

논문 2010-47SP-5-25

VBeam 수신 성능 개선을 위한 입사각 추정 기반의 빔형성 알고리즘 연구

(DOA(Direction of Arrival) Estimation based Beamforming technique for VBeam Reception Performance Enhancement)

이재은*, 심태보**

(Jaeun Lee and Taebo Shim)

요약

해양에서는 해수면에 일어나는 여러 발생원들에 의해 많은 기포들이 생성될 수 있다. 이렇게 생성된 기포들은 해양에서 사용되는 음파의 세기와 음속에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 이런 기포의 영향을 알아보고자 2008년 7월 2일 ~ 7월 3일 까지 동해 묵호항에서 약4km 떨어진 해역에서 십자형 어레이인 Vbeam 송수신 장비를 사용하여 해수면의 Reverberation을 실측하였다. 수신된 신호는 주변 노이즈가 심하고 Multipath에 의해 ISI(Inter Symbol Interference)가 발생하기 때문에 자료 분석에 어려움이 있다. 본 논문에서는 입사각 추정 기반의 빔형성 기법과 Filter and Sum 기법을 적용하여 주변 노이즈와 ISI를 제거하였으며 완전하게 제거되지 않은 ISI를 제거하기 위해서 DFE(Decision Feedback Equalizer)를 적용하여 ISI에 의한 오차를 줄일 수 있었다.

Abstract

The bubbles could be created from multiple source in the surface of ocean. The bubbles which are created like this affect to the intensity and the sound speed of acoustic wave which are used from the ocean. From the research, it observed Reverberation from the sea surface, using Vbeam transmission and reception equipment that was a cross-shaped Array, from 2008 July 2nd to July 3rd at 4km from the East Sea Mookho port. It is difficult to analyze data because the received signal has ambient noise and occurrence ISI(Inter Symbol Interference) for multipath. This paper remove that ambient noise and ISI using the directions of arrival beamforming and the filter and sum beamforming. After beamforming, a following DFE(Decision Feedback Equalizer) removes the remaining multipath components. Experimental results show that the proposed technique reduce the errors caused by ISI.

Keywords : Array, Beamforming, Sea Surface scattering, Reverberation, Decision Feedback Equalizer

I. 서론

바다와 같은 수중에서 음파는 다른 어떤 전송매체보다 손실이 적기 때문에 음파를 이용하며, 수중 음파를 이용하는 시스템으로 소나 시스템이 있다. 소나 장비 운용에 있어서 다른 물체의 위치와 거리를 알아내는 것

이 필수적이며, 두 가지 종류의 소나가 있다. 단순히 목표물에서 발생하는 음파를 수신하여 목표물에 대한 정보를 알아내는 방법으로 수동소나가 있고, 수중 프로젝터로 신호를 발생시켜 목표물에 반사되어 나오는 신호를 수신하여 수신된 신호를 다양한 방법으로 처리해 목표물에 대한 방향이나 거리 정보를 얻는 방식으로 능동 소나가 있다. 이러한 음향 센서들을 여러 개로 어레이 구조로 구성함으로써 단일 센서에서 얻는 것보다 목표물에 대해 더 정확한 방향과 거리 정보를 얻을 수 있는 구조가 많이 쓰이고 있다.^[1]

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신공학과 (Department of Information & Telecommunication Engineering, Soongsil University)

접수일자: 2010년6월3일, 수정완료일: 2010년7월10일

이러한 배열로 형성되는 유한 영역에서 특정 방향으로 강한 응답함수를 형성해 목표물의 방향 정보를 추출할 수 있으며, 이와 같이 방향 정보를 위한 어레이 센서의 신호처리 방법을 빔형성 기법 이라하며, 수중에서도 어레이 시스템을 통한 빔형성 기법을 많이 사용하고 있다.^[2~4]

수중에서의 방사된 음파는 다양한 전달 경로를 거치면서 경계면(해수면, 해저면)과 해수 체적내의 산란체(기포, 동물플랑크톤) 등에 의해 산란되어 돌아온다. 이러한 음들의 합을 잔향음이라 한다. 이러한 잔향음은 그 발생원인에 따라 해수면 잔향음, 해저면 잔향음, 체적 잔향음의 세 가지로 분류 된다.^[5]

잔향음을 일으키는 산란 현상을 후방산란이라 하며 해수면 산란은 음원의 주파수, 수평입사각, 해상풍의 속도의 함수로 주어지기 때문에 해수면 잔향음의 특징을 잘 나타낸다고 할 수 있으며 해저면 산란은 해저면의 거칠기에 따라 변한다.^[6~8]

본 논문에서는 이차원 배열 구조의 VBeam 송수신 장비를 이용하여 해수면의 잔향음을 측정함으로써 산란 강도를 분석하였다. 빔형성 기법인 Delay and Sum 빔형성 기법과 Filter and Sum 빔형성 기법을 사용하여 다중 경로에 의한 신호의 영향과 노이즈의 영향을 줄일 수 있었다. 그러나 빔형성된 신호라도 다중 경로 신호에 대해서는 완전하게 제거할 수 없고, 빔형성된 방향에서 수신되는 산란 신호를 제거할 수 없다는 단점이 있어 수신 신호에서 정확한 해수면 산란 신호를 찾을 수 없었다.

본 논문에서는 해수면 산란 측정을 위한 빔형성 기법의 단점을 보완하고 정확한 해수면 산란 신호를 찾기 위해서 빔형성 기법과 DFE 기법을 적용하여 Vbeam 송수신 장비의 수신 성능을 높였다. 표층 미세 규모의 영향을 고려하지 않은 이론과 실험식 등에 의해서 추정 한 값과 실측 자료와 비교를 통해서 알고리즘을 검증하였다.

II. 이 론

1. Delay and Sum 빔형성 기법

[그림 1]에서 보인 1차원의 등 간격 선형 어레이의 원리에 대해 살펴보기로 한다.

평면파의 신호가 선형 어레이의 크기에 비해 먼 거리에서 같은 정도로 감쇄되어 센서에 도달한다고 가정하

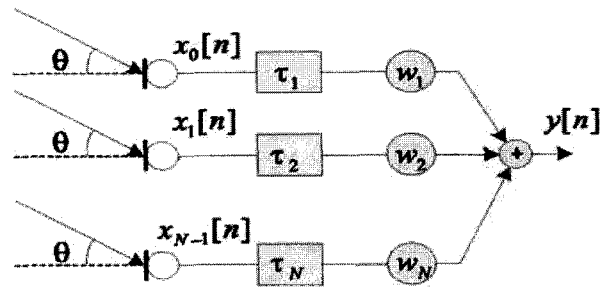


그림 1. Delay and Sum 빔포머 구조
Fig. 1. Structure of Delay and Sum beamformer.

