

BSPE99575-11592-10

방향성 탐지용 prototype 하이드로폰  
개발 및 해상 적용

Development & Field application of  
Prototype Hydrophone for Detecting Directivity

2018. 02. 08

한 국 해 양 과 학 기 술 원

# 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “방향성 탐지용 prototype 하이드로폰 개발 및 해상 적용”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 02. 28.

총괄연구책임자 : 조 성 호

참 여 연 구 원 : 강돈혁, 박지성, 김한수,  
김미라

## 보고서 초록

과제고유 번호	PE99575	해당단계 연구기간	2017.03.01.-2017.12.31	단계 구분	1 / 1
연구사업명	중사업명	창의연구사업			
	세부사업명	방향성 탐지용 prototype 하이드로폰 개발 및 해상 적용			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명				
연구책임자	조 성 호	해당단계 참여연구원수	총 : 5 명 내부: 2 명 외부: 3 명	해당단계 연구비	정부: 50,000 천원 기업: 천원 계 : 천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 명 내부: 명 외부: 명	총 연구비	정부: 천원 기업: 천원 계 : 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 해양방위연구센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	49
<p>I. 방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발</p> <p>1. 수중음의 방향성 탐지를 위한 선행 연구 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 및 국외에서 개발된 수중음원 방향성 탐지 장비에 대한 개발 수준을 제시하고, 본 연구를 통해 prototype의 방향성 청음기를 제작하는 제작 방향성을 수립함</li> </ul> <p>2. 수중음의 방향성 탐지를 위한 수치 해석 알고리즘 수립</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 복수의 센서를 소형 공간 내에 자율적으로 배열하여 수중음원의 방향성을 탐지하는 수중음원 방향성 탐지 방법을 개발함</li> <li>○ 복수의 그룹 빔 형성 기법을 이용한 수중음원 방향성 탐지 방법을 개발하여 수중 표적 탐지 알고리즘을 확보함</li> <li>○ 2D(평면) 및 3D(공간)상에 배열된 센서의 조합을 이용한 빔형성 기법 적용으로 방향성 탐지 성능 개선함</li> <li>○ 공기중에서 음원의 방향성을 추정하는 수치해석 알고리즘 검증 시험 실시</li> </ul> <p>3. Prototype 하이드로폰 시제품 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소형 공간에 배열된 하이드로폰의 신호를 수신하고 수중에서 발생하는 음원의 방위를 추정하는 prototype의 시제품 제작을 실시함</li> <li>○ 무지향성 하이드로폰 5개 채널을 이용한 방향성 하이드로폰 제작</li> <li>○ 수중음원 방향성 탐지 하이드로폰 자료처리 KIT 제작</li> </ul>					

## II. 개발한 prototype 하이드로폰의 실험실 및 해상 평가

### 1. 실험실에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석

- KIOST내 위치한 수조에서 음원의 방향성을 추정하는 검증 시험 실시. 전체 9개의 측정 지점에서 방향성 탐지 시험 실시함
- 전체 9개의 측정 지점에서 주파수 8, 16, 20 kHz, 음원길이 0.5 ms의 CW 펄스 신호 발생. 십자 형태로 배치된 4개의 하이드로폰 배열에 수신된 음향자료를 이용하여 그룹 빔형성(GBF) 기법 적용
- 대부분의 방향성 추적에서  $\pm 7^\circ$  미만의 오차 범위 내에서 방향성 탐지 능력을 보여 해양에서 적용 가능성을 파악

### 2. 실험실에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석

- KIOST의 연구 기반 시설인 통영해상과학기지를 활용하여 해상에서 음원의 방향성을 추정하는 수치해석 알고리즘 실험실 적용 시험 실시
- 전체 5개의 고정점 시험에서 4개의 하이드로폰에 수신된 CW신호에 대한 주파수별 방위 추정 시험 실시
- 선박 기동에 따른 수중 음원에 대한 시험 평가를 실시하였으며, 수중 계류한 수중 스피커에서 돌고래 음원 신호의 방향성 측정 시험 평가
- 선박 소음에 GBFW를 적용하여 도출한 음원 방위 추정 결과는 선박의 이동 경로를 추적함을 검증함

색인어 (각 5개 이상)	한 글	방향성 수중음, 하이드로폰, 해군 무기체계, 방향성 탐지, 시제품 개발
	영 어	Directional underwater sound, Hydrophone, Navy combat system, Bearing estimation, Prototype development

# 요 약 문

## I. 제 목

방향성 탐지용 prototype 하이드로폰 개발 및 해상 적용

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 필요성

- 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
- 해당 기술은 타 수중연구 탑재체(무인 자율비행체)와 연동시 수중음의 공간특성 파악에 큰 기술적 진전을 제공할 수 있음

### 2. 연구개발의 목적

- 국제적으로 도입이 어렵고, 국내에서도 기술 교류가 불가능한 수중 방위 측정용 하이드로폰 자체 개발을 위한 핵심 선행 연구 수행
- Prototype의 방향성 청음기 연구 및 개발을 통한 해양 장비 개발 노하우 보유

## III. 연구개발의 내용 및 범위

### 1. 연구기간

2017.03.01. ~ 2017.12.31.

### 2. 연구개발의 내용 및 범위

#### 가. 방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발

- 수중음의 방향성 탐지를 위한 선행 연구 분석
- 수중음의 방향성 탐지를 위한 수치 해석 알고리즘 수립
- Prototype 하이드로폰 시제품 제작

#### 나. 개발한 prototype 하이드로폰의 실험실 및 해상 평가

- 실내 수조에서의 선형 하이드로폰과 시제품 제작품의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석
- 실험실에서 선형 하이드로폰과 시제품 제작품의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석

### IV. 연구개발결과

#### 1. 방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발

##### 가. 수중음의 방향성 탐지를 위한 수치 해석 알고리즘 수립

- 복수의 그룹 빔 형성 기법을 이용한 수중음원 방향성 탐지
- 2D 및 3D 공간상에 배열된 센서의 조합을 이용한 수중음원 방향성 탐지 방법 적용
- KIOST내 위치한 테니스장을 활용하여 공기중에서 음원의 방향성을 추정하는 수치해석 알고리즘 검증 시험 실시
- 본 과제를 통해 개발된 방향성 탐지 알고리즘이 소음의 방향성을 탐지하는 것을 확인함

##### 나. Prototype 하이드로폰 시제품 제작

- 소형 공간에 배열된 하이드로폰의 신호를 수신하고 수중에서 발생하는 음원의 방향을 추정하는 prototype의 시제품 제작을 실시함
- 본 과제를 통해 제작된 시제품은 데이터 획득 장치 및 신호처리부로 구성됨
- 무방향성 하이드로폰 5개 채널을 이용한 방향성 하이드로폰 제작
- 수중음원 방향성 탐지 하이드로폰 자료처리 KIT 제작

#### 2. Prototype 하이드로폰의 실험실 및 해상 평가

##### 가. 실내 수조에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석

- 수조 시험 평가는 KIOST 내 수조(6.3×4.8×4.3 m) 내에서 수행함
- 전체 9개의 측정 지점에서 주파수 8, 16, 20 kHz, 음원길이 0.5 ms의 CW 펄스 신호 발생
- 십자 형태로 배치된 4개의 하이드로폰 배열에 수신된 음향자료를 이용하여 그룹 빔형성(GBF) 기법 적용
- 본 과제를 통해 개발된 방향성 탐지 알고리즘이 실내 수조에서 실시한 음향시험에서 소음의 방향성을 탐지하는 것을 확인함

#### 나. 실험에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석

- 수중에서의 방향성 탐지 성능 평가를 위한 해상 시험은 KIOST 통영해양과학 기지에서 선박 음원을 이용하여 수행함
- 전체 5개의 고정점 시험에서 4개의 하이드로폰에 수신된 CW신호에 대한 주파수별 방위 추정시험으로 개발 알고리즘을 검증함
- 선박 기동에 따른 수중 음원에 대한 시험 평가를 통해 본 과제를 통해 개발된 방위추정 알고리즘의 해상 적용성을 검증함

### V. 연구개발결과의 활용계획

- 해양수산부, 중소벤처기업부 등의 실용화 과제 신청을 통한 장비 개발 관련 국가 R&D 과제로 확대 (해양장비 개발 및 인프라 구축 사업 등)
- 중소기업 기술 이전으로 산·연 공동 과제 신청을 통한 상용품 개발
- 음향을 이용한 해양포유류 분포 연구 제안으로 연안 생태계의 수중소음 특성 연구에 활용

# S U M M A R Y

## I . Title

Development & Field application of Prototype Hydrophone for Detecting Directivity

## II. Necessaries and objective of the Study

### 1. Necessaries of the study

- Measurement of the underwater noise level and bearing estimation of marine organisms are important technologies in terms of marine mammal protection
- Unlike national defense, it is difficult to estimate the direction of underwater targets by using a lot of hydrophones in the private sector where the input budget is insufficient. However, if directional hydrophones can be used, the utilization will be increased in various research aspects
- Development of the directional hydrophones can provide great technical advances in understanding the spatial distribution characteristics of underwater sound in conjunction with other underwater research payloads (unmanned aerial vehicles).

### 2. Objectives of the study

- Carrying out core research for the development of directional hydrophone for underwater bearing estimation, which is difficult to get the introduction of technology internationally and can not exchange technology in Korea
- Acquiring the know-how on marine equipment development through Prototype's directional hydrophone research

## III. Contents and scopes of the study

### 1. Research period



March 1 2017 ~ December 31 2017

## **2. Contents and scopes of the study**

### **A. Development of a prototype of directional hydrophone for bearing detection**

- Preliminary study for directional detection of underwater sound
- Establishment of numerical analysis algorithm for directional detection of underwater sound
- Development of a prototype of directional hydrophone

### **B. Laboratory and marine test of the developed prototype hydrophone**

- Measurement and analysis of directional detection performance of hydrophone and prototype products in indoor water tank
- Measurement and analysis of directional detection performance of hydrophone and prototype products in the sea area

## **IV. Result**

### **1. Development of a prototype of directional hydrophone for bearing detection**

#### **A. Establishment of numerical analysis algorithm for directional detection of underwater sound**

- Directional detection of underwater sounds using multiple Grouped Beamforming (GBF) techniques
- Application of directional detection method of underwater sounds using combination of sensors arranged in 2D and 3D space
- Verification test of numerical analysis algorithm that estimates direction of sound source in air using tennis court located in KIOST
- We confirmed that the directional detection algorithm developed through this task detects the directionality of noise

#### **B. Development of a prototype of directional hydrophone**

- Prototype system of directional hydrophone that records the signal of hydrophones arranged in a small space and estimates the direction of a sound source generated in the water is implemented.

- The prototype manufactured by this project consists of data acquisition device and signal processing part
- Producing the directional hydrophones using five channels of non-directional hydrophones
- Production of software KIT for hydrophone data processing for the purpose of bearing estimation of underwater sound

## **2. Laboratory and marine test of the developed prototype hydrophone**

### **A. Measurement and analysis of directional detection performance of hydrophone and prototype products in indoor water tank**

- The water tank test was carried out in a tank ( $6.3 \times 4.8 \times 4.3$  m) located in the KIOST
- CW pulse signals of 8, 16, and 20 kHz are transmitted from all 9 measurement points and pulse length 0.5 ms is transmitted from the source
- Applying the grouped beam forming (GBF) technique to acoustic data received from four hydrophone arrays arranged in a cross shape
- From the bearing estimation test conducted in the water tank, we confirmed that the directional detection algorithm developed through this task detects the directionality of the sound source

### **B. Measurement and analysis of directional detection performance of hydrophone and prototype products in the sea area**

- The real sea experiment for evaluating the bearing estimation performance was conducted using the ship sound source at the Marine Research Center (MRC) of KIOST
- In five known fixed-point, the developed algorithm was verified by applying the frequency-based bearing estimation for CW signals received on four hydrophones
- From the bearing estimation test conducted in the real sea experiment, we confirmed that the directional detection algorithm developed through this task detects the directionality of the sound source according to ship moving

## V. Application plans of the results of the study

- Expanded to national R&D tasks related to equipment development through applications for commercialization such as the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries and the small and venture business (marine equipment development, infrastructure construction, etc.)
- Development of products through application of joint projects by industry and academia in connection with technology transfer to the small and venture business
- A study on the distribution of marine mammals using underwater acoustic is proposed to investigate underwater noise characteristics of coastal ecosystem

# 목 차

요 약 문 .....	iv
S U M M A R Y .....	vii
제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구개발의 필요성 .....	1
1. 연구의 민간·산업·국방적 필요성 .....	1
가. 민간적 측면 .....	1
나. 산업적 측면 .....	1
다. 국방적 측면 .....	1
제 2 절 연구개발 목표 및 내용 .....	3
1. 연구개발의 목표 .....	3
2. 연구개발 세부목표 및 내용 .....	3
3. 연구개발 추진전략·방법 및 추진체계 .....	4
가. 연구개발 추진전략·방법 .....	4
나. 연구개발 추진체계 .....	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	5
제 1 절 국내 연구 동향 .....	5
제 2 절 국외 연구 동향 .....	5
제 3 절 현재까지 국내 연구개발 현황 및 수준 .....	6
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	7
제 1 절 방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발 .....	7
1. 수중음의 방향성 탐지를 위한 선행 연구 분석 .....	7
2. 수중음의 방향성 탐지를 위한 수치 해석 알고리즘 수립 .....	8
3. Prototype 하이드로폰 시제품 제작 .....	17
제 2 절 Prototype 하이드로폰의 실험실 및 해상 평가 .....	19
1. 실내 수조에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석 .....	19
2. 실험에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석 .....	23

