

보고서 발간 번호

BSPM61280-12132-10

양식어류 계수를 위한 운영 소프트웨어 검증 및 신뢰성 시험

Verification of Operational Software and Reliability
Test for Farming-Fish Counting



2019. 12

연구 수행 기관

한국해양과학기술원

제 출 문

광주과학기술원장 귀하

본 보고서를 『양식어류 계수를 위한 운영 소프트웨어 검증 및 신뢰성 시험』
의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 12.

연구의뢰기관 : 광주과학기술원

연구수행기관 : 한국해양과학기술원

연구책임자	한국해양과학기술원	책임연구원	강 돈 혁
참여연구원	한국해양과학기술원	연 구 원	조 성 호
			이 영 욱
			김 미 라
			박 지 성
			김 한 수



의도적 공백

요 약 문

I. 연구 배경

광주과학기술원에서 진행 중인 국가 R&D 과제 “수중 양식어류 계측 및 계수자동화 시스템 개발” 과제는 양식장 내의 어류 계수를 위해 음향 장비를 개발하는 과제이다. 본 과제에서 가장 중요한 요소는 개발된 생물음향 탐지 시스템을 이용한 어류 계수 과정에서 적정 알고리즘과 S/W가 구현되는 것이 중요하다.

어류 계수를 위한 여러 과정 가운데 한국해양과학기술원에서는 GIST 개발 장비의 하드웨어 시스템 특성 측정 및 분석, 어류 계수를 위한 알고리즘 적정성 평가, 양식장 자동화 관리 모니터링을 위한 통영 연안 양식장 내의 어류 분포 자료를 도출하였다.

2. 연구 목표 및 세부 연구개발 내용

- 수중 양식어류 계측 및 계수 자동화 시스템 개발품을 이용한 어류 음향 계수기 운용 S/W 신뢰성 시험 평가
 - ◇ 한국해양과학기술원 대형 수조 환경 하에서 시스템 성능 평가 수행
 - ◇ 실 해상 계측 데이터 분석을 통한 계수 결과와의 상관관계 분석
 - ◇ 양식장 자동화 관리 모니터링 시스템 1-2개소 구축을 위한 양식장 현황 조사

3. 연구수행 기간

- 연구 수행 기간 : 2018. 12. ~ 2019. 12

4. 연구 결과

- 한국해양과학기술원 대형 수조 환경 하에서 시스템 성능 평가 수행

- ◇ GIST 개발 음향 장비를 이용한 Pulse length 변화에 따른 시스템 음원 준위(Source level) 시험 평가 및 결과 도출
- ◇ GIST 개발 음향 장비와 사용 장비를 이용한 성능 측정 및 비교 분석. 임의 표적(보정구)을 이용한 수신음 준위 측정 및 분석, 음원으로부터의 거리별 수신음 준위 측정 및 분석
- 실 해상 계측 데이터 분석을 통한 계수 결과와의 상관관계 분석
 - ◇ GIST가 해상 양식장 조건에서 측정한 음향 자료를 이용하여 어류 계수량 결과 도출 및 어류 표적 강도에 따른 변화 분석
 - ◇ 음향 계수 량과 실제 계수 량과의 차이 요인 분석 및 적정 표적강도 적용 제시
 - ◇ 음향 장비를 이용한 양식장 어류 계수 과정에서의 8가지 사항 제안
- 양식장 자동화 관리 모니터링 시스템 구축을 위한 양식장 현황
 - ◇ 기 구축된 완도 양식장 자동화 관리 모니터링 시스템 추가 자료 제공을 위한 통영 연안 양식장 1개소에 대한 가두리 양식장 내의 어종, 밀도, 입식 정보 등 자료 조사
 - ◇ 연안 양식장의 층별 수온 분포 조사 및 분석



목 차

요 약 문	i
목 차	iii
표 목 차	v
그림목차	vi
제 1 장 서 론	1
1. 과제 배경	1
2. 연구개발 목표 및 내용	4
2.1. 연구목표 및 내용	4
2.2. 주요 내용	4
제 2 장 개발 시스템 시험 평가	5
1. GIST 개발 시스템 음원 준위 측정 및 분석	5
2. GIST 개발 시스템과 상용 시스템의 성능 평가 수행	11
2.1. 1차 시험 평가	11
2.2. 2차 시험 평가	14
제 3 장 실 해상 계측 데이터 분석을 통한 계수 결과와 상관관계 분석	17
1. 실 해상에서 개발 시스템과 상용 시스템의 계측 자료 분석	17
2. 음향 변수와 계수량과의 상관성	18
3. 가두리 내에서 음향 계수 측정 방안 제시	25
제 4 장 양식장 관리 모니터링 자료 수집	28
1. 양식장 입식 어류 현황 자료 조사	28
2. 연안 양식장 해역 수심별 수온 변화 측정 및 분석	29
제 5 장 요약	31



제 6 장 연구개발 실적	32
1. 국외 학술발표 실적	32
참고문헌	34



표 목차

표 1. 수신 신호로부터 계산된 펄스 길이별 평균 음원 신호와 표준편차	10
표 2. 가두리 내 불락의 개체 수 계산을 위한 초기 조건	23
표 3. 다양한 b_{20} 조건에서 계수된 불락 개체 수	24

그림 목차

그림 1. 스마트 양식장 운영 기술 모식도 (출처 : 해양수산부, 어업인수산)	2
그림 2. GIST 개발 시스템 사용 트랜스듀서와 센서 빔 패턴	5
그림 3. 수조 내에서 GIST 개발 시스템 송·수신 음압 측정 모식도	6
그림 4. KIOST 수조에서 GIST 개발 시스템 음압 준위 측정	7
그림 5. 수신된 200 kHz 전압 신호 샘플	8
그림 6. 펄스 길이별 가장 높게 수신된 준위 추출	9
그림 7. 수조 내에서 개발 시스템과 상용 시스템의 1차 성능 평가 모식도	11
그림 8. 38 mm 보정구와 U-shape steel에 대한 시스템 성능 평가 결과 예	13
그림 9. 수조 내에서 개발 시스템과 상용 시스템의 2차 성능 평가 모식도	14
그림 10. 보정구 4개에 대한 시스템 성능 평가 (Sv) 결과 예	16
그림 11. 개발 장비와 상용 장비를 이용한 가두리 내 어류의 Sv 상관성 비교 ..	17
그림 12. 어류 계수용으로 관리하는 양식장 (GIST)	18
그림 13. 가두리 중앙부에서 측정한 어군 에코그램 및 Sv 값의 예 (볼락)	19
그림 14. 가두리 Top right에서 측정한 어군 에코그램 및 Sv 값의 예	20
그림 15. 가두리 Top left에서 측정한 어군 에코그램 및 Sv 값의 예	20
그림 16. 가두리 Bottom left에서 측정한 어군 에코그램 및 Sv 값의 예	21
그림 17. 가두리 Bottom right에서 측정한 어군 에코그램 및 Sv 값의 예	22
그림 18. 양식장 관리 모니터링용 통영 가두리 내 어류 현황 자료	28
그림 19. 수심, 수온 측정기 (좌) 수심별 수온 변화 측정 모식도 (우)	29
그림 20. 수심, 수온 측정기를 이용하여 획득한 각 수심에 따른 수온 분포 결과, 표층 (상) 중층 (중) 저층 (하)	30

제 1 장 서 론

1. 과제 배경

수중음향을 이용한 해양 조사 기법은 1920년에 처음 제시된 이후 2차 세계 대전을 거치면서 비약적인 발전을 이루었다. 해양생물 혹은 해양 어류 차원에서 수중음향은 초기에는 심해 산란층(Depth scattering layer: DSL) 혹은 음향 산란층(Sound scattering layer: SSL)의 존재 유무만 밝히는 것으로 의미를 두었다. 그러나 1970년대 이후부터 소나가 발달하면서 해양생물에 대한 수중음향 적용 및 생물에 의한 음향 산란 특성 등 해양생물 분야에 많은 음향 연구가 진행되었다(Simmonds and MacLennan, 2005). 노르웨이, 미국, 영국, 프랑스, 일본 등에서는 생물 음향 장비의 발전과 개별 생물체의 음향 특성 파악을 통해 해양 생물 연구에 본격적으로 적용하기 시작했다(Simmonds and MacLennan, 2005).

생물음향 관점에서 우리나라는 장비 도입은 1990년 초반에 시작되었으나 연구 분야로의 본격 활용은 1990년 중반 이후 베링해에서의 명태 자원량 조사, 연근해 바다목장 조성 해역에서의 자원량 평가 방법에서 음향 기법을 적용한 것이다(해양수산부 2002, 해양수산부 2006, 해양수산부 2007). 또한 동중국해, 통영 및 제주 연안에서 동물플랑크톤, 멸치 및 저서 어류의 자원량 추정에 활용하면서, 최근에는 그 활용도가 증가하고 있다(강 등, 2003; 강 등, 2003; 김 등, 2008; 강 등, 2008). 최근에는 EEZ 구역 내의 정기 조사에서 활용도를 증가시키고 있다.

최근에 대양 혹은 연근해 생물조사에 활용중인 생물 음향 기법을 활용 개념 전환에 따라 양식장 내 어류의 양적 측정으로 확장하고 있다. 이러한 시도는 양식장 내에 투입되는 사료의 유실량 측정에 음향 기법을 활용한 연구 사례가 있으나 양식장 어류량 측정에 도입한 사례는 아직 보고되지 않고 있다.

광주과학기술원은 이러한 추세에 따라 국내 개발 장비를 통해 양식장 내의 어류 자원량 추정을 시도하는 과제를 진행 중에 있다. 가두리 내라는 공간과 수심의 제한에 따라 고주파 음원을 이용하는 시스템 개발이 진행 중이며, 대상 어종의 음향 산란 특성 파악, 소프트웨어를 탑재하여 현장에서 어류 자원량 개체 수를 측정하는 개념으로 연구를 수행 중이다.

2016년부터 정부는 “스마트 양식장 운영기술”이라는 개념을 적용하여 정보통신기술(ICT), 빅데이터 등 4차 산업 혁명 기술을 해상 양식장에 접목하는 연구를 추진 중이다. 스마트 양식장 운영 기술로부터 스마트폰 하나로 양식장의 각종 시설을 운용 및 무인 소형 잠수정·수중 카메라를 통해 수중 어류의 상태도 실시간으로 확인할 수 있다. 이러한 스마트 양식장의 핵심 기술은 어류의 먹이 행동 데이터를 기반으로 양식 환경에 따라 적정 사료를 공급하는 기술을 비롯하여 수중 영상을 통해 어류의 크기와 무게를 추정하는 기술이 포함되어있다 (그림 1).



그림 1. 스마트 양식장 운영 기술 모식도 (출처 : 해양수산부, 어업in수산)



스마트 양식 기술의 요소 기술 가운데 어군 탐지 센서를 적용하고 있으며 이 기술로부터 양식 어류의 개체 수 측정을 빠른 시간 내에 측정하는 개념이다. 이러한 개념을 완성하기 위해서는 설치성, 운영성, 효율성이 확보된 어류 음향 계수 장비의 개발이 필수적이다.

본 과제에서는 GIST에서 개발 진행 중인 어류 계수기 장비의 성능 향상을 위해 대형 수조 환경 하에서 개발 장비 시스템 성능 평가, 실 해상 계측 데이터 분석을 통한 계수 결과와의 상관관계 분석 및 양식장 자동화 관리 모니터링 시스템 1-2개소 구축을 위한 양식장 현황을 위탁 과제로 수행하였다.

