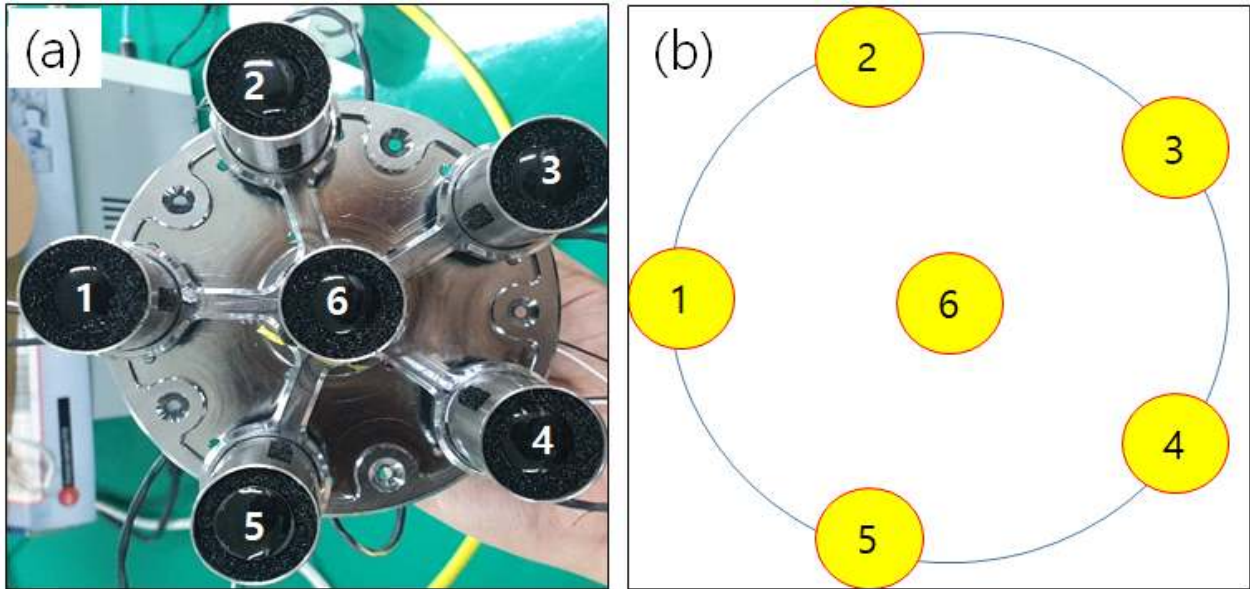


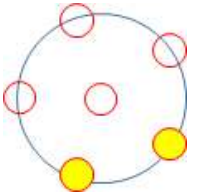
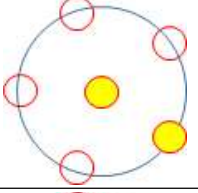
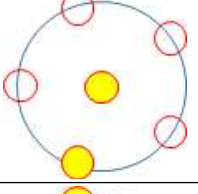
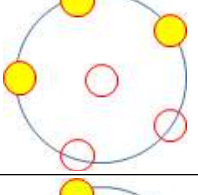
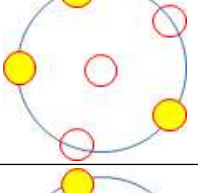
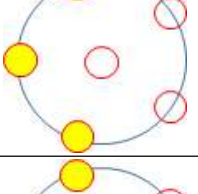
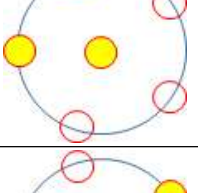
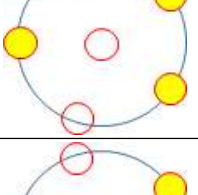
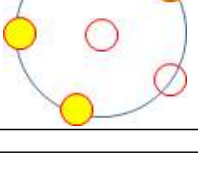
그림 3-71. (a) 방향성 청음기의 센서 구성 및 (b) 청음기 센서 번호.

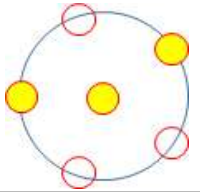
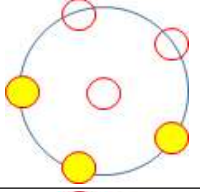
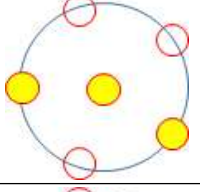
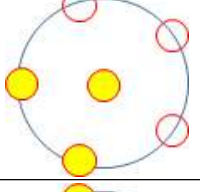
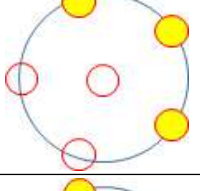
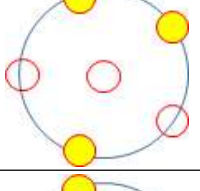
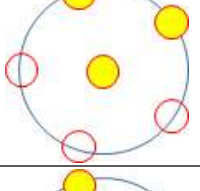
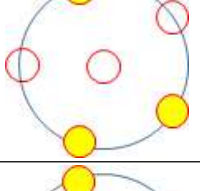
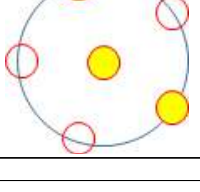
- 음원이 위치한 8개 고정점의 방위와 탐지된 방위를 비교하였고, 오차 범위 5° 이내에 수렴하는 것을 확인함(표 3-16, 그림 3-72 ~ 그림 3-79)

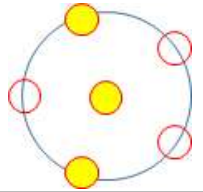
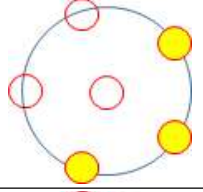
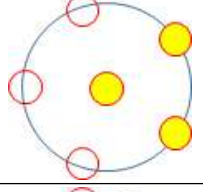
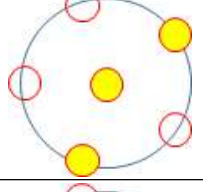
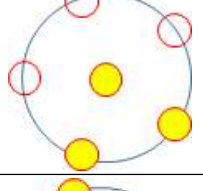
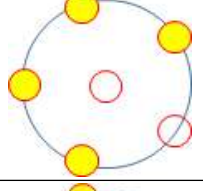
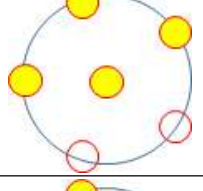
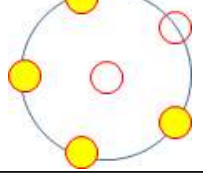
표 3-15 청음기 6개의 센서 조합 구성도 및 조합된 센서 형상.

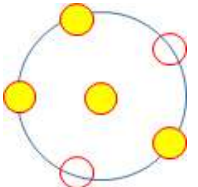
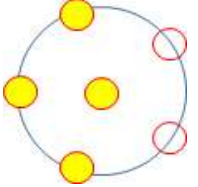
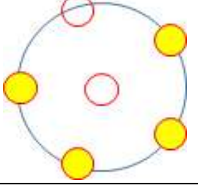
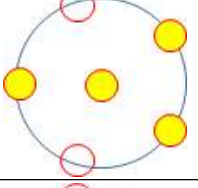
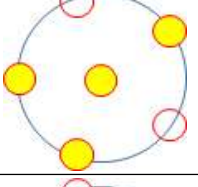
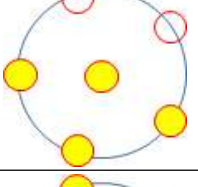
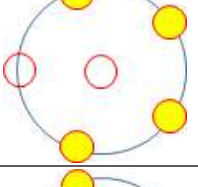
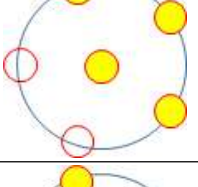
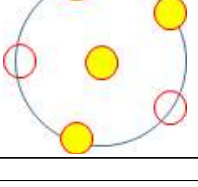
조합 번호	조합된 센서수	조합된 센서 번호						조합된 센서 형상
1	2 개	1	2	-	-	-	-	
2		1	3	-	-	-	-	
3		1	4	-	-	-	-	

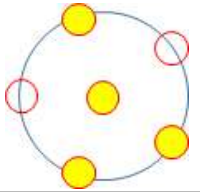
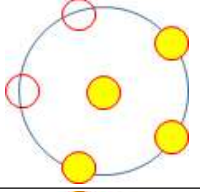
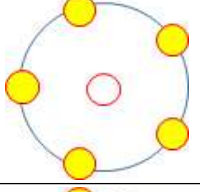
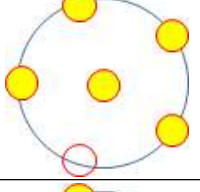
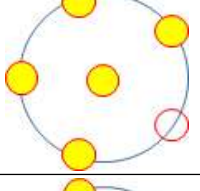
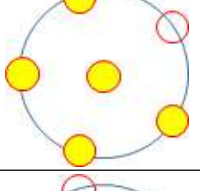
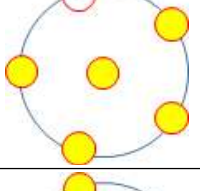
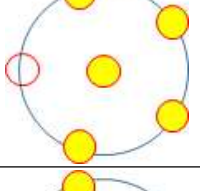
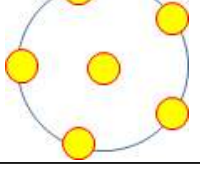
4		1	5	-	-	-	-	
5	2 개	1	6	-	-	-	-	
6		2	3	-	-	-	-	
7		2	4	-	-	-	-	
8		2	5	-	-	-	-	
9		2	6	-	-	-	-	
10		3	4	-	-	-	-	
11		3	5	-	-	-	-	
12		3	6	-	-	-	-	

13		4	5	-	-	-	-	
14	2 개	4	6	-	-	-	-	
15		5	6	-	-	-	-	
16	3 개	1	2	3	-	-	-	
17		1	2	4	-	-	-	
18		1	2	5	-	-	-	
19		1	2	6	-	-	-	
20		1	3	4	-	-	-	
21		1	3	5	-	-	-	

22		1	3	6	-	-	-	
23	3 개	1	4	5	-	-	-	
24		1	4	6	-	-	-	
25		1	5	6	-	-	-	
26		2	3	4	-	-	-	
27		2	3	5	-	-	-	
28		2	3	6	-	-	-	
29		2	4	5	-	-	-	
30		2	4	6	-	-	-	

31		2	5	6	-	-	-	
32	3 개	3	4	5	-	-	-	
33		3	4	6	-	-	-	
34		3	5	6	-	-	-	
35		4	5	6	-	-	-	
36		4 개	1	2	3	4	-	-
37	1		2	3	5	-	-	
38	1		2	3	6	-	-	
39	1		2	4	5	-	-	

40		1	2	4	6	-	-	
41	4 개	1	2	5	6	-	-	
42		1	3	4	5	-	-	
43		1	3	4	6	-	-	
44		1	3	5	6	-	-	
45		1	4	5	6	-	-	
46		2	3	4	5	-	-	
47		2	3	4	6	-	-	
48		2	3	5	6	-	-	

49		2	4	5	6	-	-	
50	4 개	3	4	5	6	-	-	
51	5 개	1	2	3	4	5	-	
52		1	2	3	4	6	-	
53		1	2	3	5	6	-	
54		1	2	4	5	6	-	
55		1	3	4	5	6	-	
56		2	3	4	5	6	-	
57	6개	1	2	3	4	5	6	

○ 수조 시험 결과로부터 최종 제작된 방향성 청음기의 수중음원 방위추정이 가능함을 확인함

표 3-16. 방향성 청음기 최종 시제품 시험지점별 방위탐지 및 방위오차 시험 결과.

시험지점		Pos1	Pos2	Pos3	Pos4	Pos5	Pos6	Pos7	Pos8
시험방위		0	40	89	130	180	-134	-92	-50
		탐지방위 (°)							
frequency (kHz)	3-4	5	43	89	131	179	-134	-90	-50
	4-6	1	37	86	132	177	-135	-92	-53
	6-8	-3	37	88	131	179	-134	-92	-55
	8-10	1	37	84	132	178	-133	-90	-52
		방위오차 =  시험방위 - 탐지방위  (°)							
frequency (kHz)	3-4	5	3	0	1	1	0	2	0
	4-6	1	3	3	2	3	1	0	3
	6-8	3	3	1	1	1	0	0	5
	8-10	1	3	5	2	2	1	2	2

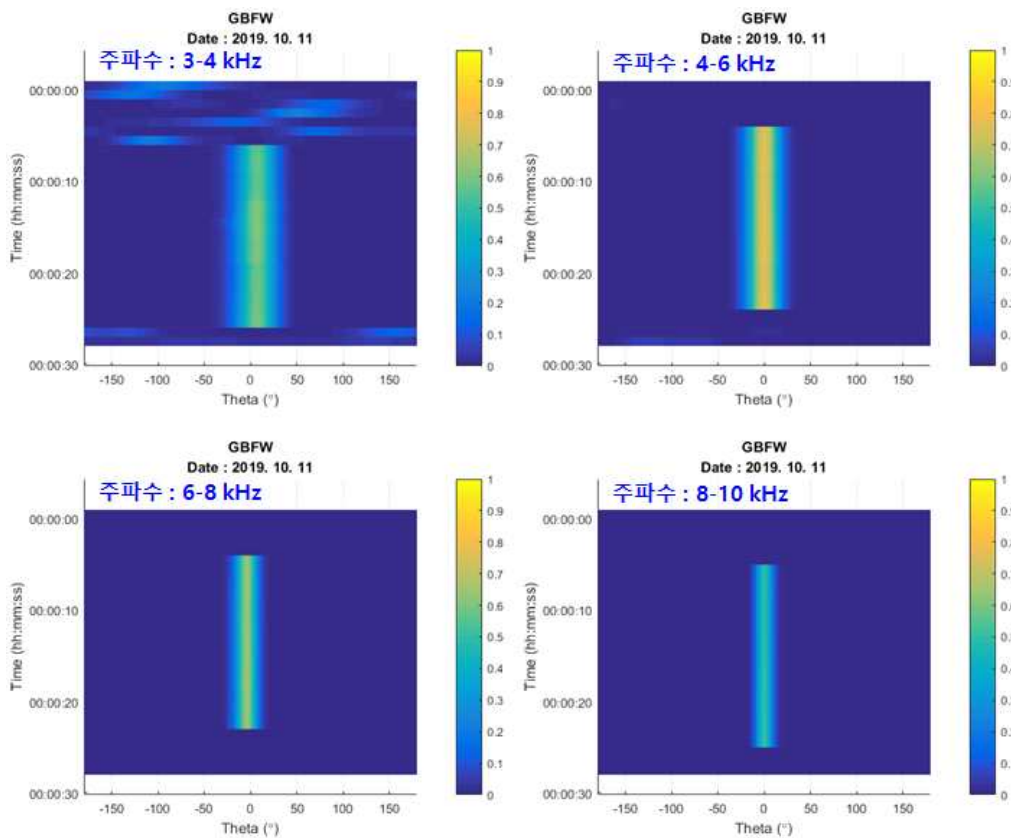


그림 3-72. 방향성 청음기 최종 시제품 방위탐지 시험 결과(Pos.1)



