

# 거머리말 (잘피) 서식지의 고주파 후방산란 특성

## Characteristics of High Frequency Backscattering Strength by *Zostera Marina* (Seagrass) Bed

라 형 술\*, 윤 관 섭\*, 나 정 열\*  
(Hyongsul La\*, Kwan-Seob Yoon\*, Jungyul Na\*)

\*한양대학교 지구해양학과 해양음향연구실

(접수일자: 2004년 11월 15일; 수정일자: 2005년 2월 2일; 채택일자: 2005년 2월 16일)

해저 경계면에 서식하는 거머리말 (*Zostera marina*; 잘피)의 후방산란 특성을 연구하기 위하여 음향 실험을 실시하였다. 해상실험은 남해 동대만에서 거머리말의 광합성 시 발생 되는 산소 공기방울의 영향을 파악하기 위해 주간과 야간에 실시하였다. 다중 주파수 (30~120 kHz)에 대한 주파수 응답특성을 측정하였고 단일 주파수 (120 kHz)를 이용하여 거머리말의 움직임에 따라 변화하는 후방산란강도의 분포를 확률밀도함수 (probability density function)로 나타내었다. 실험결과 다중 주파수에 대한 주파수 의존성과 주·야간 산란강도 의 차이를 확인하였고 거머리말 움직임에 대한 산란강도의 분포 양상은 가우시안 확률밀도 함수 (Gaussian PDF)로 특성을 나타냈다. 주·야간 산란강도의 차이는 광합성에 의해 생성된 산소 공기방울에 의한 영향으로 추정되었다.

**핵심용어:** 거머리말의 후방산란, 잘피, 거머리말, 공기방울, 공진주파수

**투고분야:** 수중음향 분야 (5.2)

Acoustic experiments were performed with *Zostera marina* to study the characteristics of backscattering of seagrass living in the bottom interface. Field experiments were conducted in the Dongdae man, Namhae for day and night to consider the effects of air-bubble from photosynthesis of seagrass. The multi-frequency (30~120 kHz) responses were measured and the distributions of back scattering strength due to the movement of seagrass were presented by PDF (probability density function) at 120 kHz. The results were shown both the frequency dependence and diurnal variation of the backscattering strength between day and night. This diurnal variation may be caused by the amount of oxygen in dissolved bubbles formed by photosynthesis of seagrass.

**Keywords:** Backscattering by *Zostera marina*, Seagrass, *Zostera marina*, Bubble, Resonance frequency

**ASK subject classification:** Underwater Acoustics (5.2)

### I. 서론

능동 소나 운용 시 경계면에서의 산란 및 반사는 전달 손실의 불규칙한 변화와 음 전달에 영향을 준다[1]. 특히 천해에서는 해저면의 구성성분, 거칠기 및 퇴적층 내부의 체적 산란 등에 따라 음 전달의 특성이 달라지기 때문에 해저면의 음향학적 특성과 구성물질의 분류에 대한 연구가 필수적이다. 국내에서는 해저면 구성성분과 거칠기에 따른 단상태, 양상태 산란 특성 및 사질 퇴적층의 주파수 종속성에 대한 연구가 이루어졌으며, 이러한 특

성을 이용하여 해저면 분류에 대한 연구가 진행되어 왔다[2-6]. 그러나 해저면에 대한 기존의 연구는 해저 경계면에 서식하는 생물학적 요인은 고려하지 않은 해저면 자체에 대한 음향학적 특성이라는 제한점이 있다. 생물학적 요인 중 거머리말[7,8]과 같이 전세계 연안에 광범위한 생태계를 구성하는 해양 생물은 해양의 수심 측정과 해저면 구성 분류 및 지도화 (mapping)에 큰 오차를 발생시키고 천해에서의 음 전달 특성에 영향을 줄 수 있다. 또한 거머리말과 같은 해양 생물이 많이 서식하는 해역은 광합성에 의해 해수 중 산소가 과포화 되고[9] 많은 부분의 산소가 공기방울 형태로 해수 중에 존재하기 때문에 그에 따른 음파의 산란과 감쇠 그리고 음속변화로 인한 음 전달의 특성이 변할 수 있다[10,11].