2. 연구개발 목표 및 내용

2.1. 연구목표 및 내용

연구개발 목표	수중 양식어류 계측 및 계수 자동화 시스템 개발품을 이용한 어류 음향 계수기 운용 S/W 신뢰성 시험 평가
---------	---

2.2. 주요 내용

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용
수중 양식어류 계측 및 계수 자동화 시스템 개발품을 이용한 어류 음향 계수기 운용 S/W 신뢰성 시험 평가	- 해양과학기술원 수조 환경 하에서 시스템 시험 평가
	- 실 해상 계측 데이터 분석을 통한 계수 결과와의 상관관계 분석
	- 양식장 자동화 관리 모니터링 시스템 추가 구축 자료 제공 (통영 연안)

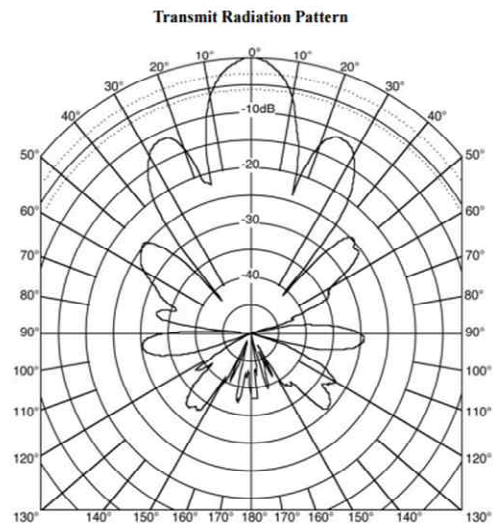
제 2 장 개발 시스템 시험 평가

1. GIST 개발 시스템 음원 준위 측정 및 분석

한국해양과학기술원 실내 대형 수조에서 GIST 개발 시스템의 음원 준위 측정 평가를 1월 30일에 수행하였다. 음원 준위의 측정에 사용한 장비는 송·수신 센서, NI-DAQ 보드와 파워 앰프를 기반으로 제작한 수신 시스템 그리고 노트북을 통해 음원 준위 실험을 수행하였다. 송신부는 GIST 개발 시스템을 이용하였으며, 사용한 센서는 200 kHz 트랜스듀서(AIRMAR, P7) 이다. 개발 시스템의 송신 센서의 -3 dB의 빔 길이는 14 도, -6 dB에서는 19 도, -10 dB에서는 24 도이며, 원거리 음장 거리는 8.31 cm 으로 계산 된다 (그림 2). 음원 준위 계산을 위하여 송신 신호의 펄스 길이(Pulse length)를 9 단계로 변경하면서 측정을 수행하였다. 송신 신호의 입력 전압은 89 Vrms, 각각의 펄스 길이는 50, 80, 100, 125, 150, 160, 200, 320, 640 μ s이며, 펄스 길이 별로 총 30회 신호를 송신하였다.



AIRMAR P7 transducer



Sensor beam pattern

그림 2. GIST 개발 시스템 사용 트랜스듀서와 센서 빔 패턴

수신 장비는 초소형인 Needle 하이드로폰(TC-4038C; Teledyne RESON; Slangerup, Denmark)을 사용하였다. 하이드로폰은 50-800 kHz의 신호를 획득할 수 있는 미세한 센서로서, 해당 센서의 감도는 -234.8 dB 이다. 또한 수신 이득(gain)은 30 dB로 고정하였다.

하이드로폰에서 수신된 전압 자료는 DC 잡음을 제거한 후, 각각의 사용 주파수를 기준으로 1 kHz의 대역 통과 필터를 사용하였다. 그 후 힐버트 변환(Hilbert transform)을 통해 포락선을 검출하였고, 음향 에너지로 변환한 다음 데시벨 단위의 수신 준위로 계산하였다. 수신된 신호 30회 모두 가장 높게 수신된 준위(Peak level)들을 평균하여 음원 준위를 계산하였다.

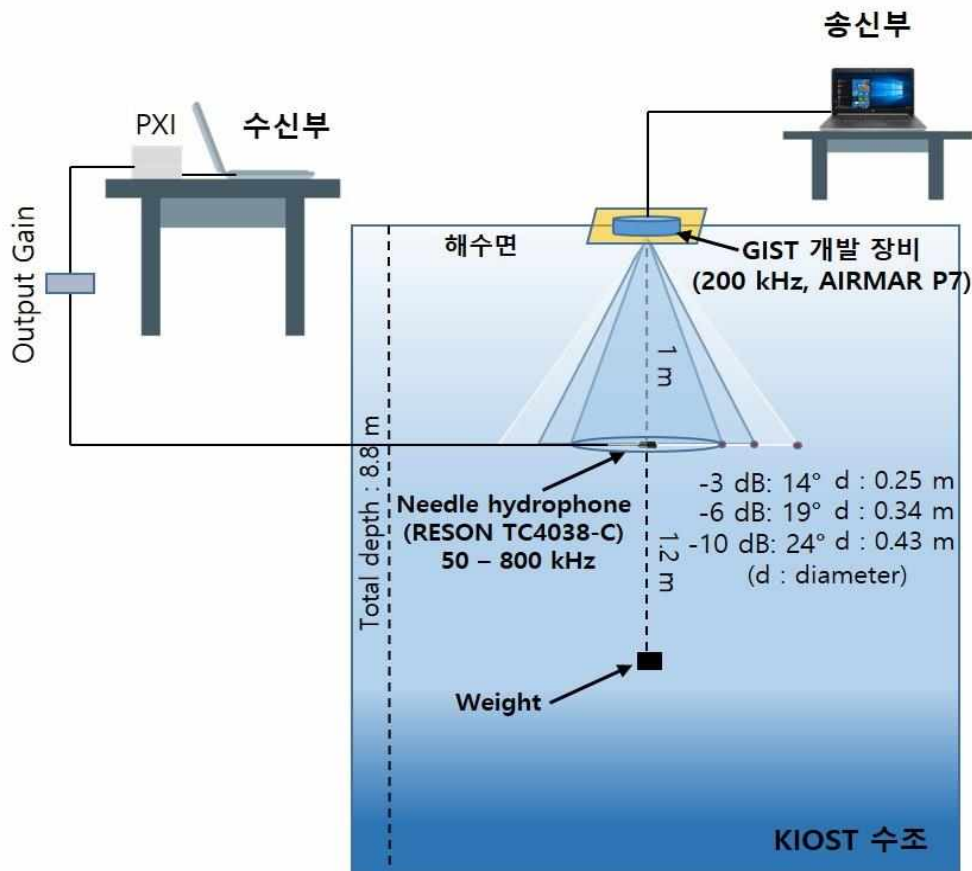


그림 3. 수조 내에서 GIST 개발 시스템 송·수신 음압 측정 모식도

GIST 개발 시스템의 음원 준위 측정 실험을 수행하기 위하여 그림 3과 같이 수조 내에 송·수신 측정 장비들을 설치하였다. 수조는 한국해양과학기술원 내에

위치되어 있으며, 크기는 10 m * 10 m * 10 m 인 대형 수조이다. 수조의 수심은 8.8 m이며, 그림 4와 같이 하이드로폰을 송신 센서면에서부터 1 m 떨어진 위치에 미세한 낚시 줄을 이용하여 고정 및 설치하였다. 또한 하이드로폰이 흔들리지 않도록 무게 추를 송신 센서로부터 약 2.2 m 떨어진 위치에 고정 및 설치하였다. 송신 센서는 표층에, 수신 센서는 수중으로 위치한 후, 200 kHz 신호를 펄스 길이 별로 송·수신하여 자료를 획득하였다.



그림 4. KIOST 수조에서 GIST 개발 시스템 음압 준위 측정

그림 5에는 200 kHz 의 수신된 전압 신호 샘플을 나타내었다. 이렇게 200 kHz 신호가 수신된 신호들을 수신 준위로 변환한 후, 각 펄스 길이 별로 가장 높게 수신된 준위만을 추출하였다. 총 30회 수신한 음향 신호로부터 가장 높게 수신된 준위를 각 펄스 길이 별 역삼각형으로 그림 6에 표시하였으며, 평균을 취하였다. 펄스 길이 50 μ s 에서는 평균 음원 준위가 198 dB로 계산되었고, 80 μ s에서는 199 dB, 100 μ s에서는 198.8 dB, 200 μ s에서는 198.7 dB, 그리고 640 μ s에서는 198.3

dB로 계산되었다. 이 때 표준 편차는 0.01-0.06 이내로 나타나 대부분의 신호의 변동성이 크지 않는 것으로 확인되었다. 표 1에는 수신 신호로부터 계산된 펄스 길이별 평균 음원 신호와 표준편차를 각 실험별로 나타내었다.

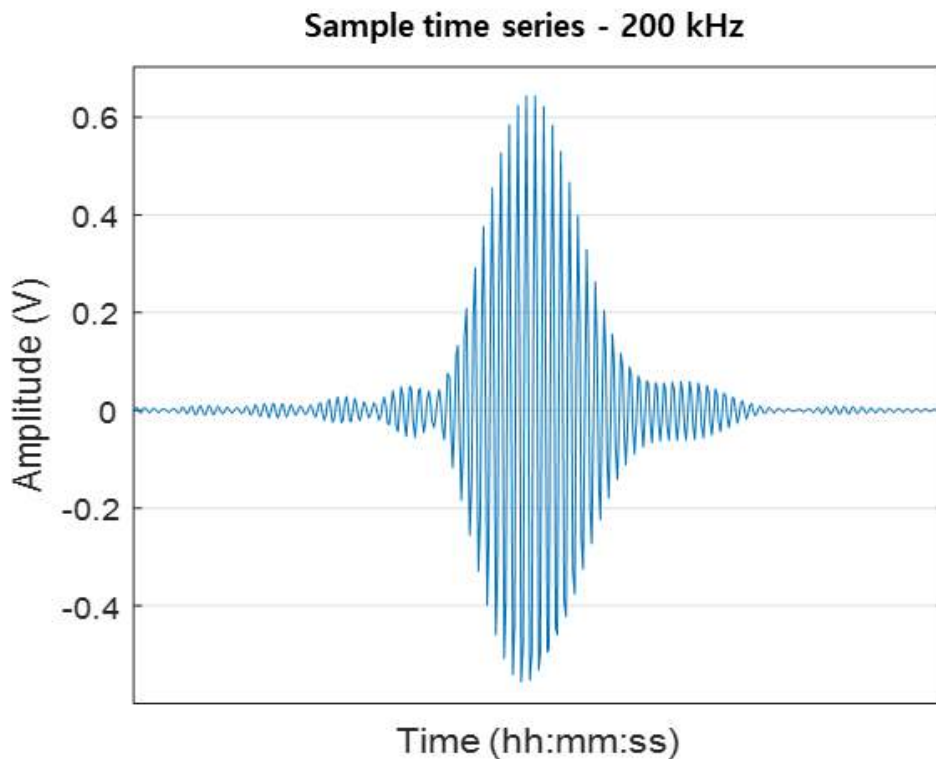


그림 5. 수신된 200 kHz 전압 신호 샘플

전체적으로 광주과학기술원에서 개발한 어류 계수 음향 장비의 음원 레벨은 평균적으로 198.6 dB로 측정되었으며, 표준 편차는 0.01-0.06 이내로 나타나 대부분의 신호의 변동성이 크지 않는 것으로 확인되었다. 이러한 음원 레벨은 계수기의 소프트웨어 알고리즘에서 가장 중요한 요소인 음원 레벨의 입력 변수로 활용되며, 이를 통해 어군으로부터 수신되는 체적 산란강도 측정 함수에 활용될 것이다.