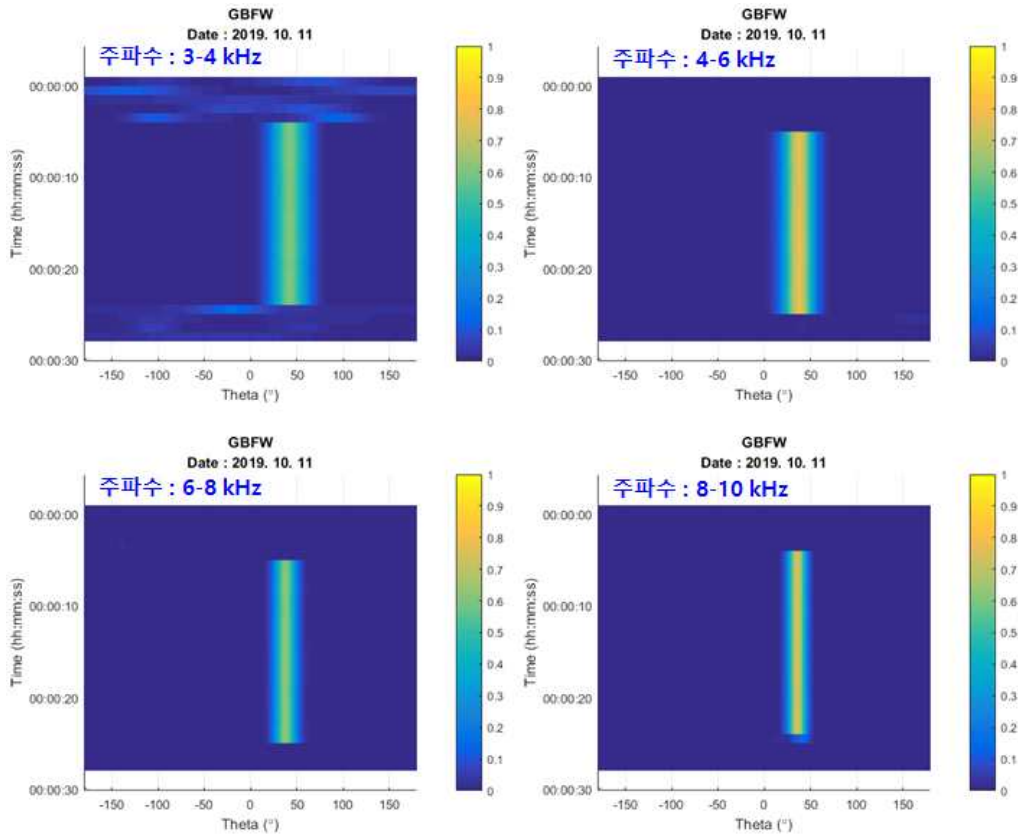


그림 3-73. 방향성 청음기 최종 시제품 방위탐지 시험 결과(Pos.2)

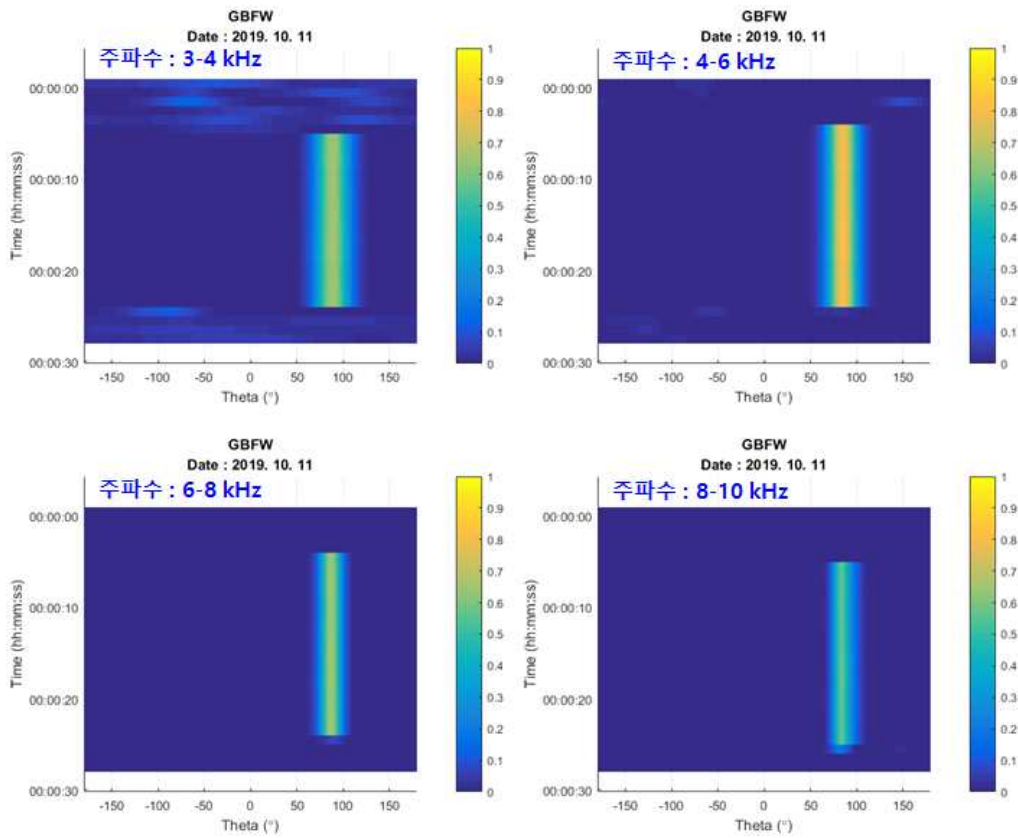


그림 3-74. 방향성 청음기 최종 시제품 방위탐지 시험 결과(Pos.3)

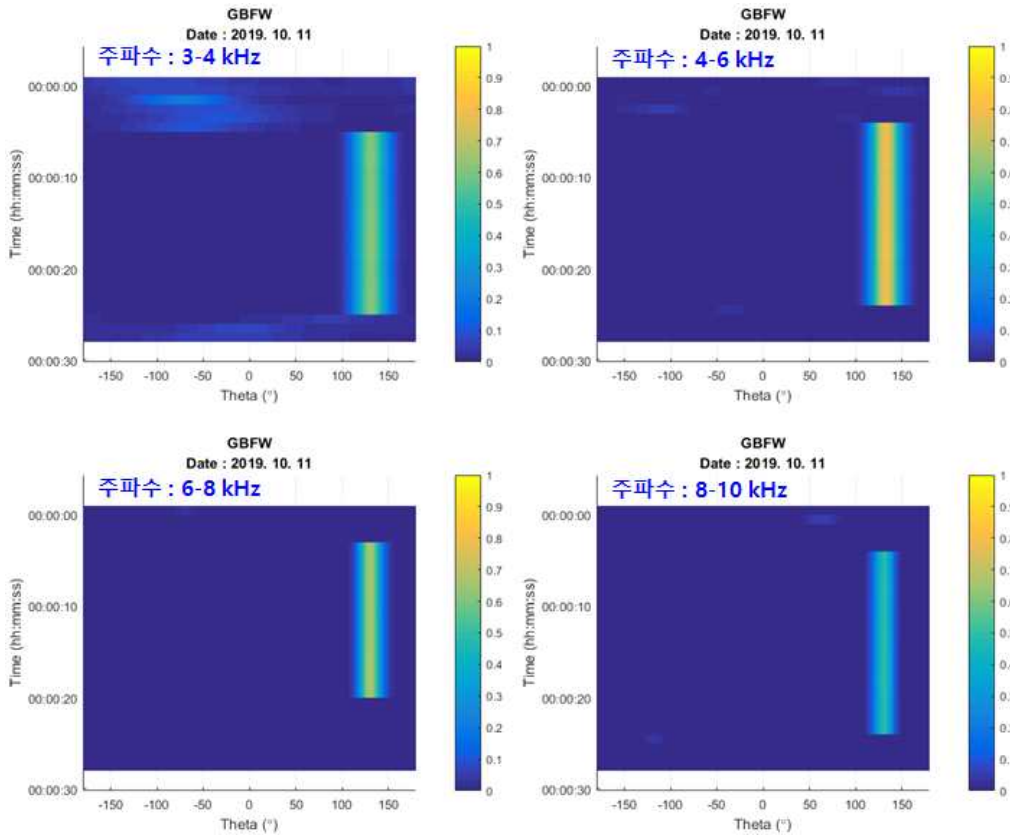


그림 3-75. 방향성 청음기 최종 시제품 방위탐지 시험 결과(Pos.4)

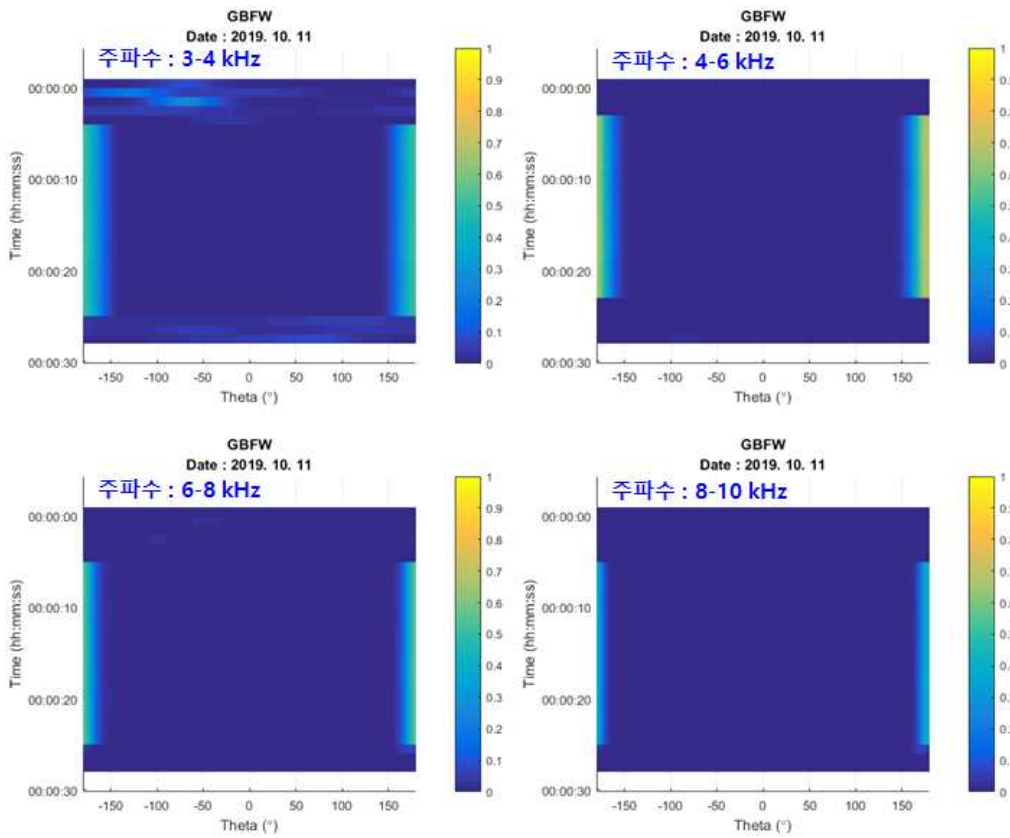


그림 3-76. 방향성 청음기 최종 시제품 방위탐지 시험 결과(Pos.5)

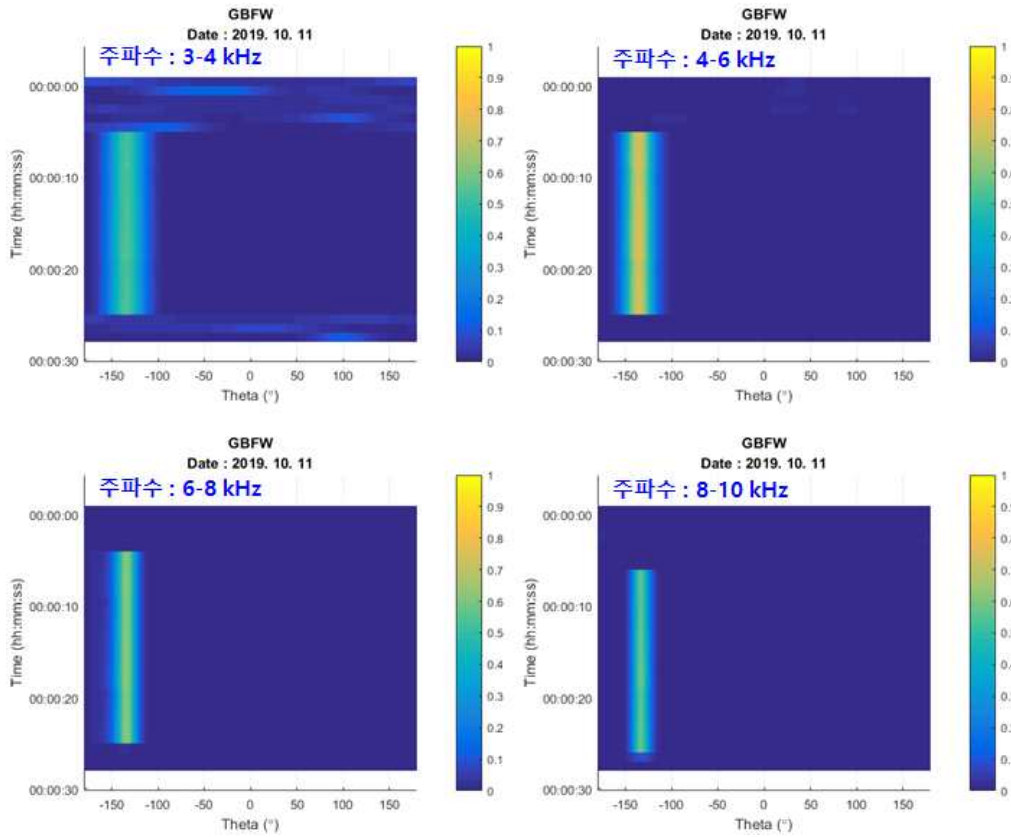


그림 3-77. 방향성 청음기 최종 시제품 방위탐지 시험 결과(Pos.6)