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도 .....	28
제 1 절 연구개발 목표 달성도 .....	28
1. 연구기간 내 연구내용 대비 달성율(%) .....	28
2. 정량적 목표 달성도 .....	29
제 2 절 대외기여도 .....	31
1. 기술적 측면 .....	31
2. 경제·사회적 측면 .....	31
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....	32
제 1 절 연구 결과물의 활용성 .....	32
제 6 장 참고문헌 .....	33

## 표 목 차

표 1. 공기중에서 충격소음을 발생시킨 실측 방위와 GBF를 적용하여 측정된 방위 .....	13
표 2. KIOST 수조에서 송신된 수중음원의 실측 방위와 GBF를 적용하여 측정된 방위 .....	20
표 3. KIOST 수조에서 송신된 수중음원의 실측 방위와 GBFW를 적용하여 측정된 방위 .....	22

# 그 립 목 차

그림 1. 단일 vs. 방향성 하이드로폰 수중음원 신호 측정 예. ....	2
그림 2. 방향성 하이드로폰 적용 가능한 수상/수중 무인자율비행체 예. ....	2
그림 3. 방향성 탐지용 prototype 하이드로폰 개발 및 해상 적용을 위한 추진체계. ....	4
그림 4. 국외에서 개발된 방향성 청음기 예. ....	6
그림 5. 최근 국외에서 개발된 방향성 하이드로폰 형상. ....	7
그림 6. KIOST 도입한 Wave glider와 방향성 하이드로폰. ....	8
그림 7. 수중음원 방향성 탐지 수치 해석 알고리즘 모식도. ....	8
그림 8. 수중 음원 방향성 추정을 위한 복수의 그룹 빔 형성 기법의 적용 순서도. ....	9
그림 9. 3차원 공간상에 배열된 7개 센서 및 기존의 빔 형성 및 그룹 빔 형성 결과. ....	10
그림 10. 주파수 1 kHz에서 7개 센서를 이용한 기존의 빔 형성 및 그룹 빔 형성 결과. ....	11
그림 11. 육상에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 모식도. ....	12
그림 12. 육상 시험 (a) 음원 송신부, (b) 수신부 및 © 측정된 음원 신호 예. ....	12
그림 13. 육상에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 결과(A - H 지점). ....	14
그림 14. 육상에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 결과(계속, I - P 지점). ....	15
그림 15. 육상에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 결과(계속, Q - X 지점). ....	16
그림 16. 방향성 탐지 하이드로폰 시제품 설계 형상 및 구성 블록도. ....	17
그림 17. 방향성 탐지 prototype 하이드로폰 시제품 형상. ....	18
그림 18. 방향성 탐지 prototype 하이드로폰 자료 모니터링 Kit 프로그램. ....	18
그림 19. 수조에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 모식도. ....	19
그림 20. 수조 시험 (a) 음원 송신부, (b) 수신부 및 (c) 측정된 음원 신호 예. ....	19
그림 21. 수조에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘(GBF) 검증 시험 결과. ....	21
그림 22. 수조에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘(GBFW) 검증 시험 결과. ....	22
그림 23. 해상시험을 실시한 통영해상과학기지의 위치 및 전경. ....	23
그림 24. 해상 시험 음원 송신부, 수신부 및 음원 신호 예. ....	23
그림 25. 해상에서 고정점 및 선박 기동에 따른 방향성 탐지 시험 모식도. ....	24
그림 26. 그림 10의 송신기 위치 Pos1(방위각 0°)에서 주파수별 방위 추정 결과. ....	25
그림 27. 선박 기동음원 음향 시험 조사선 및 수중스피커 계류 모습. ....	26
그림 28. 방향성 탐지 하이드로폰에 수신된 선박소음 그룹빔 형성기법 적용 결과. ....	26
그림 29. 방향성 탐지 하이드로폰에 수신된 돌고래 음원 신호의 그룹빔 형성기법 적용 결과. ....	27
그림 30. IMO 대응 포유류 및 선박소음 준위 방향성 모니터링 측정에 활용. ....	32

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구개발의 필요성

### 1. 연구의 민간·산업·국방적 필요성

#### 가. 민간적 측면

- 해양 생물 소음, 연안 항만 건설에 따른 수중소음, 해양 포유류 보호 측면에서 수중 소음 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

#### 나. 산업적 측면

- 단일 하이드로폰은 전 세계 수중음 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)

#### 다. 국방적 측면

- 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
- 해군 무기 체계의 비용 절감, 작전 개념 향상 및 운용성 향상 측면에서 방향성 측정 하이드로폰 이론 정립 및 개발은 중요한 기술 개발 요소임
- 해당 기술은 타 수중연구 탑재체(무인 자율비행체)와 연동시 수중음의 공간특성 파악에 큰 기술적 진전을 제공할 수 있음 (그림 2)



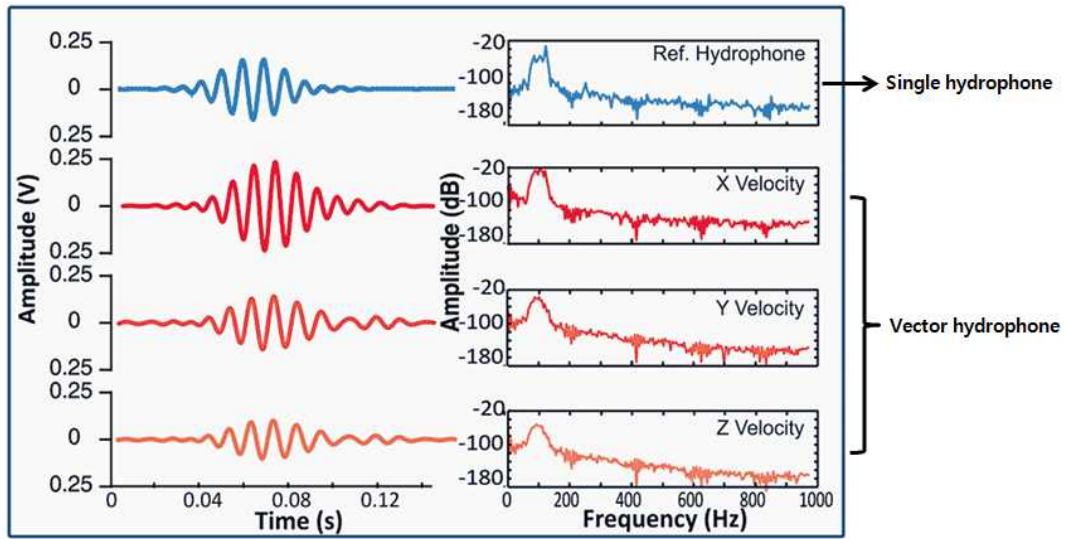


그림 1. 단일 vs. 방향성 하이드로폰 수중음원 신호 측정 예.

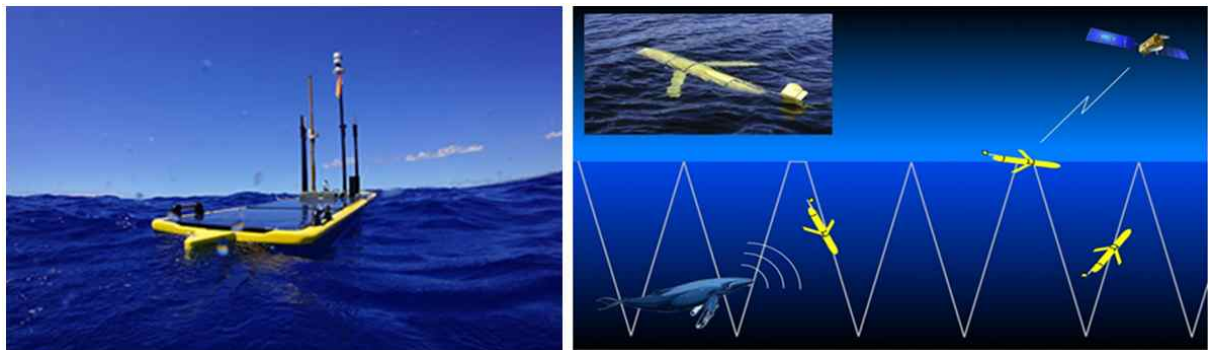


그림 2. 방향성 하이드로폰 적용 가능한 수상/수중 무인자율비행체 예.

## 제 2 절 연구개발 목표 및 내용

### 1. 연구개발의 목표

구 분	내 용
최종목표	수중 소음 및 수중 표적 신호의 방향성 탐지를 위한 prototype 청음기 (hydrophone) 시제품 개발 및 해상 평가
최종목표 설정근거	○ 국제적으로 도입이 어렵고, 국내에서도 기술 교류가 불가능한 수중 방위 측정용 하이드로폰 자체 개발을 위한 핵심 선행 연구 수행 ○ Prototype 청음기 연구 및 개발을 통한 해양 장비 개발 노하우 보유
세부목표	○ 방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수중음의 방향성 탐지를 위한 선행 연구 분석</li> <li>- 수중음의 방향성 탐지를 위한 수치 해석 알고리즘 수립</li> <li>- Prototype 하이드로폰 시제품 제작</li> </ul> ○ 실험실 및 해상 평가 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실내 수조에서의 선형 하이드로폰과 시제품 제작품의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석</li> <li>- 실험실(통영해양과학기술기지, 포항 주변해역)에서의 선형 하이드로폰과 시제품 제작품의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석</li> </ul>

### 2. 연구개발 세부목표 및 내용

해당연도 연구개발 목표	방향성 탐지용 prototype 하이드로폰 개발 및 해상 적용
-----------------	------------------------------------

세부 성과목표	세부 연구개발 내용 및 범위
방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발	- 수중음의 방향성 탐지를 위한 선행 연구 분석 - 수중음의 방향성 탐지를 위한 수치 해석 알고리즘 수립 - Prototype 하이드로폰 시제품 제작
개발한 prototype 하이드로폰의 실험실 및 해상 평가	- 실내 수조에서의 선형 하이드로폰과 시제품 제작품의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석 - 실험실(통영해양과학기술기지, 포항 주변해역)에서의 선형 하이드로폰과 시제품 제작품의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석

### 3. 연구개발 추진전략 · 방법 및 추진체계

#### 가. 연구개발 추진전략 · 방법

- 연구개발의 목표 달성 및 추진 전략
  - 선행 연구 분석 : KIOST 연구진 및 국내 전문가를 활용한 분석 및 협력 체계 활용(센서 제작 분야 초청세미나 및 전문가 활용으로 기술 적용)
  - 수치 해석 알고리즘 분석 : KIOST 연구진 및 국내 전문가를 활용한 분석 및 협력 체계(국내 대학 연구진 방문을 통한 기술 활용)
  - 시제품 제작 : 국내 장비 제작업체에 하드웨어 제작 및 기구물 제작 [(주)AWT] 자료처리 핵심 알고리즘 KIOST에서 제공(외부 미공개 조건, 특허 출원으로 기술 보호)
  - 해상 시험 평가 : 통영해상과학기지에서 1차 시험을 수행했으며, 2차 시험은 포유류 분포지인 포항 연안에서 12 월에 2차 시험 수행

#### 나. 연구개발 추진체계

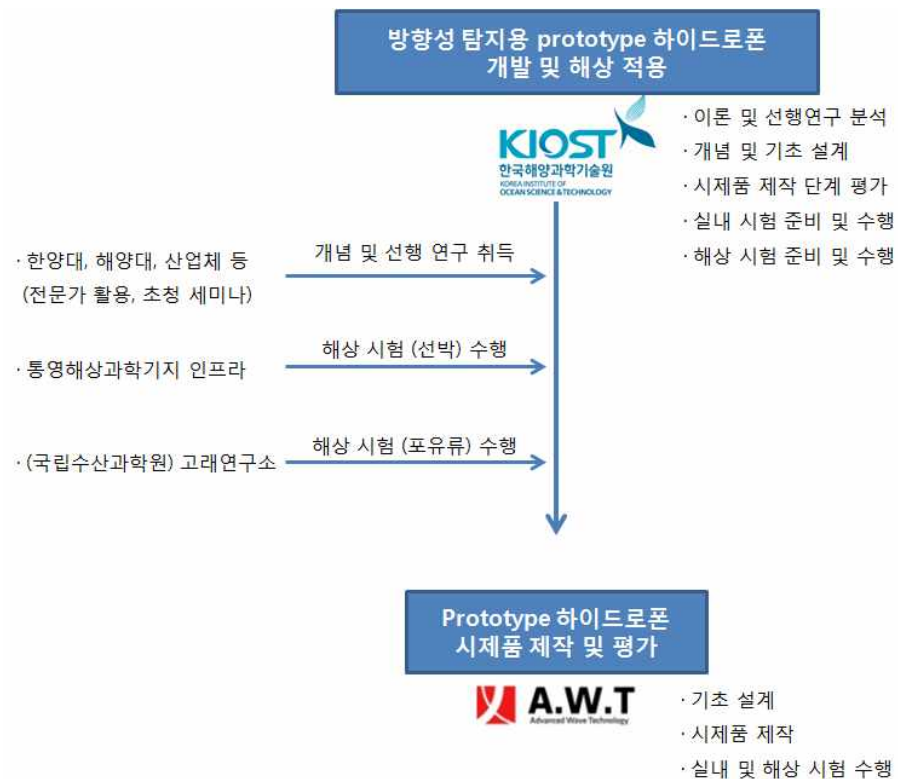


그림 3. 방향성 탐지용 prototype 하이드로폰 개발 및 해상 적용을 위한 추진체계.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내 연구 동향

- 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 무방향성 하이드로폰을 연결하여 방향성 추정 알고리즘을 연구하나 장비 제작까지는 진행하지 못하고 있음
- 해양과학기술원은 국외에서 무인자율비행체와 연동된 방향성 하이드로폰을 도입함. 하지만 방향성 하이드로폰의 수중 표적 방향 탐지를 위한 내부 알고리즘은 기술 이전을 받지 못한 상태로 해양에서 운영성 평가 위주로 활용

### 제 2 절 국외 연구 동향

- 현재 방향성 탐지를 위한 방향성 청음기 개발에 기술적으로 완성도를 이루고 있는 나라는 미국, 중국, 영국, 터키, 네덜란드 등 해군 무기체계가 발전한 나라들이나 기술 교류 혹은 센서 기술 이전 등은 매우 어려운 상태임
- 네덜란드 Microflown사는 수중에서 발생하는 소음의 방향성 탐지 및 추적이 가능한 소형의 벡터센서를 개발하였으나, 자체적인 기술 개발을 통한 노하우에 대한 교류가 불가하며 센서의 국내 수입 또한 불가함 [그림 4(a)]
- 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 [그림 4(b)]
- 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 [그림 4(c)]



그림 4. 국외에서 개발된 방향성 청음기 예. (a) Microflown사가 개발한 방향성 수중청음기, (b) Ultra Electornics사가 개발한 sonobuoy, (c) 중국에서 개발한 MEMS형 방향성 수중청음기 예.