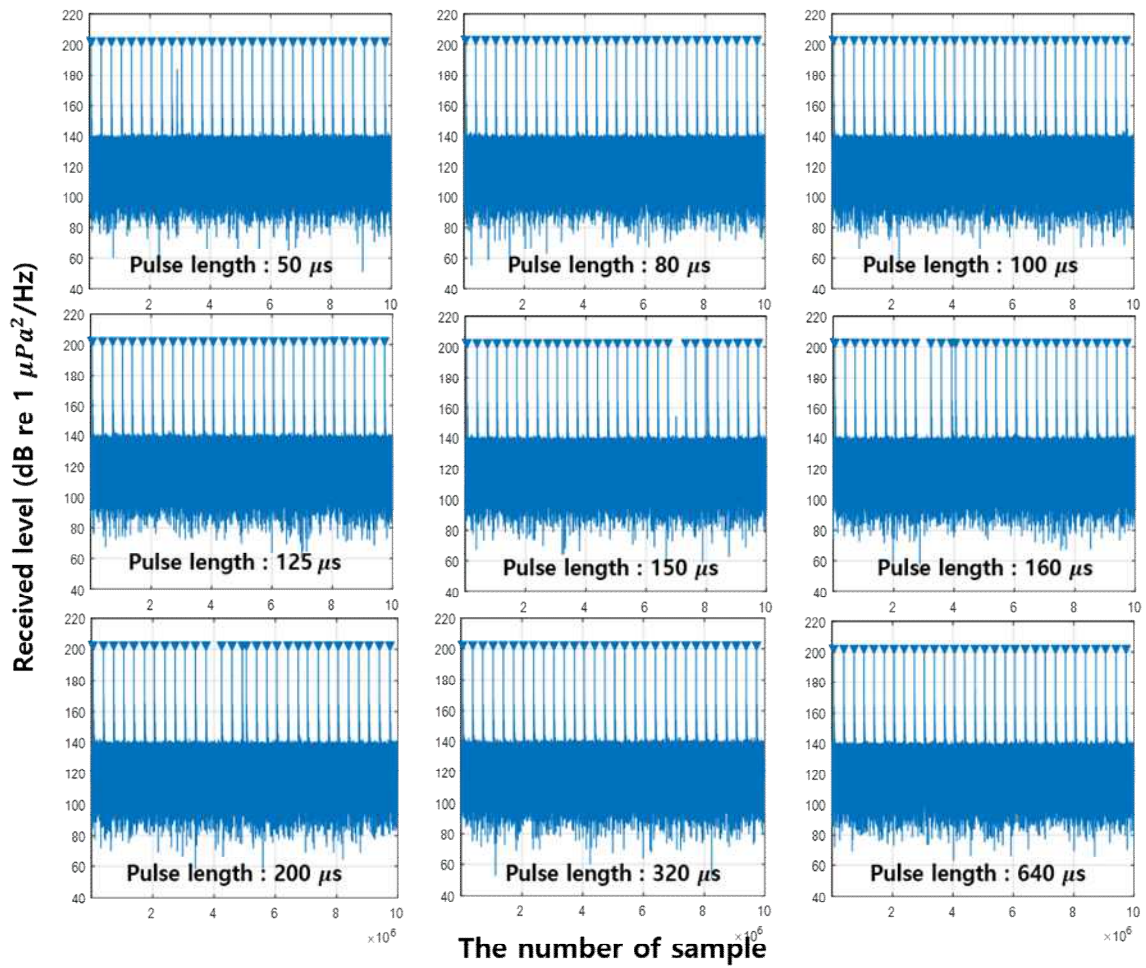


그림 6. 펄스 길이별 가장 높게 수신된 준위 추출

표 1. 수신 신호로부터 계산된 펄스 길이별 평균 음원 신호와 표준편차

Experiment	Pulse length	Mean Source Level	STD
1	50 μ s	198.0 dB	0.01
2	80 μ s	199.0 dB	0.01
3	100 μ s	198.8 dB	0.01
4	125 μ s	198.5 dB	0.04
5	150 μ s	198.7 dB	0.05
6	160 μ s	198.9 dB	0.03
7	200 μ s	198.7 dB	0.03
8	320 μ s	198.6 dB	0.06
9	640 μ s	198.3 dB	0.01
평균		198.6 dB	

2. GIST 개발 시스템과 상용 시스템의 성능 평가 수행

2.1. 1차 시험 평가

GIST 개발 시스템의 음원 준위를 측정 후, 개발 시스템과 상용 시스템 (EK15, SIMRAD)의 성능 비교 평가를 위하여 한국해양과학기술원의 실내 대형 수조에서 5월 15일에 성능 평가 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 장비는 개발 시스템 및 200 kHz 트랜스듀서, EK15 및 200 kHz 트랜스듀서(SIMRAD) 그리고 노트북을 사용하였다. 수조 내에서 센서를 표층에 위치하도록 부력재에 철판을 연결하여 나사 체결 방식으로 센서를 연결하도록 제작하였다. 그 후, 200 kHz 센서를 해당 부력재에 연결하여 아래 방향을 향하도록 설치한 이후, 수조 벽면의 반사의 영향을 최소화하기 위하여 수조 중심 부분으로 위치한 후에 실험을 수행하였다.

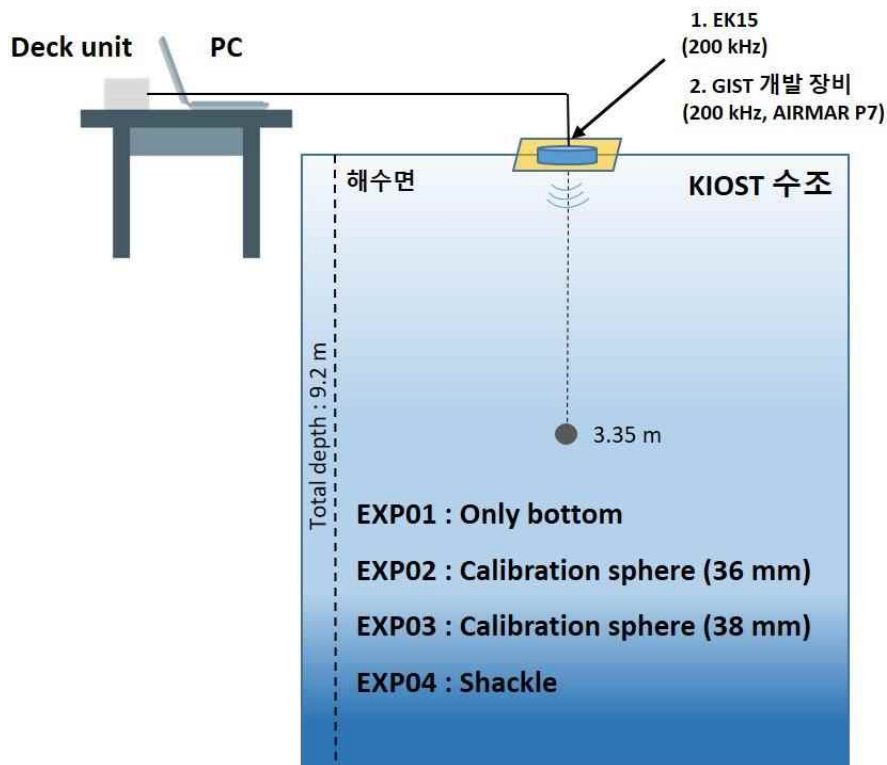


그림 7. 수조 내에서 개발 시스템과 상용 시스템의 1차 성능 평가 모식도

그림 7에는 수조 내에서 GIST 개발 시스템과 상용 시스템의 성능 평가 실험의 모식도를 나타내었다. 수조의 수심은 9,2 m이고, 수조 수온은 17.5도로 나타났다. 이 때 각각의 시스템 변수들은 펄스 길이는 80 μ s, 펄스 간격(Ping interval)은 1 초에 1회 송신으로 설정하였다. 두 시스템의 Echogram과 체적 후방산란 강도 (Volume backscattering strength; Sv) 자료 분석(Sphere, bottom)을 수행하였다. 수조 내에서 총 4회 실험을 수행하였다. 먼저 첫 번째 실험은 수조 바닥 탐지 실험이고, 두 번째 실험은 수심 약 3.3 m에 보정구(Calibration sphere) 36 mm, 세 번째 실험은 동일 수심에 보정구 38 mm를, 네 번째 실험은 U 모양의 철에 대한 Sv 측정 실험을 수행하였다. 실험은 개발 시스템의 수신 이득(Gain)을 14 dB, 20 dB, 26 dB로 변경하면서 수행하였고, 상용 시스템의 수신 이득은 고정으로 두고 각 3분씩 자료 저장을 하였다. 보정구와 샤클은 가는 낚시 줄에 연결하여 센서 음축 중앙에 오도록 조정하였으며, 노트북을 이용하여 신호를 송·수신하였다.

GIST 개발 시스템과 상용 시스템의 비교를 위하여 송·수신된 자료로부터 Sv 값과 표적 강도(Target strength; TS) 값을 추출하였다. 그림 8에는 상용 시스템 으로부터 획득한 보정구 38 mm 와 U 모양의 철의 Sv Echogram을 나타내었다. 수심 약 3.3 m 에 위치한 보정구 38 mm Sv 값은 약 -32 dB로 나타났으며, U 모양의 철은 약 -23 dB로 나타났다. 이 때 수조의 콘크리트 바닥의 Sv 값은 약 -7 dB로 나타났다.

결과적으로 개발 시스템의 상용 시스템과 개발 시스템의 Sv 비교 결과, 절대 값은 차이가 있으나 전체적으로 수신 신호의 음원 변위는 유사한 경향을 보였다. 이러한 절대 값 차이는 개발 시스템의 수신 이득 설정을 통해 절대 값을 계산하는데 활용될 것이다.

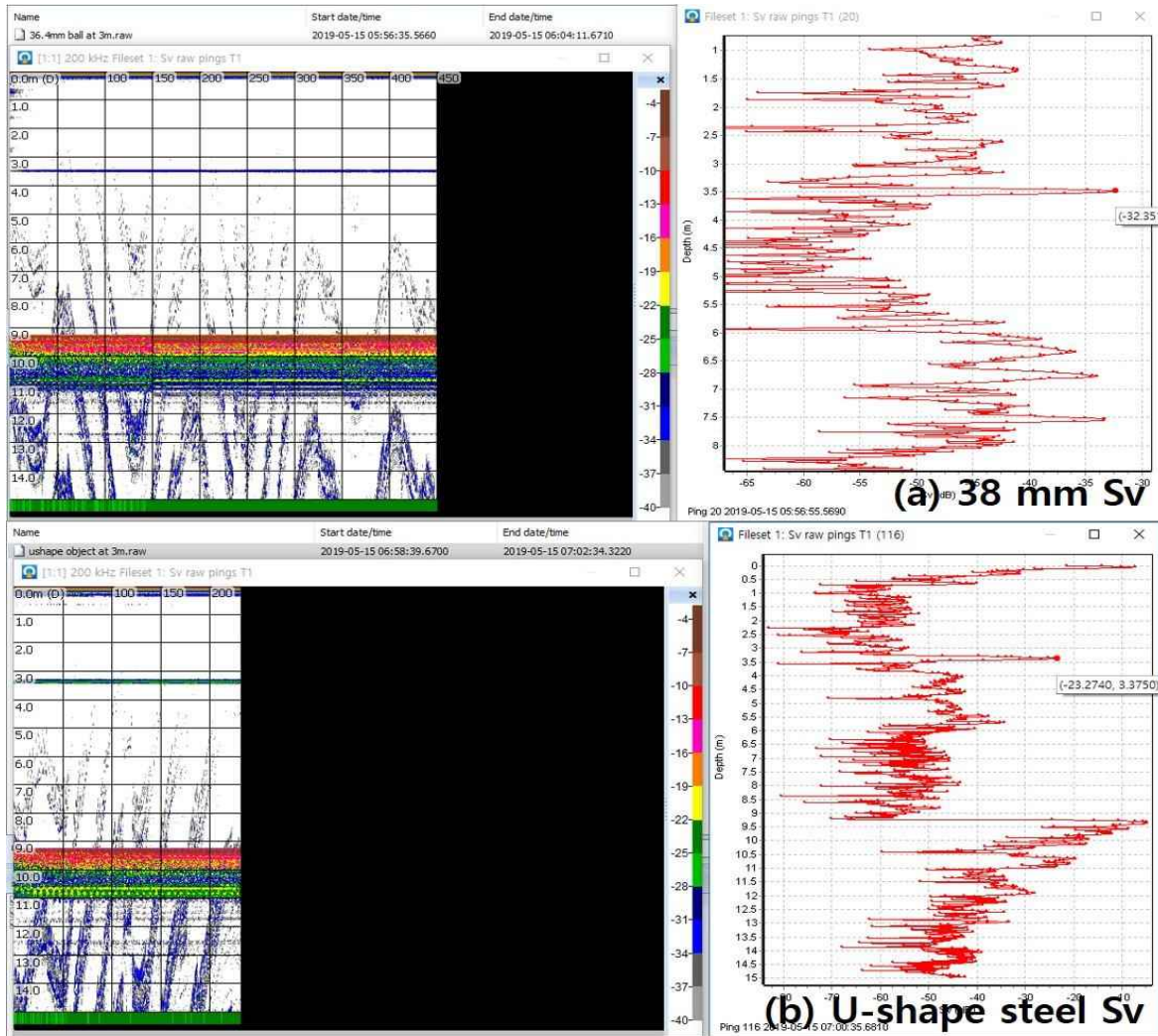


그림 8. 38 mm 보정구와 U-shape steel에 대한 시스템 성능 평가 결과 예

2.2. 2차 시험 평가

GIST 개발 시스템과 상용 시스템의 2차 성능 비교 평가를 위하여 한국해양과학기술원의 실내 대형 수조에서 5월 29일에 수행하였다. 실험에 사용한 장비는 1차 성능 평가와 동일하게 GIST 개발 시스템 및 200 kHz 트랜스듀서와 EK15 및 200 kHz 트랜스듀서와 노트북을 사용하였다. 1차 성능 평가와 동일하게 각 시스템의 200 kHz 센서를 표층에 위치하도록 해당 부력재에 연결하여 아래 방향을 보도록 설치한 다음 수조 벽면의 반사의 영향을 최소화하기 위하여 수조 중심 부분으로 위치하였다.