면 각 센서에 도달하는 신호들은 센서의 위치에 따라 시간 지연만 다른 신호들이 된다. 구체적으로, 센서 사이의 간격을 d 라고 하고 신호의 속도를 c 라고 하면 1번 센서에 비해 2번 센서는 $d\sin\theta/c$ 의 시간만큼 늦게 도달하게 된다. 이러한 도달 시간의 차를 보상해줬을 때의 출력 결과를 [식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{n+1}(t) &= x_n(t - \tau_0(\theta)), \tau_0(\theta) = d\sin\theta/c \\ x_n(t) &= x_0(t - n\tau_0(\theta)) \\ y(t) &= \sum_{n=0}^{N-1} a_n x_n(t + n\tau_0(\theta)) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} a_n x_0(t) \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 $a_n = 1/N$ 으로 하면 $y(t) = x_0(t)$ 이 된다. 입사하는 신호의 감쇄가 없다고 가정한다면, 출력은 입사하는 신호 자체가 된다. 즉, θ 방향에 대해서는 감쇄가 없게 된다. 이렇게 θ 방향으로 향하도록 만든 시스템에 ϕ 각도의 입사각을 갖는 다른 신호가 들어온다고 가정하자. 이 경우의 출력을 구해보면 [식 2]와 같다.

$$\begin{aligned} \tau_0(\phi) &= d\sin\phi/c \\ x_n(t) &= x_0(t - n\tau_0(\phi)) \\ y(t, \phi; \theta) &= \sum_{n=0}^{N-1} a_n x_n(t + n\tau_0(\theta)) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} a_n x_n(t + n(\tau_0(\theta) - \tau_0(\phi))) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} a_n x_n(t + nd(\sin\theta - \sin\phi)/c) \end{aligned} \tag{2}$$

이것을 주파수 영역에서 표현하면 [식 3]과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} Y(\omega, \theta) &= \sum_{n=0}^{N-1} a_n X_0(\omega) e^{-j\omega nd(\sin\phi - \sin\theta)/c} \\ H(\omega, \phi; \theta) &= \frac{Y(\omega, \theta)}{X_0(\omega)} \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{-j\omega nd(\sin\phi - \sin\theta)/c} \end{aligned} \tag{3}$$

$\theta = 0^\circ$ 로 빔포머가 향해 있고, $a_n = 1/N$ 일 때 이는 [식 4]와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 H(\omega, \phi; 0^\circ) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j\omega n d \sin \phi / c} \\
 &= \frac{1}{N} \frac{1 - e^{-j\omega N d \sin \phi / c}}{1 - e^{-j\omega d \sin \phi / c}} \\
 &= \frac{1}{N} \frac{e^{-j\omega \frac{Nd}{2c} \sin \phi} (e^{j\omega \frac{Nd}{2c} \sin \phi} - e^{-j\omega \frac{Nd}{2c} \sin \phi})}{e^{-j\omega \frac{d}{2c} \sin \phi} (e^{j\omega \frac{d}{2c} \sin \phi} - e^{-j\omega \frac{d}{2c} \sin \phi})}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$H(f, \phi; 0^\circ) = \frac{1}{N} e^{-j\pi f \frac{(N-1)d}{c} \sin \phi} \frac{\sin(\pi f N d u / c)}{\sin(\pi f d u / c)} \tag{5}$$

$$|H(f, \phi; 0^\circ)| = \frac{\text{sinc}(f N d u / c)}{\text{sinc}(f d u / c)} \tag{6}$$

여기서 $u = \sin \phi$ 이고, 앞의 식에서 구한 빔패턴을 주파수가 300 Hz, 1500 Hz 일 때 각각 그려보면 [그림 2]와 같이 된다.

지금 빔포머가 0° 에 맞춰져 있으므로 $\phi = 0^\circ$ 에서 1의 응답을 갖는다. 그리고 가 점점 0° 에서 멀어질수록 낮은 응답을 갖게 되어 공간 필터링이 이루어진다. 그러나 [그림 2]에서 보듯이 delay-and-sum 빔포머는 주파수에 따라 다른 빔패턴을 가지며, 특히 주파수가 낮아질수록 넓은 빔폭을 갖게 됨을 알 수 있다. 따라서 잡음신호가 다른 방향에서 들어왔을 때, 전체 주파수 영역에 대해 균일하게 감쇄되지 않는다. 즉, 다른 방향에서 오는 신호 중 고주파 대역 성분은 많이 감쇄되고, 저주파 대역 성분은 적게 감쇄되는 것이다.

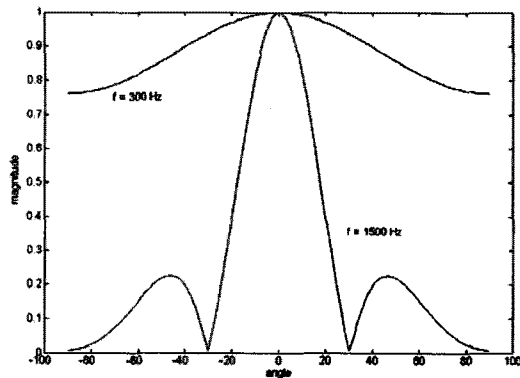


그림 2. 300Hz와 1500Hz에서의 Delay-and-sum 빔포머의 빔패턴
 Fig. 2. Beam pattern of Delay and sum beamformer in 300Hz and 1500Hz.

2. Filter and Sum 빔형성 기법

Delay and Sum 빔형성 기법에서는 센서에서 신호의 감쇄나 filtering이 없다는 가정 샘플링을 한다. 하지만 샘플링 된 신호에서 우리가 원하는 신호도 존재하지만 필요 없는 노이즈성분도 포함되어 있다. 어레이 패턴의 제안보다는 linear filter를 추가하여 원하지 않는 신호를 제거하기 위한 방법이 Filter and Sum 빔형성 기법이다. Filter and Sum 빔포머의 구조는 [그림 3]에서 보는 바와 같이 일반적인 Delay and Sum 빔형성 구조에 필터가 포함된 구조이다.

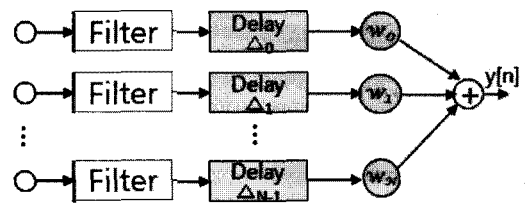


그림 3. Filter and Sum 빔포머 구조
 Fig. 3. Structure of Filter and Sum beamformer.