### 제 3 절 현재까지 국내 연구개발 현황 및 수준

- 국내에서 방향성 탐지관련 수중 음향센서 개발은 한국해양과학기술원, 국방과학연구소, (주)한화와 같이 정부출연연구소 또는 방위사업체에서 주도하고 있으며, 일부 대학에서 수중음원 방향성 탐지 알고리즘에 대한 연구를 진행하고 있음
- 한국해양과학기술원은 연구용 형태의 소형 공간배열센서를 자체적으로 제작하여 육상, 실험실 규모의 수조시험 및 실해역 해상시험을 통해 수중음원의 방위를 추정하는 알고리즘에 대한 특허를 본 연구를 통해 확보 하였음
- 국방과학연구소에서 개발된 음향 벡터 센서는 수중에서 발생하는 음압을 섬모형 소자에 수신되는 전기적인 신호를 통해 방향성을 감지하는 방법을 채택함
- (주)한화에서 개발한 벡터 하이드로폰은 수중 신호에 대한 x, y, z 방향의 가속도를 이용하여 방향성을 탐지하는 알고리즘으로 본 과제에서 구현하는 방향 탐지 알고리즘과는 상이함
- TRL (기술 성숙도; Technology Readiness Levels) 기준으로 국외 선진국의 경우 약 7-8 수준, 국내의 경우 6 수준으로 판단됨

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발

#### 1. 수중음의 방향성 탐지를 위한 선행 연구 분석

- 수중에 소리를 측정하는 기본 장비는 하이드로폰으로 2,000년 이후 방향성 추적이 가능한 벡터 하이드로폰 개념이 제안되었고, 각 국에서는 해양 방위 목적의 방향성 하이드로폰 개발을 착수함 (그림 5)
- 수중의 표적 탐지 및 추적에 장점이 있어 다양한 기술 개발이 이루어지고 있음에도 각국에서 보안 및 비밀 장비로 연구 활용에 제한됨
- 현재 기술적으로 완성도를 이루고 있는 나라는 미국, 중국, 영국, 터키, 네덜란드 등 해군 무기체계가 발전한 나라들이나 기술 교류 혹은 센서 기술 이전 등은 매우 어려운 상태임



그림 5. 최근 국외에서 개발된 방향성 하이드로폰 형상.

- 국내에서는 국방과학연구소가 선행 연구 측면으로 방산업체 혹은 대학의 위탁연구로 개발이 진행되고 있으나 기술의 완성도 및 활용성에 대해서는 보안으로 분류되어 기술 접근이 불가능함
- 해양과학기술원은 국외에서 무인자율비행체와 연동된 방향성 하이드로폰을 도입함. 하지만 방향성 하이드로폰의 수중 표적 방향 탐지를 위한 내부 알고리즘은 기술 이전을 받지 못한 상태로 해양에서 운영성 평가 위주로 활용 중임 (그림 6)

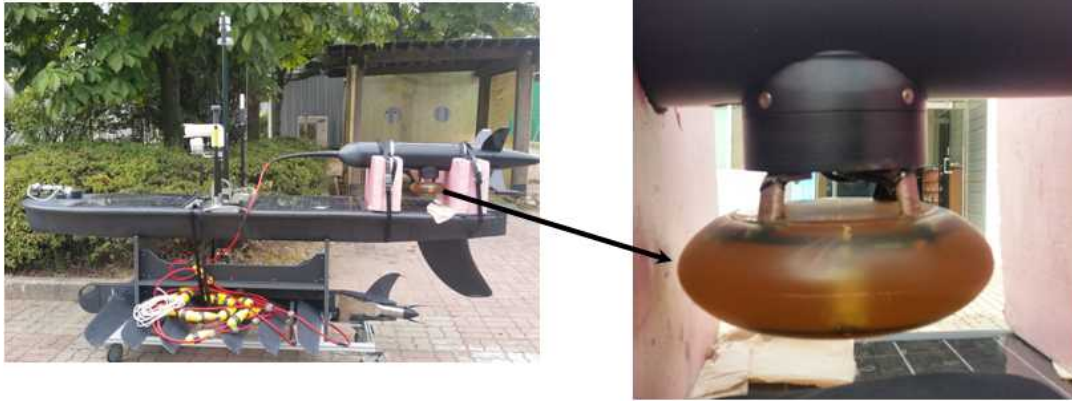


그림 6. KIOST 도입한 Wave glider와 방향성 하이드로폰.

## 2. 수중음의 방향성 탐지를 위한 수치 해석 알고리즘 수립

- 복수의 센서를 소형 공간 내에 자율적으로 배열하여 수중음원의 방향성을 탐지하는 수중음원 방향성 탐지 방법 (그림 7)
  - 복수의 그룹 빔 형성 기법을 이용한 수중음원 방향성 탐지
  - 2D(평면) 및 3D(공간)상에 배열된 센서의 조합을 이용한 빔형성 기법 적용
  - 그림 7은 수중음원 방향성 탐지 수치 해석 알고리즘의 적용 예

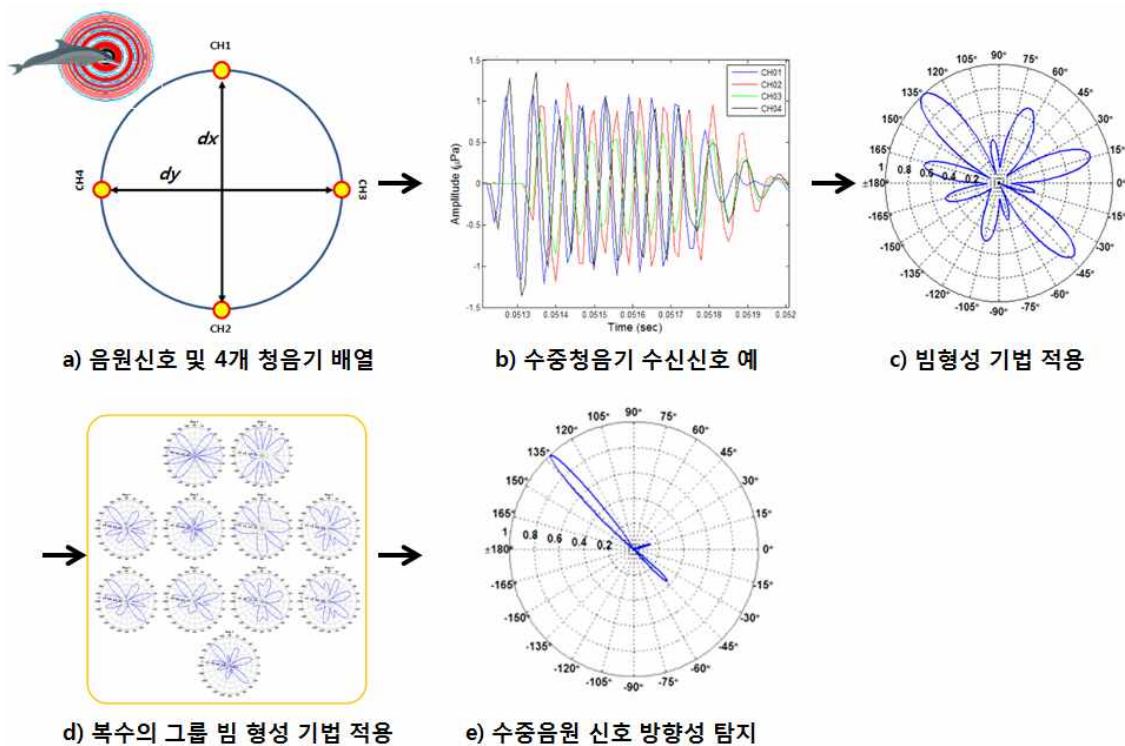


그림 7. 수중음원 방향성 탐지 수치 해석 알고리즘 모식도.

- 복수의 그룹 빔 형성 기법을 이용한 수중음원 방향성 탐지 방법 (그림 8)
  - 기존의 탐지 주파수에 한계성을 극복하는 수치해석 알고리즘 수립
  - 기존의 빔 형성(Conventional Beam-Forming, CBF) 기법에 비해 탐지 성능 및 방위 정확도를 향상시킬 수 있는 그룹 빔 형성(Grouped Beam-Forming, GBF) 기법 수립 (그림 8)

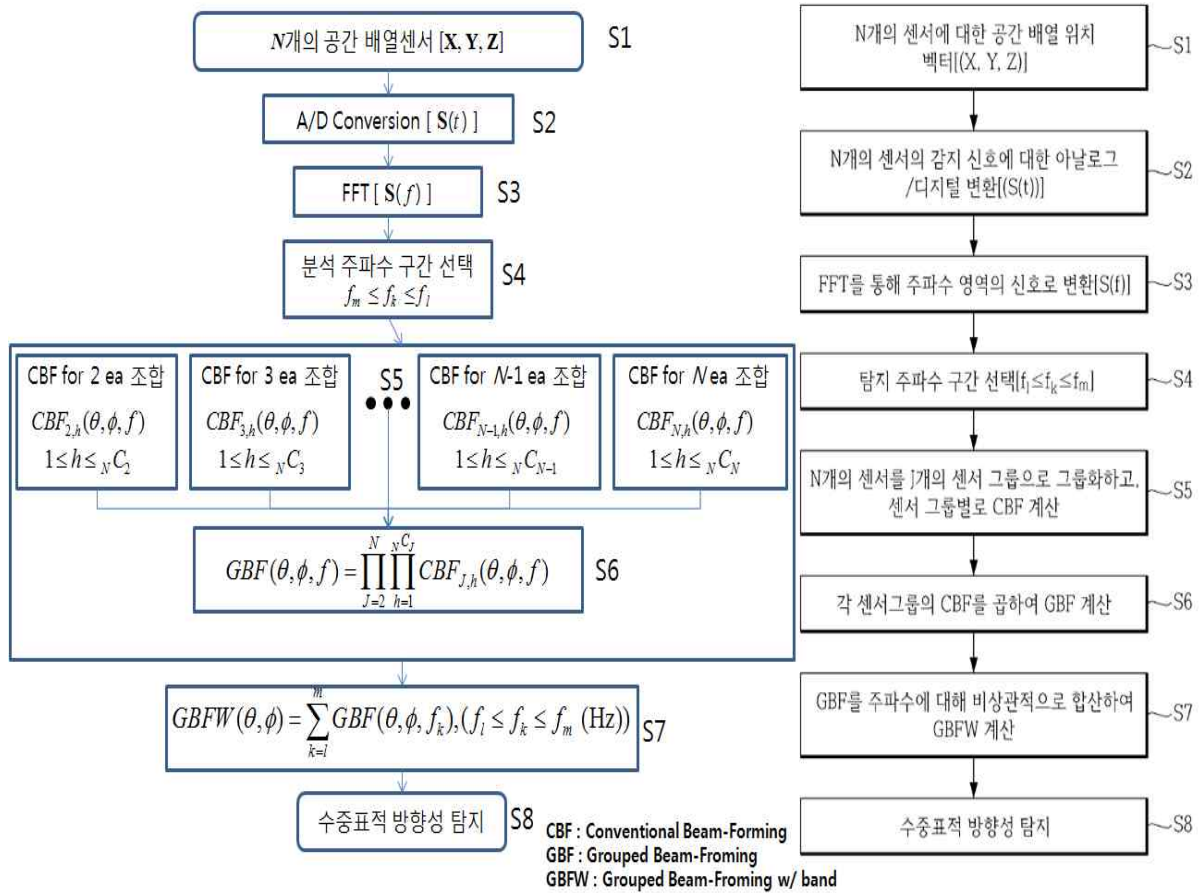


그림 8. 수중 음원 방향성 추정을 위한 복수의 그룹 빔 형성 기법의 적용 순서도.