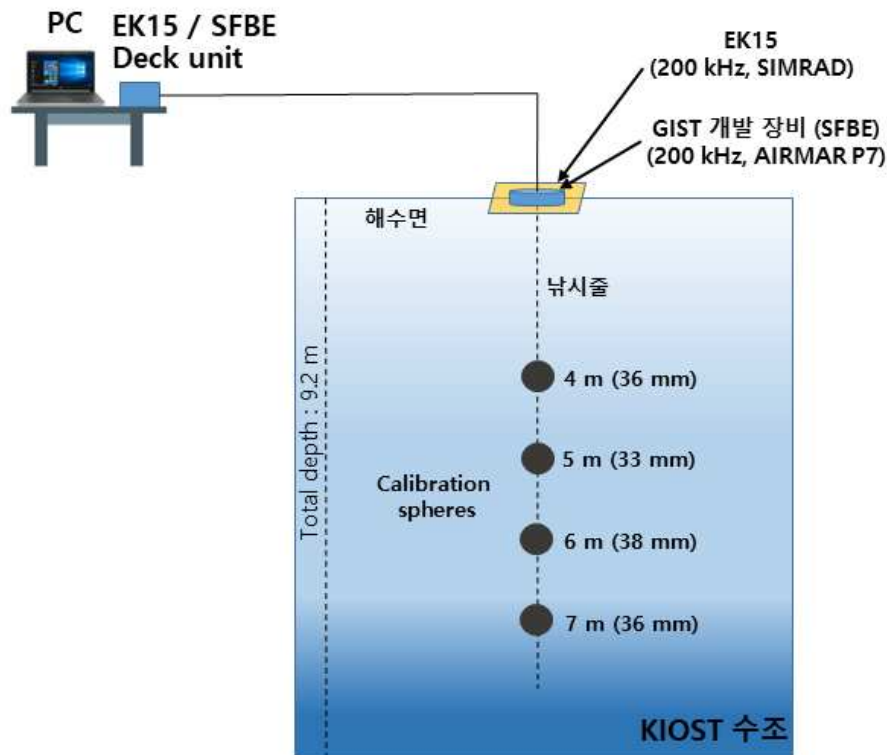


그림 9. 수조 내에서 개발 시스템과 상용 시스템의 2차 성능 평가 모식도

그림 9은 수조 내에서 GIST 개발 시스템과 상용 시스템의 성능 평가 실험의 모식도를 나타내었다. 실험 당시 수조의 수심은 9,2 m이고, 수조 수온은 17.9도로 확인하였다. 실험에 필요한 시스템 변수들은 다음과 같다. 펄스 길이는 80 μ s, 펄스 간격은 1초에 1회 송신으로 설정하였으며, 개발 시스템의 수신 이득을 0, 14, 26 dB로 변경하면서 실험하였다.

2차 시험 평가는 총 실험을 2회 수행하였다. 먼저 첫 번째 실험은 각 시스템의 센서 중간에 미세한 낚시 줄을 연결한 후, 낚시 줄에 보정구 (36 mm) 1개를 설치하였다. 보정구는 수심 3 m에 위치하였고, 6 m까지 1 m 간격으로 변경하면서 총 4가지 경우에 대해 자료를 획득하였다. 2번째 실험은 동일한 낚시 줄에 4 m부터 1 m 간격으로 보정구 4개를 설치하였다. 그 후 보정구 4개가 설치되어있는 조건에서 신호를 송·수신 하였으며, 동일한 시스템 변수에 대해 약 3분간 자료를 획득하였다. 실험 당시 낚시 줄을 센서 음축 중앙에 오도록 조정하여 설치하였고, 노트북을 이용하여 신호를 송·수신하였다.

GIST 개발 시스템과 상용 시스템의 비교를 위하여 송·수신된 자료로부터 Sv 값을 측정하였다. 그림 10에는 상용 시스템으로부터 획득한 4개 보정구(1번 : 36 mm, 2번 : 33 mm, 3번 : 38 mm, 4번 : 36 mm)와, 바닥면의 Sv Echogram으로 나타내었다. 1번 보정구는 수심 약 4.5 m 에 위치하였고, 2번 보정구는 수심 5.6 m에, 3번 보정구는 수심 약 6.5 m, 4번 보정구는 수심 7.7 m 에 위치한 후, 실험을 수행하였다. 그 결과, 1번 보정구 Sv 값은 약 -37 dB, 2번 보정구 Sv 값은 약 -41 dB, 3번 보정구의 Sv 값은 약 -40 dB, 그리고 4번 보정구의 Sv 값은 약 -43 dB로 나타났다. 이 때 수조의 콘크리트 바닥의 Sv 값은 약 -7 dB로 나타났다. 결과적으로 개발 시스템의 상용 시스템과 개발 시스템의 Sv 비교 결과, 절대 값은 차이가 있으나 전체적으로 유사한 경향을 보였다.

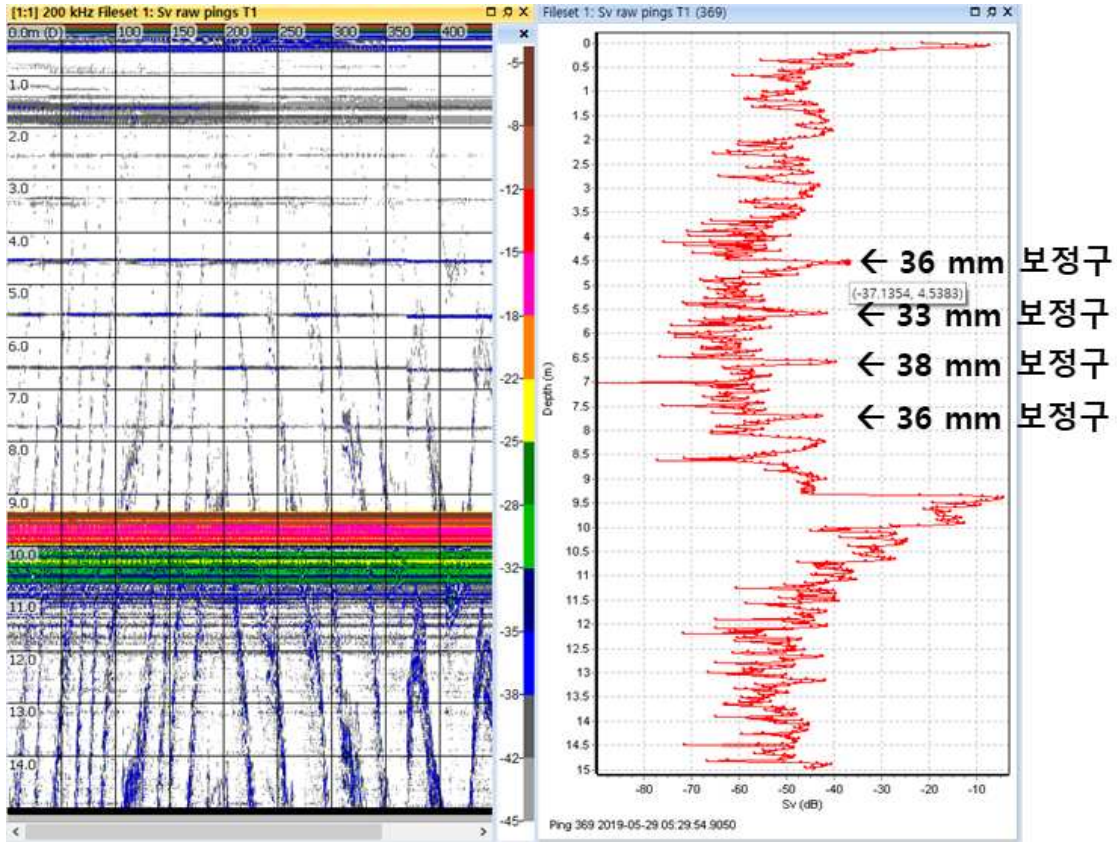


그림 10. 보정구 4개에 대한 시스템 성능 평가 (Sv) 결과 예

제 3 장 실 해상 계측 데이터 분석을 통한 계수 결과와 상관관계 분석

1. 실 해상에서 개발 시스템과 상용 시스템의 계측 자료 분석

실 해상에서 개발 시스템과 상용 시스템을 이용하여 측정한 자료 분석을 위하여 광주과학기술원이 측정한 자료를 이용하였다. GIST는 개발 시스템과 상용 시스템의 성능 비교 평가 수행을 위하여 2019년 6월 12일부터 13일까지 완도 실험역에서 자료를 측정하였다.

하드웨어 입력 변수인 음원 레벨을 KIOST 수조에서 실험한 결과를 통해 후속 조치로 개발 시스템의 수신 이득 값을 설정하여 Sv 값을 보정하였다. 이후 실 해상에서 3차례 계측한 자료 분석을 통하여 계수 결과와의 상관성을 알아보았다(그림 11).

결과적으로는 어류 계수를 위한 상용 시스템과 개발 시스템의 Sv 비교 결과 전체적으로 유사한 경향을 보임을 확인하였다. 후속 조치로 개발 장비의 수신 이득 값을 설정할 수 있도록 데이터 정리 및 분석하였으며, 측정 정점 증가, 하부 그물망 신호 제거, 조류에 따른 어망 기울기 조건 검토 등 계수 오차 감소를 위한 반복 실험 및 분석 결과 대응을 수행하였다.

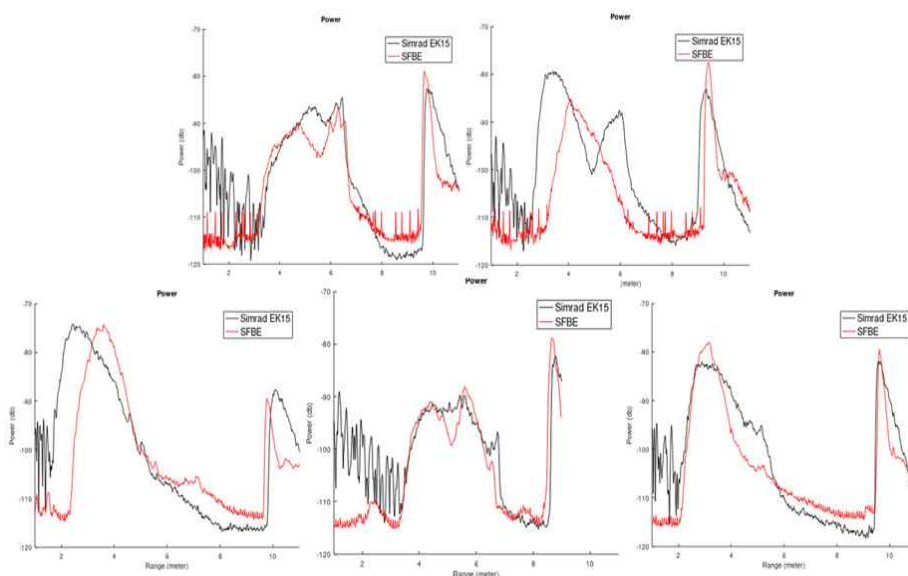


그림 11. 개발 장비와 상용 장비를 이용한 가두리 내 어류의 Sv 상관성 비교

2. 음향 변수와 계수량의 상관성

개발된 음향 계수장비의 정확도는 하드웨어와 소프트웨어의 정확도에 따라 결정된다. 하드웨어 정확도는 송신 감도와 수신 신호의 감도의 정확도에 따라 결정되는데 이 변수에 대한 측정은 수조 실험과 해상 실험을 통해 절차에 따라 검증을 하였다. 어류 계수량 측면에서 소프트웨어는 어류의 산란강도 함수, 어류 길이 분포가 중요한 변수가 된다. 따라서 연구용으로 조성한 양식장에서 실제 계수된 어류를 대상으로 음향 변수와의 상관성을 파악하여 개체수 계수 및 실험 방법을 파악하고자 하였다.

그림 12는 광주과학기술원에서 전라남도 완도군에 연구용으로 설치한 가두리 양식장으로 볼락 어류를 선정하여 사전에 계수된 어류를 관리하는 양식장이다. 가로×세로×높이가 약 7 m이며, 어류 길이는 15 ~ 17 cm이며, 개체 수는 약 5,600 마리이다.