책임저자: 라 형 술 (hsla@ihanyang.ac.kr)  
425-791 경기도 안산시 상록구 사1동 1271번지  
한양대학교 지구해양학과 해양음향연구실  
(전화: 031-400-4233; 팩스: 031-502-6068)

따라서 천해에서의 보다 정확한 음 전달 특성에 대한 이해와 해저면 구성 분류를 위해서는 거머리말의 분포와 생산성에 대한 정확한 정보가 요구되며, 이를 위한 기초 과정으로 산소 공기 방울의 영향을 고려한 거머리말의 음파산란 특성에 대한 연구가 필요하다.

거머리말 관측을 위한 음향학적인 연구는 국외에서는 많은 연구가 진행되어 왔는데 반해 국내는 거머리말 종들의 분포와 형태 및 계절적인 특성에 대한 생물학적 연구만이 진행되어 왔을 뿐[12-14] 거머리말 관측을 위한 음향학적 시도는 전무한 상태다. McCarthy (2000)는 군사적으로 중요한 기뢰 탐지 소나 (mine hunting sonar) 운용의 향상을 위해서 기뢰 탐지에 대한 질피의 가리움 효과를 실험적으로 설명하며 거머리말에 대한 음향학적 연구의 중요성을 강조하였다[15]. Shizu Sudoh (1997)는 단일 주파수 (200 kHz)를 사용하여 거머리말의 젖은 중량 (wet weight)에 대한 체적 후방산란강도 (volume backscattering strength)를 관측 하였고 거머리말의 양과 체적 후방산란강도에 대한 관계식을 제시하였다 [16]. Bruce M. Sabol과 Terry Domico등은 고주파 (420 kHz) 음향센서를 이용하여 거머리말의 길이와 생육지의 분포 면적 그리고 생육밀도를 관측한 바 있다 [17,18]. 하지만 이들 연구 사례는 광합성 시 발생되는 산소 공기방울이 음파에 끼치는 영향은 고려하지 못했다. 거머리말의 광합성으로 인해 생성되는 공기방울이 음파산란에 끼치는 영향은 Hermand가 저주파 0.1 ~ 1.6 kHz 대역에서 관측한 음파산란 강도와 용존산소량의 변화 양상이 반비례함을 지적하였지만 고주파 관측이 요구되는 거머리말 자체의 음파산란 특성에 대한 연구는 고려되지 않았다[10,11].

따라서 본 논문은 우리나라 주변 해역에서 많이 서식하고 있는 또한 최근에 환경 오염의 지시자로서 많이 연구되고 있는 거머리말을 대상으로 고주파를 이용한 음파산란 특성을 연구하고자 한다. 해저면과 거머리말의 분리를 용이하게 하기위해서 센서를 해저면으로 부터 수직 지향하여 거머리말의 후방산란강도를 측정하였고 현재 측면 주사 소나 (side scan sonar), 능동 소나 (active sonar), 어업용 소나 (fishery sonar)등에서 널리 사용되는 30~120 kHz 주파수 대역을 선정하였다. 거머리말의 후방산란강도를 이용한 주야간 주파수 응답 특성과 산소 공기방울의 영향을 포함한 거머리말의 움직임을 확률 분포 함수로 나타내어 거머리말과 광합성에 의한 공기방울이 음파 산란에 영향을 줄 수 있음을 알아보았다.

## II. 해상실험 및 분석

수직 입사각에 대한 거머리말의 고주파 후방산란 실험을 2004년 2월 25~29 일 기간 중 남해 동대만에서 실시하였다. 실험 해역은 조건대 지역으로 수심은 만조 시 4 m 였으며 실험기간 중 해상상태는 주야간 모두 파고 0.5m 이내로 양호하였다. 실험을 위해 제작된 다중 주파수 송수신 장치를 방파제에서 약 20 m 떨어진 곳에 위치시켰고 해저면에서 2 m 높이에 수직 하방으로 지향시켰다 (그림 1).