- 3차원 공간상에 배열된 센서의 조합을 이용한 수중음원 방향성 탐지 방법 (그림 9)
- 3차원의 공간상에 7개의 하이드로폰 배치를 통해 수치 해석 알고리즘 성능 평가

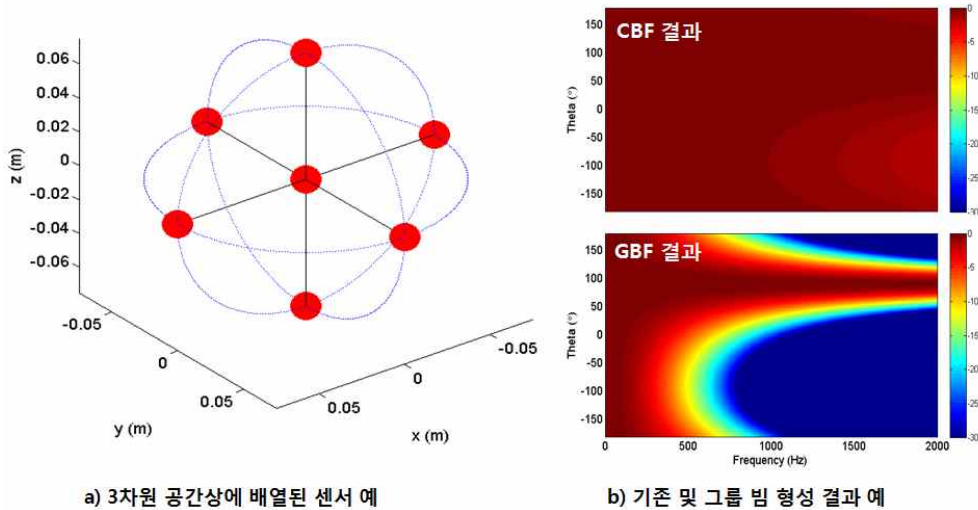


그림 9. 3차원 공간상에 배열된 7개 센서 및 기존의 빔 형성 및 그룹 빔 형성 결과.

- 전체 7개의 센서를 이용하여 2, 3, 4, 5, 6, 7개의 센서 그룹으로 조합되는 빔 형성 조합은 120개이며, 이들 조합을 고려한 GBF 기법 적용시 CBF에 비해 방위탐지 성능이 향상됨
- 90° 방향에 수중음원이 있다고 가정시 CBF 결과에서는 0 - 2 kHz 까지 음원의 방향성 탐지 정확도가 모호하지만, GBF 결과는 90°에 위치한 수중음원 방향을 보다 정확하게 탐지함
- 그림 10은 북쪽 방향에 수중음원이 있다고 가정 하였을 때 주파수 1 kHz에서 CBF 기법과 GBF 기법을 이용하여 수중에 음원의 방향을 3차원 공간상에서 추정 한 결과임. CBF 결과는 북쪽에 존재하는 음원의 방향을 추정하나, 타 방위에서도 수중의 음원이 존재 하는 것으로 모호한 결과가 도출되지만 GBF 결과에서는 북쪽에 존재하는 음원의 방향을 정확하게 탐지함
- 또한 단일의 주파수 성분이외에 주변의 주파수 밴드를 동시에 이용하는 GBFW기법을 이용하면 단일 주파수에 적용되는 GBF보다 방향성 추정 정확도가 향상됨을 확인함

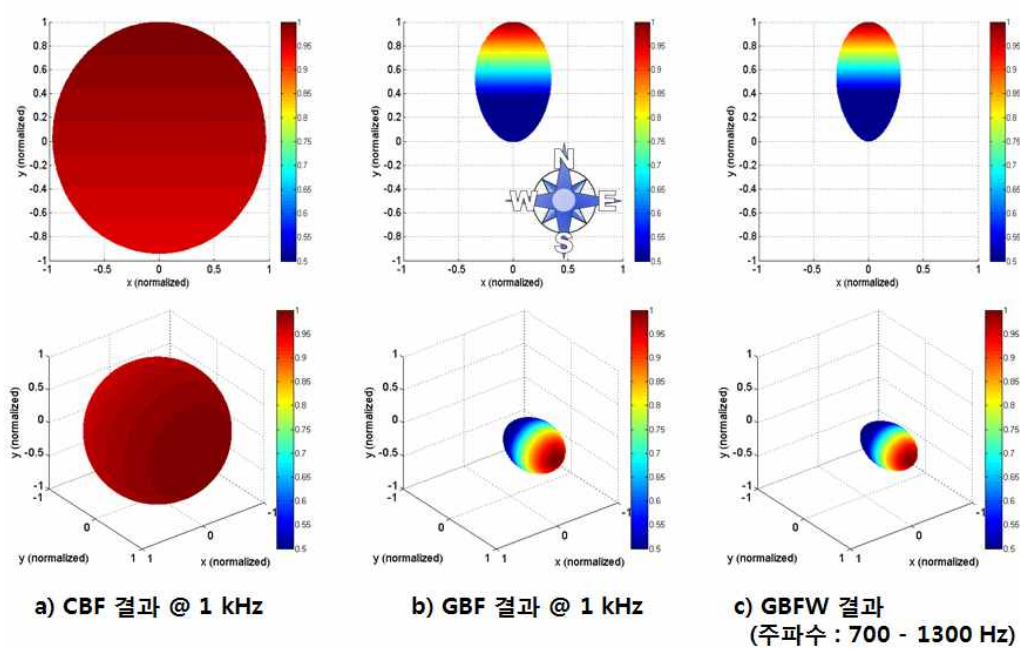


그림 10. 주파수 1 kHz에서 7개 센서를 이용한 기존의 빔 형성 및 그룹 빔 형성 결과.

○ 알고리즘 검증 시험

- KIOST내 위치한 테니스장을 활용하여 공기중에서 음원의 방향성을 추정하는 수치 해석 알고리즘 검증 시험 실시(그림 11). 전체 24개의 측정 지점에서 방향성 탐지 시험 실시 (A~X 지점)
- 송신부는 충격소음(Hammering)을 활용하였으며, 수신부는 4개의 하이드로폰의 배열을 사용함. 음원 신호의 방향성 탐지를 위한 Hammering 신호의 측정 예 (그림 12)
- 십자 형태로 배치된 4개의 하이드로폰 배열에 수신된 음향자료를 이용하여 그룹 빔 형성(GBF) 기법 적용.
- 각 방향에서 발생시킨 타격음에 대한 방향성 추정이 양호하여 알고리즘 검증 과정이 양호함을 확인함

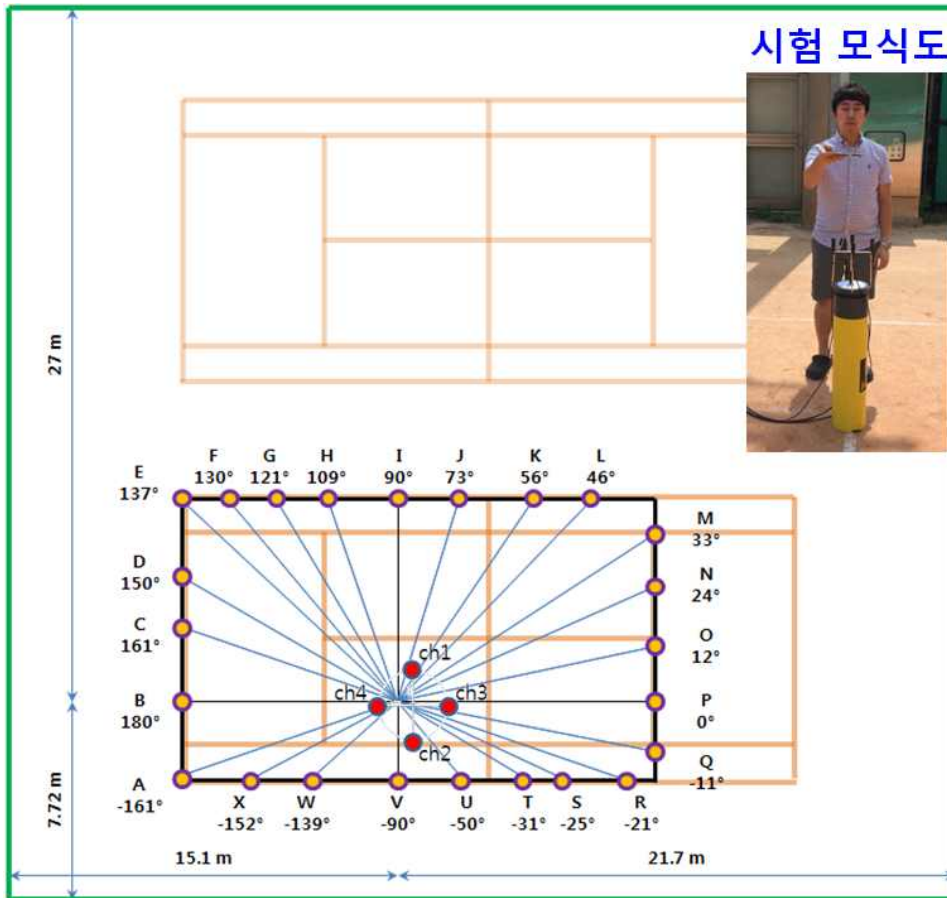


그림 11. 욕상에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 모식도.

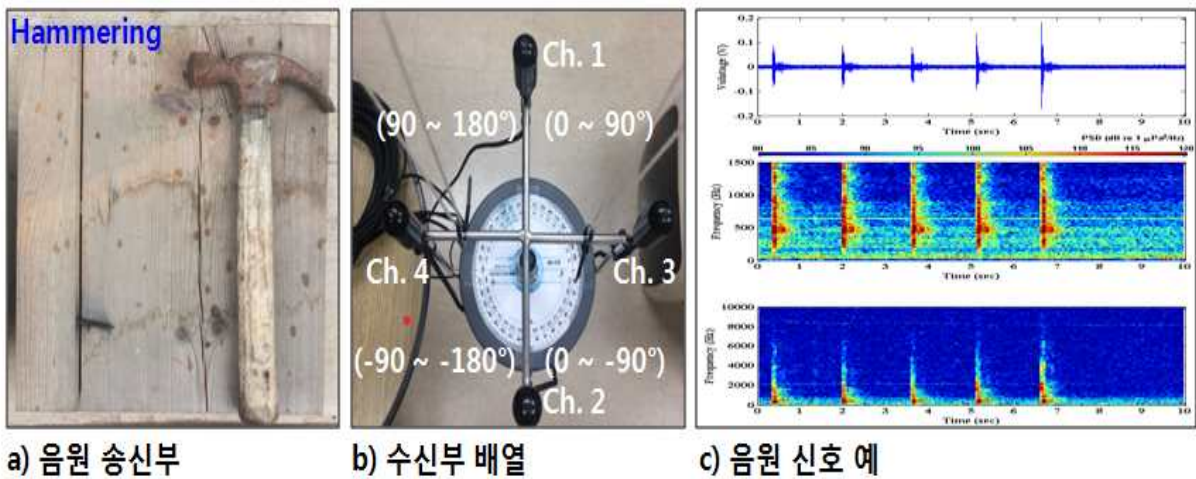


그림 12. 욕상 시험 (a) 음원 송신부, (b) 수신부 및 © 측정된 음원 신호 예

- 충격소음은 광대역의 주파수 성분이 동시에 존재하는 신호로 1 kHz에 해당하는 신호 성분을 추출하여 음원 방향 추정 실시
- 표 1은 테니스장에서 수신기 위치와 충격소음을 발생시킨 위치의 상대적인 거리로 실측된 방위와 4개의 하이드로폰에 수신된 음향신호에 GBF 기법을 적용하여 측정된 방위의 결과를 보여줌
- 측정지점 N, W를 제외하고 모든 측정 지점에서  $\pm 5^\circ$  미만의 차이 나타남. 편차 요인은 배열의 공간 편차, 타격위치 오차, 또는 테니스장 벽면에 반사되는 신호의 중첩에 기인하는 것으로 판단됨
- 그림 13에서 ~ 그림 15는 육상에서 방향성 탐지 알고리즘 검증을 위해 실시한 충격소음 지점 방위 추정 결과를 보여줌

표 1. 공기중에서 충격소음을 발생시킨 실측 방위와 GBF를 적용하여 측정된 방위

위치	실측방위 (°)	측정방위 (°)	차이 (°)
A	-161	-157	4
B	180	180	0
C	161	160	1
D	150	149	1
E	137	140	3
F	130	131	1
G	121	122	1
H	109	106	3
I	90	90	0
J	73	74	1
K	56	55	1
L	46	47	1
M	33	32	1
N	24	30	6
O	12	9	3
P	0	-5	5
Q	-11	-10	1
R	-21	-23	2
S	-25	-26	1
T	-31	-31	0
U	-50	-52	2
V	-90	-90	0
W	-139	-130	9
X	-152	-153	1