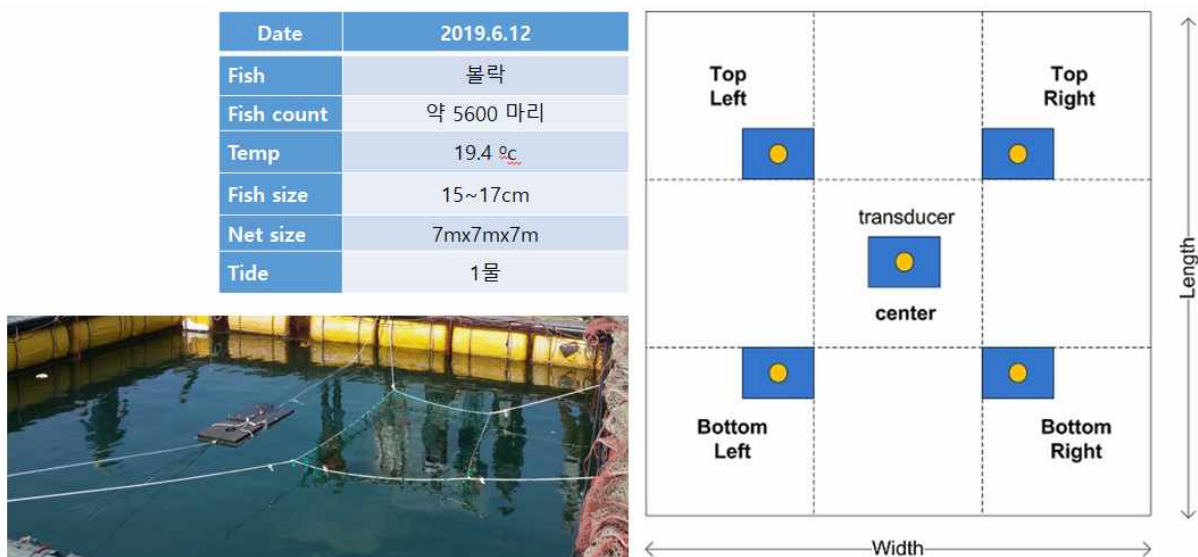


그림 12. 어류 계수용으로 관리하는 양식장 (GIST)

해당 양식장에서 상용 장비와 개발 장비를 이용하여 측정한 음향 값으로부터 어류를 계수하고자 하였다. 실제 양식장 환경에서 양식 어류는 전 가두리 공간 내에 골고루 분포하기보다는 물의 흐름에 따른 양식장 그물의 형상에 따라 분포 위치가 공간적으로 차이를 보일 수 있다. 또한 햇빛이 영향에 따라 일주 분포 특성 또한 차이를 보일 수 있다. 본 연구에서는 산란강도 함수의 계수인 b_{20} 값에 따라

음향 센서의 위치 변화에 따른 계수 값을 구분하여 측정하여 계수 값의 적절성을 파악하고자 하였다. 센서 위치는 편의상 가두리 center, Top right, Top left, Bottom right, Bottom left로 5 가지로 측정 위치를 변경하였다.

가두리 중심부에 센서를 설치한 조건에서 측정한 음향 에코그램에서 어군은 수심 2.8~5.0 m에서 시간에 따른 변동성이 크지 않고 안정적으로 어군이 형성되는 것으로 측정되었다 (그림 13). Sv 값은 -31 ~ -35 dB 범위에서 작은 변화를 가지고 있어 측정 시기 동안 안정된 값을 보여 어군이 가두리 중심 부근에서 안정적으로 분포함을 보여주고 있다.

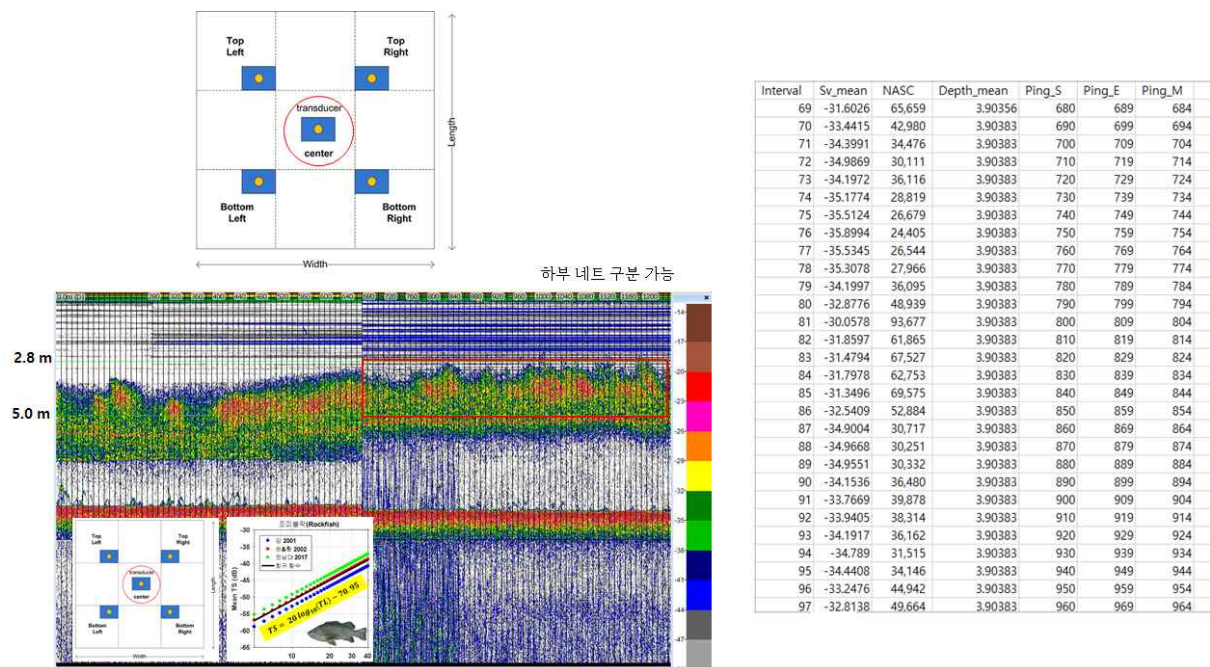


그림 13. 가두리 중앙부에서 측정한 어군 에코그램 및 Sv 값의 예 (볼락)

가두리 상단 우측부(Top right)에 센서를 위치하였을 때 수신된 에코그램에서 어군은 시간에 따라 분포 변동이 중앙부보다는 크게 나타나고 있었다(그림 14). 중심부와 동일한 수심을 고려했을 때 Sv 값은 -25 ~ -31 dB 범위에서 나타나 중심부보다는 밀집된 어군이 분포함을 알 수 있었다. 5.0 m 하부에서는 네트로 판단되는 신호가 별도로 나타나 어군과는 분리가 되었다.

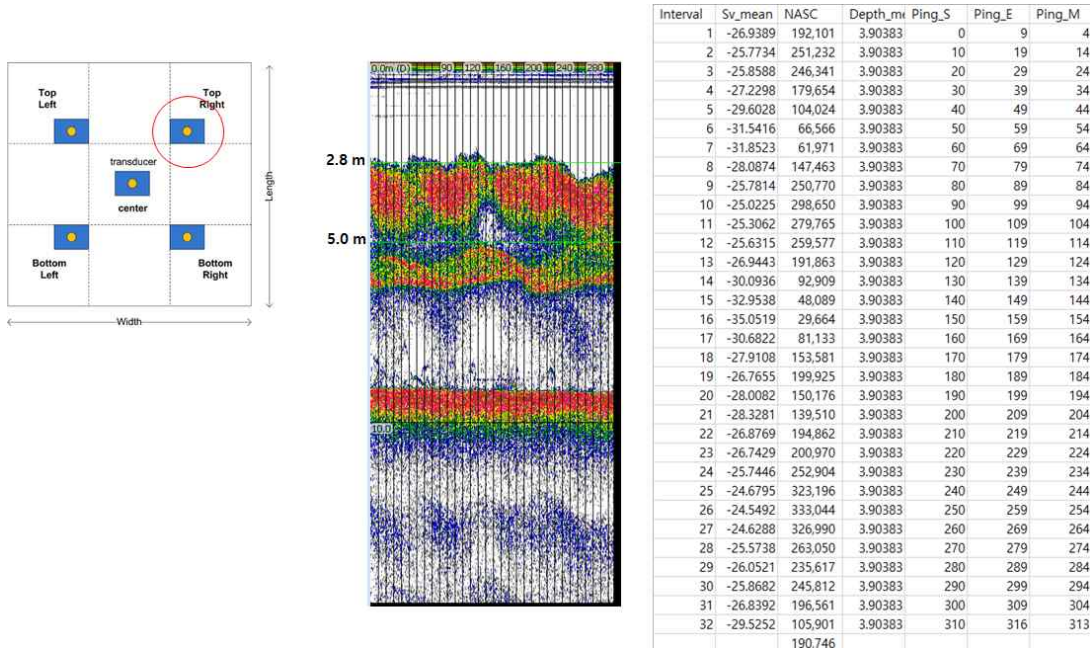


그림 14. 가두리 Top right에서 측정된 어군 에코그램 및 Sv 값의 예

가두리 상단 좌측부(Top left)에 센서를 위치하였을 때 수신된 에코그램에서 어군은 상단 우측보다 어군 강도가 낮게 나타나고, 어군의 수심은 중앙과 우측 상단보다 깊어지는 차이를 보이고 있었다(그림 15). 분포 수심은 3.1 ~ 6.2 m이고, Sv 값은 -29 ~ -33 dB 범위에서 나타나 상단 우측보다는 낮지만 중심부보다는 약간 높은 분포 특성을 가지고 있었다.

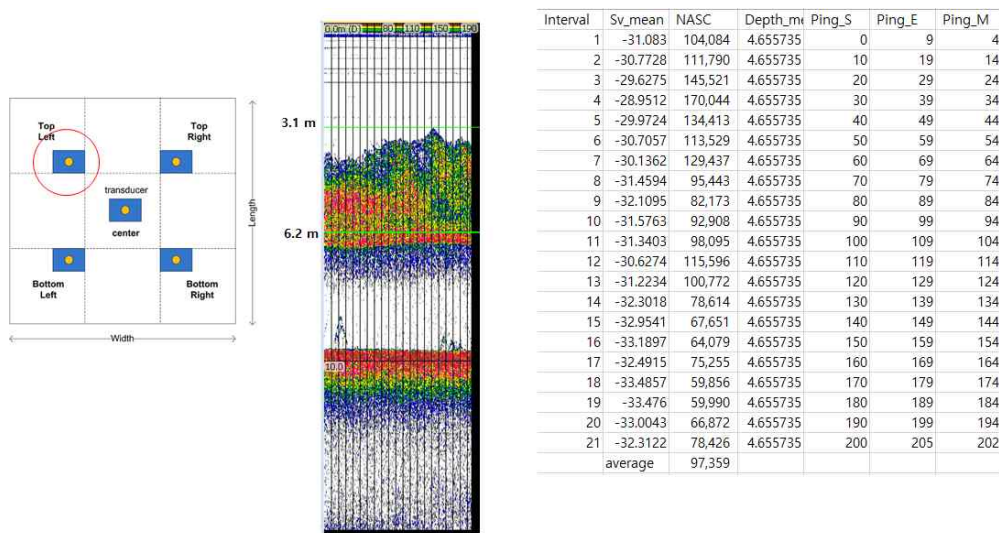


그림 15. 가두리 Top left에서 측정된 어군 에코그램 및 Sv 값의 예

가두리 하단 좌측부(Top left)에 센서를 위치하였을 때 수신된 에코그램에서 어군은 상단 우측보다는 낮지만 어군 강도가 상대적으로 높게 나타며, 어군의 움직임 또한 안정되게 나타나는 특성을 보이고 있었다(그림 16). 분포 수심은 1.6 ~ 4.8 m이고, Sv 값은 -25 ~ -28 dB 범위에서 나타났으며, 하부 네트와는 별도로 구분되지 않아 높은 수신 강도에 그물의 영향이 반영될 수 있음을 암시하고 있다.