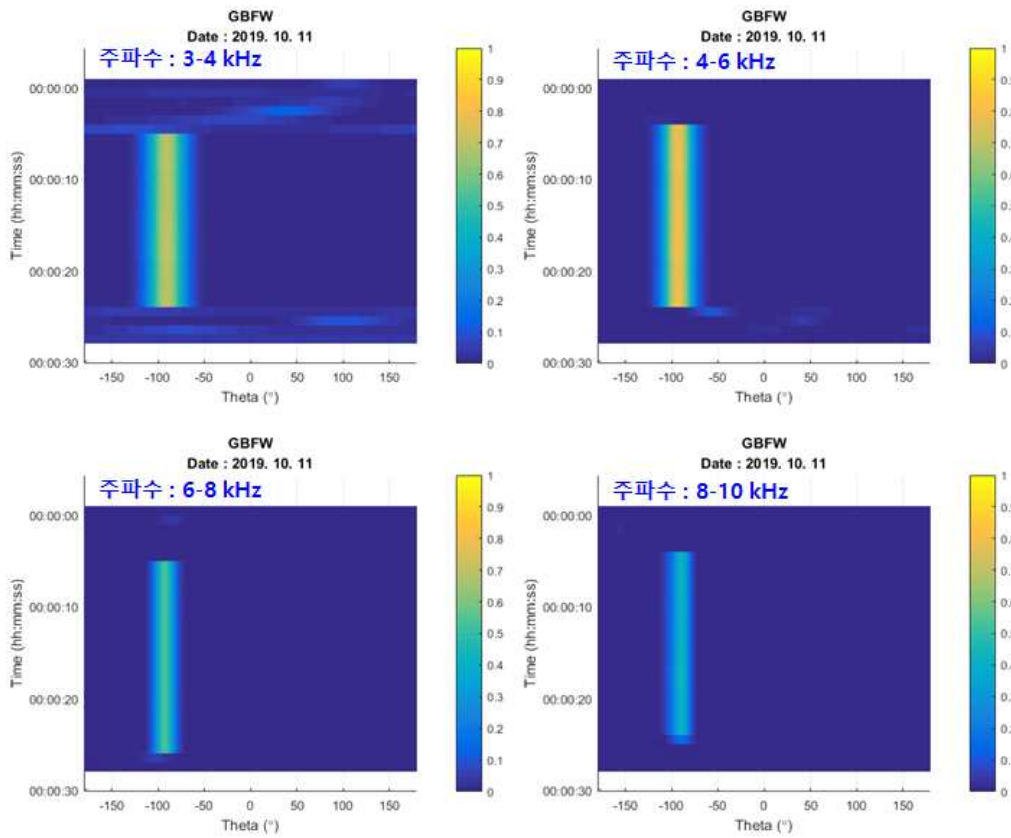


그림 3-78. 방향성 청음기 최종 시제품 방위탐지 시험 결과(Pos.7)

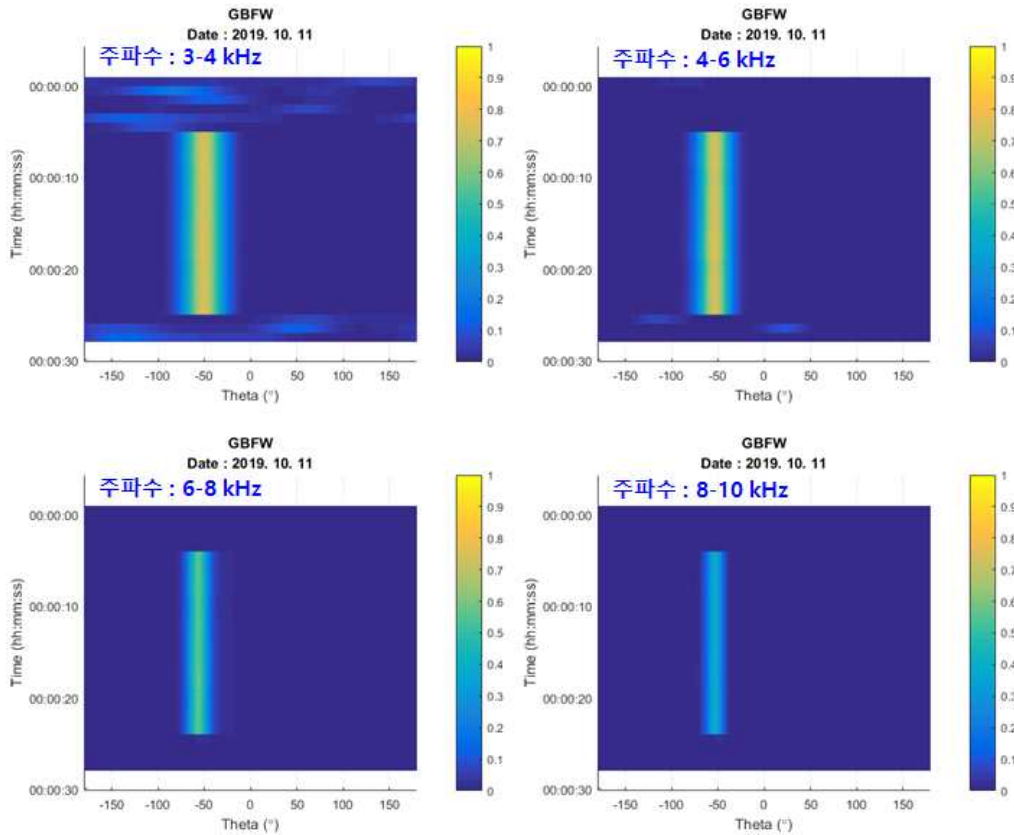


그림 3-79. 방향성 청음기 최종 시제품 방위탐지 시험 결과(Pos.8)

- 총 8개의 지점(Pos.1 ~Pos.8)에서 고정점 시험 이후, 수중 이동음원에 대한 방향 탐지 시험을 진행함
- 이동음원 시험은 고정점 시험에서 사용한 송신부 및 수신부 시스템을 동일하게 사용함
- 이동음원의 시험은 주파수 3 - 10 kHz 사이 CW 및 FM 신호를 3.6 ms 길이로 구성하여 1초에 1회씩 송신하여 이동음원 방위탐지 시험을 실시함
- 시험방법 및 방위탐지 분석방법은 고정음원 방위탐지 시험과 동일하게 적용함
- 수중 음원을 수조에 구비된 크레인을 이용하여 수심 5 m에서 Pos.2 → Pos.1 → Pos.8 → Pos.1 → Pos.2 지점으로 수중 토잉하여 이동음원을 모의하여 이동음원 방위탐지 시험을 실시함
- 표 3-16의 각 시험 지점별 시험 방위를 통해 이동 음원의 탐지방위는  $40^{\circ} \rightarrow 0^{\circ} \rightarrow -50^{\circ} \rightarrow 0^{\circ} \rightarrow 40^{\circ}$ 로 확인되며, CW 음원신호 3, 4, 10 kHz(그림 3-80), FM 음원신호 4-6 및 6-8 kHz(그림 3-81)에서 이동음원 방위탐지 결과와 일치함을 확인함
- 수조 시험 결과로부터 최종 제작된 방향성 청음기의 수중 이동음원 방위추정이 가능함을 확인함

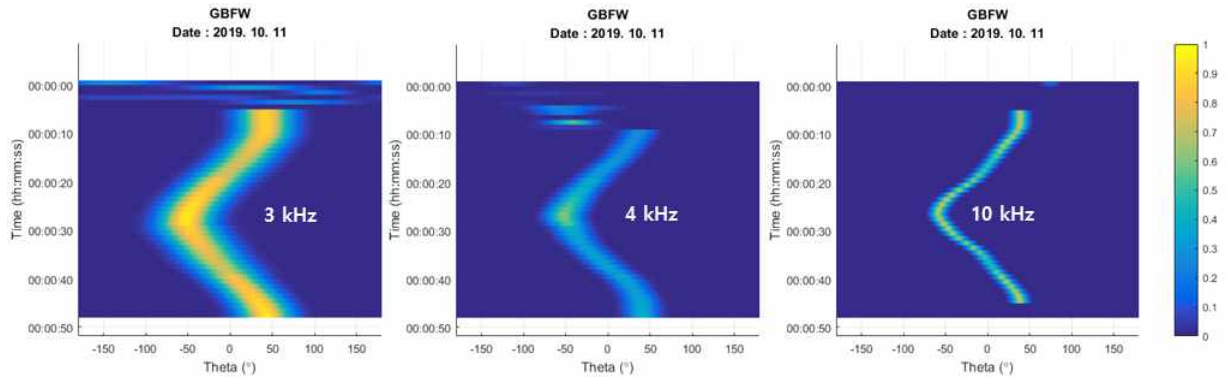


그림 3-80. CW 음원신호 이동음원 방위탐지 결과.

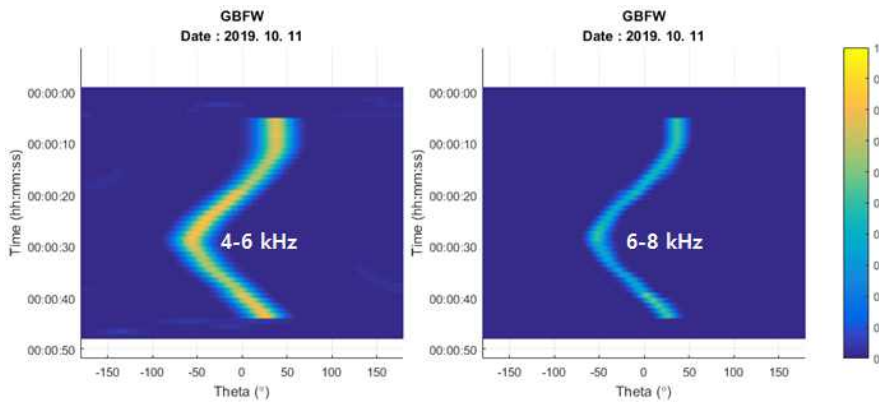


그림 3-81. FM 음원신호 이동음원 방위탐지 결과.

(3) 복수의 수중음원 탐지 알고리즘 수조시험

- 주관연구기관에서 제작한 방향성 청음기를 이용한 복수의 수중음원 방향성 탐지 시험(2019년 10월) 결과 수중스피커에서 송신한 3 kHz 및 D11에서 송신한 7 kHz 연속파의 방향 탐지가 가능함을 확인 (그림 3-82)
  - 2개의 수중음원(수중스피커, D11)을 실내 수조에 배치하고, 1개의 송신기는 3 kHz 연속파를 송신하였으며, 동시에 1개의 송신기는 7 kHz 연속파를 송신하여, 실내 수조 중앙에 배치된 방향성 청음기에서 복수의 수중음원 방향성 탐지 시험 실시 (표 3-17)

표 3-17. 복수의 수중음원 탐지 알고리즘 시험 환경 및 운영 시스템.

수조시험 송신부 및 수신부 운영 (2019년 10월)	수조시험 전경 (2019년 10월)

<p>수조시험에 시험한 수중음원 (수중스피커, D11) 및 방향성 청음기</p>	<p>복수의 수중음원 탐지 시험 모식도</p>
 <p>수중스피커      D11      방향성 청음기</p>	 <p>수중스피커      방향성 청음기      D11</p>
<p>CW 음원신호 송신부 운영 시스템</p>	<p>방향성 탐지 수중청음기 수신부 운영 시스템</p>
 <p>D11 송신부      수중스피커 송신부</p>	 <p>방향성 청음기 수신부</p>