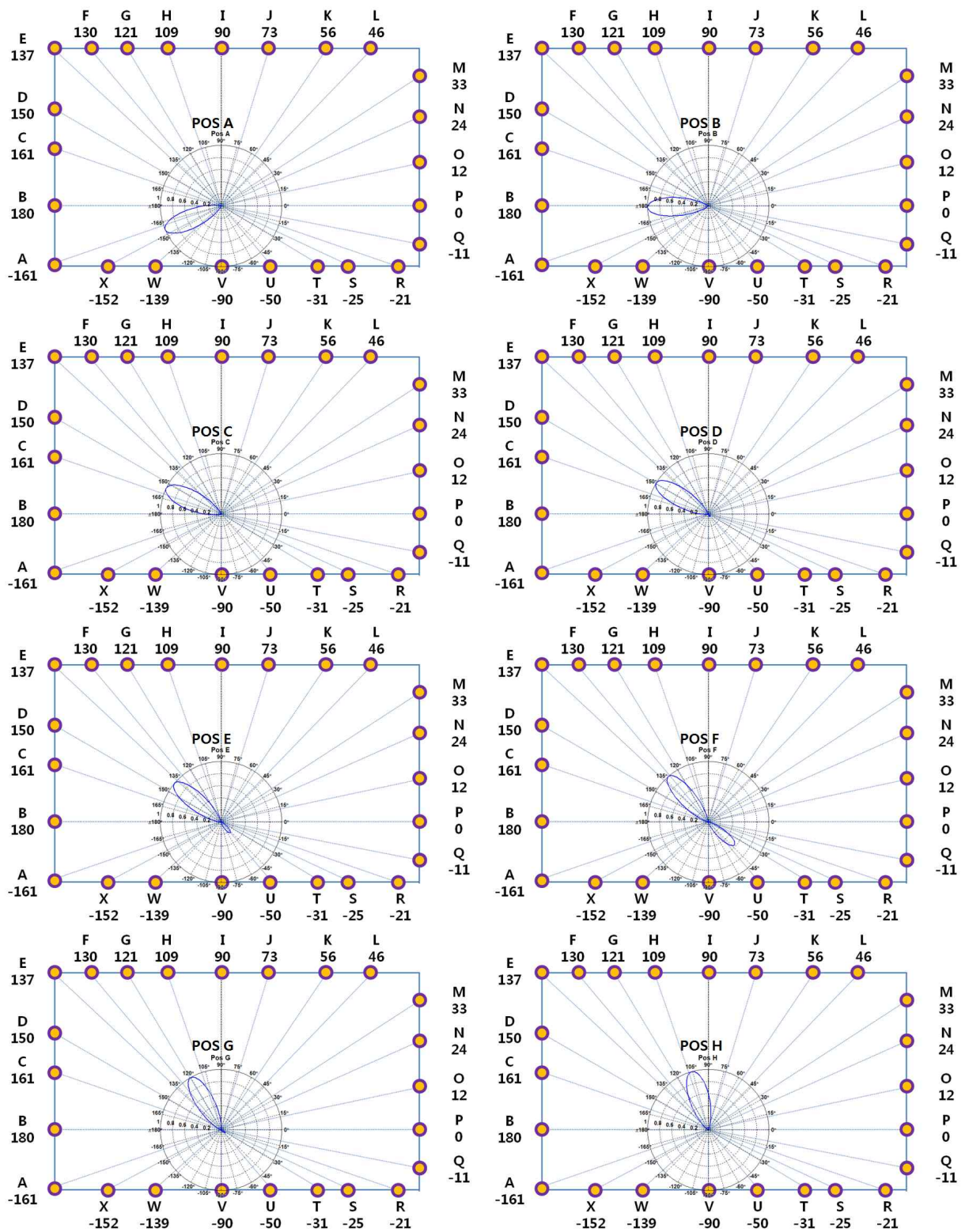


그림 13. 육상에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 결과(A - H 지점).

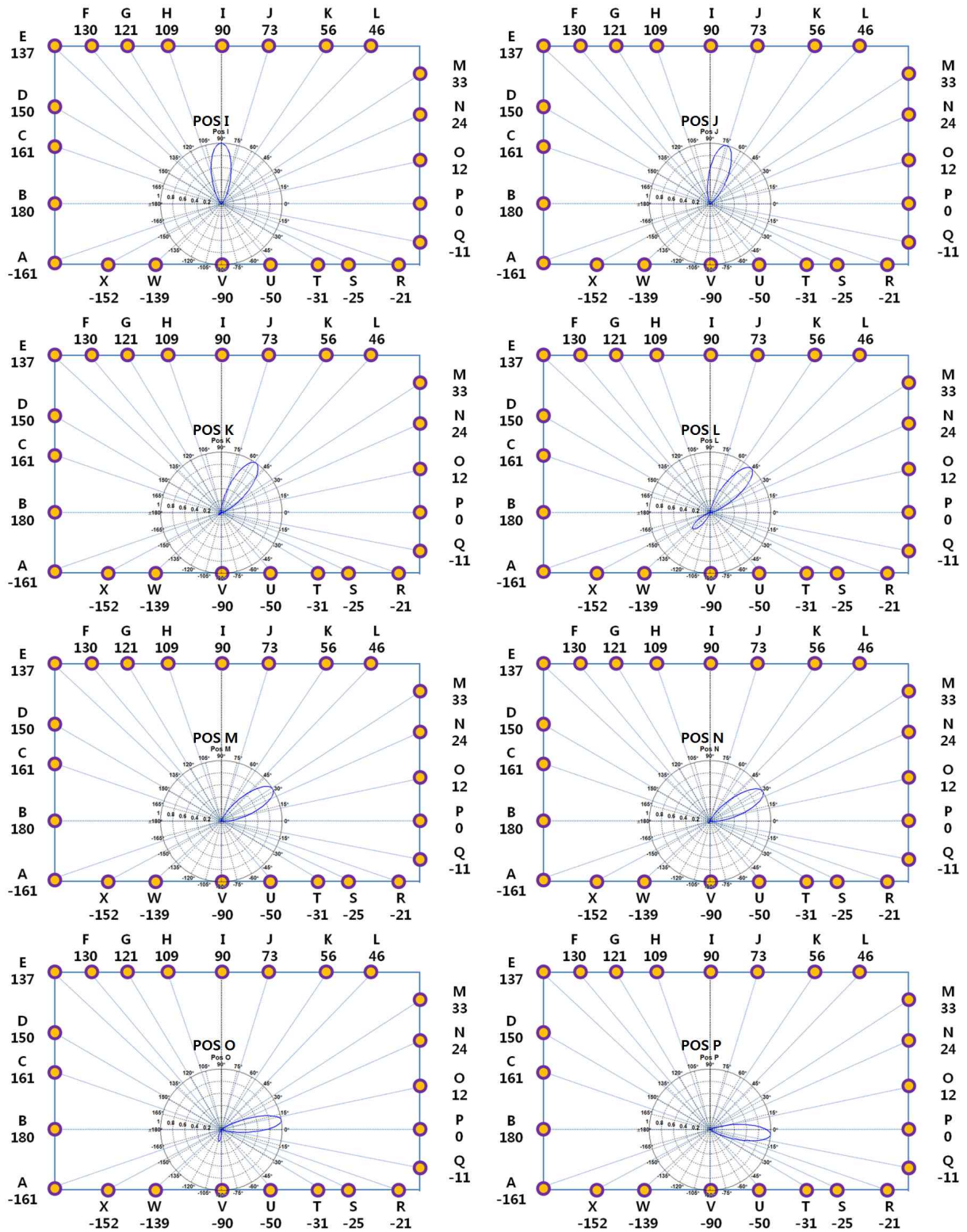


그림 14. 육상에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 결과(계속, I - P 지점).

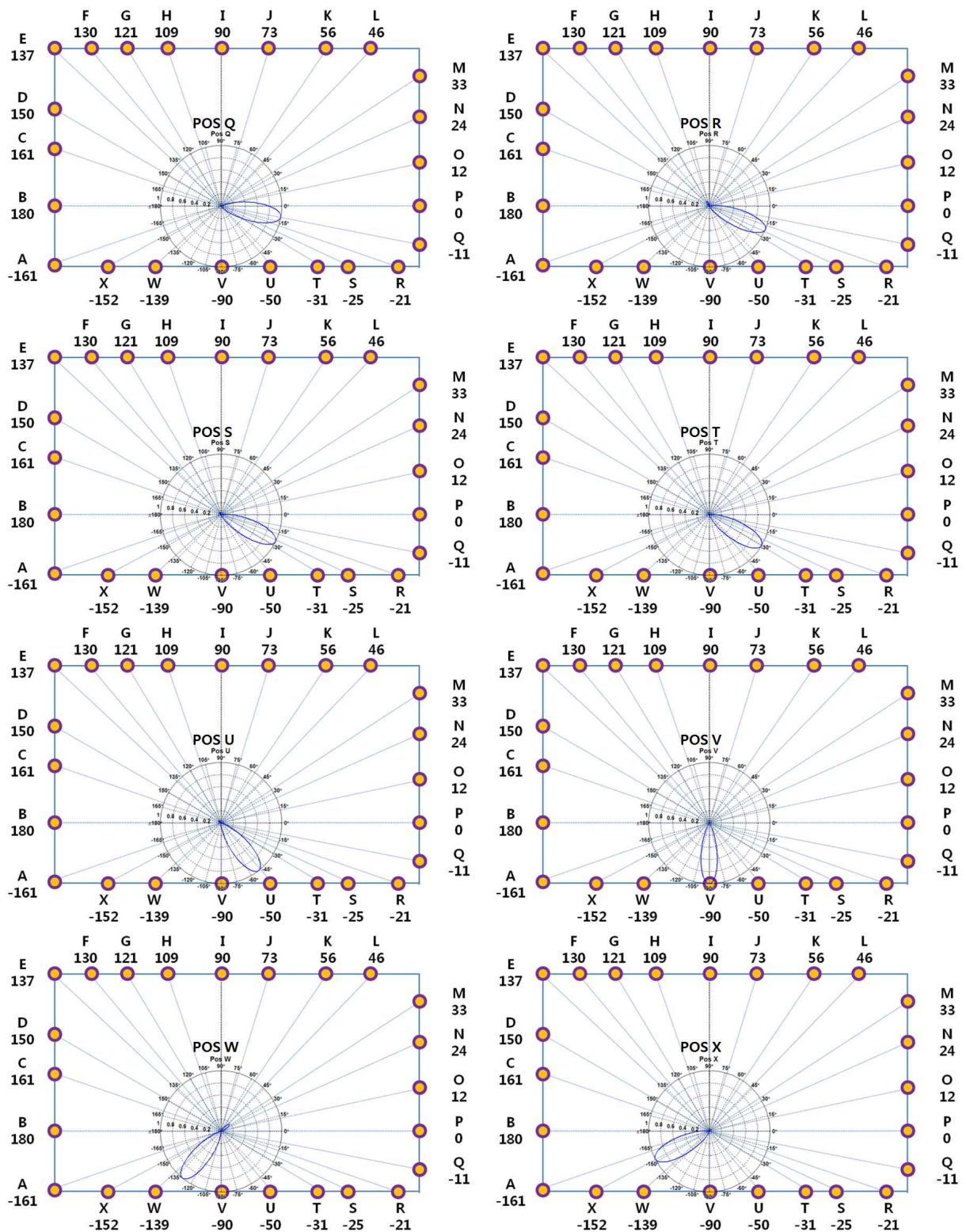


그림 15. 육상에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 결과(계속, Q - X 지점).

### 3. Prototype 하이드로폰 시제품 제작

- 소형 공간에 배열된 하이드로폰의 신호를 수신하고 수중에서 발생하는 음원의 방향을 추정하는 prototype의 시제품 제작을 실시함(그림 16)
- 본 과제를 통해 제작된 시제품은 데이터 획득 장치 및 신호처리부로 구성됨
- 데이터 획득 장치는 수중에 위치하며 하이드로폰 배열, 수신앰프, 데이터 변환 장치, 수밀 기구물로 구성됨
- 신호처리부는 데이터 획득 장치에서 전송된 실시간 데이터를 처리하는 장치로 구성됨
- 또한 시제품 수중 계류시 해양 환경에 따라 변화되는 배열의 상대적인 위치를 보정하기 위한 수심 및 자세 센서가 내장됨

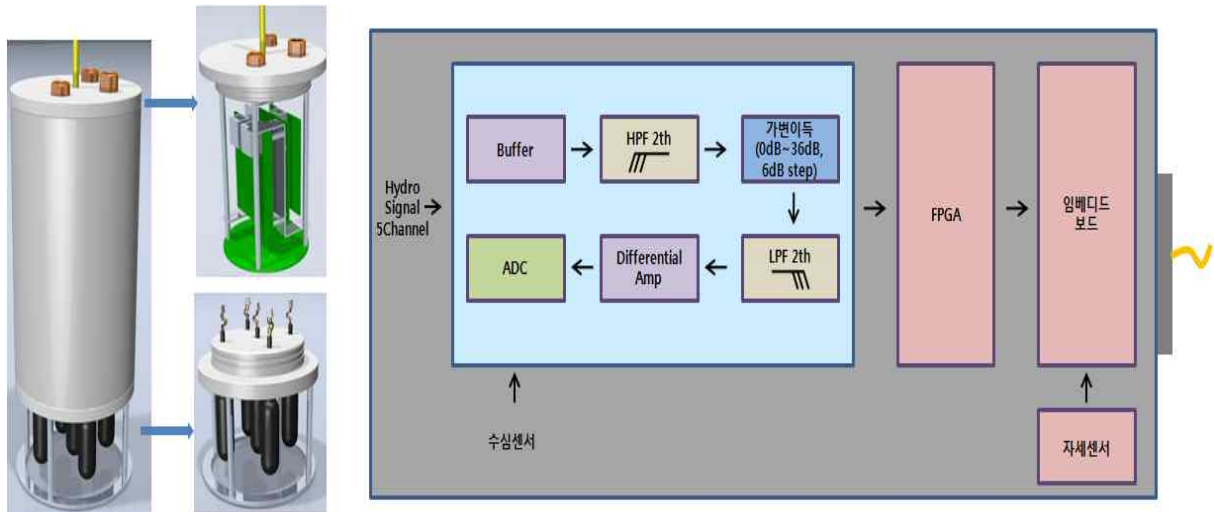


그림 16. 방향성 탐지 하이드로폰 시제품 설계 형상 및 구성 블록도.