본 논문에서는 bandpass filter를 설계하여 VBeam 송수신 장치에서 사용하는 중주파수(8kHz) 대역 분석에 용이하도록 하였다.

3. 해수면 산란

잔향음은 음원의 준위에 비례하고 시간에 따라 그 준위가 다르게 나타난다. 이러한 잔향음의 계산은 구형분산 이외의 음파 손실은 없고, 산란체의 분포는 균일하며, 산란된 음은 음원의 펄스가 도착한 후부터 끝날 때까지 만의 산란현상이고, 다중산란은 무시된다는 가정 하에 이루어진다. 잔향음 준위를 계산하는 소나 방정식은 [식 7]로 표현한다.

$$RL = SL = 40 \log r + S_s + 10 \log A \tag{7}$$

이 때 $A = \frac{C_r}{2} \phi r$ 이며, RL(Reverberation Level)은 잔향음 준위, SL은 음원 준위, S_s 는 후방산란 강도를 표시하고 A는 산란면적으로서 송수신 빔의 형태와 펄스 길이에 의해 결정되는 값이다. 산란강도는 1yd 거리에서 단위 면적(또는 체적)당 입사강도와 반사된 강도의 비로 표현되고 단위는 dB를 사용한다. 수학적 공식으로 표현하면 [식 8]과 같다.

$$S_{s,v} = 10 \log \frac{I_{sat}}{I_{\epsilon c}} \quad (8)$$

산란 방향은 통상 음향음의 반대 방향이며 이 경우 S를 후방 산란이라고 부른다.

해수표면의 산란강도는 입사각도, 주파수 및 표면의 거칠음 정도에 따라 변화되며 해수표면 위를 지나는 바람의 속도에 따라 영향을 받는다. Chapman과 Harris에 의해 해수면의 산란강도를 측정하기 위해 계측 실험을 통한 분석결과 실험식으로 표현하였다.

$$S_s = 3.3 \beta \log \frac{\theta}{30} - 42.4 \log \beta + 2.6 \quad (9)$$

$$\beta = 158 (vf^{1/3})^{-0.58}$$

θ : 입사각도 (degrees)
 v : 바람속도 (knots)
 f : 주파수 (Hz)

산란강도 S_s 에 대한 실험치와 계산치 사이의 평균편차는 약 2dB 정도이다.

4. Decision Feedback Equalizer

결정 케환 등화기는 [그림 4]에서와 같이 등가적인 필터에서 들어오는 입력 y_k 와 이전에 결정된 데이터를 함께 이용해서 ISI를 제거 하는 방법이다. 즉, 원하는 데이터 심볼 이전에 발생한 ISI는 이미 결정된 데이터 z_k 를 입력으로 하는 케환 필터를 거쳐 제거 되고, 이후에 발생한 ISI는 수신된 신호 y_k 를 입력으로 하는 정케환 필터를 거쳐 제거할 수 있다.

결정 케환 등화기의 출력은 [식 10]과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{z}_k = \sum_{j=-K_1}^0 c_j y_{k-j} + \sum_{j=1}^{K_2} c_j \hat{z}_{k-j} \quad (10)$$

여기서 \hat{z}_k 는 k번째 신호에 대한 결정 케환 등화기의

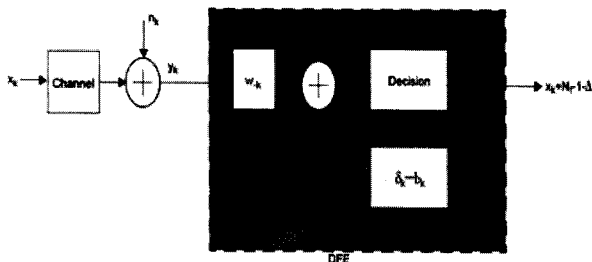


그림 4. 결정 케환 등화기 구성도
 Fig. 4. DFE Block Diagram

추정치이고 $\tilde{z}_{k-1}, \dots, \tilde{z}_{k-K_2}$ 는 이전에 판정된 신호, c_j 는 필터의 계수이다. 여기서 정케환 필터는 (K1+1)개의 탭을 가지고 있고, 케환 필터는 K2 개의 탭을 가지고 있다.

결정 케환 등화기의 탭 계수들은 MSE(Mean Square Error)를 최소화하는 LMS(Least Mean square method) 방법을 통해서 최적화 한다. 이러한 탭 계수는 반복적인 방법으로 적응시켜가는 steepest descent 알고리즘으로 구하면 결정 케환 등화기에 사용되는 LMS알고리즘은 [식 11]과 같이 표현된다. μ 는 스텝 크기를 나타낸 것이다.

$$\hat{c}_{k+1} = \hat{c}_k + \mu e_k V_k^* \quad (11)$$

$$V_k = (v_{k+K_1}, \dots, v_k, \tilde{z}_{k-1}, \dots, \tilde{z}_{k-K_2})$$

$$e_k = z_k - \hat{z}_k$$

III. 해수면 산란강도 측정 실험

VBeam 송수신 장치는 십자형 어레이 구조를 가진 음향 송수신 장치로 모형은 [그림 5]와 같다. 이 장치는 수중에서 빔형성된 신호를 방사하고 되돌아오는 신호를 측정하여 수중 물체나 산란체의 산란강도를 측정함으로써 수중 물체나 산란체의 정보를 알 수 있는 장치이다.

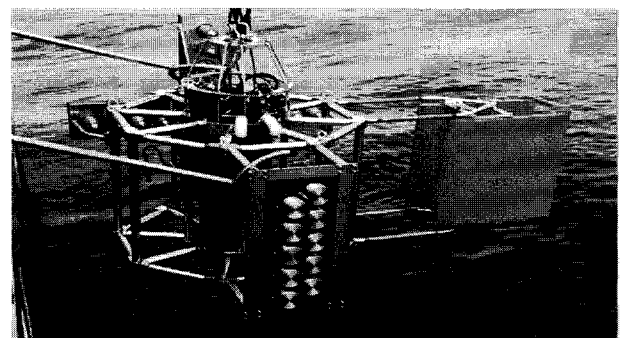


그림 5. VBeam 송수신 장치
 Fig. 5. The VBeam Transmitter/Receiver equipment.