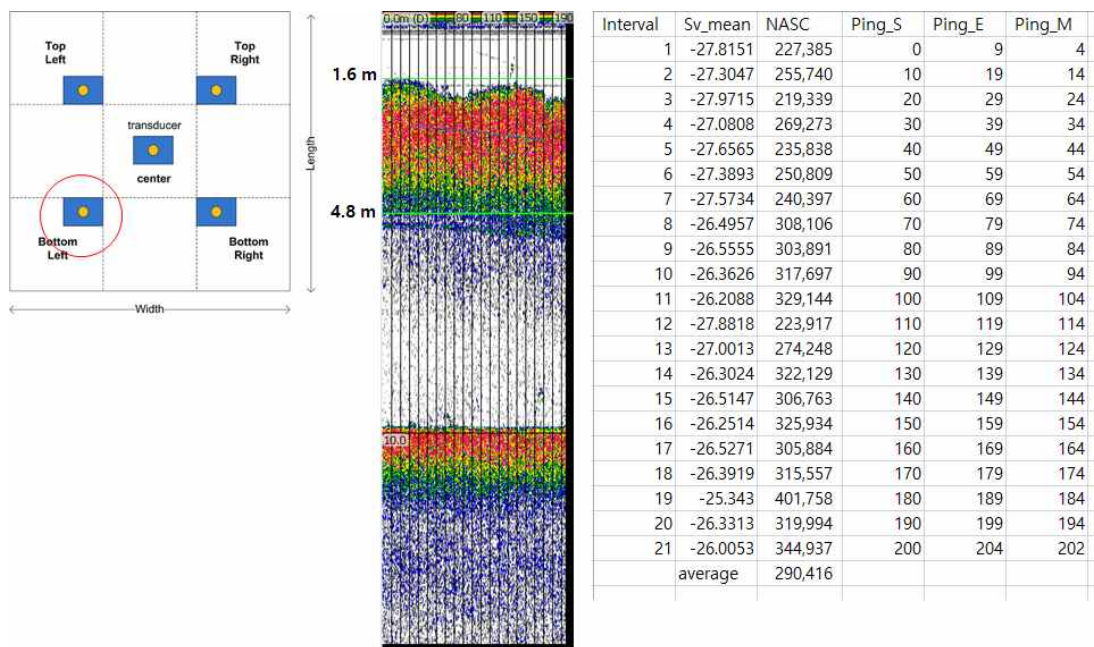


그림 16. 가두리 Bottom left에서 측정된 어군 에코그램 및 Sv 값의 예

가두리 하단 우측부(Bottom right)에 센서를 위치하였을 때 수신된 에코그램에서 어군은 상대적으로 다른 위치에 비해 어군 강도가 낮게 나타나고 있으나 큰 차이는 아닌 것으로 보여지고 있으며, 어군의 움직임은 Top right와 유사하게 나타나 가두리 오른쪽에서 어군의 움직임이 크게 나타나는 양상을 보이고 있었다(그림 17). 분포 수심은 1.6 ~ 4.8 m이고, Sv 값은 -29 ~ -34 dB 범위에서 나타났으며, 하부 네트와는 별도로 구분되지 않아 높은 수신 강도에 그물의 영향이 반영될 수 있음을 암시하고 있다.

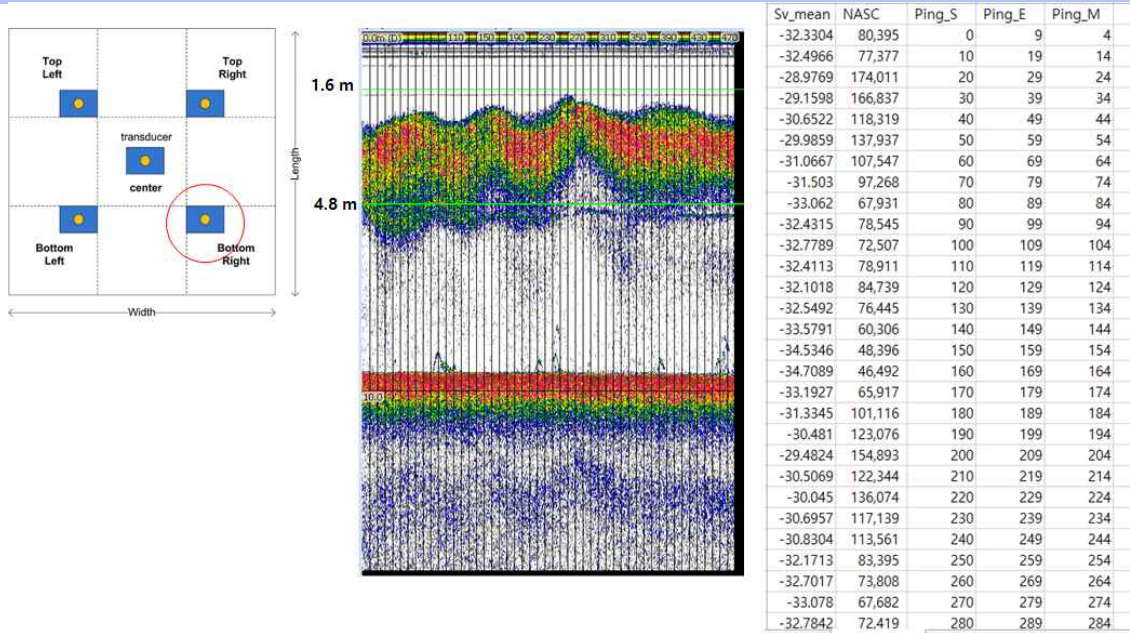


그림 17. 가두리 Bottom right에서 측정된 어군 에코그램 및 Sv 값의 예

하나의 가두리에서 총 5 군데로 위치를 이동하며 어군 강도, 분포 수심, 에코그램의 시간 변동을 측정하였다. 가두리 내 어군 계수에서 여러 군데를 측정하여 평균값으로부터 계수값을 산출하는 것이 가장 이상적인 측정 방법이나 이러한 접근 방법은 어군의 분포가 네트 내에서 균일하게 분포할 때 가장 정확한 값을 산출할 것이다. 이러한 균일성은 음향 강도에서 에코그램의 변위가 안정적이며, 네트 하부와의 신호가 분리되는 조건을 만족하는 에코그램에서부터 유추가 가능할 것이다. 측정된 5 가지 위치에서 이러한 조건에 가장 근접하게 만족하는 에코그램은 센서를 중앙부에 위치시켰을 때로 판단된다.

각 위치에서 측정된 음향 수치인 Sv 값으로부터 어군의 적분 구간을 고려하여, 길이-무게 함수 및 분포, TS 함수를 반영하여 어류 계수량으로 계산을 실시하였다. 이들 변수로부터 Sv 값 (혹은 NASC, Nautical Area Scattering Coefficient) 을 밀도로 계산하는 변환 계수를 계산한 후, 가두리의 면적을 적용하였다 (표 2)

표 2. 가두리 내 불락의 개체수 계산을 위한 초기 조건

어종	불락			
TS	20log10(L)-70.95 (초기 입력 값)			
Length-weight	0.017*L^3.01			
b20	-70.95	-72.79	-70.8	-69.25
길이-무게 coefficient	0.017	0.017	0.017	0.017
w/sigma	0.0049	0.0075	0.0047	0.0033
length coefficient	3.01	2	1.01	
length distribution	15 cm	0.25 %		58.9
	16 cm	0.50 %		71.6
	17 cm	0.25 %		85.9
conversion factor	0.081	0.123	0.078	0.055
가두리 면적 (m ²)	49	49	49	49

가두리내 관리 어종인 불락 어류 계수를 위한 초기 조건, 즉 소프트웨어에서의 표적강도 입력값 b_{20} 을 -70.95로 설정하였다. 측정한 5 가지 위치에서 가장 안정된 음향 값과 어군 변위량을 보인 중앙부 센서 위치에서 어류 계수값은 약 3,184 개체수로 계수되었다. 어군 강도가 센 Top right에서는 10,668 개체, 중앙부와 유사한 에코그램인 Top left에서는 5,445 개체수로 계산되었다. 표 3에 다양한 b_{20} 조건에서 각 센서 위치별로 계수한 어류 계수값을 나타내었다.

가장 안정적인 중앙부 센서 조건에서 계수값을 검토하였을 때 b_{20} 값 -70.95는 상대적으로 높은 값으로 판단되어 -69.25, -70.8, -72.79 값으로 가변시키면서 어류 계수량을 계산하였다. 입식 초기 때 측정한 불락 개체수인 5,600 마리를 고려했을 때 가장 근접한 b_{20} 값은 -73 부근으로 판단된다. 즉, 대상 가두리 내에서 어류의 움직임이 가장 안정적이며, 그물망과 분리될 때 $b_{20} = -73$ 의 입력 변수 설정이 초기 개체수에 가장 근접하는 값이므로 소프트웨어 내부에서 b_{20} 값의 변경 필요성을 제시하고 있다.

이러한 각 어종별로 초기 b_{20} 값 설정은 안정된 에코그램의 Sv 값으로부터 계산되는 개체수 값을 통해 편차 내에서 b_{20} 값 조정을 통해 개체수 계산 과정에서 다

양한 튜닝을 통해 최적의 값으로 변경해야 함을 보여주고 있다.

표 3. 다양한 b_{20} 조건에서 계수된 불락 개체 수

b20	-70.95	-72.79	-70.8	-69.25
Center - Mean NASC (네트 구분 가능)	56,937	56,937	56,937	56,937
Density (g/m ²)	4,597	7,023	4,441	3,108
단위면적 개체수	65	99	63	44
전체 개체수	3,184	4,864	3,076	2,153
Top Right - Mean NASC (네트 구분 가능)	190,746	190,746	190,746	190,746
Density (g/m ²)	15,402	23,528	14,879	10,413
단위면적 개체수	218	333	210	147
전체 개체수	10,668	16,295	10,305	7,212
Top Left - Mean NASC (네트 구분 가능)	97,359	97,359	97,359	97,359
Density (g/m ²)	7,861	12,009	7,594	5,315
단위면적 개체수	111	170	107	75
전체 개체수	5,445	8,317	5,260	3,681
Bottom Left - Mean NASC (네트 구분 가능 ?)	290,416	290,416	290,416	290,416
Density (g/m ²)	23,450	35,821	22,654	15,854
단위면적 개체수	331	506	320	224
전체 개체수	16,242	24,810	15,690	10,981
Bottom Right - Mean NASC (네트 구분 가능 ?)	110,470	110,470	110,470	110,470
Density (g/m ²)	8,920	13,626	8,617	6,031
단위면적 개체수	126	193	122	85
전체 개체수	6,178	9,437	5,968	4,177

3. 가두리 내에서 음향 계수 측정 방안 제시

가두리 내에서 음향 장비를 이용하여 어류 계수를 추정하는 과정은 하드웨어 보정과 동시에 적정 소프트웨어 함수를 필요로 한다. 이러한 두 가지 조건을 만족 하다고 해도 가두 내라는 제한된 그물망 환경 속에서 어군의 분포 특성, 그물망의 분포 특성 또한 음향 수신 값에 중요한 영향을 주므로 이에 대한 고려도 동시에 반영해야 한다.

3.1. 센서 보정

어류 계수 음향 장비는 음향 센서를 기반으로 하므로 센서의 송신 및 수신 감도에 영향을 받게 된다. 따라서 주기적인 센서의 송신 및 수신 감도를 측정해야 한다. 이상적으로는 매 측정 전과 측정 후에 하는 것이나 현실적으로 어려우므로 매년 1회 정도 센서의 송, 수신 감도를 측정하기를 제안한다.

이때 센서 보정은 절대 보정구를 이용하거나 수중에 고감도 하이드로폰을 설치하여 음원 레벨 값을 보정하여 입력 변수로 활용해야 한다.

3.2. 관측 시간

어류 계수 음향 장비는 음향 기법을 기반으로 하므로 단기간의 측정을 통해 계수를 할수 있는 장점이 있다. 따라서, 장기간 측정에 따른 어류 군집의 위치 이동에 따른 편차를 줄이기 위하여 30분 이내에 관측을 마치고 이에 따른 평균 값 결과를 통해 계수 결과를 도출하기를 제안한다.

3.3. 관측 위치

가두리 내 어군의 위치는 조류 방향에 따라 그물 주변에 어군이 존재할 가능성이 크다. 이러한 그물망 주변의 어군은 음향신호에 그물망 신호와 함께 들어와 오차를 발생시킨다. 따라서, 음향 계수 관측은 가급적 어군이 중앙부에 위치할 때 관측하는 것이 오차를 줄일 수 있다. 어군이 그물망에 인접한 경우 외력을 가해서 어군이 중앙부에 오도록 위치하는 순간 측정하는 것이 가장 좋으나 물리적으로 어려울 경우, 에코그램 형상을 통해 어군이 중앙부에 위치하는 조건에서 측정하기를 제안한다.

3.4. 관측 시기

남해안이나 서해안의 경우 조류의 흐름이 일주기 변화를 가진다. 이때 대조 및 소조 시기에 그물망이 기울어 지고, 동시에 어류들은 조류가 흘러오는 방향으로 이동할 가능성이 크다. 따라서, 관측 시기는 가급적 정조 시기를 전후하여 1-2 시간 이내에 가두리 그물이 기울어지지 않는 조건에서 음향 계수를 실시하기를 제안한다.

3.5. 적분 구간 설정

조류에 따라 그물망이 기울어지는 경우 어군에 의한 에코그램 신호에 그물에 의한 신호가 함께 들어와 계수량에 오차를 발생시킬 수 있다. 따라서 일반적인 크기인 7 m 깊이의 그물이 수직으로 형성되는 시기에 측정하는 것이 좋으며, 이때 적분 구간은 에코그램의 시각적 구분을 통해 임의의 구간을 입력 변수로 설정하길 제안한다. 단, 이때 하부 그물망 신호와 어군 신호의 분리 구간을 설정해야 하며, 하부 그물은 일정한 깊이에서 일정한 음향강도를 가지므로 에코그램을 통해 구분할 수 있다.