- 무지향성 하이드로폰 5개 채널을 이용한 방향성 하이드로폰 제작 (그림 17)
- 시스템의 전원 및 저장 상태를 LED로 확인 가능하며, 직경 19.1 cm, 길이 45.5 cm, 무게는 18 kg으로 수심 50 m 까지 운용 가능함
- 주파수 20 ~ 25 kHz 범위에 존재하는 수중음원 신호 방향성 탐지 가능





그림 17. 방향성 탐지 prototype 하이드로폰 시제품 형상.

○ 수중음원 방향성 탐지 하이드로폰 자료처리 KIT 제작 (그림 18)

- 무지향성 하이드로폰 5개 채널에서 수신되는 수중 음원 신호 실시간 수신 및 저장
- 시스템의 계류 수심, 수온 및 내장된 자세 센서에서 수신되는 자북 방위, pitch, roll 값을 외부적으로 연결되는 GPS와 연동하여 관측되는 음향 신호와 함께 저장

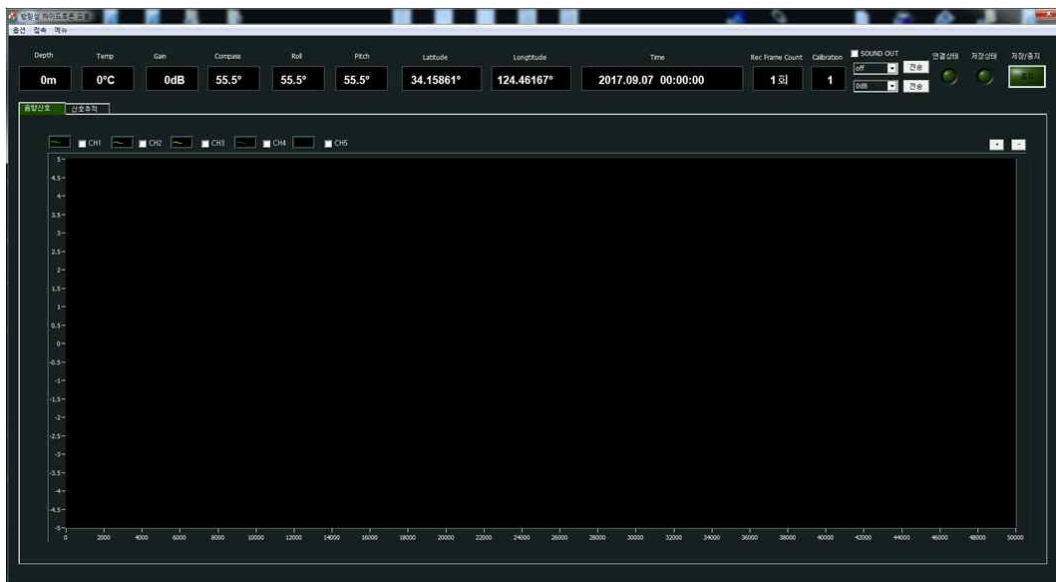
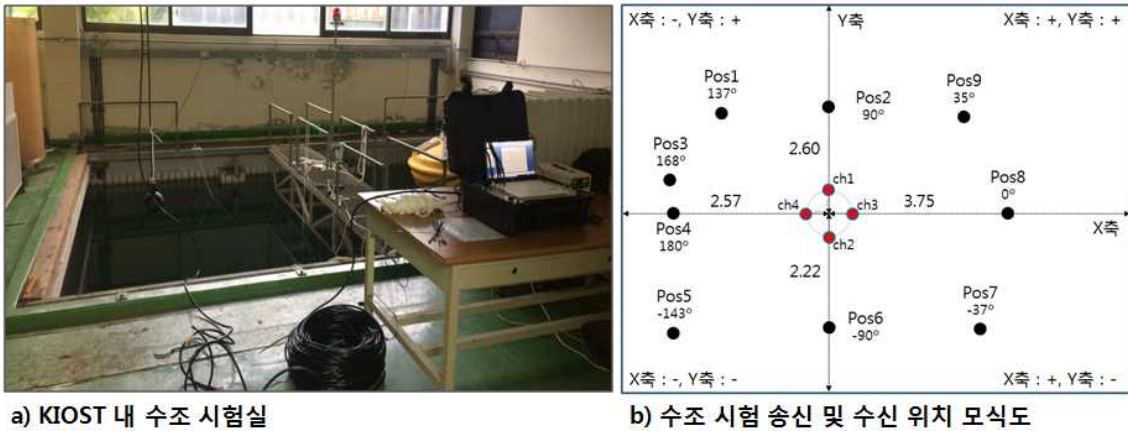


그림 18. 방향성 탐지 prototype 하이드로폰 자료 모니터링 Kit 프로그램.

## 제 2 절 Prototype 하이드로폰의 실험실 및 해상 평가

### 1. 실내 수조에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석

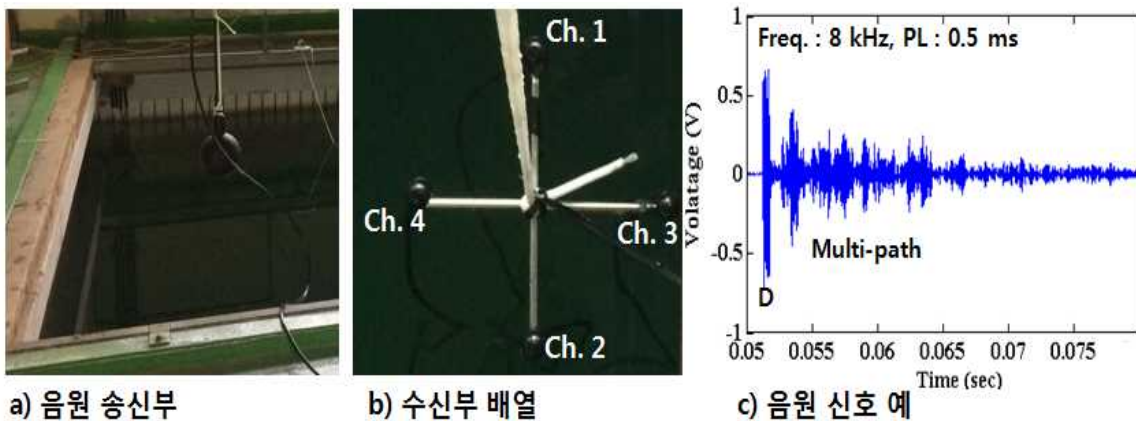
- 수조 시험 평가는 KIOST 내 수조(6.3×4.8×4.3 m) 내에서 수행함 (그림 19)
  - KIOST내 위치한 수조에서 음원의 방향성을 추정하는 검증 시험 실시함
  - 전체 9개의 측정 지점에서 방향성 탐지 시험 실시 (Pos1 ~ Pos9 지점)
  - 송신부는 Neptune사의 D-11 모델의 음원을 활용하였으며, 수신부는 4개의 하이드로폰의 십자 형태로 배열하여 사용함. 음원신호의 방향성 탐지를 위한 주파수 8 kHz 신호의 측정 예 (그림 20)
  - 협소한 수조의 공간적인 제한성으로 인해 수신 신호의 직접파 부분만 선택하여 방향성 탐지 분석을 실시



a) KIOST 내 수조 시험실

b) 수조 시험 송신 및 수신 위치 모식도

그림 19. 수조에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘 검증 시험 모식도.



a) 음원 송신부

b) 수신부 배열

c) 음원 신호 예

그림 20. 수조 시험 (a) 음원 송신부, (b) 수신부 및 (c) 측정된 음원 신호 예.

- KIOST 위치한 수조(그림 19)에서 전체 9개의 측정 지점에서 주파수 8, 16, 20 kHz, 음원길이 0.5 ms의 CW 펄스 신호 발생. 십자 형태로 배치된 4개의 하이드로폰 배열에 수신된 음향자료를 이용하여 그룹 빔형성(GBF) 기법 적용
- 표 2는 수조에서 수신기 위치와 송신기 위치의 상대적인 거리로 실측된 방위와 4개의 하이드로폰에 수신된 음향신호에 GBF 기법을 적용하여 측정된 방위의 결과를 보여줌
- 수신기의 배열 방향인 Pos2,4,6,8 측정지점에서는 수신신호에 GBF 적용시 공간 aliasing이 발생하여 정확한 음원의 방위 추정 불가함(그림 21). 그 외 지점에서는  $\pm 7^\circ$  미만의 차이 나타남. 편차 요인은 배열의 공간 편차, 송신위치 오차, 또는 수조 벽면에 반사되는 신호의 중첩에 기인하는 것으로 판단됨

표 2. KIOST 수조에서 송신된 수중음원의 실측 방위와 GBF를 적용하여 측정된 방위

위치	실측방위 (°)	측정방위 (°)	차이 (°)
Pos1	137	135	2
Pos2	90	-88	-
Pos3	168	161	7
Pos4	180	93	-
Pos5	-143	-150	7
Pos6	-90	-92	-
Pos7	-37	-38	1
Pos8	0	-179	-
Pos9	35	35	0

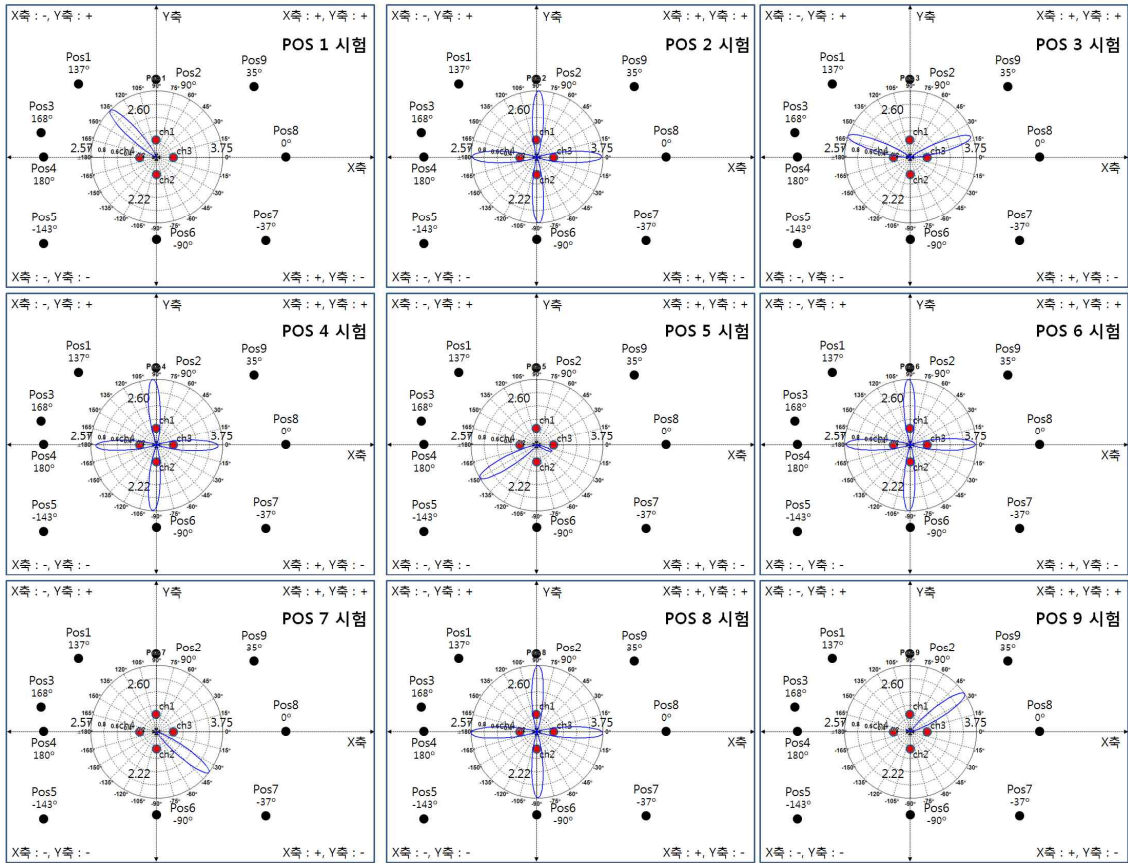


그림 21. 수조에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘(GBF) 검증 시험 결과.