1. 해상 실험 환경

해수 표층 산란강도 및 기포가 음파에 미치는 영향을 관측하기 위해 2008년 7월 2일 15시 ~ 7월 3일 12시까지 동해 묵호항 동쪽 4km 지점 해역에서 21시간에 걸쳐 십자형 어레이 장비인 VBeam 송수신 장비를 이용하여 해수면 산란강도 측정 실험을 수행 하였다 [그림

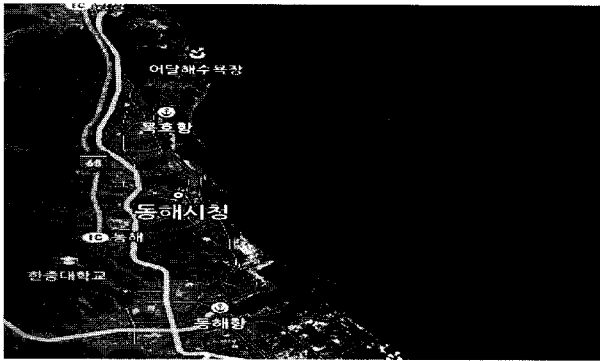


그림 6. 해상 실험 장소
Fig. 6. The experiment place in the ocean.

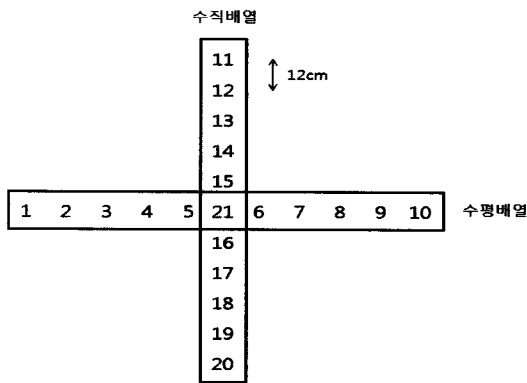


그림 7. Vbeam 송수신 장치의 센서 배열
Fig. 7. Sensor array of the VBeam.

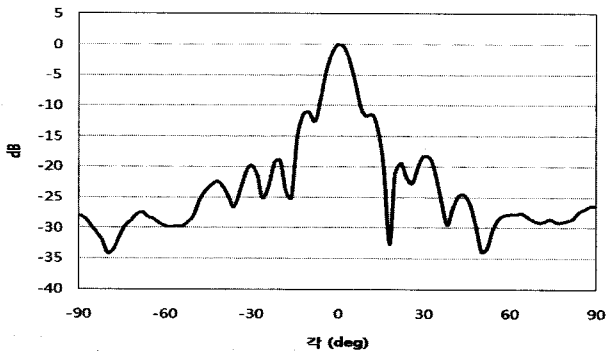


그림 8. VBeam 송수신 장치의 빔 패턴
Fig. 8. Beampattern of the VBeam.

6]. 측정 장소는 해상 관측용 BUOY가 설치된 장소 근처로 수심은 약 100m이다.

VBeam 송수신 장치의 센서 배열은 [그림 7]에서처럼 십자형 배열이다. 11~21번의 수직배열 센서만으로 해수면 방향으로 송신하여 해수면의 산란강도를 측정할 수 있도록 하였고, 수신은 21개의 센서를 모두 사용하였다.

[그림 8]은 십자형 어레이인 VBeam 송수신 장치의 송신 빔패턴을 나타낸 것이다. 이 때, [그림 7]에서의 수

표 1. VBeam 장비 운용 spec

Table1. Operating specifications of the VBeam.

수심	약 20 M	송신 주기	2 s
CW주파수	8000 HZ	송신 펄스폭	3 ms
FM주파수	0 HZ	입력 형태	CW 신호
송신음압	190 dB	수직빔각	0~44 °
Sampling Rate	96000 Hz	수평빔각	0 °

직 어레이인 11개의 센서를 12cm 간격으로 하고, 주파수는 8kHz, 지향각은 0°로 시뮬레이션 하였다.

VBeam 송수신 장치는 약 20m 수심에서 운용하였고 매시간 마다 0°~44°의 범위에서 4° 간격으로 steering 하면서 해수면의 산란 강도를 측정하였다. 자세한 실험 spec은 [표 1]에 나타내었다.

2. 음파 전달 경로 모의실험

정확한 해수 표층 산란강도를 측정하기 위한 파라미터 중 음파 전달 손실을 계산하기 위해서는 음파 전달 경로에 따른 전달 거리를 알아야 한다. 이 때 음원으로 부터 해수면까지의 음파 전달 경로를 알아야 정확한 전달 거리를 계산할 수 있다. 음파 전달 경로를 계산하기 위해서 RAY 프로그램을 이용한 모의실험을 통하여 알아보았다.

RAY의 입력 파라미터인 수온 구조는 해상 실험 당시 매시간 측정된 XBT 장비로 실측한 음속구조를 사용하였고, 음파 송신 각도는 0°~44°로 실험 당시와 동일 각도로 하였다. [그림 9]에서 붉은 삼각형으로 표시한 것처럼 해수면까지의 음파 전달 경로를 보면 직선이 가깝다. 해수면의 산란강도를 측정하기 위해서 음파의 전달경로는 해수면까지의 경로만을 필요로하기 때문에 RAY에서 음파 전달 경로처럼 해수면 산란강도 측정을

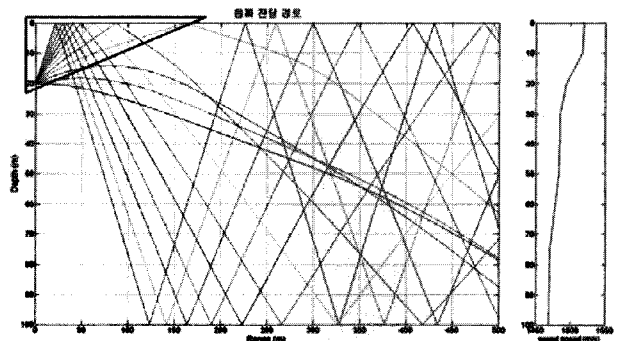


그림 9. 음파 전달 경로
Fig. 9. Propagation path of ray.

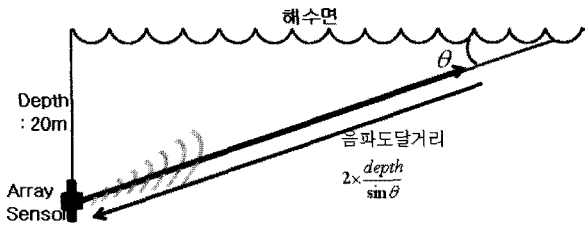


그림 10. 음파 전달 거리
Fig. 10. Propagation range of ray.