3.6. 산란강도 설정

계수량 계산 알고리즘에는 대상 어류의 평균 산란강도 함수가 내장되어 있다. 산란강도 함수는 다양한 각도를 가지는 조건의 산란 특성이 반영되어 있어 자연 상태의 자원량 계산에는 적합하나 가두리 조건과 같이 특정 각도로 유형 자세각을 형성하는 어류의 군집 패턴으로 볼 때 산란강도 함수의 조정이 필요하다. 즉, 기 측정된 평균 산란강도 함수에서 b_{20} 값의 표준편차 범위 내에서 적정 값을 결정해야 할 것이다. 사전에 개체수를 알고 있는 어류를 대상으로 에코그램에서 어군의 수직 움직임이 안정되고, Sv 값 변동 또한 안정되게 측정되는 음향 값으로부터 표준편차 내의 다양한 b_{20} 값을 변경하여 사전에 게측된 값과 가장 유사하게 계산되는 b_{20} 값을 결정하여 해당 어류의 음향 계수값으로 적용할 것을 제안한다.

3.7. 길이-무게 함수 설정

음향 측정값을 통해 계수량을 계산할 때 입력 변수로 대상 어류의 길이 및 무



계 함수가 입력 변수로 들어간다. 이들 관계식으로부터 가두리 내의 어류의 개체 수 혹은 총량을 계산하므로 이들 관계식을 사전에 측정해야 한다. 일반적으로 가두리 내에 입식하는 어류는 동일종이며, 유사한 크기의 어류를 입식시키게 된다. 따라서, 길이-무게 함수를 위해 random하게 채집된 개체의 길이 및 무게를 측정하여 사용하는데 약 30마리 정도의 길이-무게를 측정하여 적용하길 제안한다.

3.8. 센서 기울기

음향 측정값을 통해 계수량을 계산할 때 송수신되는 신호는 센서의 기울기가 클수록 약한 수신 신호를 발생시킨다. 따라서, 센서의 기울기는 수신 신호의 안정성 측면에서 가능한 최소화 하는 것이 좋다. 일반적으로, 센서의 기울기는 최대 $\pm 10^\circ$ 를 넘지 않으며, 가능한 $\pm 5^\circ$ 이내의 기울기를 유지하기를 제안한다.

제 4 장 양식장 관리 모니터링 자료 수집

1. 양식장 입식 어류 현황 자료 조사

양식장 관리 모니터링 자료 확보를 위하여 경상남도 통영에 위치한 양식장 내 입식 어류 현황을 조사하였다.

조사 양식장은 다양한 양식 어류를 입식 및 장기간 양식을 실시하는 한국해양과학기술원 해양생물자원기지 양식장을 선정하였다. 제일 외곽에 위치한 칸에는 2008년에 능성어 30마리, 민어 100마리, 농어 100마리, 참돔 50마리, 말쥐치 50마리, 2015년에 방어 30마리를 입식하였다. 2014년에는 동갈돔돔 1,000마리와 돌돔 300마리를, 2015년에는 감성돔 1,000마리를 입식하여 기르고 있다. 2016년에는 전갱이, 고등어 약 30,000마리, 참돔 40,000마리를 각각 칸에 입식하였다. 2017년도에는 우럭 60,000마리를, 2018년도에는 송어 500마리를 각각의 칸에 입식하였다. 그 외의 칸에는 참돔, 말쥐치, 감성돔, 동갈돔, 돌돔 및 볼락, 말쥐치, 감성돔, 복어, 능성어를 혼합하여 입식한 후에 기르고 있다 (그림 18).

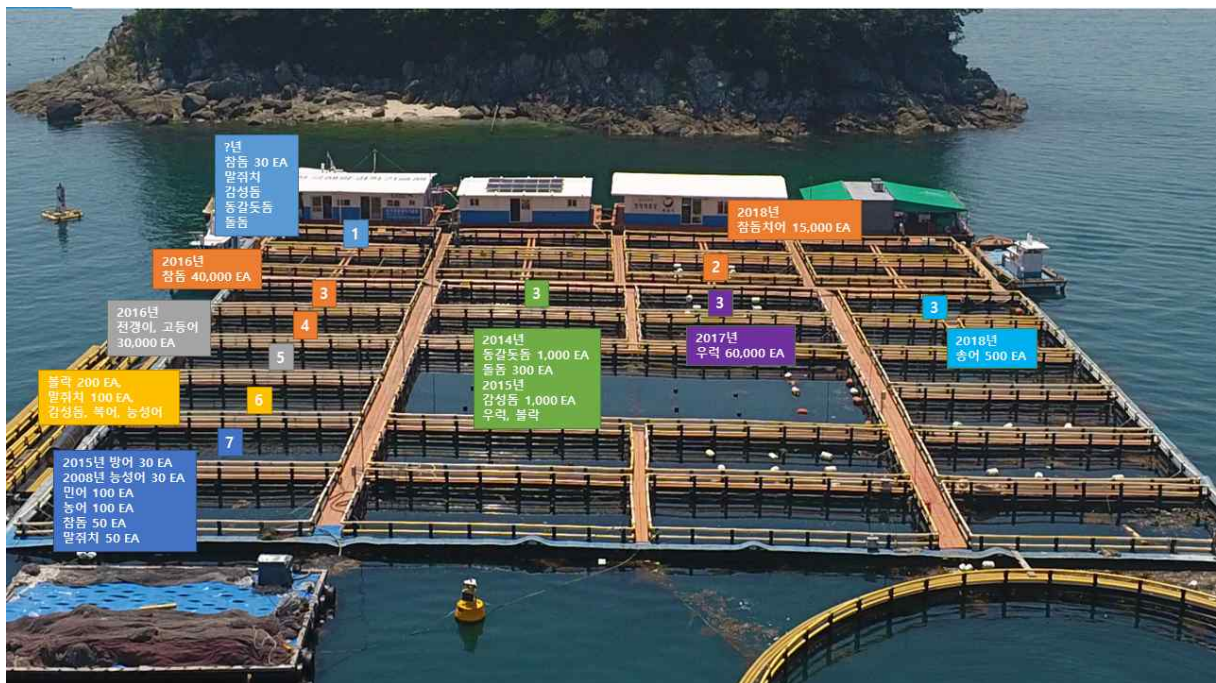


그림 18. 양식장 관리 모니터링용 통영 가두리내 어류 현황 자료

2. 연안 양식장 해역 수심별 수온 변화 측정 및 분석

연안 양식장은 하계 시기에는 고수온, 동계 시기에는 저수온의 영향을 크게 받으며 양식 어류의 성장 및 생존에 크게 영향을 주게 된다.

연안에 양식장이 많이 분포하는 전남 장흥 노력도 해역의 수심별 수온 측정을 위하여 RBR duet T.D 센서 3기를 이용하였다. 측정 위치는 장흥 노력도 남단으로 위도 34.43364도, 경도 126.95693도인 해역이다. 측정 방법은 로프에 RBR T.D 센서를 각 수심별 표층, 중층, 저층 (1 m, 4 m, 8 m)에 계류한 후에 2019년 2월 12일 14시부터 동년 동월 26일 14시까지 약 2주 동안 연속 관측을 수행하였다. 이때 측정 자료는 압력, 수온이며, 측정 주기는 1분에 1회로 수행하였다 (그림 19).

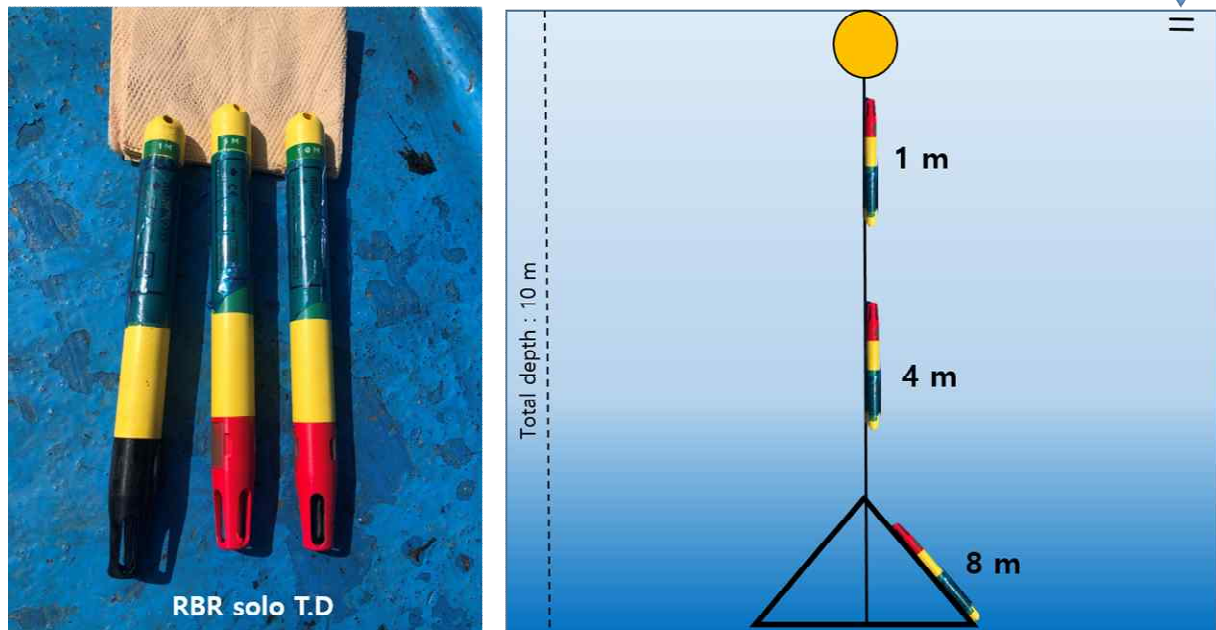


그림 19. 수심, 수온 측정기 (좌) 수심별 수온 변화 측정 모식도 (우)

표층(1 m)에서 측정된 수온은 약 7.5 - 9.5 도 범위 내에서 분포하였으며, 수심은 0 - 2 m 이내로 변동하였다. 중층(4 m)에서 측정된 수온은 약 7.5 - 9.5 도 범위로 표층과 동일하게 분포하였으며, 수심은 2 - 4 m 이내로 변동하였다. 마지막으로 저층(8 m)에서 측정된 수온은 약 7.5 - 9.3 도 범위로 분포하였고, 이때 수심은 6 - 10 m 이내로 변동하였다. 따라서 해당 해역의 2월에는 표층과 중층 그리고 저층 모두 수온이 동일하게 분포함을 확인하였다 (그림 20).