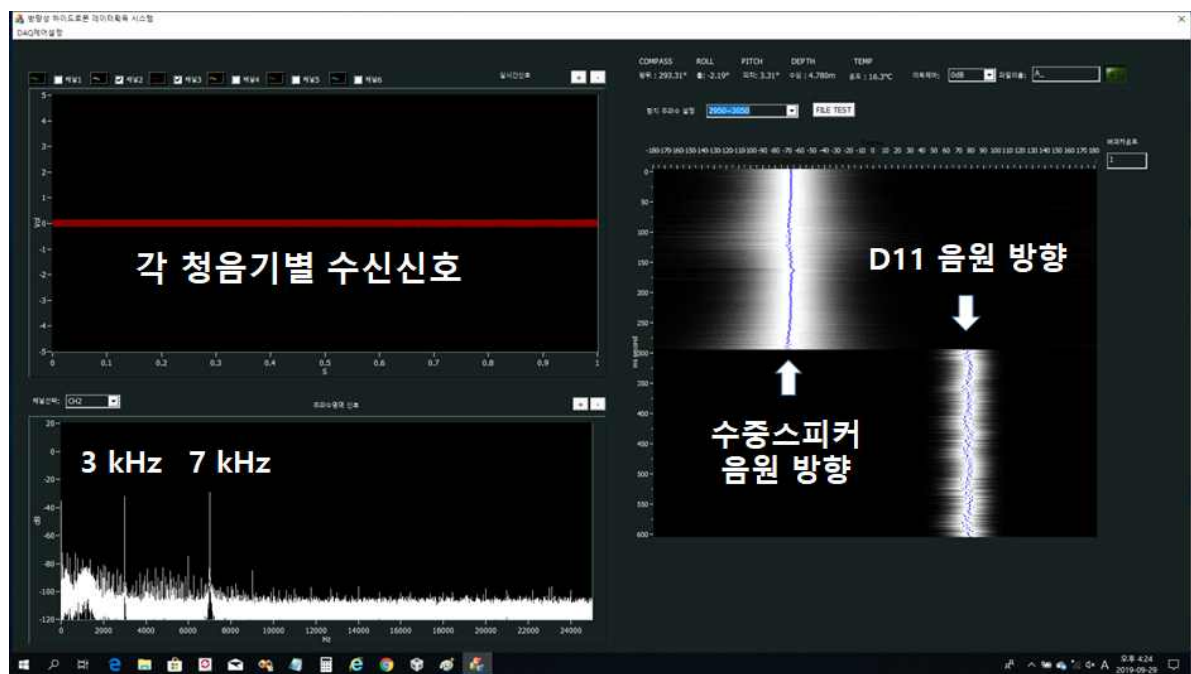


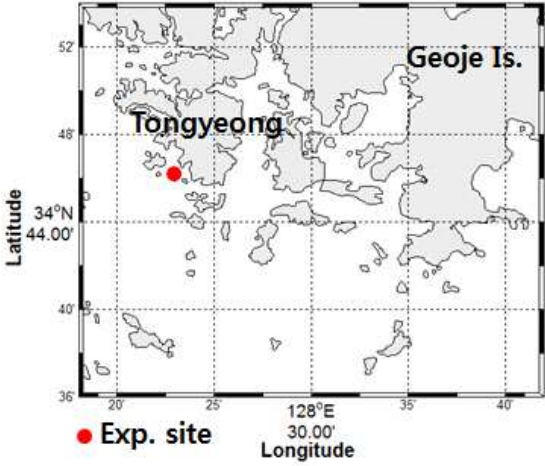

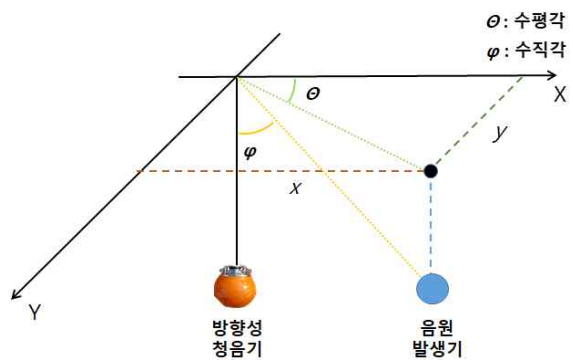

그림 3-82. 배열신호 실시간 데이터 수집 및 신호처리 S/W의 복수음원 탐지 결과.

다. 실용화 개발품 실험역 해상시험

(1) 실험역 주파수 탐지 시험

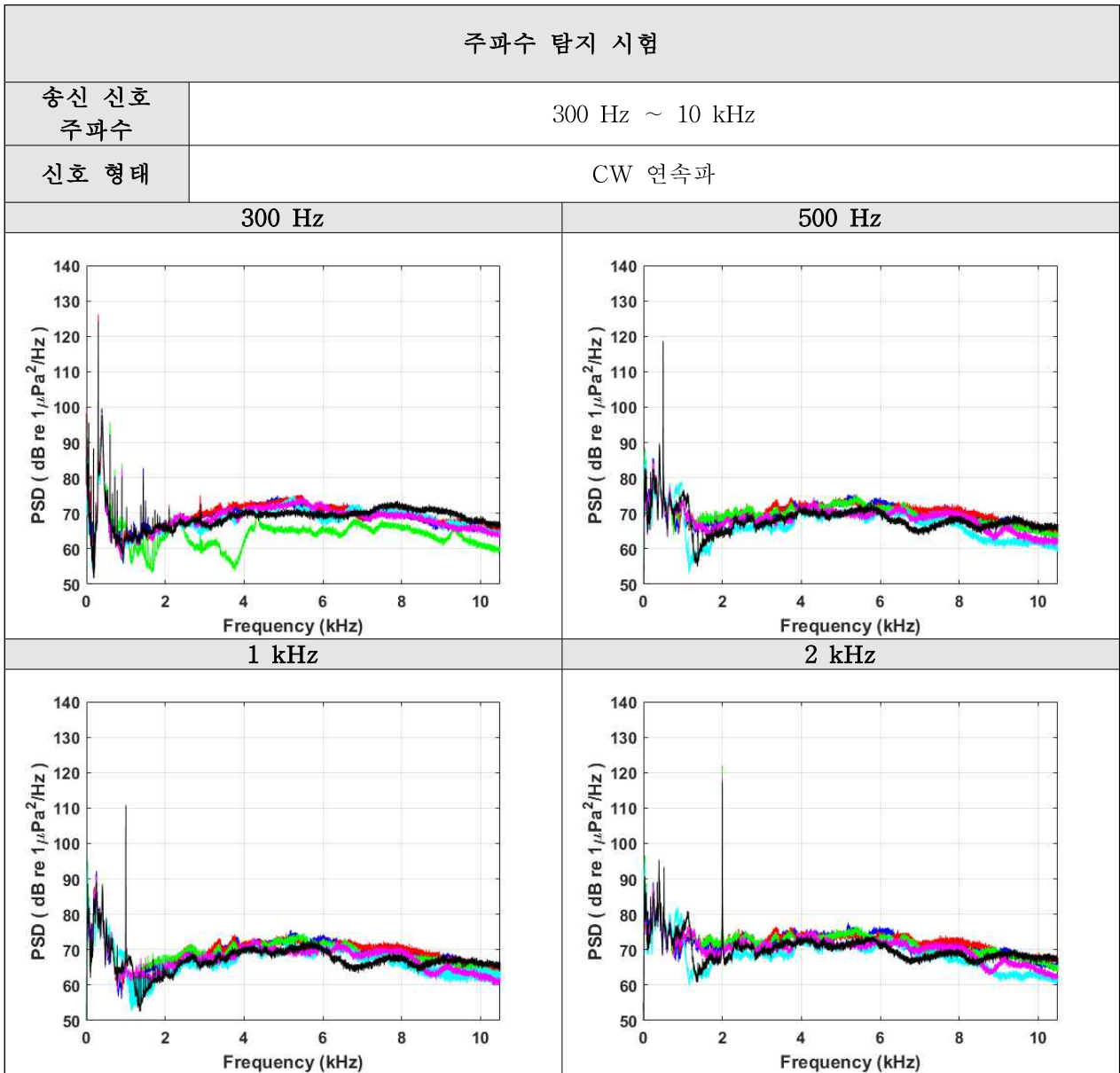
- 제작된 방향성 탐지 수중청음기의 실험역에서 주파수 탐지 성능을 시험하기 위하여 KIOST 에서 보유한 통영해상과학기지를 활용하여 해상 시험 실시 (표 3-18)
- 수중음원을 이용하여 주파수 300 Hz ~ 10 kHz의 CW 신호를 송신하고, 방향성 탐지 수중 청음기를 이용하여 신호를 수신함
- 300 Hz 미만의 주파수 탐지 영역은 주변의 해상소음(선박 및 생물)을 이용하여 수신함

표 3-18. 방향성 청음기 주파수 탐지시험 환경 및 시험 모식도.

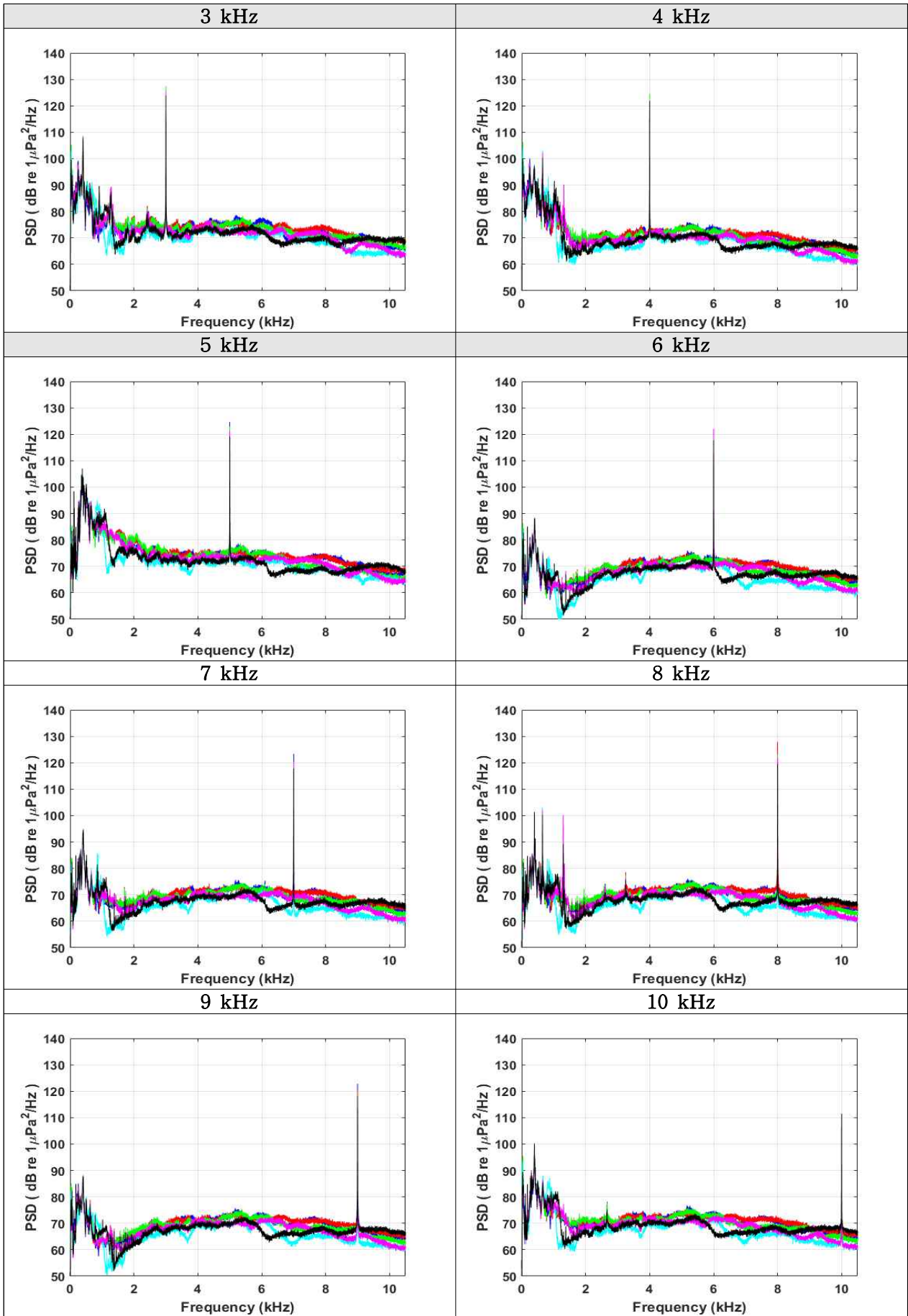
시험 구분	주파수 탐지 시험
개 요	해상에서 방향성 탐지 수중청음기 주파수 측정 성능 시험
장 소	통영해상과학기지
일 시	2019년 10월
시험 위치	통영해상과학기지 전경
	
시험 모식도	시험 측정 전경
	

- 제작된 방향성 탐지 수중청음기에서 신호를 수신하여 주파수 영역에 대해 분석을 수행하였음
- 표 3-19은 방향성 청음기 주파수 탐지 시험 결과를 나타냄. 수중음원으로부터 송신된 주파수 영역인 300 Hz ~ 10 kHz 대역의 송신 신호를 6개의 청음기가 내장된 방향성 청음기에서 탐지하는 것을 확인함
- 시험 지역과 같이 천해역에서는 주변의 선박소음 및 생물소음에 의해 300 Hz 미만의 소음은 영향을 받음. 해상시험 지역은 잣은 선박은 통행량과 딱총새우와 같은 생물 소음이 상시 존재하는 해역임
- 표 3-19의 각 송신 주파수별 탐지 결과에서 300 Hz 미만의 주파수 영역에서도 방향성 청음기에 수신됨을 확인함
- 주파수 탐지 시험 결과로부터 0.05 ~ 10 kHz 대역에서 목표 탐지 성능을 만족하는 것을 확인함

표 3-19. 방향성 청음기 주파수 탐지 시험 결과.





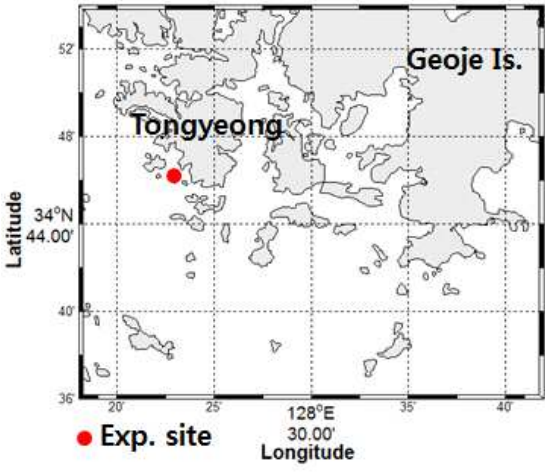





(2) 방향성 청음기 실험역 고정음원 시험

(가) 시험 내용

- 제작된 방향성 청음기의 실험역 시험을 위해 KIOST에서 보유한 통영해양과학기지를 활용하여 고정된 음원의 방위를 탐지하는 해상 시험 실시(표 3-20의 시험 위치 및 해상시험장)
- 해상시험은 방향성 청음기를 통영해양과학기지의 가두리의 수심 3 m에 위치시키고, 송신음원의 위치를 변경시키면서 방위 추정 시험을 실시함
- 송신음원의 위치는 방향성 청음기로부터 10 m 이상 이격된 3개의 지점(Pos1. ~ Pos.3)에서 수중음원을 수심 3 m에 고정하여 신호를 송·수신 함

표 3-20. 방향성 청음기 실험역 고정음원 방위탐지 시험 환경 및 시험 모식도.