위한 음파 경로는 직선 왕복 이동으로 가정하였다. 모의실험 결과를 바탕으로 음파 전달 손실계산에서 송신 음원에서 해수면까지의 음파 전달 거리는 직선으로 간주한 음파 전달 거리는 [그림 10]과 같다.

IV. 실험 결과 분석

VBeam 송수신 장치는 2초 간격으로 3ms의 pulse length를 가진 신호를 주기적으로 방사한다. 신호를 방사하는 순간에도 센서는 수신하고 있으므로 처음의 큰 값은 송신할 때의 신호로 보면 된다. 각 어레이 센서별

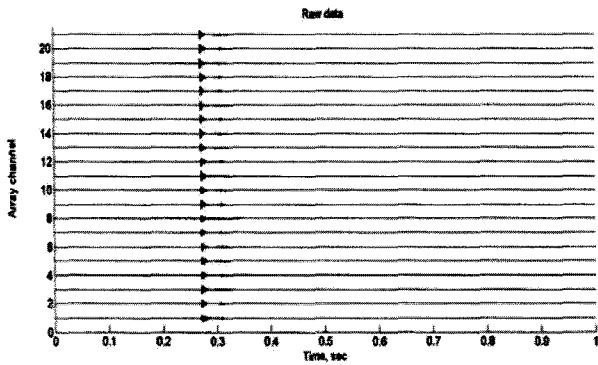


그림 11. 어레이 센서별 수신 데이터
Fig. 11. The receiving data each array sensor.

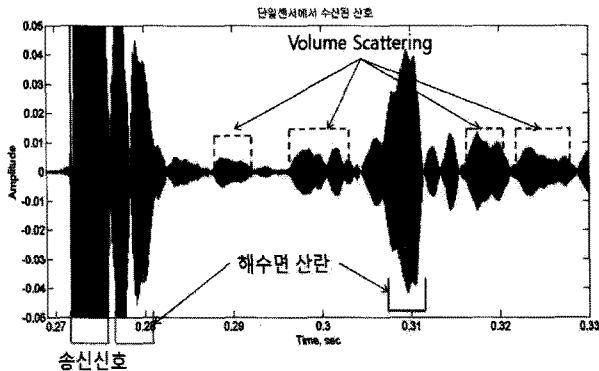


그림 12. 단일센서에서 수신된 신호
Fig. 12. The received signal from a one sensor.

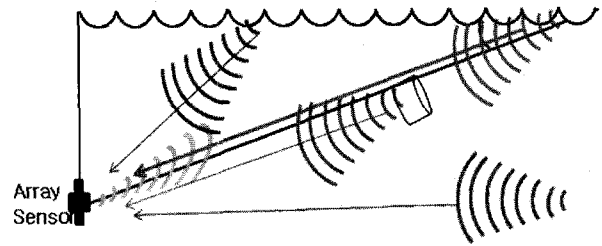


그림 13. 다중 경로에 의한 신호
Fig. 13. The signals by multipath.

로 수신되는 데이터를 보면 [그림 11]과 같다. 각 센서마다 수신되는 신호는 서로 다른 지연 시간을 두고 들어오며, 송신 신호의 길이가 매우 짧기 때문에 산란되어 돌아오는 신호 또한 매우 짧다.

하나의 센서에서 수신된 데이터 부분만을 확대해서 보면 [그림 12]와 같다. 송신 신호를 제외하더라도 Volume Scattering에 의한 다중 산란 강도와 해수면 산란강도이지만 수직방향에서 수신되는 파란 부분의 산란 강도가 측정된다.

단일센서에서 수신된 데이터를 보면 송신 신호 이후에 다중 경로에 의한 데이터들이 매우 많이 수신되고 있다. 정확한 해수면 산란강도를 측정하기 위해서는 다중 경로에 의한 신호의 영향을 최소한으로 해야 한다. [그림 13]에서 빔형성 기법을 이용하면 붉은 선으로 표시한 다른 각도에서 수신되는 다중 경로 신호를 없앨 수 있지만 녹색으로 표시한 수중에서 체적에 의한 산란 강도의 영향을 줄일 수는 없다.

이와 같은 ISI를 제거하기 위해서 빔형성 기법과 제안하는 DFE 필터를 적용할 것이다.

1. 빔형성 기법 적용

해수면 산란 측정을 위한 음파 전달 경로가 단순한 직선 경로이며, 평면파 진행을 하기 때문에 빔형성 기

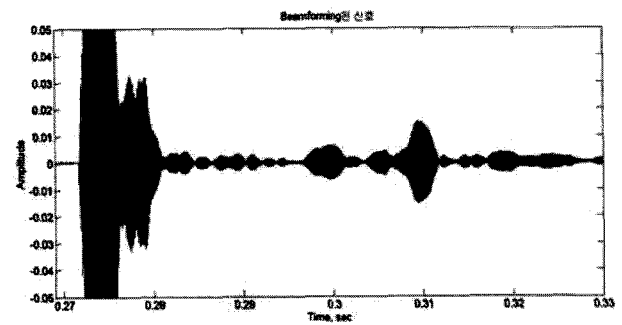


그림 14. 입사각 추정 기반의 빔형성 결과
Fig. 14. Beamforming result based on DOA.

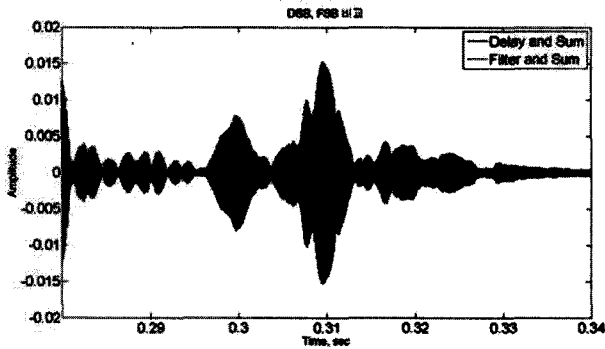


그림 15. filter and sum 빔형성 기법 적용 결과
Fig. 15. The result apply filter and sum beamforming technique.

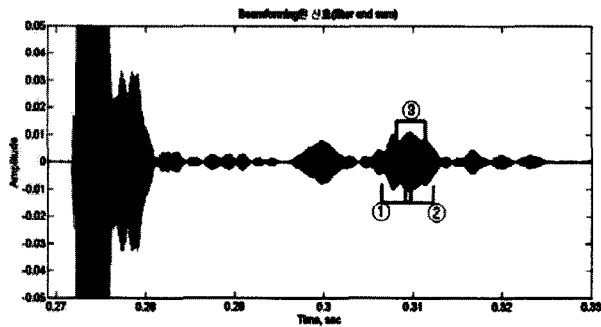


그림 16. RL 측정의 문제점
Fig. 16. RL measurement problems.