- 공간 aliasing이 발생하여 정확한 음원의 방위 추정 불가한 부분에 대하여 8, 12, 20 kHz 성분을 비상관적으로 합하는 GBFW 기법 적용함
- 표 3은 9개의 측정 지점에서 GBFW 기법을 적용하여 측정된 음원 추정 방위의 결과를 보여줌
- GBFW 적용시 공간 aliasing이 발생하여 방위 추정이 불가한 지점에 대한 음원 방위의 추정이 가능함(그림 22)
- 표 3. 충격소음을 발생시킨 실측 방위와 GBFW를 적용하여 측정된 방위

표 3. KIOST 수조에서 송신된 수중음원의 실측 방위와 GBFW를 적용하여 측정된 방위

위치	실측방위 (°)	측정방위 (°)	차이 (°)
Pos1	137	132	5
Pos2	90	89	1
Pos3	168	161	7
Pos4	180	-178	2
Pos5	-143	-147	4
Pos6	-90	-94	4
Pos7	-37	-39	2
Pos8	0	-3	3
Pos9	35	33	2

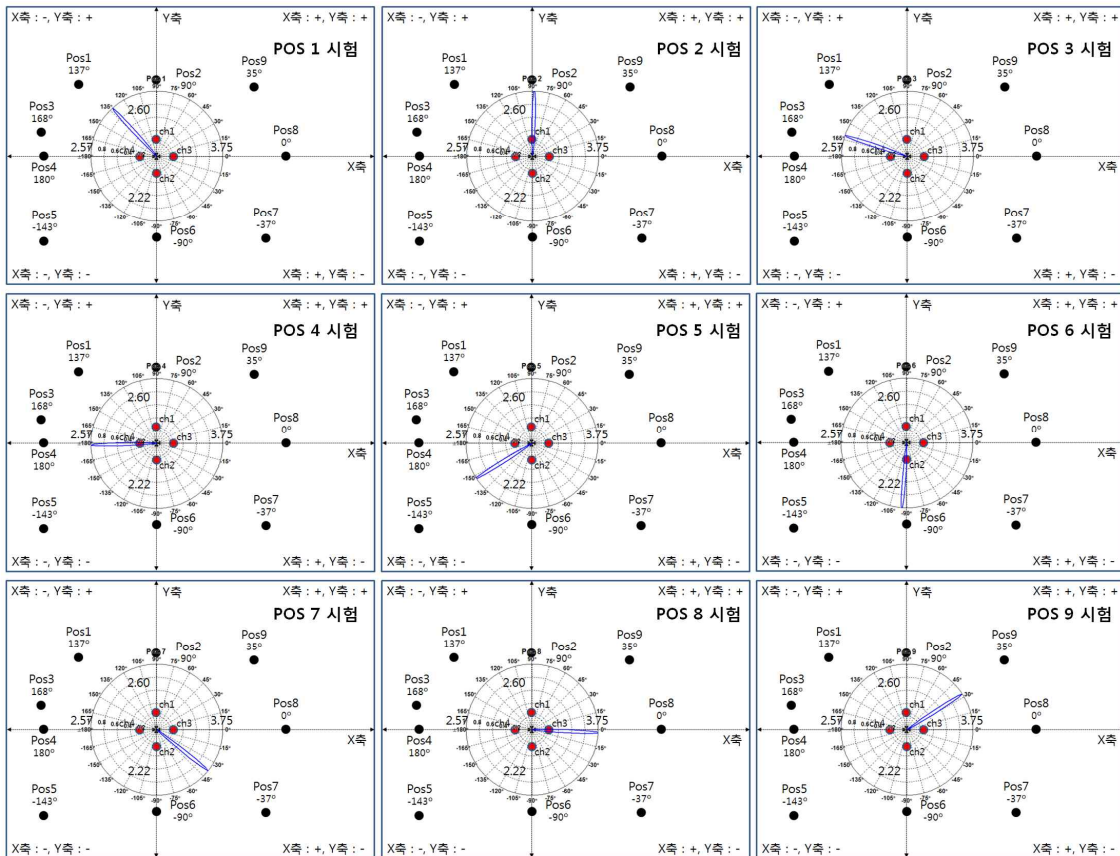


그림 22. 수조에서 실시한 방향성 탐지 알고리즘(GBFW) 검증 시험 결과.

## 2. 실해역에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석

- 수중에서의 방향성 탐지 성능 평가를 위한 해상 시험은 KIOST 통영해상과학기지  
에서 선박 음원을 이용하여 수행함(그림 23)
- 송신부는 Oceanears사의 DRS-8 모델의 수중 스피커를 음원으로 활용하였으며, 수  
신부는 4개의 하이드로폰을 정삼각형 꼭지점과 중심에 배치하여 사용함[그림 24  
(a), (b)]. 그림 24 (c), (d)는 수중에 주요한 소음원인 선박 및 돌고래의 음원 신호  
예
- 해상 시험은 배열 센서를 수심 2.5 m에 수중 계류하였으며, 전체 5개의 고정점 및  
선박 기동 음원에 대한 수중 음원 방향성 탐지 시험 실시(그림 25)

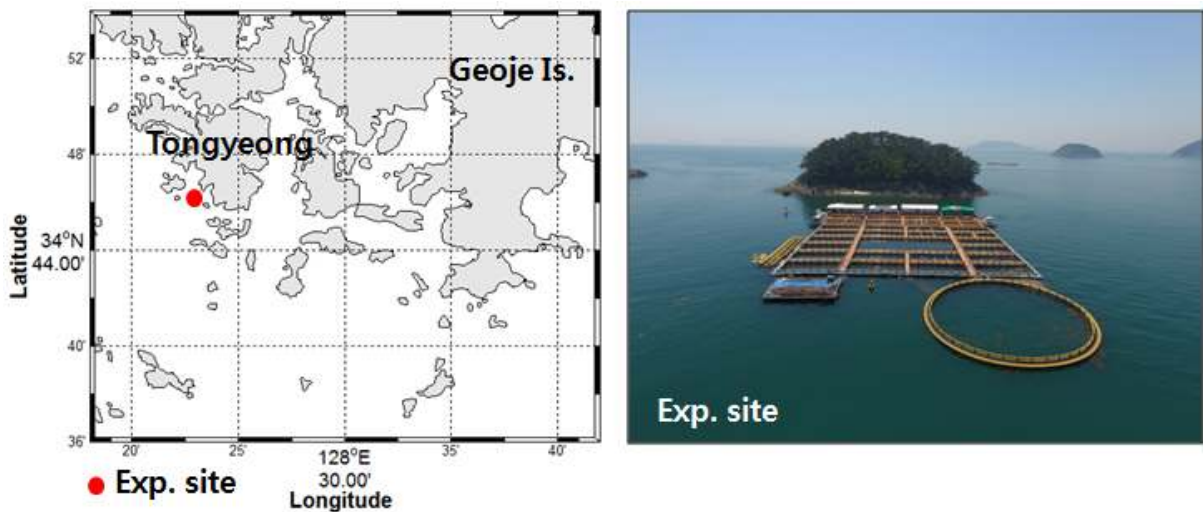


그림 23. 해상시험을 실시한 통영해상과학기지의 위치 및 전경.



그림 24. 해상 시험 음원 송신부, 수신부 및 음원 신호 예.



그림 25. 해상에서 고정점 및 선박 기동에 따른 방향성 탐지 시험 모식도.

- 전체 5개의 고정점 시험에서 4개의 하이드로폰에 수신된 CW신호에 대한 주파수별 방위 추정
  - 센서의 배열 간격은 15 cm 미만으로 수 kHz 이상에서 표적을 탐지하기에 적합하나, 본 과제에서 수립된 그룹 빔 형성 기법 적용시 저주파인 356 Hz에서도 수중음원 방위 추정 가능성 확인
  - 전체 5개의 고정점 시험[그림 25 (a)] 중 Pos 1 지점에서 4개의 하이드로폰에 수신된 CW신호에 대한 주파수별 방위 추정 결과(그림 26)
  - 송신 음원은 15초 이후에 수신되었으며 350 Hz ~ 15,975 Hz의 주파수 대역에서 수중 음원의 표적 방위를 추적하고 있음
  - 소형의 공간에 배치된 센서의 배열 간격은 15 cm 미만으로 수 kHz 이상에서 표적을 탐지하기에 적합하나, 본 과제에서 수립된 그룹 빔 형성 기법 적용시 저주파인 356 Hz에서도 수중음원 방위 추정 가능성 확인

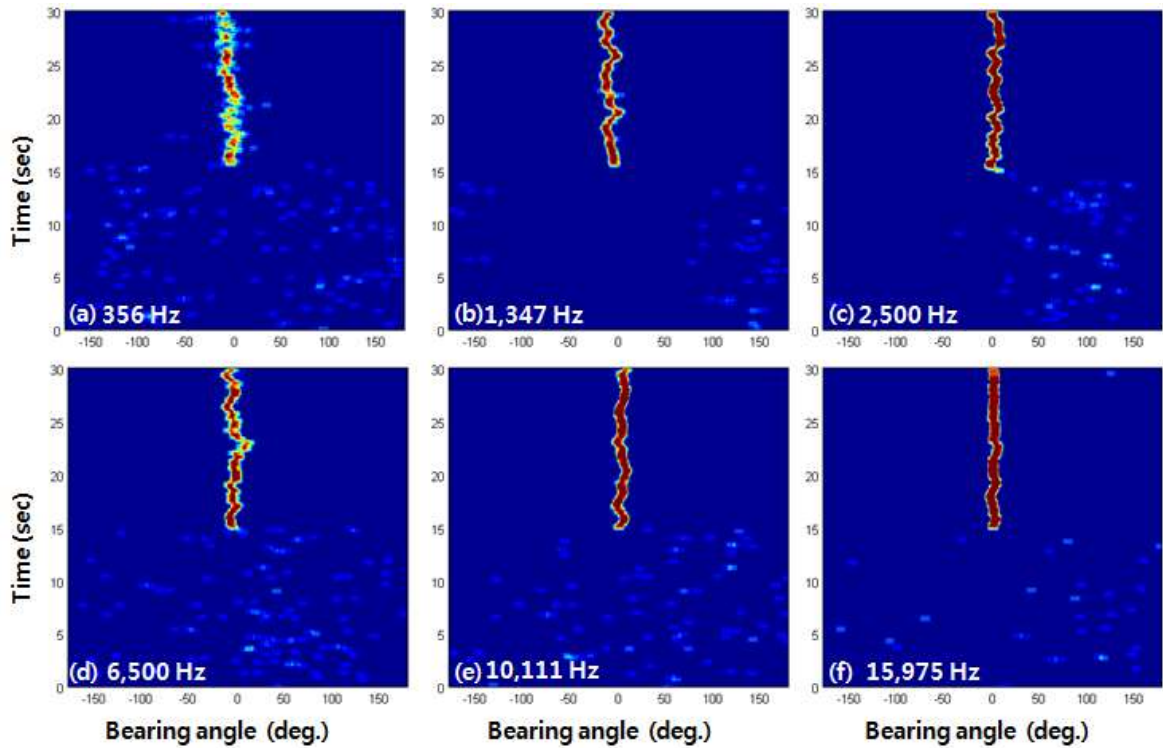


그림 26. 그림 10의 송신기 위치 Pos1(방위각 0°)에서 주파수별 방위 추정 결과.

- 선박 기동에 따른 수중 음원에 대한 시험 평가 (그림 28)
  - 수중스피커를 선박 우현에서 계류하여 수심 3 m 지점에 고정하여 운용함. 동시에 수신기와 선박의 위치에 따른 상대적인 방위각을 고려하기 위하여 수중스피커 상부에 GPS를 부착하여 선박의 이동 경로를 추적함(그림 27)
  - 보라색 실선은 수신기를 기준으로 선박의 GPS 이동 경로에 따른 상대적인 위치 방위각을 나타내며, 선박 소음에 GBFW를 적용하여 도출한 음원 방위 추정 결과는 선박의 이동 경로를 추적함을 검증함





그림 27. 선박 기동음원 음향 시험 조사선 및 수중스피커 계류 모습.

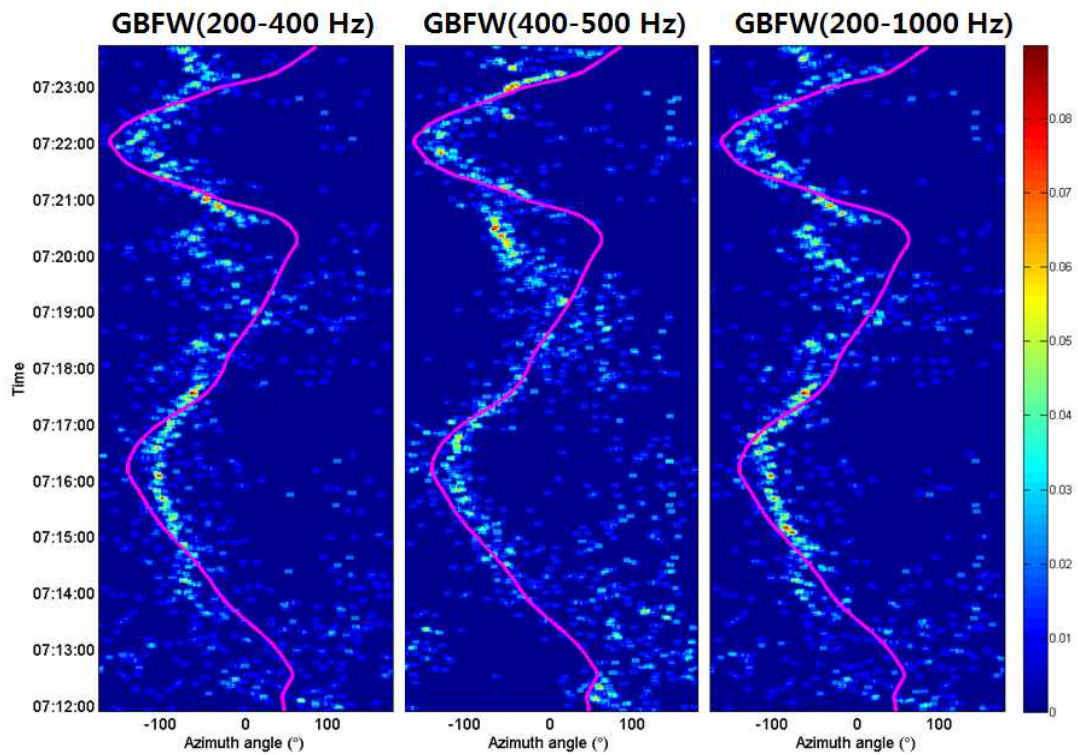


그림 28. 방향성 탐지 하이드로폰 배열에 수신된 선박소음 자료의 그룹 빔 형성 기법 적용 결과.