실험 주파수는 30~120 kHz 대역의 5개 주파수를 사용하였고 음파산란에 영향을 줄 수 있는 부유물질의 영향을 최소화 하기 위해 주야간 모두 만조 시 실험을 실시하였다. 또한 광합성 시 발생하는 용존 산소의 영향을 비교하기 위해 광합성이 활발한 주간과 상대적으로 광합성활동이 적은 야간에 실험을 실시하였고 용존 산소계 (U-10 ; HORIBA)를 이용하여 주간 과 야간의 용존산소량을 측정하였다. 환경인자는 CTD (SBE 19 ; Sea-Bird)와 파고계 (WTR 9 ; AANDERA)를 이용하여 음속 구조 및 주야간 파고를 측정하였고 그래프 (Grab)으로 상부 5cm의 해저 퇴적물 시료를 채취 후 4φ 이하의 습식 체질법 (wet sieving)을 4φ 이상은 피펫팅 (pipetting)을 이용하여 입도분석을 실시하였다[19]. 실험해역에 서식하는 거머리말의 평균 생체량은 음향 실험이 끝난 후 간조 시 채집하여 건 중량 (dry weight)을 측정하였다. 표 1은 관측된 환경 인자를 보여준다. 송신기는 T 128 (30 kHz), TC 2116 (50, 80, 100 kHz)및 T 38 (120 kHz) 이고 수신기는 TC 4014 청음기를 사용하여 거머리

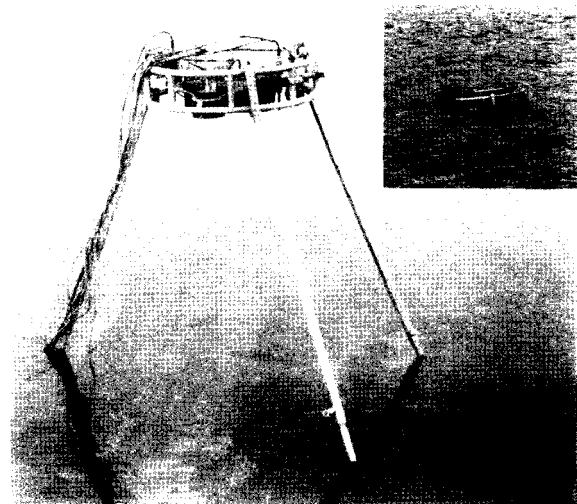


그림 1. 다중 주파수 송수신 장치 (간조/만조)  
Fig. 1. Experimental layout (Low water/High water).

표 1. 환경 자료

Table 1. Environmental parameters.

	Day	Night
Depth(m)	4.0(high tide)	
Sediment type	Sandy mud	
Wind speed(m/s)	2~4	
Mean grain size( $\phi$ )	6.0	
Temperature( $^{\circ}$ C)	8.0	7.5
Salinity(psu)	33.0	33.0
Sound speed(m/s)	1480.0	1479.6
DO(Dissolved oxygen)(ppm)	6.3	5.4
Biomass(g DW/m <sup>2</sup> )	167.164	

말의 후방산란신호를 획득하였다. 음원 신호는 펄스 길이가 0.4 ms인 정현파 신호를 사용하였고 0.5 초 간격으로 20회 이상 반복 송·수신하였다. 또한 120 kHz 단일 주파수를 이용하여 만조를 기준으로 약 1시간 동안 거머리말의 후방산란 신호를 관측하였다. 해저면과 거머리말로부터의 수신신호는 고주파 대역 통과필터를 사용하여 주변 소음 영향을 제거하였고 A/D 변환기를 거쳐 저장하였다. 그리고 각각의 신호는 양상을 평균을 취한 후 수신감도를 고려하여 잔향음 준위를 계산 하였고 송신감도를 고려한 음원 준위와 감쇠를 고려한 전달 손실을 계산하였다. 해저면 후방산란강도는 해저면에 입사된 평면파의 1 m 떨어진 곳에서 의 입사파 음의 세기( $I_{inc}$ )와 산란파 음의 세기( $I_{scat}$ )의 비로 정의된다[20].