범은 구현이 용이하고 고주파에서 좋은 빔패턴을 가지는 delay-and-sum 빔형성 기법을 적용하였다. 또한 송신한 각도와 같은 각도에서 수신하기 때문에 입사각 추정 기반의 빔형성 기법도 적용하였다. [그림 14]는 입사각 추정 기반의 빔형성 기법을 적용한 결과 값이다.

[그림 12]와 비교해 보면 빔형성 기법을 적용하였을 때 다중 경로에 의한 ISI가 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다. VBeam 송수신 장치에서 사용하는 송신 주파수는 8000Hz를 사용하므로 그 이외의 신호는 노이즈 성분이라 할 수 있다. 노이즈 성분 제거를 위해 bandpass filter를 적용하여 송신 신호를 제외한 결과는 [그림 15]와 같다.

band pass filter를 적용하지 않은 결과와 비교하여 볼 때, ISI가 제거되지는 않았지만 노이즈가 많이 줄어들음을 확인 하였다.

기존 분석에서는 VBeam 송수신 장치가 고정되어 움직이지 않고, 음선의 이동 경로가 직선으로 가정하고, 송신기와 해수면의 직선 거리와 수중 음속을 이용하여 [그림 16]에서 ②의 신호가 해수면 산란 강도를 나타내는 신호를 찾아내어 분석하였다. 그러나 해상상태에 따

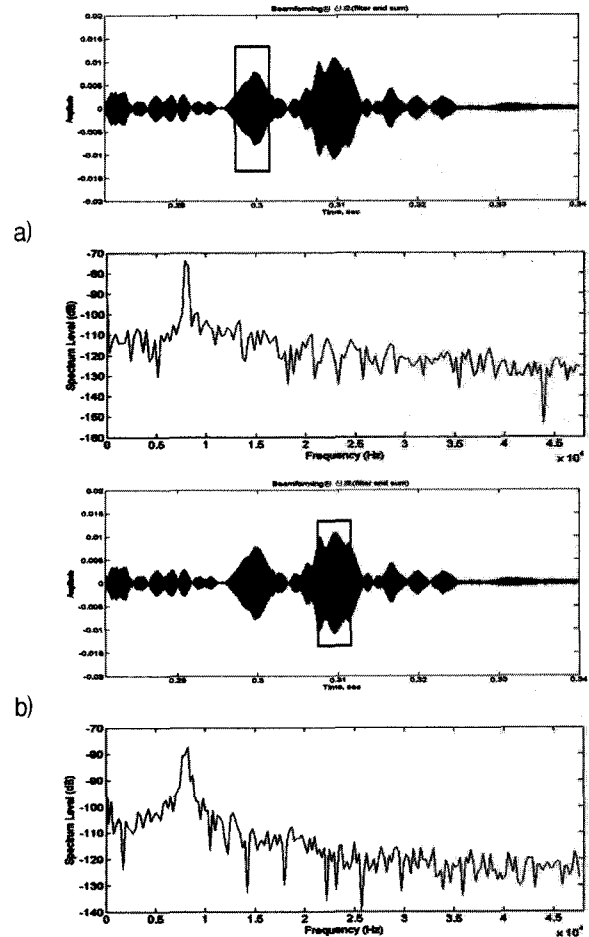


그림 17. 수신 신호의 주파수 분석
Fig. 17. Frequency analysis of received signal.

라서 해류나 파도에 의해 송신기와 수신기를 고정하고 있는 선박이 움직이고 있고 이로 인해 실제로는 ①과 ③의 신호가 해수면 산란을 나타내는 신호일 수 있다.

선박이나 VBeam 송수신 장치가 심하게 움직여 해수면 산란 신호가 ①, ②, ③이 아닌 그 앞부분의 신호일 수 있다. 수신신호에서 [그림 17]과 같이 주파수 분석을 해 보면 a)와 b) 모두 송신 주파수인 8kHz 주파수 성분을 가지고 있고, 어느 신호가 해수면 산란 강도를 나타내는 신호인지 구분하기가 힘들다. 이 문제를 해결하기위 해서 다음 절에서 DFE를 적용할 것이다.

2. DFE를 적용한 빔형성 기법

빔형성 기법을 적용하여도 같은 방향에서 오는 ISI는 완벽하게 제거하지 못하는 것을 4.1 절에서 확인 하였다. VBeam 송수신 장치의 수신 성능을 향상하기 위해서는 ISI의 제거가 필수적이기 때문에 DFE filter를 적용하는 알고리즘을 제안하였다. DFE는 미리 결정된 신

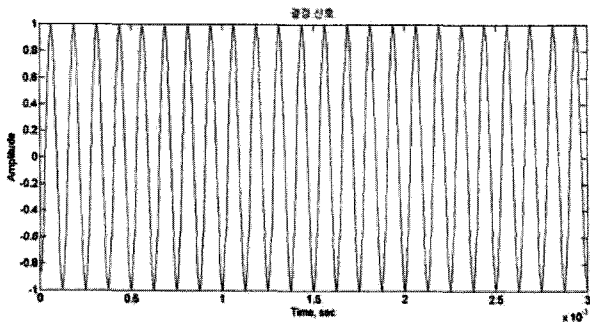


그림 18. 결정 신호
Fig. 18. Decision signal.

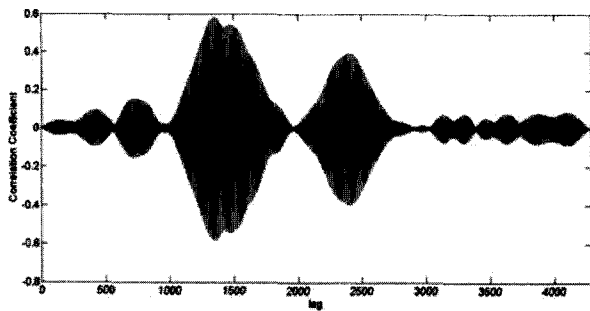


그림 19. matched filter를 이용한 신호 detection
Fig. 19. Signal detection using matched filter.

호를 이용하여 수신 신호에서 결정 신호이 외에 결정 신호의 앞이나 뒤에서 발생한 ISI를 제거해 주기 때문에 ISI 제거에 효과 적이지만 결정 신호를 잘못 정하게 되면 신호 분석자체가 잘못되게 된다.