시험 구분	고정음원 시험
개 요	해상에서 고정된 음원 탐지 방위의 정확도 분석
장 소	통영해양과학기지
일 시	2019년 10월
시험 위치	통영해양과학기지 전경
	
시험 지점 모식도	시험 측정 전경
	

(나) 시험 방법

- 수중음원과 방향성 탐지 수중청음기를 치구에 고정하여 수중 설치(표 3-21)
- 각 신호 송신 방위에서 CW 연속신호를 송신하고, 방향성 청음기를 이용하여 수중음원의 방위를 측정함
  - 수중음원 : 수중스피커 (DRS-8 모델, Oceanears)
  - 고정점 시험은 주파수 2~10 kHz 사이에서 5개 주파수 2, 4, 6, 8, 10 kHz 총 5개를 선정하여 신호를 구성함
  - 음원신호의 송신 방법은 최초 약 5초간은 신호를 송신하지 않으며, 이후 30초 정도 음원신호를 송신하고, 이후 5초간 신호를 송신하지 않는 전체 데이터를 이용하여 방위 탐지 알고리즘을 적용함(그림 3-83)
- 방향성 탐지 측정 시스템 H/W 및 S/W를 이용하여 음향신호와 음향 보조데이터를 동시에 획득함
- 수중청음기에서 측정된 자료에 방향성 탐지 알고리즘을 적용하여 각 방위에 따른 탐지 결과를 분석함

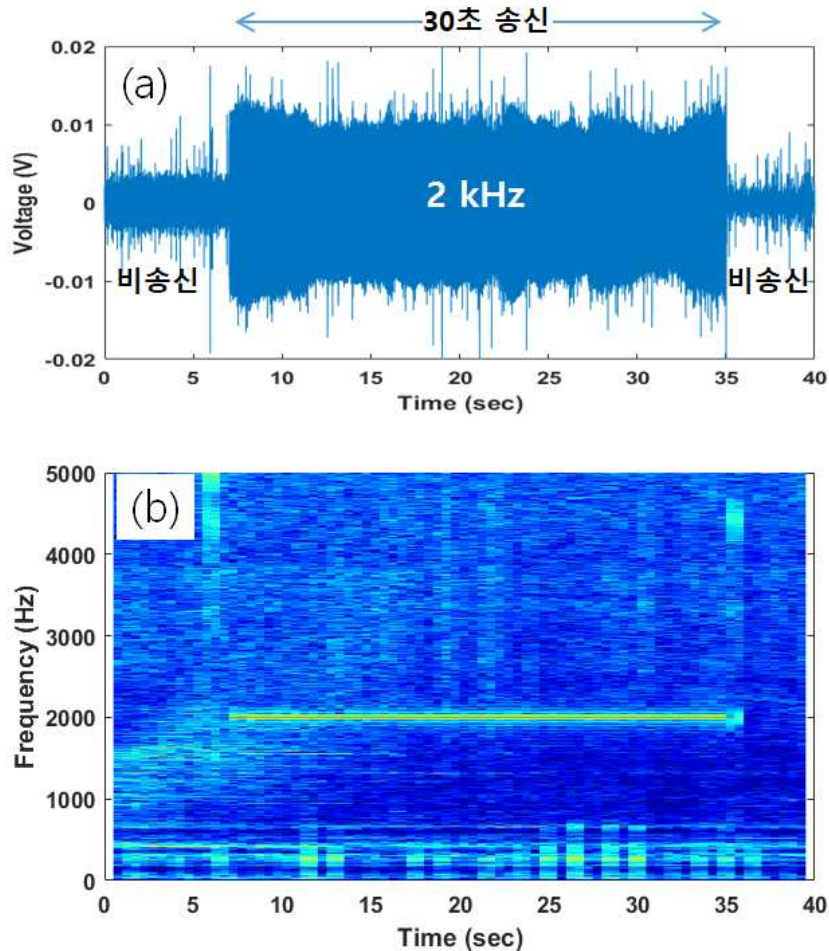
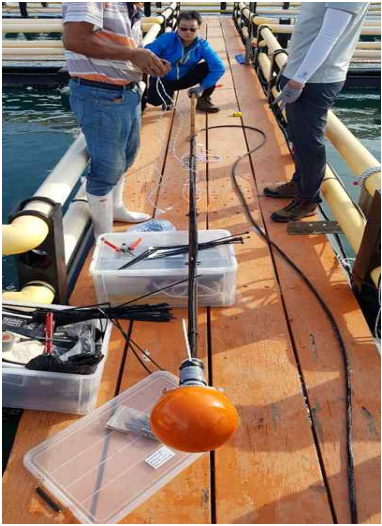



그림 3-83. (a) 방위탐지 시험에 사용된 2kHz CW 수중음원 수신신호 예, (b) 수신신호 주파수 분석 예.

표 3-21. 방향성 청음기 실험역 고정음원 방위탐지 해상시험 방법.

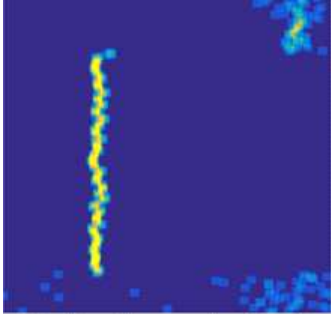
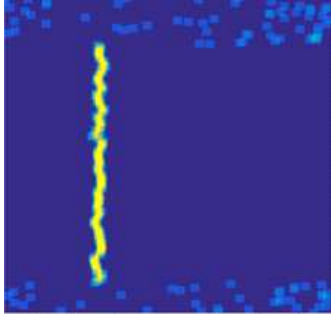
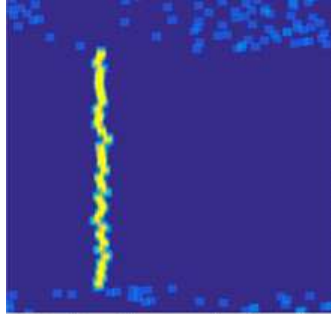
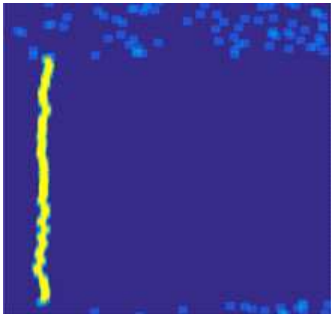
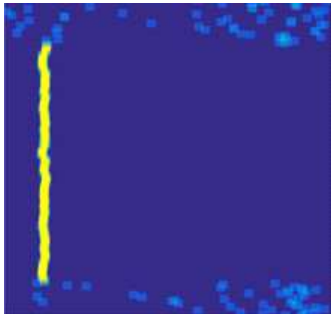
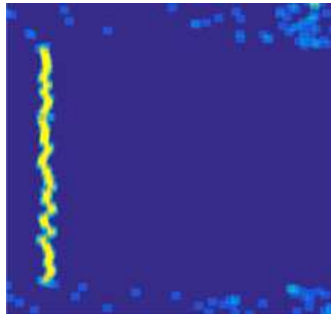
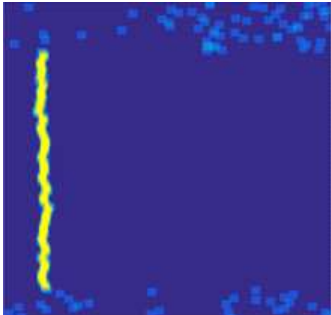
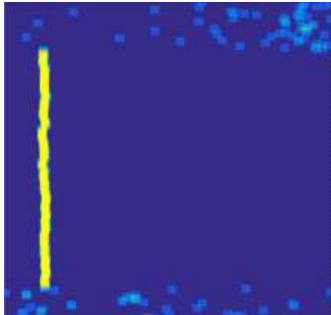
고정음원 시험		
신호 송신 방위	Pos.1 : 0°, Pos.2 : -75°, Pos.3 : -135°	
신호 주파수	2, 4, 6, 8, 10 kHz	
신호 형태	CW 연속음	
방향성 청음기 치구체결	수중음원 치구체결	방향성 청음기 수중설치
		
수중음원 수중설치	음원신호 송신부 운영 시스템	방향성 청음기 수신부 시스템 운영
		

(가) 해상 시험 결과

- 송신음원의 지점 Pos.1, Pos.2, Pos.3의 측정 방위각은 각각 0°, -75°, -135° 임
- 음원의 실제 방위는 방향성 탐지 수중청음기의 중심으로부터 각 고정점의 방위를 측정함
- 시험 방위는 표 3-20 시험지점 모식도에서 Pos1을 0°를 기준으로 시계방향은 (+)이고, 반시계방향은 (-)임
- 그림 3-83(a)에 표시된 음원 송신 구간에 대하여 주파수별 수중음원 방위 탐지 분석을 실시함
  - 시험 방위와 탐지된 방위의 오차는 표 3-22에 시험방위 및 주파수에 따라 도출함
  - 시험방위 및 주파수에 따른 방위오차는  $\pm 5^\circ$  이내 범위에 것을 확인함
- 표 3-22의 방위 탐지 결과에서 수중음원 비송신 구간에서는 탐지 방위가 임의적인 방향에서 탐지되는 것에 비해 음원에서 송신하는 동안은 일관된 방위에서 탐지 되는 것을 확인함
- 또한, 음원 송신 구간동안 탐지방위에서 약간의 변동이 있는 원인은 아래와 같이 사료됨
  - 실험역 해상시험을 실시한 통영해상과학기지는 연구실과 가두리 양식장으로 구성되어 있고, 양식장은 조립형 부이로 제작되어 각 부위가 개별적으로 움직여짐. 이로 인해 주변에서 선박이 지나가는 경우 생성된 파도에 의해 시험을 진행하는 공간이 따로 움직이게 되어, 방향성 탐지 수중청음기와 수중음원의 위치가 상대적으로 조금씩 달라짐에 따라 탐지 방위각에 변동을 주는 요인이 됨

표 3-22. 방향성 청음기 실험역 고정음원 방위탐지 시험 결과.

고정음원 시험 탐지 결과				
시험 지점 Pos1  (시험 방위 : 0°)	주파수 : 2 kHz	주파수 : 4 kHz	주파수 : 6 kHz	
	방위오차 : $\pm 4.7^\circ$	방위오차 : $\pm 2.2^\circ$	방위오차 : $\pm 2.5^\circ$	
	주파수 : 8 kHz	주파수 : 10 kHz		
방위오차 : $\pm 0.9^\circ$	방위오차 : $\pm 1.0^\circ$			

<p>시험 지점 Pos2</p> <p>(시험 방위 : -75°)</p>	주파수 : 2 kHz	주파수 : 4 kHz	주파수 : 6 kHz
			
	방위오차 : ± 3.7°	방위오차 : ± 2.4°	방위오차 : ± 3.2°
	주파수 : 8 kHz	주파수 : 10 kHz	
<p>시험 지점 Pos3</p> <p>(시험 방위 : -135°)</p>	주파수 : 2 kHz	주파수 : 4 kHz	주파수 : 6 kHz
			
	방위오차 : ± 1.8°	방위오차 : ± 1.1°	방위오차 : ± 3.4°
	주파수 : 8 kHz	주파수 : 10 kHz	
			
	방위오차 : ± 2.6°	방위오차 : ± 1.3°	

(3) 방향성 청음기 실험역 선박기동 시험

(가) 해상 시험 내용

- 제작된 방향성 청음기의 실험역 성능측정을 위해 KIOST에서 보유한 통영해양과학기지를 활용하여 음원을 기동하며 방위를 탐지하는 해상 시험 실시(표 3-23)
- 통영해양과학기지에서 보유한 연구선에 수중음원(수중스피커)를 수심 3 m에 계류하여 음원 신호를 송신하며 선박기동 수행, 조사선의 항적 저장을 위해 GPS 장비를 설치 운영
- 방향성 탐지 수중청음기를 통영해양과학기지 내에 설치하여 연구선에 의해 기동하는 음원의 방위를 탐지함

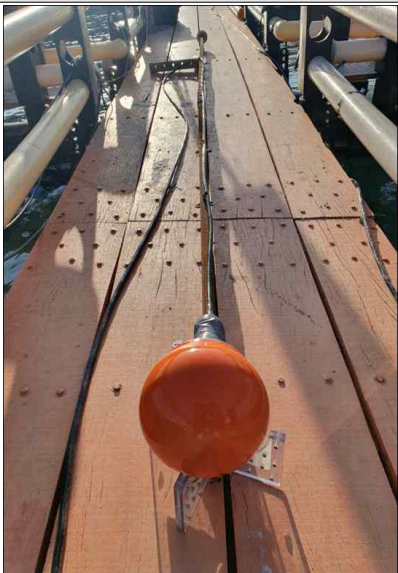
표 3-23. 방향성 청음기 실험역 기동음원 방위탐지 시험 환경 및 내용.

시험 구분	음원 기동 시험
개 요	해상에서 기동하는 음원의 방위 탐지
장 소	통영해양과학기지
일 시	2019월 11일 (실험역 2차 해상시험)
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>시험 위치</span> <span>통영해양과학기지 전경</span> </div>	
<p>Exp. site</p>	<p>Exp. site</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>연구선을 이용한 음원 기동</span> <span>선박 및 음원 기동 경로</span> </div>	
<p>수중스피커 계류 (수심 3 m)</p>	<p>● 수신기 위치 ● 선박 이동 경로</p>

(나) 해상 시험 방법

- 선박을 이용한 수중음원 기동 시험은 조사선으로부터 방사되는 2 kHz 미만 대역의 선박소음과 수중음원(수중스피커)에서 송신되는 2 kHz 이상의 CW 연속음에 대한 방위 탐지 시험을 실시함(표 3-24)
- 조사선 선박소음 시험은 방향성 청음기 설치 지점을 기준으로 해상 가두리 주변을 고속으로 선회 기동하며 선박소음 방위 탐지 시험을 실시함
- 송신신호를 이용한 해상 시험은 조사선 우현에 수중음원을 수심 3 m에 계류하여 주파수 2 ~ 10 kHz CW 연속음을 이용하여 방위 탐지 시험을 실시함
  - 수중음원 : 수중스피커 (DRS-8 모델, Oceanears)
  - 수중음원 시험은 주파수 2 - 10 kHz 사이에서 5개 주파수 2, 4, 6, 8, 10 kHz 총 5개를 선정하여 신호를 구성함
- 방향성 탐지 측정 시스템 H/W 및 S/W를 이용하여 음향신호와 음향 보조데이터를 동시에 획득함
- 방향성 청음기에서 측정된 자료에 방향성 탐지 알고리즘을 적용하여 계산된 기동음원 탐지 방위와 방향성 청음기와 조사선 선박에 부착된 GPS간의 상대 방위를 비교 분석함

표 3-24. 방향성 청음기 실험역 기동음원 방위탐지 해상시험 방법.