$$SS(\theta) = 10 \log_{10} \frac{I_{scat}(\theta)}{I_{inc}(\theta)} \quad (1)$$

또한 해저면 산란강도는 소나 방정식을 사용하여 얻을 수 있다.

$$SS = RL - SL + 2TL - 10 \log_{10} A \quad (2)$$

$$A = \frac{c\tau}{2} \Phi r_H \quad (3)$$

여기서 SS 는 후방산란강도 (dB re 1 m<sup>2</sup>), RL 은 잔향음 준위 (dB re 1μPa), SL 은 음원 준위 (dB re 1μPa at 1m)이며 TL은 음원에서 해수면까지의 전달 손실 (dB re 1m)이다. A는 입사 단면적 (insonified area)으로 빔 폭과 펄스 길이에 의해서 결정되어진다. 송신기의 음원 준위는 송신기 감도 (Transmitting Voltage Response, TVR)를 고려하여 산출하였으며, 청음기를 통해 수신된

표 2. 해상 실험을 위한 송신기와 수신기 제원

Table 2. Specification of projectors and a hydrophone for the field experiment.

	Projector			Hydrophone
	T 128	TC 2116	T 38	TC 4014
Company	Neptune sonar	Reson	Neptune sonar	Reson
Frequency Range	30 kHz	50/80 /100 kHz	120 kHz	15 Hz~480 kHz
TVR (Transmitting Voltage Response)	171.7 dB	170.66/165.2 /173 dB	174.9 dB	-
RVS (Receiving Voltage Sensitivity)	-167 dB	-177/-180.2 /-179.9 dB	-187 dB	-186 dB+- 3 dB
Beam width	11.1 °	14.6 °	9.6 °	Omni

음파의 잔향음 준위는 수신기의 감도 (Receiving Voltage Sensitivity , RVS)를 보정하여 계산하였다. 표 2는 실험에 사용된 주파수별 송·수신기의 제원 및 감도이다.

### III. 결과

그림 2는 거머리말 서식지의 주파수 응답특성을 관측하기 위해서 측정된 수직 입사각에 대한 주파수별 주간 후방산란강도이다.

야간과 주간을 표시하는 사각형과 원은 각각의 주파수에 대한 후방산란강도로서 20 회 이상 반복 송수신된 결과의 평균과 표준편차를 동시에 표현한 것이며 점선은 주파수 증가에 따른 후방산란강도의 변화 양상을

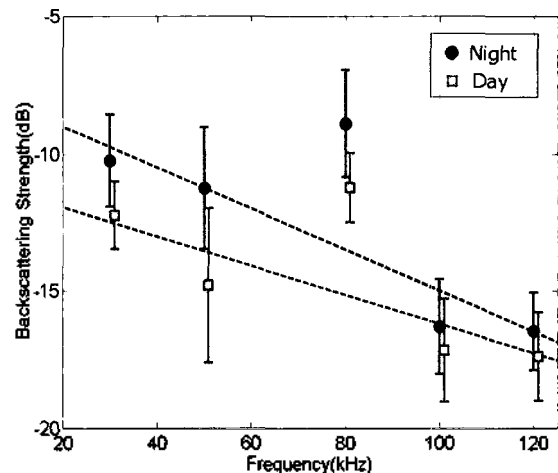


그림 2. 주·야간 주파수별 후방산란강도

Fig. 2. Backscattering strength with frequencies for day and night.

Robust 방법과 최소자승법 (least square method)을 사용하여 살펴본 것이다.