본 논문에서는 송신 신호와 동일한 파형을 결정 신호로 정하였다. [그림 18]과 같이 3ms의 pulse length를 가진 정현파 곡선이다. 이 결정 신호를 이용하여 ISI를 제거할 것이다.

[그림 19]는 [그림 18]의 결정 신호를 이용하여 수신 신호에서 송신 부분을 제외한 부분과 matched filter를 적용한 결과이다. matched filter를 적용한 결과값을 이용하여 수신 신호에서 원하는 신호를 찾아내고 ISI를 제거하였다.

DFE의 수식을 보면 [식 10]과 같다. 탭 계수인 $k = -K_1, \dots, K_2$ 는 송신 시간부터 해수면에서 산란되어 돌아오는 충분한 시간을 포함하였고, $k=0$ 인 지점은 matched filter를 적용한 결과값에서 상관도가 가장 높은 지점으로 환산하여 계산하였다. 각각의 계수는 $k=0$ 인 지점에서 $\pm 2ms$ 는 1, 그 이외의 부분은 0.2로 정하였다.

[그림 20]은 DFE 결과를 나타낸 파형으로 일반적인

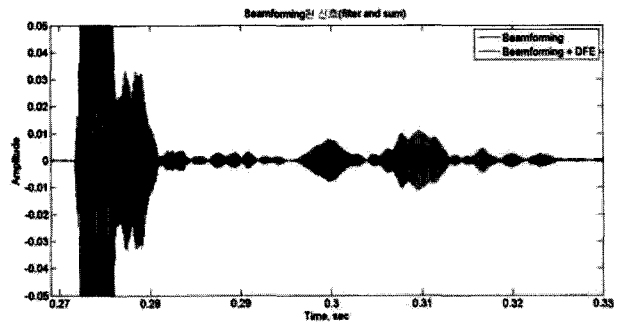


그림 20. DFE filter를 적용한 결과 비교
Fig. 20. Comparison of result applied DFE filter.

범형성 기법과 비교하였을 때, ISI가 충분히 제거 되었고, ISI가 남아있더라도 해수면 산란 강도에 비해서 충분히 작기 때문에 해수면 산란 강도를 정확하게 측정할 수 있다.

3. 알고리즘 검증

해수면 산란 강도를 계산하기 위해서는 [식 7]과 [식 9]를 이용하면 된다. VBeam 송수신 장치에서 수신된 신호는 RL 신호이므로, 최종적으로 RL값을 계산하면 된다. 주파수, 바람의 세기, 송신각도, pulse length, 음

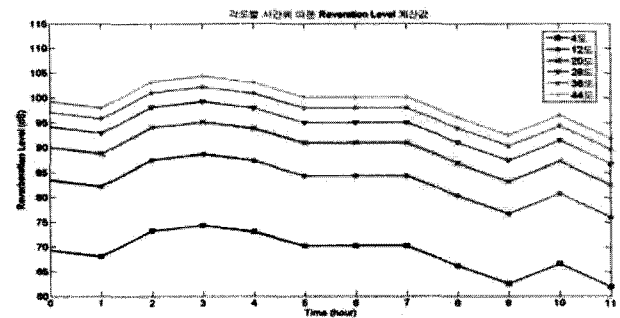


그림 21. 각도별 시간에 따른 RL 계산값
Fig. 21. Calculated values of RL each angle according to time.

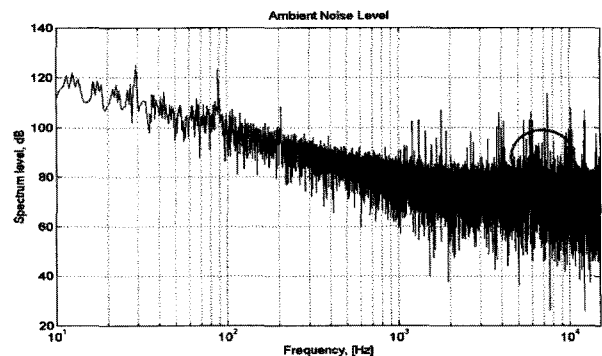


그림 22. 실험 선박 주변의 AN
Fig. 22. AN around experimental ship.



그림 23. AN에 의한 RL의 영향
Fig. 23. Affected by AN of RL.

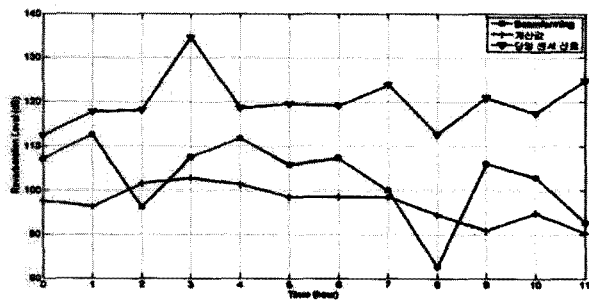


그림 24. 시간에 따른 RL값 비교(빔형성만 적용한 결과)
Fig. 24. Comparison of RL according to time(applied only beamforming technique).

파 전달 거리를 이용하여 RL을 계산하면 [그림 21]과 같다.

실험 당시 선박 주변의 AN(Ambient Noise)을 측정하였는데, 그 결과는 [그림 22]와 같다. 관심 주파수 대역인 8000Hz 주변의 AN이 80~90dB로 높게 측정되었다.

작은 각도의 해수면 산란 강도는 AN보다 작기 때문에 [그림 23]과 같이 신뢰할 수 있는 값이 측정되지 않아 해수면 산란강도 분석은 고각도(30 이상)의 데이터로 할 것이다.

해수면 산란 강도의 이론값과 실측값을 비교하기 위해서는 해수면의 산란 강도에 중요한 영향을 끼치는 바람을 고려해야한다. 실험 선박 근처의 해상 부이로부터 실측된 바람데이터를 이용하여 이론값과 실측값을 비교하였다.

[그림 24]에서는 빔형성 기법을 적용하지 않은 단일 센서에서 수신된 신호와 알고리즘을 적용하지 않은 빔형성된 신호를 이론값과 비교한 그래프이다. 단일 센서에서 수신된 신호는 이론값과 유사성을 찾을 수 없고, 빔형성된 신호는 이론값과 유사한 값을 보이지만 정확하게 해수면 산란강도를 찾지 못해서 어떤 부분에서는

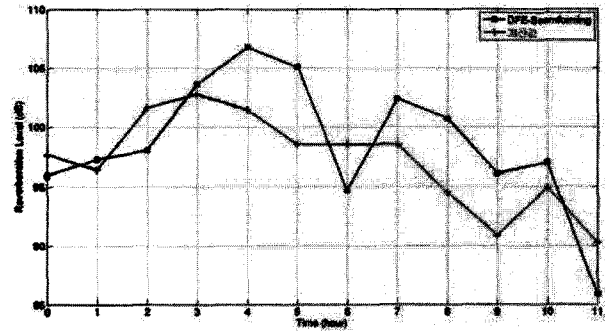


그림 25. 시간에 따른 RL값 비교(DFE-빔형성 적용 결과)
Fig. 25. Comparison of RL according to time(applied beamforming technique with DFE).