기동음원 방위탐지 시험		
조사선 선박소음	광대역 주파수 : 1.5 kHz ~ 2 kHz	
수중음원 송신신호	협대역 주파수 : 2, 4, 6, 8, 10 kHz CW 연속음	
방향성 청음기 치구체결	수중음원 치구체결	수중음원 조사선 우현 수중설치
		

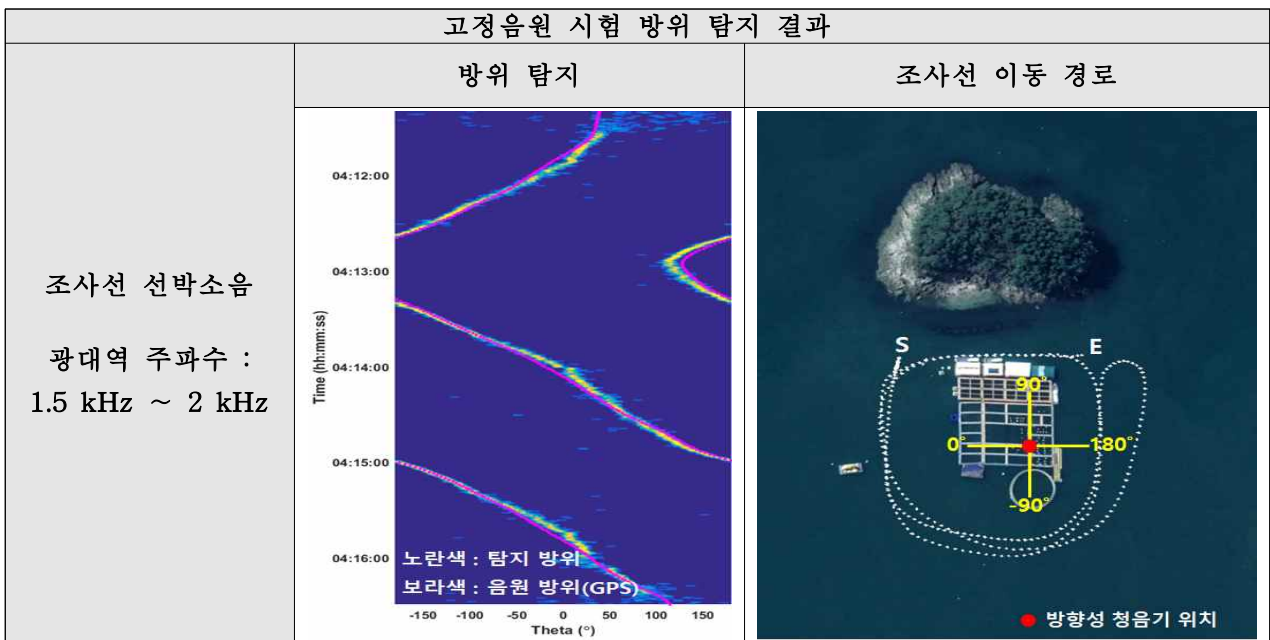


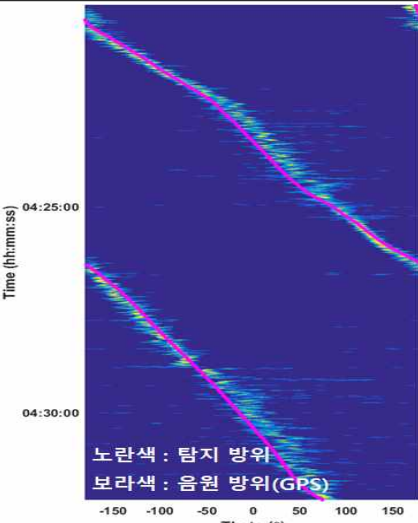

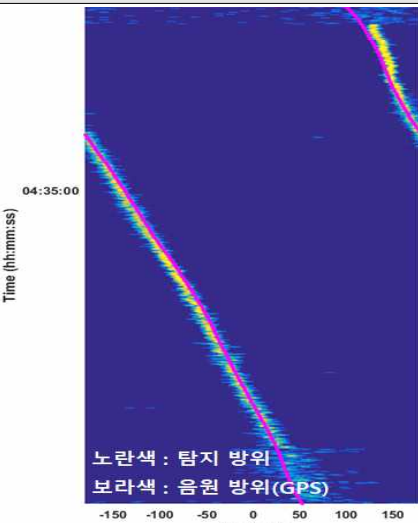

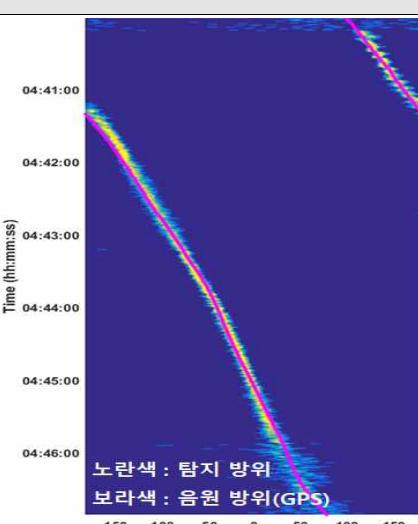



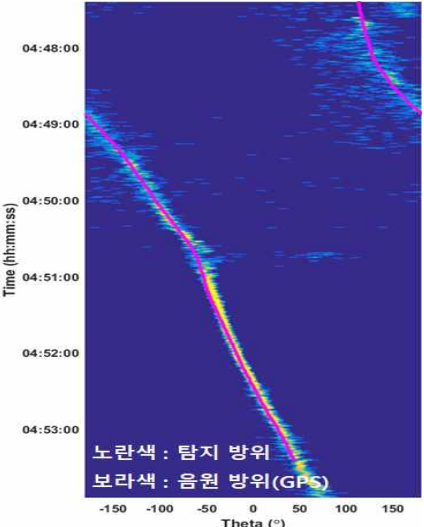

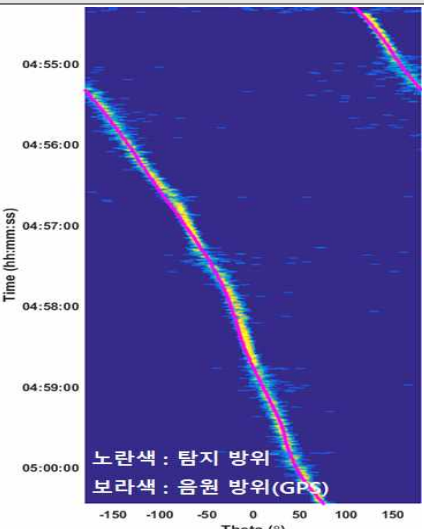

(다) 해상 시험 결과

- 해상시험 지역을 기동하는 조사선의 선박소음과 조사선 우현에 설치된 수중음원으로부터 송신되는 신호를 측정 한 후 탐지된 방위를 계산함(표 3-25)
- 방향성 탐지 청음기를 이용하여 측정된 음원의 탐지 방위(표 3-25 방위탐지 그림의 노란색)와 GPS(표 3-25 방위탐지 그림의 보라색)를 이용하여 측정된 음원의 실제 위치에 대한 방위를 결과에 도시함
- 여기서 시험 방위는 표 3-23의 선박 및 음원 이동 경로 그림에서 고정음원 시험 지점인 Pos1을 0°를 기준으로 시계방향은 (+)이고, 반시계방향은 (-)임
- 측정된 결과로부터 개발된 방향성 탐지 수중청음기를 이용하여 조사선 선박소음 및 수중 기동음원에 음원의 방위 탐지가 가능함을 확인하였음

표 3-25. 방향성 청음기 실험역 기동음원 방위탐지 시험 결과.



<p>수중음원 송신신호</p> <p>협대역 주파수 : 2 kHz CW 연속음</p>	<p>방위 탐지</p> 	<p>조사선 이동 경로</p>  <p>● 방향성 청음기 위치</p>
<p>수중음원 송신신호</p> <p>협대역 주파수 : 4 kHz CW 연속음</p>	<p>방위 탐지</p> 	<p>조사선 이동 경로</p>  <p>● 방향성 청음기 위치</p>
<p>수중음원 송신신호</p> <p>협대역 주파수 : 6 kHz CW 연속음</p>	<p>방위 탐지</p> 	<p>조사선 이동 경로</p>  <p>● 방향성 청음기 위치</p>
<p>수중음원 송신신호</p>	<p>방위 탐지</p>	<p>조사선 이동 경로</p>

<p>협대역 주파수 : 8 kHz CW 연속음</p>		
<p>수중음원 송신신호 협대역 주파수 : 10 kHz CW 연속음</p>	<p style="text-align: center;">방위 탐지</p> 	<p style="text-align: center;">조사선 이동 경로</p> 


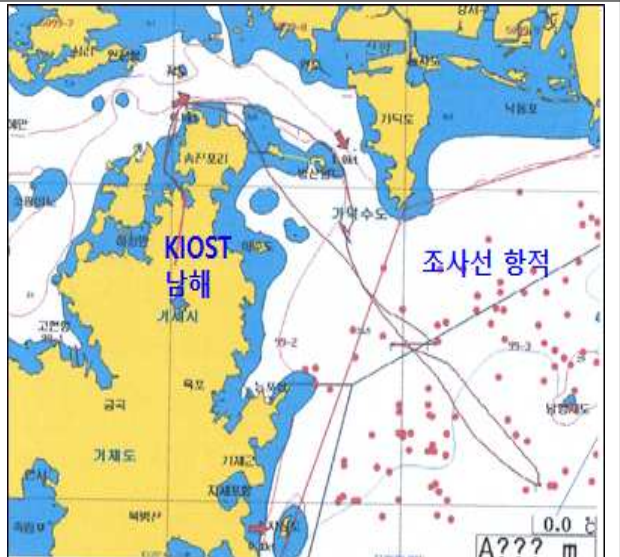
라. 항만지역 해상시험

(1) 선박 탐지 및 내압시험

(가) 해상 시험 내용

- 2차년(2019년)도 실해역 2차 해상시험은 2019년 11월 공동연구기관인 KIOST의 연구선 장목1호를 활용하여 선박의 항행 빈도가 높은 항만지역(거제도 주변 해상)에서 선박소음 방위 추정 및 방향성 청음기 실해역 내압시험을 실시함(표 3-26)
- 선박 탐지 시험은 거제도와 가덕도 주변에서 왕래하는 선박들로부터 방사되는 소음에 대한 방위를 탐지 함
  - 연구선 주변을 항행하는 선박의 정보는 이동경로 정보는
  - 조사선에 선박자동식별시스템(Automatic Identification System, AIS)을 설치하고 수집된 선박의 항행정보를 활용하여, 측정된 방향성 수중소음 자료와 비교을 실시함
- 내압 시험은 개발된 방향성 수중청음기를 수심 80 m 이상 해역에 계류하여 시험 실시함
  - 내압시험 수심 목표치는 100 m이상이나 해상상태가 좋지 않아 수심 100 m 이상 해역까지 연구선의 접근이 불가함
  - 연구선이 접근 가능한 해역의 수심은 최대 80 m로 해당 위치에서 내압시험을 실시함

표 3-26. 항만지역 선박탐지 및 내압시험 환경 및 내용.

시험 구분	선박 탐지 및 내압 시험	
개 요	거제도 주변에서 활동하는 선박 탐지, 80 m 수심에서 개발 시제품 내압 시험 실시	
장 소	거제도 주변 해역	
일 시	2019년 11월 (실해역 2차 해상시험)	
연구선 : R/V 장목1 (전면)	연구선 항해 경로	
		

<p>AIS 시스템 (주변선박 항행정보 수집)</p>	<p>연구선 : R/V 장목1 (후면) (AIS 안테나 운영)</p>
	
<p>항만지역 해상시험 시 해상상태</p>	<p>내압시험에 사용된 범용 수심센서 (RBR duet T.D)</p>
	

(나) 해상 시험 방법

- 선박 탐지 시험은 거제도 와 가덕도 주변에서 수심 20 m에 방향성 청음기를 계류하며 항행하는 선박의 소음 탐지
  - 연구선 장목1호에 탑재된 윈치를 이용하여 방향성 탐지 수중청음기를 계류 진행함
  - 방향성 중청음기 계류 시 윈치선과 케이블이 엉키지 않도록 2~3 m 마다 케이블 타이 를 체결하며 진행
  - 목표 수심까지 방향성 청음기 계류 이후 주변의 선박소음과 선박 항행 정보를 동시에