주파수가 증가함에 따라 후방산란강도가 감소하는 주파수 의존성을 보이며 주간과 야간을 비교해 볼 때 야간의 후방산란강도가 주간에 비해 2~4 dB 높게 측정되었다. 주간에 거머리말로부터의 후방산란강도가 야간에 비해 낮게 나타내는 이유는 야간에는 존재 하지 않는 해수 중 매질이 산란 및 흡수를 일으켜 음의 세기를 감쇠 시키기 때문이다. 동일한 실험 환경에서 음의 세기를 변화시킬 수 있는 요인은 바람에 기원 되는 해수면 공기방울과 거머리말의 광합성 시 발생하는 공기방울 그리고 조석차에 의해서 야기되는 부유물질의 영향이 있다. 모든 실험은 조석에 의해서 발생할 수 있는 부유물질의 영향을 최소화 하기 위해 만조 때 실험을 실시하였고 해수면 공기방울을 발생시키는 바람의 영향을 고려하여 주야간 풍속을 관측하였다. 관측한 풍속 및 실험 당시의 환경인자 (표 1)는 주야간 모두 유사하게 측정되었고 용존산소량 (dissolved oxygen)만이 큰 차이를 보였다. 따라서 주간에만 존재 하면서 음의 세기를 변화시킬 수 있는 해수 내 매질은 거머리말의 광합성에 의한 산소 공기방울로 추정 할 수 있다. 광합성 시 발생하는 산소 공기방울은 일출 후 약 1시간이 지나면 전 수층에 포화 되기 때문에 [10] 센서와 거머리말 사이의 산소 공기방울 층에 의한 다중 산란은 음의 감쇠를 유발 시키고 거머리말로부터 후방산란 된 신호의 세기는 감소하게 된다. 따라서 거머리말로부터의 후방산란강도는 음의 감쇠를 일으키는 공기방울이 상대적으로 작은 야간에 크게 나타나게 된다.

80 kHz에서 주 야 모두 상대적으로 높은 산란 강도를 보이는 이유는 해수면 거칠기에 의해 발생하는 공기방울과 그림 3과 같이 내만으로 들어오는 파들이 실험 해역의 방파제에 부딪혀 발생하는 공기방울 중 80 kHz에서

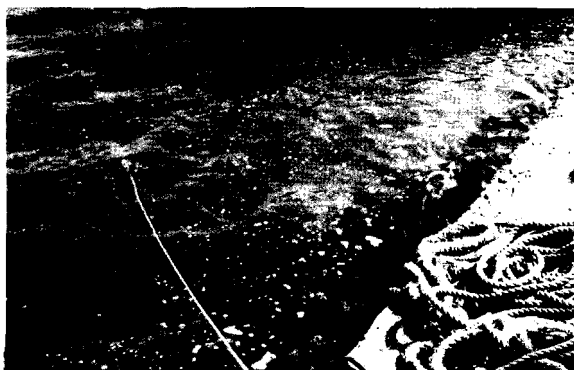


그림 3. 실험 해역  
Fig. 3. Experiment site.

표 3. 공진주파수별 공기방울 크기  
Table 3. Bubble size with resonance frequencies.

	수심 (Z= 0m)	수심 (Z= 1m)	수심 (Z= 2m)
30 kHz	108(μm)	113(μm)	118(μm)
50 kHz	65(μm)	68(μm)	71(μm)
80 kHz	40(μm)	42(μm)	44(μm)
100 kHz	32(μm)	34(μm)	35(μm)
120 kHz	27(μm)	28(μm)	29(μm)

공진주파수를 가지는 공기방울이 해수 내에 많이 분포하기 때문이다.

기포가 수층에 많이 분포하면 흡수가 증가하여 후방산란강도가 감소해야 하지만 공진 주파수와 비공진주파수에 대한 산란강도 비교시 공진주파수의 산란강도가 훨씬 크기 때문에 공진주파수 (80 kHz)로 송신된 음이 30, 50, 100, 120 kHz에 비해 상대적으로 더 큰 음압이 수신될 수 있다 [21].