이론값과 매우 크게 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

[그림 25]는 VBeam 송신 각도에 따른 해수면 산란 강도의 이론값과 제안된 알고리즘인 DFE를 적용한 실측값을 비교해 놓은 결과이다.

이론값의 오차범위가 2dB 이므로 오차범위를 고려하여 이론값과의 MSE를 비교하면 빔형성 기법만 적용하였을 때는 7.4dB, DFE를 적용하였을 때는 2.1dB이다.

DFE filter를 적용하면 빔형성 기법만을 적용하였을 때보다 ISI제거를 확실하게 할 수 있고, 시간 영역 데이터에서 해수면 산란강도를 정확하게 찾을 수 있기 때문에 이론값과 비교하여 매우 유사하게 측정됨을 확인하였다.

V. 결론

Vbeam 송수신 장비를 통하여 소나 시스템 운용에 필수적인 어레이 센서를 이용한 데이터 분석 방법에 대해 모의 하기위하여 동해 목포항 동쪽 4km 지점 해역에서 실측한 해수면 산란 강도 측정 데이터를 활용하였다. 데이터 분석은 빔형성 기법을 통하여 목표물의 방향과 거리정보를 정확하게 알 수 있다는 이점과 함께 단일 센서보다는 더 정확한 데이터를 얻을 수 있었다.

하지만 짧은 시간 간격으로 다중 경로에 의한 산란 강도 데이터가 측정되기 때문에 정확한 해수면의 산란 강도를 측정하기위해 본 논문에서는 빔형성 기법에 DFE를 적용하여 다중경로에 의한 영향을 줄일 수 있었다. DFE의 적용에 있어서 결정 신호를 잘못정하면 잘못된 데이터만을 수신하기 때문에 matched filter를 이용하여 결정 신호를 찾았다.

데이터 분석으로 나온 해수면 산란강도를 이론값과 비교를 통하여 알고리즘 검증은 하였다. 이 때 필요한

바람 데이터는 실험 선박 근처의 해상 부이로부터 실측된 데이터를 이용하였다. MSE를 비교해 보면 이론값이 2dB 정도의 오차를 가지고 있다는 것을 고려한 결과 빔형성만 적용했을 때는 7.4dB, DFE와 빔형성 기법을 적용하였을 때는 2.1dB로 약 5dB의 오차를 줄여 VBeam 송수신 장치의 수신 성능을 개선할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 손병희, 권오중, 오효성, 김용득, “이차원 선형 배열 센서에 의한 빔포밍의 모델에 관한 연구”, 대한전자공학회, 제20권, 1호, pp.785-788, 1997.

[2] Matthew A. clapp, Ralph Etienne-Cummings, “Ultrasonic Bearing Estimation using a MEMS Microphone Array and Spatiotemporal Filters”, Circuits and Systems, ISCAS 2002. IEEE International Symposium on, pp.I-661 - I-664, 2002.

[3] Seungil Kim, Yangseok Jeong, “Array Signal Processing Theory and Applications”, 토파민, pp.66~79, 2007.

[4] Yinman Lee, Student Member, IEEE, and Wen-Rong Wu, “A Robust Adaptive Generalized Sidelobe Canceller With Decision Feedback”, IEEE VOL. 53, NO. 11, pp.3822-3832 NOVEMBER 2005.

[5] 김상균, 나정열, “수중 잔향음신호를 이용한 경계면 상태 역추정 알고리즘”, 수중음향학 학술발표회 논문집 11th, pp.45-50, 1996.

[6] R.J. Urick and R.M. Hoover, “Backscattering of sound from the sea: Its measurement, causes, and application to the prediction of reverberation level,” J.Acorst. Soc. Am. 25, pp.1038-1042, 1956.

[7] Peter M. Ogden and Fred T. Erskine, “Surface scattering measurements using broadband explosive charges in the Critical Sea Test experiments”, J. Acoust. Soc. Am. 95 (2), pp.746-761, February 1994.

[8] Edward Y. T. Kuo, “The Perturbation Characterization of Reverberation from a Wind Generated Bubbly Ocean Surface-I: Theory and a Comparison of Backscattering Strength Predictions with Data”. IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, VOL 19, NO 3, pp.368-381, 1994.

[9] 임병욱, 심태보, 김영규, 박정수 “표층 해상의 기포가 음파전달에 미치는 영향”, 한국 음향학회지, 28권 3호, pp.187-197, 2009.

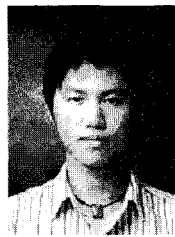
[10] Jin-Woo Jung and Taebo shim “Performance

Analysis of and Underwater Acoustic Communication System Combining AMC and STBC Techniques” The Journal of The Acoustical Society of Korea. 26, (3E), pp.97-103 2007.

[11] 최영철, 박종원, 임용곤, “수중 음향통신을 위한 적응 결정 케환 등화기”, 한국해양정보통신학회 논문지, 제 13권, 제 4호, pp.645-651, 2009.

[12] 최지웅, 나정열, 박정주, 윤관섭, 박정수, 나영남, “고주파 해수면 후방산란 신호 측정”, 한국 음향학회지, 제 21권 제 4호, pp.421-429, 2002.

— 저 자 소 개 —



이 재 은(학생회원)
 2008년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업
 2008년~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사 과정
 <주관심분야 : 수중음향 신호처리, 수중음향 통신>



심 태 보(정회원)
 1974년 서울대학교 문리대 졸업
 1980년 서울대학교 문리대 대학원 석사 졸업
 1986년 미국 Louisiana 주립대학교 박사 졸업

1986년~2005년 국방과학연구소 해양/음향 연구실장. 해양기술부장. 해군무기체계 개발본부 본부장 역임
 2005년~현재 숭실대학교 정보통신공학과 교수
 <주관심분야 : 수중음향 모델링, 수중음향 신호처리, 수중음향 통신, 수중음향 영상처리>