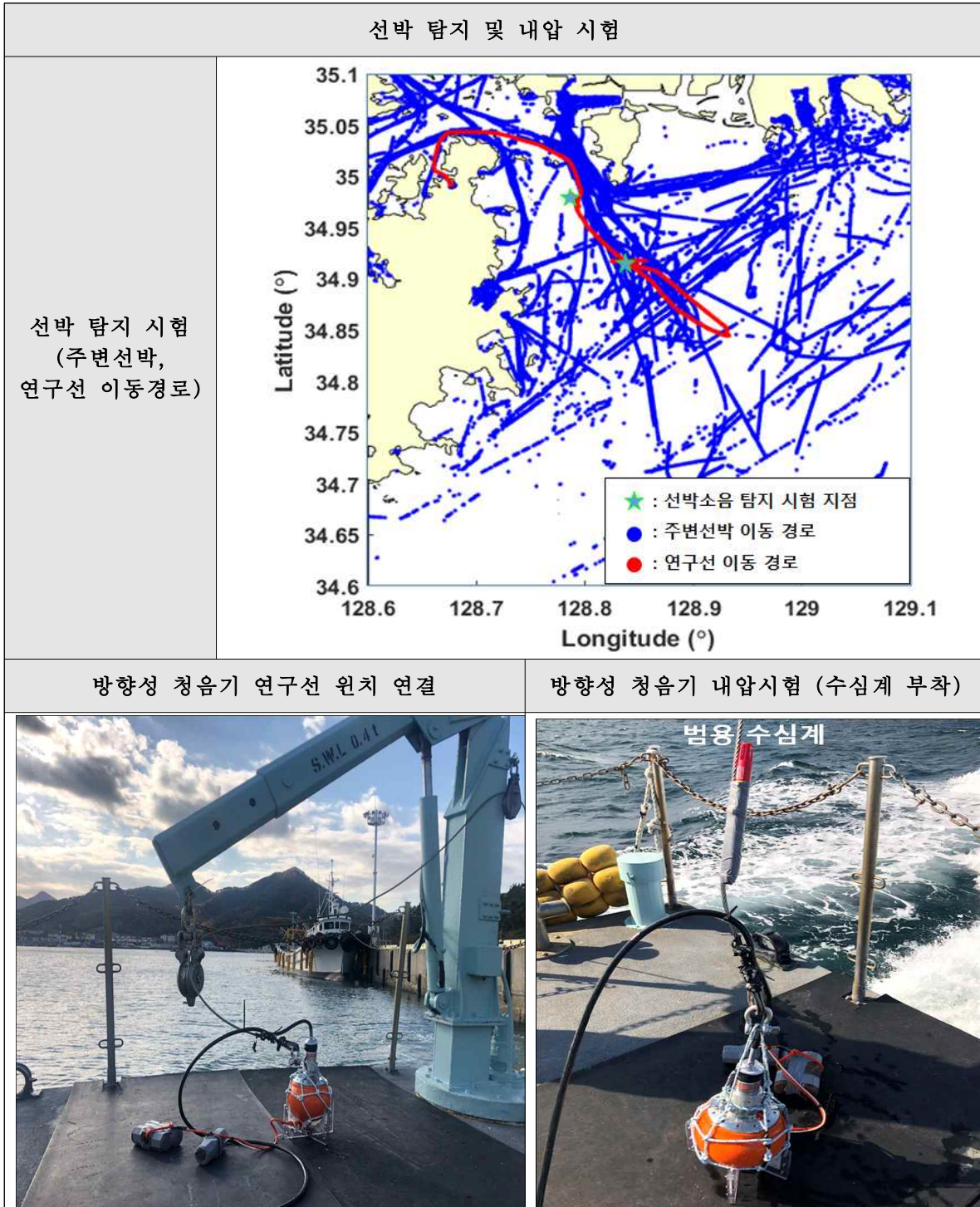
수신하여 선박 방위 탐지와 표적 선박의 항행정보 상대 방위와 비교 분석 실시



- 휴대용 GPS 장비를 연구선에 장착하여 연구선의 항해 경로를 측정함

○ 내압 시험은 수심 80 m 해역에서 방향성 탐지 수중청음기를 최대 수심 72.5 m까지 계류

- 목표 수심까지 방향성 청음기 계류 방향성 청음기 수신 여부와 내압테스트를 진행함
- 동시에 방향성 청음기에 내부에 탑재된 수심 센서의 정확도를 확인하기 위하여 RBR사의 범용 수심센서를 부착하여 측정된 수심을 상호 비교함

표 3-27. 항만지역 선박탐지 및 내압시험 방법.



방향성 청음기 수중 계류	방향성 청음기 수신부 시스템 운영
	

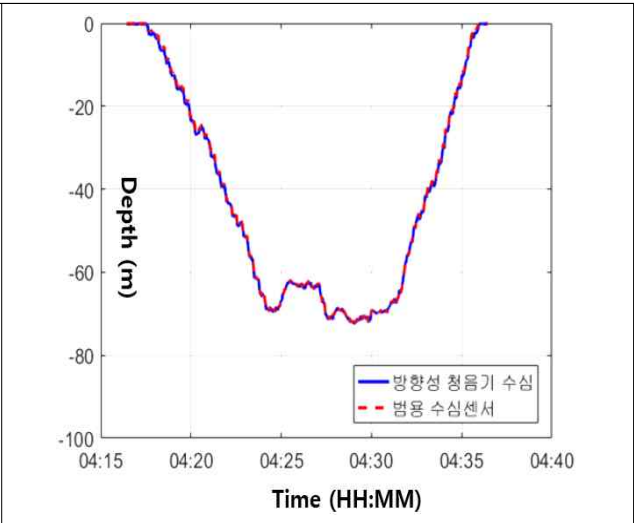
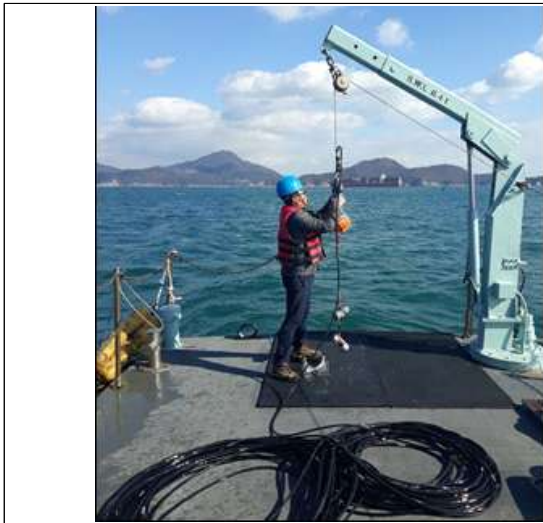
(다) 해상 시험 결과

- 선박으로부터 방사되는 광대역 소음을 이용하여 방향성 탐지 분석 수행
- 측정 대상 선박은 거제도 와 가덕도 출항로를 통과하여 남해로 이동하는 파나마 국적의 LNG 운반선을 선정함(표 3-28)
  - 연구선에서 운영한 AIS 시스템을 이용하여 측정 대상 선박의 항해 및 정적정보 획득
  - 측정 대상 선박은 선박 길이 228.6 m, 선폭 44.04 m, 10만톤 크기의 대형선박 임
  - 방향성 청음기를 수중 15 m에 계류하고 연구선 엔진 정지 후 5분간 선박소음 탐지 시험 진행
  - 선박 탐지 시험 측정 시간 동안 연구선은 130 m 동쪽으로 이동하였으며, 측정 대상 선박은 북서에서 남동 방향으로 1,750 m 이동함
  - 선박 탐지 시험 기준은 정북 0°를 기준으로 시계방향은 (+)이고, 반시계방향은 (-)임
- 측정 대상 선박의 수중음원 방위 탐지 결과와 대상 선박의 GPS 이동 방위 결과를 비교함
  - 선박의 방위 탐지 결과와 대상 선박의 GPS 이동 방위 비교 결과의 전반적인 선박 이동 방위 탐지 경향은 확인 가능함
  - 주변 선박 탐지 결과를 통해 선박으로부터 방사되는 소음의 탐지가 가능함을 확인함
  - 하지만, 대형선박으로부터 방사되는 소음의 주요 주파수 대역이 1 kHz 미만의 영역으로, 저주파수 대역에서 방위 탐지 정확도는 개선이 필요한 부분으로 확인됨
- 개발된 방향성 청음기의 내압 시험 시 해상 상태가 좋지 않아 안전상의 이유로 해역 수심 80 m에서 최대 수심 72.5 m에서 10분간 시험을 수행함
  - 최대 수심에서도 장비 내부로 해수가 유입된 흔적은 없었으며, 2차년도 최종 개발품의 최대 운영 심도 목표치인 100 m 미만 수중 운영 관련 사항은 KIOST 부설 연구소인 선박해양플랜트연구소에서 보유한 내압시험 장치를 통해 KOLAS 인증을 획득함

표 3-28. 항만지역 선박탐지 및 내압시험 결과.

선박 탐지 및 내압 시험 결과	
측정 당시 조사선 주변 선박 이동경로	측정 대상 선박 정보
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국적 : 파나마</li> <li>- 선명 : LNG KOLT</li> <li>- 선종 : LNG 운반선</li> <li>- 톤수 : 100,189 톤</li> <li>- 길이 : 288.6 m</li> <li>- 선폭 : 44.04 m</li> </ul>
측정선박 실해역 해상 이동 사진	
연구선 및 측정선박 이동 경로	선박 탐지 결과
내압 시험 계류 모습	2차년도 개발 방향성 청음기 내압시험 결과





# 제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

## 제1절 목표 달성도

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준(측정산식 등)	달성치
최종목표	방향성 탐지용 수중청음기 시스템 상용품 개발 및 시스템 신뢰성 확보	센서 공간 배열 설계 및 제작	수중 센서부 물리적인 크기 (가로×세로 : 30cm×30cm미만)	20	환경센서 내장 및 입체 공간배열 국내 최초 설계	-물리적 크기 측정 (가로×세로 : 30cm×30cm미만) -설계반영 타당성 시험(수조시험을 통한 공간배열 적합성시험)	100% -배열설계 수조시험 검증 -물리적 사이즈 (직경×높이 : 21.4cm×22.3cm)
		공간배열 센서방수	수심 100 m 미만	20	국내 최초 설계된 소형공간배열센서 제작 및 방수 요건	IP68 (공인인증 시험) 자체 제작 압력 챔버 검증	100% IP68 공인인증 완료 (1차년도) KOLAS 공인인증완료 (2차년도)
		센서부 주파수 탐지 영역	50 - 10,000 Hz	10	선박 및 생물 탐지 주파수 영역, Ultra Electronics USSI사가 개발한 DIFAR 센서 기준	주파수 탐지 자료 제시 외부기관 시험 평가회의 (신호처리부와 음향센서부 연동을 통한 전기적인 음향신호 획득 및 주파수 탐지영역 데이터 제시)	97% 300-10,000Hz 범위 탐지 확인 외부기관 시험평가 회의
		신호처리부 방향성 탐지 정확도	± 5 °	30	세계 최고기술을 보유한 Ultra Electronics USSI사가 제작한 방향성 수중청음기 방위추정 각도 기준	자체시험 성적서 (음향수조)	80% 수조시험 및 해상시험을 통해 2,000-10,000Hz 방향성 탐지 정확도 ± 5° 이내 만족
		시험 성적서 및 검증 평가서	1회	20	개발 시스템 신뢰성 확보	실해역 시험평가 시험 기관 성적서 및 외부기관 시험평가회의 검증서 (특허 출원)	90% 시험평가 2회, 외부기관 평가 1회 (특허 미 출원)
1차년도 (2018년)	방향성 탐지용 수중청음기 센서부 개발	센서 공간 배열 설계 및 제작	수중 센서부 물리적인 크기 (가로×세로 : 30cm×30cm미만)	30	환경센서 내장 및 입체 공간배열 국내 최초 설계	설계반영 타당성 시험	100% 가로×세로 : 21cm×29cm (배열 설계 수조시험 완료)

		공간배열 센서방수	수심 100 m 미만	20	국내 최초 설계된 소형공간배열센 서 제작 및 방수 요건	IP68 (공인인증 시험) 자체 제작 압력 챔버 검증	100%  IP68 인증 및 실해역 75m시험
	신호처리 개발 및 방향성 탐지 평가	신호처리 현장 데이터 제시	2회	20	시스템 현장 적용 및 운용성	유효 데이터 획득 여부 (신호처리부와 음향센서부 연동을 통한 전기적인 음향신호 획득 및 주파수 탐지영역 데이터 제시)	100%  수조 및 해상 시험을 통한 유효 데이터 획득 완료
		방위추정 알고리즘 검증	$\pm 5^\circ$	30	기존 방위추정 알고리즘과 개발 알고리즘과 상호 비교	자체 검증	100%  수조 및 해상 시험을 통한 알고리즘 검증완료
2차년도 (2019년)	수중 청음기 상용품 개발	센서부, 케이블, 신호처리부 통합 장비 제시	1 대	50	설계 사양 및 기능 기준	사양 확인	100%  센서부 소형화 분리형 수중케이블 신호처리부 통합 GUI 소프트웨어 개발 완료
	방향성 탐지용 수중청음기 상용품 시스템 신뢰성 확보 및 평가	실해역 시험 평가	2 회	25	개발 시스템 신뢰성 확보	실해역 시험 평가 외부기관 시험 평가회의	100%  실해역 시험 평가 2회, 외부기관 평가1회 완료
		논문게재	1편	10	개발 시스템 활용	KCI 등재저널 이상	50%  학회 발표 2회
개발 장비의 수중 환경 성능 평가		수심 100 m 미만	15	수중 설치 센서의 방수 요건	시험 성적서 제출	100%  KOLAS 인증완료 (2020.01)	

---

## 제2절 관련 분야 기여도

### 1. 관련 분야 기술 개발 현황

- 방향성 수중청음기 중 특성이 제일 우수한 장비는 선배열 센서가 있으나 고비용 및 운용의 어려움으로 인해 민간분야에서 활용이 적음
- 방향성 탐지 관련 여러 가지 알고리즘 및 장비들이 개발되고 있으나 대부분 외산으로 고비용 및 유지보수의 어려움이 있고 현재까지는 상업적인 목적 보다는 연구 목적으로 개발 됨
- 방향성 수중청음기는 소형 탐지장치 분야에서 기존 외산 장비 대비 탐지 정확도가 상위 수준으로  $\pm 5^\circ$ 임
- 방향성 수중청음기 시스템 전체의 비용이 저렴하고 사용자 요구에 맞게 설계 변경이 용이한 것이 기존 장비 대비 우수하다고 판단됨
- 기존 장비와 달리 방향성 탐지 알고리즘 연구 분야에도 활용할 수 있어 이 분야의 연구 활동 활성화에 기여할 것으로 기대됨
- 모든 시스템을 통합하여 이동이 편리하고 비음향(수온, 수심, 방위)센서들을 통합하여 추가적인 장비 구입이 필요 없음(그림 4-1)

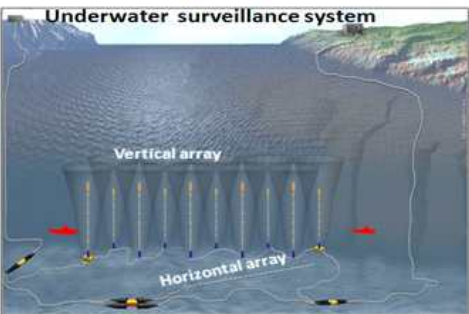
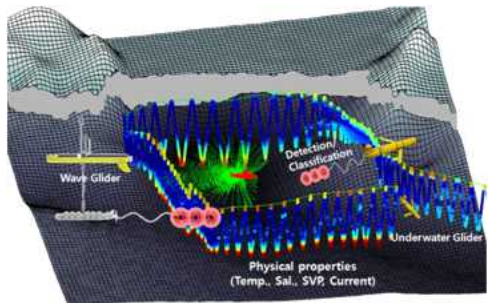


그림 4-1. 개발된 방향성 수중청음기 시스템.