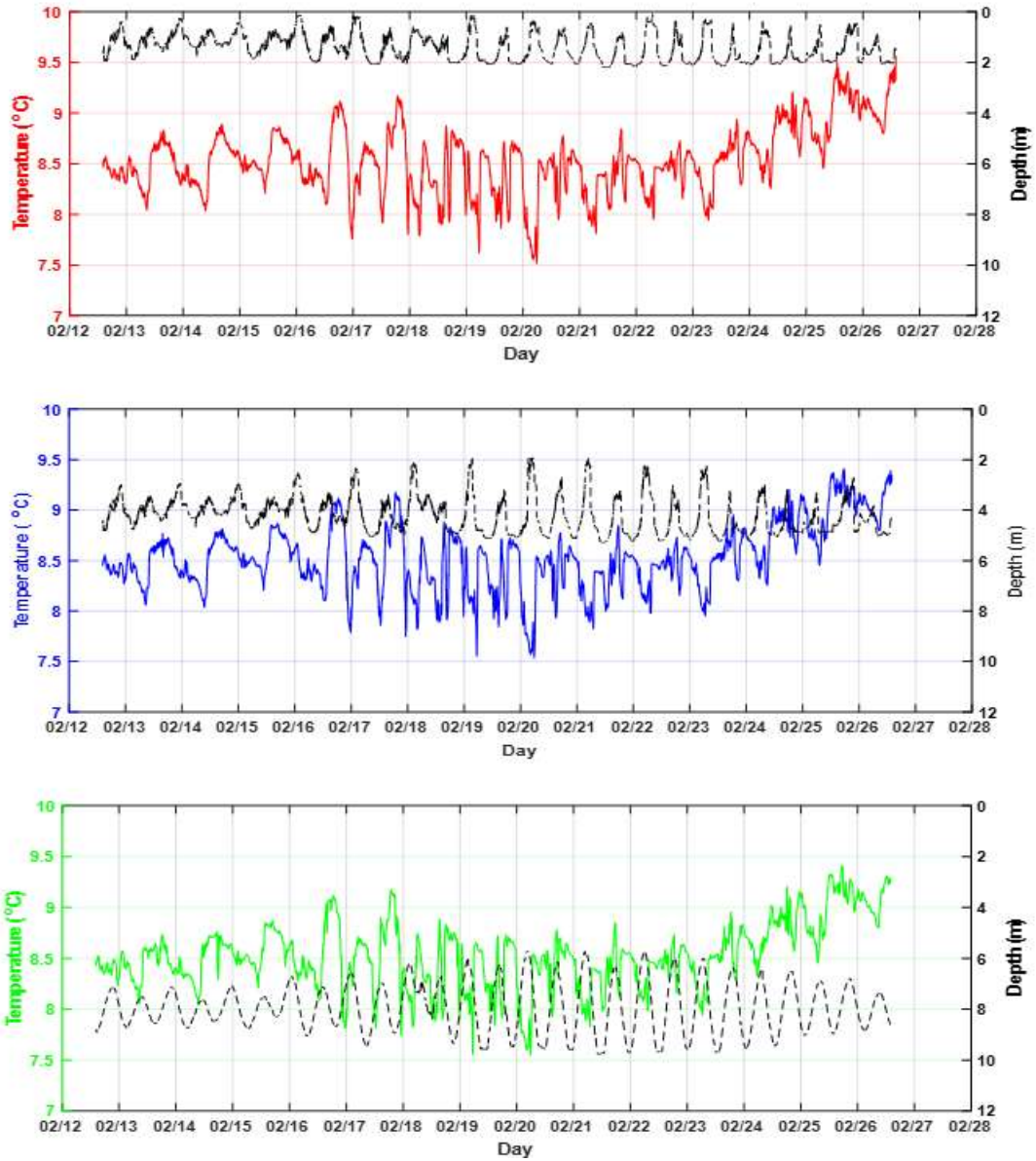


그림 20. 수심, 수온 측정기를 이용하여 획득한 각 수심에 따른 수온 분포 결과,
표층 (상) 중층 (중) 저층 (하)

제 5 장 요약

- 한국해양과학기술원 대형 수조에서 시스템 성능 평가 수행
 - ◇ GIST 개발 음향 장비를 이용한 Pulse length 변화에 따른 시스템 음원 준위(Source level) 시험 평가 및 결과 도출
 - ◇ GIST 개발 음향 장비와 사용 장비를 이용한 성능 측정 및 비교 분석. 임의 표적(보정구)을 이용한 수신음 준위 측정 및 분석, 음원으로부터의 거리별 수신음 준위 측정 및 분석

- 실 해상 계측 데이터 분석을 통한 계수 결과와의 상관관계 분석
 - ◇ GIST가 해상 양식장 조건에서 측정한 음향 자료를 이용하여 어류 계수량 결과 도출 및 어류 표적 강도에 따른 변화 분석
 - ◇ 음향 계수 량과 실제 계수량과의 차이 요인 분석 및 적정 표적강도 적용 제시

- 양식장 자동화 관리 모니터링 시스템 구축을 위한 통영 양식장 현황
 - ◇ 기 구축된 완도 양식장 자동화 관리 모니터링 시스템 추가 자료 제공을 위한 통영 연안 가두리 양식장 내의 어종, 밀도, 입식 정보 등 자료 조사

- 음향 장비를 이용한 양식장 어류 계수 과정에서의 제안 사항 제시
 - ◇ 센서 보정, 관측 시간, 관측 위치, 관측 시기, 적분 구간 설정, 산란강도 설정, 길이-무게 함수 설정, 센서 기울기 등 총 8 가지의 제안 사항을 항목별로 제시

제 6 장 연구개발 실적

1. 국외 학술발표 실적

No	논문명	학회발표명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일
1	Mid-frequency sound attenuation by dense fish schools	OCEANS 2019 Seattle	Hansoo Kim		U.S.A	IEEE	비SCI논문	2019. 10. 27

성과 유형	비SCI논문
논문명	Mid-frequency sound attenuation by dense fish schools
연구기관	한국해양과학기술원
연구기간	2018. 12 ~ 2019. 12
주요 서지 사항	<p>The propagation of sound waves through sea water is affected by fish schools, which act as obstacles scattering and attenuating incident sound waves, resulting in a loss of energy as the sound waves propagate through the water column. It is very difficult to measure the acoustic characteristics of fish schools because their sizes and positions vary significantly in natural conditions. The attenuation experiments were carried out in the artificial sea-cage at a coastal floating fish-farm of marine science station, which is located in the South Sea of Korea. The target fish species was the Japanese horse mackerel (<i>Trachurus japonicus</i>), which typically forms fish schools from summer to autumn in the coastal ocean. We carried out sound attenuation experiments for mid-frequency with a large number of fishes in a net cage. As a result, we observed that the signal attenuation varied with the number of individual fishes. The received level decreased as the number of individual fishes increased. This was mainly due to signal attenuation by the</p>

fishes at all frequencies. We applied statistical methods to analyze the signal attenuation by various free-swimming fish schools. Our results showed that the presence of the fish school affected the acoustic propagation by attenuating the sound waves.

관련
사진

Mid-frequency sound attenuation by dense fish schools

Hyeon Kim¹ Donghyun Kang^{2*} Sungho Choi³ Mira Kim⁴
¹Maritime Security & Safety Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan, 49111, Korea
²Department of Ocean Science Engineering, Ajou National University, Suwon, 30539, Korea
³Maritime Security & Safety Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan, 49111, Korea
⁴Maritime Security & Safety Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan, 49111, Korea

Abstract—The propagation of sound waves through sea water is affected by fish schools, which act as obstacles scattering and attenuating incident sound waves, resulting in a loss of energy as the sound waves propagate through the water column. It is very difficult to measure the acoustic characteristics of fish schools because their size and position vary significantly in natural conditions. The attenuation experiments were carried out in the artificial sea-cage at a coastal floating fish-farm of marine science station, which is located in the South Sea of Korea. The target fish species was the Japanese horse mackerel (*Trachurus japonicus*), which typically forms fish schools from summer to autumn in the coastal ocean. We carried out sound attenuation experiments for mid-frequency with a large number of fishes in a net cage. As a result, we observed that the signal attenuation varied with the number of individual fishes. The received level decreased as the number of individual fishes increased. This was mainly due to signal attenuation by the fishes at all frequencies. We applied statistical methods to analyze the signal attenuation by various free-swimming fish schools. Our results showed that the presence of the fish school affected the acoustic propagation by attenuating the sound waves.

Keywords—Sound attenuation, Mid-frequency, Fish school, Biological farm, Free-swimming

I. INTRODUCTION
 Acoustic propagation of underwater sound waves is influenced by complex interactions between reflection, transmission, attenuation, and scattering by the ocean acoustic medium and the ocean boundaries layers such as the sea surface and sea bottom. The main factors influencing such acoustic propagation are reflection and scattering at the ocean boundary layers, which are caused by physical and geological factors (Urick, 1975). However, the attenuation and scattering in the ocean acoustic medium, which can be affected by a biological factor such as marine life (Simmonds and McLennan, 2006). Many researchers have studied the transmission of sound waves by ocean interfaces, but research on oceanic media is insufficient.

Fish schools are the most important biological parameter affecting sound propagation through the ocean. Fish schools in the water column alter the propagation pattern of the incident sound waves (Ye, 1996; Ye and Farmer 1996). Especially, fishes with swim bladder of center the incident sound waves as a result of the large impedance difference composed with that of seawater, and the sound wave is also attenuated as it passes through the body, resulting in a loss of energy as the sound waves propagate through the water column (Davies, 1973). Many fishes have formed schools as protection from predators (Odians et al., 2012). The propagation of sound waves is affected by the position, orientation, and sizes of the schools, which act as obstacles that attenuating incident waves, resulting in a loss of energy as the sound propagate through the water column (Parsons et al., 1992; Alvarez and Ye, 1999). Few kinds of research have examined sound wave propagation and its attenuation by fish schools in nature due to the difficulty in detecting fish schools. It is very difficult to measure the acoustic characteristics of fish schools because their positions and sizes vary significantly spatiotemporally.

In the mid-frequencies of the propagation of sound waves, the detection environments were limited due to the attenuation due to the irregularity of the fish schools with the predictable transmission loss and absorption loss. So far, the attenuation of fish school studies has been performed intermittently in low-frequency bands (Dziachik and White, 2005). However, the effect of attenuation on the amount of fish individuals are unknown today.

In this study, we measured sound attenuation by fish schooling, which has a large influence on sound propagation. This study presents the experimental effects of dense fish schools on acoustic propagation at intermediate frequencies of 3 and 4 kHz. The purpose of this study was to understand the transmission of sound waves through the ocean by fish schools. It is difficult to obtain *in situ* measurements of acoustic attenuation by fish. Hence, we carried out acoustic experiment under artificial conditions.

IV. SUMMARY

This study measured the characteristics of sound attenuation through the fish schools at mid-frequencies. An understanding of the acoustic characteristics of spatiotemporally variable fish schools will be useful to researchers studying acoustic propagation and detection in the ocean. Furthermore, this study was to understand more the sound attenuation through the ocean by fish schools. In the future, it will be necessary to study the attenuation characteristics at broadband frequencies using greater numbers of fish, and attenuation effect by the fish schools to the underwater sound propagation modeling studies should also be conducted.

ACKNOWLEDGMENT

This research was a part of the project titled "Development of an automated fish-counter system and measurement of underwater foraging fish" funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea (P0461280). The authors thank Mr. Young Wook Lee Mr. Seogil Jung and Mr. Il Hyung Jung for their help in the field data acquisition.

REFERENCES

- [1] K. J. Urick, 1975. *Principles of Underwater Sound*, McGraw-Hill, New York, 1235.
- [2] E. J. Simmonds and D. N. McLennan, 2006. *Fisheries acoustics: Theory and Practice*, Blackwell Science, Oxford, UK, 1-417.
- [3] J. E. Davies, 1973. Attenuation of sound by schooled anchovies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 54, 213-217.
- [4] Z. Ye, 1996. On acoustic attenuation by sardine-like fish. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 669-672.
- [5] Z. Ye and D. M. Farmer, 1996. Acoustic scattering by fish in the forward direction. *ICES Journal of Marine Science*, 53, 249-252.
- [6] S. Menni, S. S. Eklöv, J. Lindström, D. J. McLeann, J. F. Hellman, and P. Doucet, 2011. Fish swimming in schools save energy regardless of local spatial position. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69, 219-226.
- [7] M. Parsons, K. Imai, and V. Mironov, 1992. Attenuation of sound by schooling fish. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92, 957-964.
- [8] A. Alvarez and Z. Ye, 1999. Effects of fish school structure on acoustic scattering. *ICES Journal of Marine Science*, 56, 363-369.
- [9] O. Dziachik and S. White, 2005. Coherent interaction of gas and bio-acoustic parameters from transmission loss measurements in the Yellow Sea. *Journal of the Acoustical Society of America*, 117, 1967-1978.

참고문헌

- 강돈혁, 신형철, 김수암, 이윤호, 황두진. 2003. 다중 주파수의 체적반사강도 차이를 이용한 에코그램 내에서의 종 분리와 잡음 제거. 한국수산과학회지, 36, 541-548.
- 강돈혁, 황두진, 서호영, 윤양호, 서해립, 김용주, 신현출, Kohji Iida. 2003. 동중국해 음향 산란층 내의 Euphausiid (*Euphausia pacifica*) 밀도 추정. 한국수산학회지, 36, 749-756.
- 강돈혁, 임양재, 이창원, 유준택, 명정구. 2008. 제주도 서쪽 연안에서 음향자원 조사를 이용한 저층 어군의 시·공간 분포. Ocean and Polar Research, 30, 181-191.
- 김주일, 양원석, 오택윤, 서영일, 김성태, 황두진, 김은호, 정순범. 2008. 음향을 이용한 통영 남해 연안 멸치 자원량 추정. 한국수산학회지, 41, 61-67.
- 어업인수산. <http://www.suhyupnews.co.kr/>
- 해양수산부. 2002. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. BSPM114-00-1424-7.
- 해양수산부. 2006. 전남 다도해형 바다목장화 개발 연구용역 보고서. BSPM35300-1745-3.
- 해양수산부. 2007. 동·서·제주해역 바다목장화 개발 연구용역. BSPM42400-1897-3.
- Simmonds, E.J. and D.N. MacLennan. 2005. Fisheries Acoustics, Second Edition. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK. 437p.



1. 이 보고서는 광주과학기술원에서 한국해양과학기술원에 의뢰한 용역사업의 최종보고서입니다.
2. 보고서의 내용을 인용할 때에는 반드시 광주과학기술원에서 한국해양과학기술원에 의뢰한 용역사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.