그리고 실제 해양에서 40 μm 크기를 가지는 공기방울 존재의 가능성은 Johnson and Cooke (1979)이 사진촬영 방법 (photographic method)을 이용하여 관측한 공기방울의 크기별 밀도 분포로 확인할 수 있다. Johnson and Cooke(1979)은 연안에서 풍속 (6~8 m/sec)과 수심 (수심<4m)에 따라 발생하는 다양한 크기의 공기방울 (17~300 μm)에 대한 확률 밀도 분포를 관측하였고 그 중 80 kHz의 공진주파수를 가지는 공기방울 크기 (40~50 μm)에서 공기방울 의 밀도 분포가 최대가 됨을 관측한바 있다 [22]. 본 연구에서 주파수와 수심에 대한 공기 방울의 크기측정은 아래 식을 이용하였고 [21] 표 3은 공진주파수별 공기방울의 크기를 보여준다.

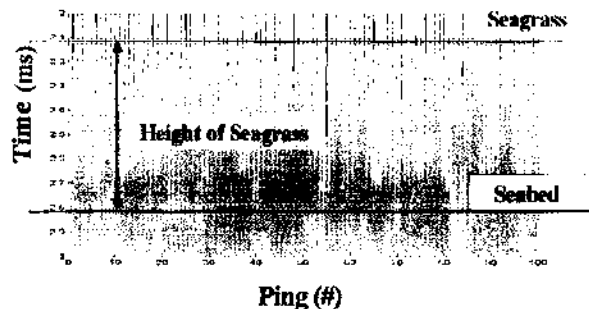


그림 4. 거머리말 서식지에 대한 후방산란 신호  
Fig. 4. Backscattering signals from *Zostera marina* bed.

$$f_R = \frac{1}{2\pi a} \left( \frac{3\gamma P_A}{\rho_A} \right)^{1/2} \quad (4)$$

$$f_R \approx \frac{3.25(1+0.1Z)^{1/2}}{a(\text{meters})} = \frac{3.25 \times 10^6}{a(\text{micro})} (1+0.1Z(m))^{1/2} \quad (5)$$

$$\rho_A = 1.03 \times 10^3 \text{ kg / m}^3$$

$$P_A \approx 10^5 (1+0.1Z) \text{ N / m}^2$$

$$\gamma = 1.40$$

$$f_R = \text{Resonance frequency}$$

그림 4는 거머리말의 길이를 측정하기 위해서 120 kHz 단일 주파수를 이용하여 3 분여 동안 획득된 360 핑의 시계열 신호 중 100 핑을 선별하여 x 축과 y 축을 90° 회전시켜 나타내었다.

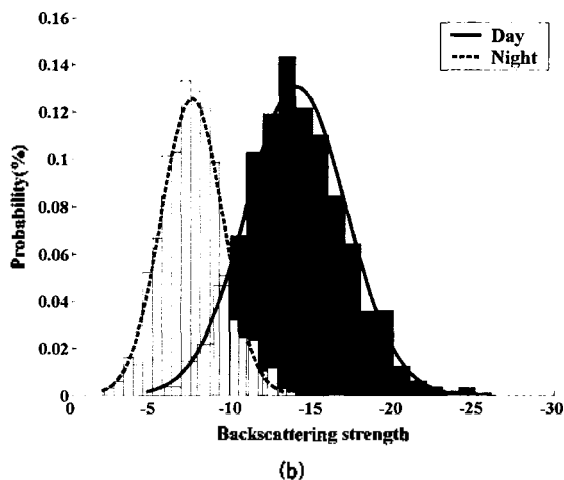
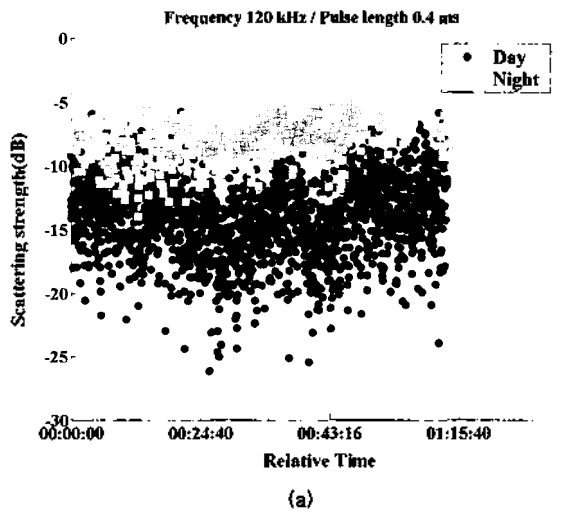