○ 수중 계류한 수중 스피커에서 돌고래 음원 신호의 방향성 측정 시험 평가

- 그림 29는 선박 우현에 수중 계류한 수중스피커에서 돌고래 음원 신호[그림 24 (d)]에 대한 방위 추정 결과임
- 결과에서 보라색 실선은 수신기를 기준으로 선박의 GPS 이동 경로에 따른 상대적인 위치 방위각을 나타내며, 돌고래 음원 신호에 GBFW를 적용하여 도출한 음원 방위 추정 결과는 선박의 이동 경로를 추적함을 확인함
- 음원의 GPS 이동 경로외에 타 방위각에서 추정된 음향신호는 조사선외 통영해역을 통행하는 선박, 수중 생물 또는 통영해상과학기지에 구축된 기반시설로부터 발생하는 소음인 것으로 판단됨

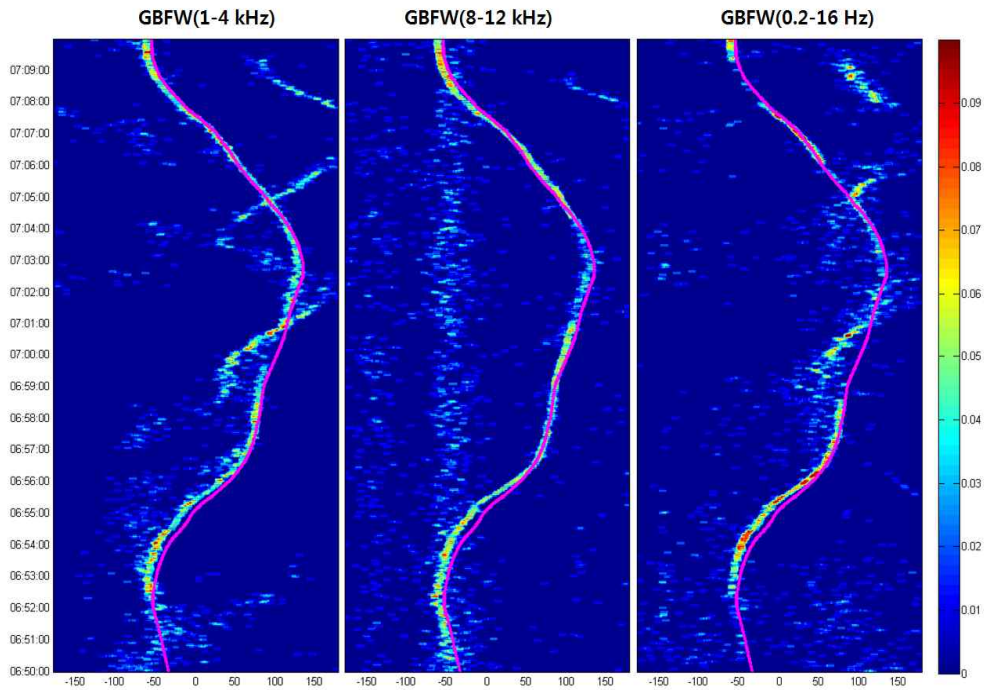


그림 29. 방향성 탐지 하이드로폰 배열에 수신된 돌고래 음원 신호의 그룹 빔 형성 기법 적용 결과.

## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 제 1 절 연구개발 목표 달성도

#### 1. 연구기간 내 연구내용 대비 달성율(%)

구분	성과목표	연구내용	달성실적	연구실적 달성율(%)
1년차 (2017)	1. 방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발	1-1. 수중음의 방향성 탐지를 위한 선행 연구 분석	· 연구용 및 산업용의 방향성 추적 하이드로폰 연구 추세 파악 및 향후 연구 방향 설정	100
		1-2. 수중음의 방향성 탐지를 위한 수치 해석 알고리즘 수립	· GBFW 기법을 적용한 방향성 탐지 알고리즘 확보 · 불규칙한 센서 배열을 이용한 방향성 탐지 기술 확보 · 기술 이전을 통한 확대 발전 계획	
		1-3. Prototype 하이드로폰 시제품 제작	· Embedded 구조의 방향성 추적 하이드로폰 제작 · 향후 소형화 구조의 방향성 추적 하이드로폰 제작 가능성 확보	
1년차 (2017)	2. 개발한 prototype 하이드로폰의 실험실 및 해상 평가 체계	2-1. 실험실에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석	· 육상 및 수조 환경에서 알고리즘 적용 및 시험 평가를 통해 방향 탐지성능 확인	100
		2-2. 실해역에서의 방향성 탐지 성능 측정 및 분석	· 선박 이동에 따른 수중 음원 및 포유류 소리를 이용한 방향 탐지성능 확인 · GBFW 기법을 이용한 향후 시스템 성능 개량 가능성 확인	

## 2. 정량적 목표 달성도

### (2017년도 목표 대비 달성도)

- 최초 창의과제 과제계획서 제출 양식에 별도의 성과목표 제시표가 없어 별도로 분리하여 작성

성과목표	목표치(건)	실적치(건)	비고
국내특허(출원/등록)	/	1 / 0	1건 출원 완료
국제특허(출원/등록)	/	/	
논문(SCI/비SCI)	/	0 / 1	- 학술진흥재단 1편 게재 - SCI 2편 논문 투고 심사중
학회발표(국내/국외)	/	4 / 2	- 한국음향학회 4건 - 일본 음향학회 2건
기술료(기술실시계약)			
인력양성(학사/석사/박사)	//	0/0/0	

### 1) 논문게재 성과

게재일	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2017-06-18	크래머 라오 하한을 이용한 음향 표적 탐지 및 위치추정 오차 분석	박지성	<u>조성호</u>	강돈혁	한국음향학회지	36(3)	국내	학진등재지
2017-11-06 (투고중)	Spatial Mapping of Underwater Noise Radiated from Passing Vessels Using Automatic Identification System Data	<u>조성호</u>	박지성	강돈혁, 한주영	Japanese Journal of Applied Physics	-	국외	SCI
2017-11-06 (투고중)	Horizontal Noise Directionality Estimated Using Ship Tracking Data in the Southern Sea of Korea	박지성	<u>조성호</u>	강돈혁				

## 2) 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
17.04.27.	AIS 자료를 이용한 제주 남부 해역의 수중 배경소음 분석	김한수, 김주호, <u>조성호</u> , 강돈혁, 팽동국	한국음향학회 2017년 춘계 공동학술대회	국내
17.04.27.	수중 표적 탐지 방위 및 거리 오차 연구	박지성, 조성호, 강돈혁	한국음향학회 2017년 춘계 공동학술대회	국내

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
17.10.25.	Noise Directionality Estimated by Using the Ship Track Data in the Southern Sea of Korea	박지성, 강돈혁, <u>조성호</u> , 김미라	The 38th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2017)	일본
17.10.25.	Spatial Mapping of Underwater Radiated Noise from Passing Vessels Using Automatic Identification System (AIS) data	<u>조성호</u> , 강돈혁, 박지성, 한주영	The 38th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2017)	일본
17.11.09.	선박의 AIS 정보를 이용한 방향성 소음 연구	박지성, 강돈혁, <u>조성호</u>	한국음향학회 추계학술대회	국내
17.11.09	소형 공간배열 센서를 이용한 수중표적 방위 추정 연구	<u>조성호</u> , 강돈혁, 박지성, 김미라, 윤성용	한국음향학회 추계학술대회	국내

## 3) 특허 성과

출원된 특허의 경우 (예정 포함)					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2017. 10.	복수의 그룹 빔 형성 기법을 이용한 수중음원 방향성 탐지 방법	<u>조성호</u> 박지성 강돈혁 김미라	대한민국	10-2017-0135907					

## 제 2 절 대외기여도

### 1. 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
- 방향성 탐지를 위한 prototype 하이드로폰 시제품 개발
- 복수의 그룹 빔 형성 기법을 이용한 수중음원 방향성 탐지 알고리즘 확보

### 2. 경제·사회적 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

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제 1 절 연구 결과물의 활용성

- 해양수산부, 중소벤처기업부 등의 실용화 과제 신청을 통한 장비 개발 관련 국가 R&D 과제로 확대 (해양장비 개발 및 인프라 구축 사업 등)
- 중소기업 기술 이전으로 산·연 공동 과제 신청을 통한 상용품 개발
- 해군 수중 무기체계 탑재를 통한 수중 무인체계 (AUV) 활용 증대
- 해양 무인체계 기획사업 및 본 사업 참여를 통한 수중 음향 특성 자료 생성
- 음향을 이용한 해양포유류 분포 연구 제안으로 IMO 연안 생태계의 수중소음 특성 연구에 활용
- 국제해사기구(IMO) 선박소음 오염원 규제에 대응하기 위한 선박의 소음원 준위 및 방향 모니터링 등 다양한 방향으로 연계될 수 있는 확장성이 있음

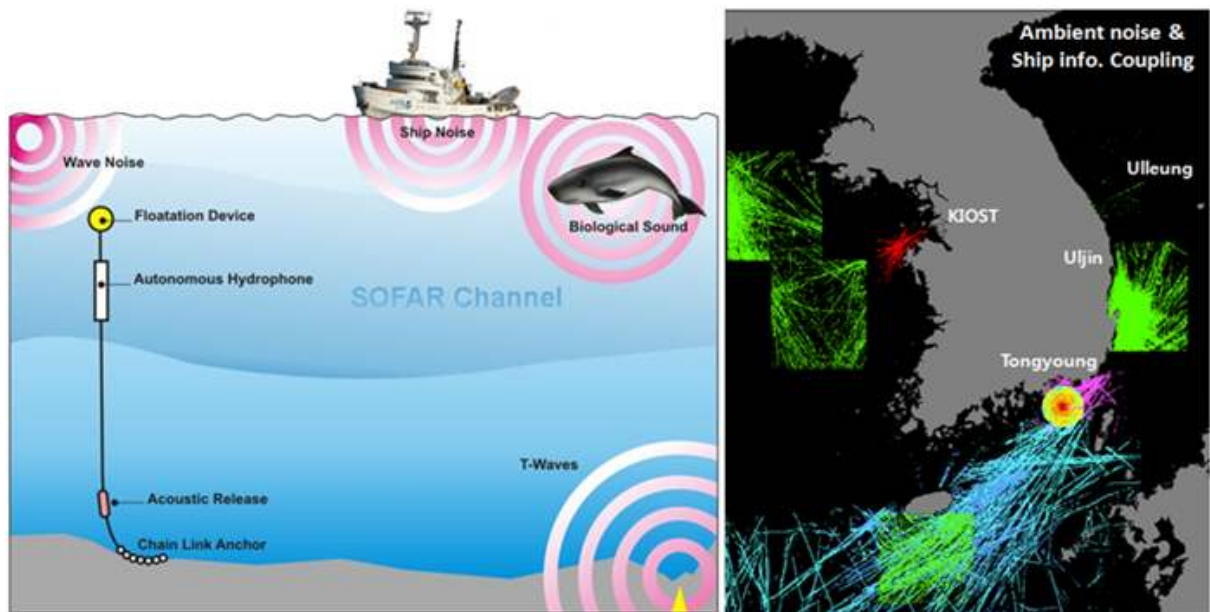


그림 30. IMO 대응 포유류 모니터링 및 선박소음 소음원 준위측정과 방향성 모니터링 측정에 활용.

## 제 6 장 참고문헌

- D. R. Jackson and K. Y. Moravan, 1984: Horizontal Spatial Coherence of Ocean Reverberation, *J. Acoust. Soc. Am.*, 75(2), 428-436.
- E. Habets, 2007: Generating Sensor Signals in Isotropic Noise Fields, *J. Acoust. Soc. Am.*, 122(6), 3464-3470.
- E. Habets, 2008: Generating Nonstationary Multisensor Signals Under a Spatial Coherence Constraint, *J. Acoust. Soc. Am.*, 124(5), 2911-2917.
- H. Cox, 1973: Spatial Correlation in Arbitrary Noise Fields with Application to Ambient Sea Noise, *J. Acoust. Soc. Am.*, 54(5), 1289-1301.
- M. 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.
- M. V. Trevorow, 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.
- R. J. Urick, 1983: Principles of Underwater Sound, 3rd ed., McGraw-Hill Book company, Chap. 7.
- R. S. Sloboda and M. A. Manness, 1983: Spatial Coherence in Semicircular Noise Fields, *J. Acoust. Soc. Am.*, 74(4), 305-310.
- S. C. Walker, 2012: A Model for Spatial Coherence from Directive Ambient Noise in Attenuating, Dispersive Medias, *J. Acoust. Soc. Am.*, 130(1), EL 15-21.
- S. 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.
- S. 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.
- T. Usher, 1963: Space-Time Correlation in Isotropic Noise Fields," *J. Acoust. Soc. Am.*, 35, 1885.
- W. S. Burdic, 1984: Underwater Acoustic System Analysis, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 322-360.
- W. 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 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.