### 2. 기존 기술 대비 우월성

- 기존 단일 수중청음기의 방향성 탐지에 대한 한계성을 극복할 수 있는 방향성 수중청음기 개발 - 복수의 그룹 빔 형성 기법을 이용한 수중음원 방향성 탐지방법 (2017. 10. 19 특허 출원, 10-207-0135907)
- 기존 해군에서 해저 고정형으로 활용되는 대형 방위 추정 배열센서를 대체할 수 있는 방향성 수중청음기 소형화 및 국산화 개발(표. 4-1)
- 저비용/소형화된 방향성 탐지 수중청음기 개발은 해양 포유류 시/공간 모니터링, 국제해사기구(IMO) 선박소음 오염원 규제에 대응하기 위한 선박의 소음원 준위 및 방향 모니터링 등 다양한 방향으로 연계될 수 있는 확장성이 있음

표 4-1. 관련분야 기술개발 비교.

	기존 : 대형 방위추정 배열 센서	본과제 : 소형 공간배열 방향성 수중침음기
운영 개념	 <p>Underwater surveillance system</p> <p>Vertical array</p> <p>Horizontal array</p>	 <p>Wave Glider</p> <p>Underwater Glider</p> <p>Detection/Classification</p> <p>Physical properties (Temp., Sal., SVP, Current)</p>
제작 비용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수백억 ~ 수천억</li> <li>• 고유지보수 비용 소요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수천만원 미만</li> <li>• 유지보수 비용 소요 절감</li> </ul>
측정 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원거리 탐지/식별/추적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 근거리 탐지/식별/추적</li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고정형으로 인한 제한된 구역 감시</li> <li>• 설치 후 이동 불가</li> <li>• 연구장비 활용 불가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무인체계 연동을 통한 광범위한 구역 탐사</li> <li>• 소형화로 인한 이동성 용이</li> <li>• 연구장비 활용 가능</li> </ul>

# 제5장 연구개발성과의 활용계획

## 제1절 연구개발 성과의 활용방안

### 1. 연구개발 성과의 활용분야 (공통)

- 현재 단일 수중청음기는 수중소음의 세기만 측정 가능하며, 수중음원의 방향성은 측정 불가하다. 방향성 수중청음기 시스템 개발을 통해 아래와 같이 수중 소음 및 해양 생태계 보호, 해양 공학 분야 등 폭 넓은 분야에서 활용 가능
  - 연안 및 원양의 수중소음에 대한 공간적 특성 파악에 활용
  - 연안 공사에 의해 발생하는 수중소음에 대한 연구에 활용
  - 수중음파 전달 등 순수 및 응용 연구에 활용
  - 국방 분야에서 수중 물체 탐지에 활용
  - 연안 해양 포유류 및 수산자원 등의 해양생태계 보호를 위한 수중소음 특성 해석에 활용
  - 소형의 방향성 탐지 수중청음기는 해상에서 운영 가능한 고정형(Buoy) 또는 이동형(무인자율주행체) 플랫폼과 연동하여 수상 및 수중을 이동하는 생물과 비생물 운동체의 시/공간적인 위치를 탐지하는 시스템으로 활용 가능 (그림 5-1)

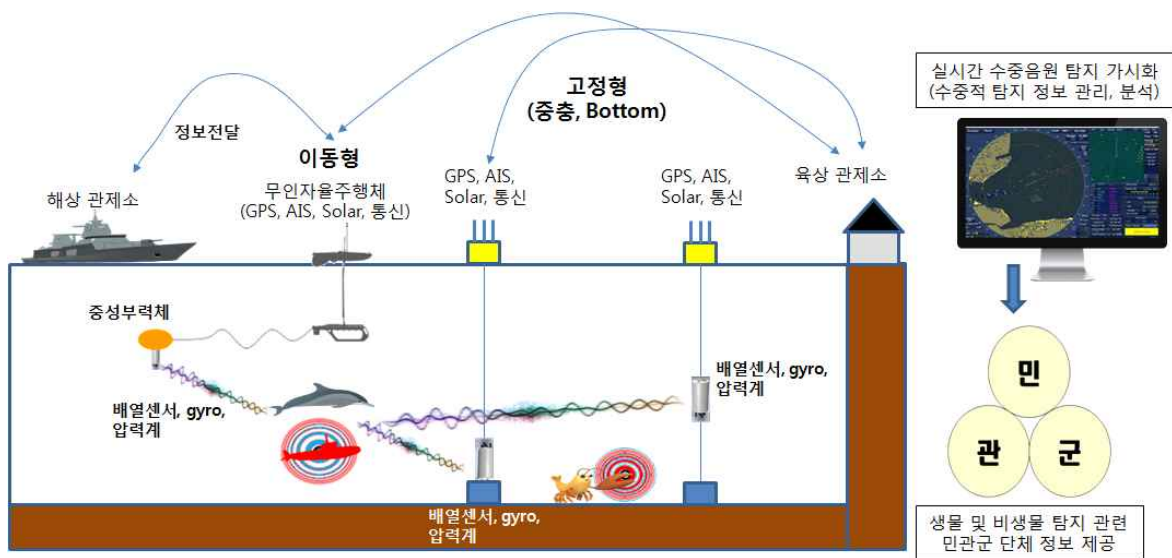


그림 5-1. 방향성 수중청음기의 활용 구성도 예.

### 2. 연구개발 성과의 활용분야 (에이더블테크놀로지 정상명)

- 일부 해양관련 기관에서 메모리 저장 방식 또는 케이블 확장 가능성에 대한 문의가 있었고 데이터 저장 기술과 방향성 탐지 기술을 융합하는 제품 개발에 활용 가능
- 방향성 탐지센서 배열 구조를 오픈형으로 제작하여 다양한 주파수 범위에서의 방향성 수중 청음기 시스템으로 활용 가능할 것으로 판단됨

- 
- 2,000 Hz 미만 탐지 정확도 개선을 위해 저주파 탐지 능력 개선 연구를 진행 중에 있으며 연구결과가 나오면 제품을 추가적으로 개선할 경우 활용 가능성 증대 기대

## 제2절 기대효과

- 기술적 측면
    - 기술 이전에 매우 제한적인 분야이므로 연구 개발 노하우를 활용한 장비 개발을 통해 상용품 개발로 전환
    - 기존 선형 하이드로폰이 가지는 무방향성 수중 탐지성 제한 극복
    - 해군 무기체계 등 고비용 구조의 선형 하이드로폰 운용 개선을 통한 활용 다양화
    - 수중 무기체계 탑재를 통한 AUV 활용 증대
  - 경제적·산업적 측면
    - 단일 하이드로폰 가격이 대략 1천만원으로 수입에 의존하고 있음. 방향성 추적 하이드로폰 가격은 군사용이 아닌 순수 연구용으로 제한했을 때 신호 처리부 포함하여 약 1억원임. 따라서, 국내 개발 가능시 산업적으로 크나큰 부가가치를 발생시킬 수 있음
    - 방향성 하이드로폰의 시장성은 국내 및 국제 모두 미개척 분야로 향후 해양음향 장비 분야에서 큰 시장을 형성할 것으로 예상되므로 원천기술 확보 및 실용화 제품을 개발한다면 산업적으로 큰 이익을 발생시킬 수 있음
    - 국내 국방 분야에서도 산업적으로 현재의 수 백억원의 선배열 센서 체계를 방향성 탐지 체계로 바꾼다면 무기체계 효율성을 제시할 수 있음
  - 사회적 측면
    - 해양 포유류의 시/공간적인 위치 파악 모니터링을 통해 해양 관광산업 활동을 가능케 하므로 국민 행복 달성에 이바지 할 수 있음
    - 방향성 수중청음기 국산화 개발을 통해 해양관련 연구기관 및 대학에서 다양한 형태의 연구 개념으로 확장 가능하며, 국가 기초과학 육성에 이바지 할 수 있음
-

## 제6장 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		■
결정 사유	2. 일반과제: 보안과제로 지정되지 아니한 과제	



## 제7장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치장소)	NTIS장비 등록 번호

# 제8장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

## [주식회사 에이더블테크놀로지]

- 실제 해상에서 설치 및 측정을 해야 하는 경우에 다소 발생될 소지가 있어 해양 안전 수칙을 준수해야 하며 항상 2인 1조로 업무 수행을 할 수 있도록 함
- 실제 해양에서 업무 수행할 경우 업무 수행일지를 작성 및 기입하고 업무 수행시에는 무선 연락 장비를 지참하게 하여 비상시 연락 체계를 구축하도록 함
- 정기적 안전교육 실시 (소방, 전기, 연구실 안전 교육)

## [한국해양과학기술원]

- 안전보건관리규정<1002> 제정 및 운영으로 연구실 및 연구원 안전 조치 이행 중
- 분기별 안전보건 교육 및 실시 및 관리 체계 구축

### 제 1 장 총 칙

제 1 조 목 적 .....	5
제 2 조 적용범위 .....	5
제 3 조 정 의 .....	5
제 4 조 안전·보건업무우선 .....	6

### 제 2 장 조직과 직무

제 5 조 기 구 .....	6
제 6 조 사고예방책임 .....	6
제 7 조 원 장 .....	6
제 8 조 안전보건관리 책임자 .....	6
제 9 조 안전보건관리부서장 .....	7
제10조 관리감독자 .....	7
제11조 안전관리자 .....	7
제12조 보건관리자 .....	8
제13조 안전담당자 .....	8
제14조 산업안전보건위원회 .....	8

### 제 3 장 안전관리

제15조 안전·보건교육 .....	9
제16조 관리책임자 등에 대한 교육 .....	9
제17조 유해·위험기계·기구 등의 방호조치 등 .....	9

제18조 성능보장 및 안전장치 .....	9
제19조 표지와 통보 .....	9
제20조 위험물의 저장 및 취급 .....	10
제21조 실험실 저장 제한 .....	10
제22조 작업승인 .....	10
제23조 위험물질의 구매통제 .....	10
제24조 폭발위험물의 관리 .....	10
제25조 고압전기 .....	11
제26조 화학물질 .....	11

## 제9장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 또는 중복)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	학회 발표	Influence of gassy sediments on low-frequency acoustic wave propagation in shallow water environments	KIOST	발표	USE2018 일본		2018.10.29		
2	학회 발표	Influence of Wind- and Ship-generated Sound on Ocean Ambient Noise in Shallow Water	KIOST	발표	USE2018 일본		2018.10.29		
3	학회 발표	방향성 탐지용 수중청음기의 해상시험 적용 연구	KIOST	발표	한국 음향학회 2019추계		2019.11.08		
4	학회 발표	수중음원 방향성 탐지를 위한 수중청음기 시스템 개발	AWT	발표	한국 음향학회 2019추계		2019.11.08		

## 제10장 기타 사항

---

해당사항 없음

---

## 제11장 참고 문헌

---

- Erbe, A. MacGillivray, and R. Williams, 2012: Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning, *J. Acoust. Soc. Am.* 132(5), EL423-428.
- Gervaise, F. Aulanier, Y. Simard, and N. Roy, 2015: Mapping probability of shipping sound exposure level, *J. Acoust. Soc. Am.* 137(6), EL429-435.
- R. Jackson and K. Y. Moravan, 1984: Horizontal Spatial Coherence of Ocean Reverberation, *J. Acoust. Soc. Am.*, 75(2), 428-436.
- Habets, 2007: Generating Sensor Signals in Isotropic Noise Fields, *J. Acoust. Soc. Am.*, 122(6), 3464-3470.
- Habets, 2008: Generating Nonstationary Multisensor Signals Under a Spatial Coherence Constraint, *J. Acoust. Soc. Am.*, 124(5), 2911-2917.
- Cox, 1973: Spatial Correlation in Arbitrary Noise Fields with Application to Ambient Sea Noise, *J. Acoust. Soc. Am.*, 54(5), 1289-1301.
- J. Buckingham and N. M. Carbone, 1997: Source Depth and the Spatial Coherence of Ambient Noise in the Ocean, *J. Acoust. Soc. Am.*, 102(5), 2637-2644.
- V. Trevorrow, B. Vasiliev and Svein Vagle, 2008: Directionality and maneuvering effects on a surface ship underwater acoustic signature, *J. Acoust. Soc. Am.*, 124(2), 767-778.
- F. McKenna, and D. Ross, S. M. Wiggins, and J. A. Hildebrand, 2012: Underwater radiated noise from modern commercial ships, *J. Acoust. Soc. Am.* 131(1), 92-103.
- B. Porter, and L. J. Henderson, 2013: Global ocean soundscapes, *Proc. Mtgs. Acoust.*, 19, 010050.
- B. Porter, and L. J. Henderson, 2014: Modeling ocean noise on the global scale. *Proc. Inter-noise*, 964-970.
- Gassmann, S. M. Wiggins, and J. A. Hildebrand, 2017: Deep-water measurements of container ship radiated noise signatures and directionality, *J. Acoust. Soc. Am.* 142(3), 15631574.
- J. Urick, 1983: *Principles of Underwater Sound*, 3rd ed., McGraw-Hill Book company, Chap. 7.
- S. Sloboda and M. A. Manness, 1983: Spatial Coherence in Semicircular Noise Fields, *J. Acoust. Soc. Am.*, 74(4), 305-310.
- C. Walker, 2012: A Model for Spatial Coherence from Directive Ambient Noise in Attenuating, Dispersive Medias, *J. Acoust. Soc. Am.*, 130(1), EL15-21.
- C. Walker, 2012: A Model for the Spatial Coherence of Arbitrarily Directive Noise in the Depth-Stratified Ocean, *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(5), EL 388-394.
- C. Walker, 2012: Spatial Coherence and Cross Correlation of Three-dimensional Ambient Noise Fields in the Ocean, *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(2), 1079-1086.

- 
- Usher, 1963: "Space-Time Correlation in Isotropic Noise Fields," J. Acoust. Soc. Am., 35, 1885.
  - S. Burdic, 1984: Underwater Acoustic System Analysis, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 322-360.
  - A. Kuperman and F. Ingenito, 1980: Spatial Correlation of Surface Generated Noise in a Stratified Ocean, J. Acoust. Soc. Am., 67, 1988-1996.
-

주 의

1. 이 최종보고서는 해양수산부에서 시행한 미래해양산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.