그림 5. 시간에 따른 주·야간 후방산란강도(a), 주·야간 후방산란강도에 대한 확률밀도함수(b)

Fig. 5. Backscattering strength with time for day and night(a), Probability density function of backscattering strength for day and night(b).

도달시간을 거리로 환산한 결과 해저면 도달 시간은 2.8 ms 이며 신호의 2.1 ~ 2.8 ms 에 해당하는 부분은 거머리말의 길이 (약 50 cm)로 음향실험 후 다이버가 직접 샘플링 한 거머리말의 길이 (50 cm)와 잘 일치하였다. 신호에서 나타나는 거머리말의 높이 변화는 조석 과 바람 등에 의해 영향을 많이 받는 거머리말의 움직임을 보여주고 있다.

그림 5는 거머리말의 움직임에 따른 후방산란강도의 변화와 그에 따른 확률 분포이다.

그림 5의(a)는 만조를 기준으로 약 1시간 동안 수신한 주·야간 후방산란강도의 시간에 따른 분포를 보여준다. 사각형과 원은 각각 야간과 주간에 거머리말과 해저면에 대한 후방 산란강도의 변화로 약 1시간동안 수신한 3600 핑 이상의 자료이다. 야간이 주간에 비해 후방산란강도가 높게 나타나고 시간에 따른 산란강도의 분포 양상이 일정하게 관측된 반면 주간의 경우 후방산란강도의 분포 변화가 야간에 비해 매우 랜덤 하게 측정되었다. 주간과 야간 모두 만조 때 실험을 실시하여 거머리말의 움직임에 영향을 주는 조석에 의한 요인을 최소화 시켰고 풍속이 동일 하여 바람에 의한 거머리말 움직임은 주 야간 일정 하기 때문에 후방산란강도의 분포 차이는 광합성에 의한 산소 공기방울의 영향으로 추정 할 수 있다. (b)는 거머리말의 행동과 산소 공기방울에 따른 후방산란강도의 변위를 알아보기 위해서 확률밀도함수 (probability density function)로 나타내었다. 확률밀도함수는 거머리 말과 해저면으로부터 일정하게 들어오는 산란강도와 공기방울이나 거머리말의 움직임에 따라 변하는 산란강도의 합으로 구성된다. 실선이 나타내는 주간의 후방산란 강도의 분포 양상은 평균 산란강도 -13.94 dB이고 표준 편차가 3.1인 가우시안 확률밀도 함수의 특성을 보이는 반면, 야간(점선)의 후방산란강도 분포 양상은 주간에 비해 평균 산란강도가 약 6 dB 높고 표준편차는 1.8로 주간에 비해 낮은 확률밀도함수로 나타났다. 즉 동일한 실험장소에서 주간의 표준편차가 야간에 비해 크고 표준 산란강도가 작게 측정되었다는 사실로부터 거머리말과 해저면 이외에 산란강도의 변위를 일으킬 수 있는 산란체의 존재, 즉 공기방울 의 영향으로 추정할 수 있다. 실험시간대의 주·야간 조석 차이는 거의 없는 것으로 미루어 봤을 때 공기방울 이외의 산란체(부유물질) 영향은 없었던 것으로 추정할 수 있다.

### IV. 결론 및 고찰

본 논문에서는 주파수 30, 50, 80, 100, 및 120 kHz 능동 소나를 사용하여 거머리말 서식지의 후방산란 특성을 연구하였다. 야간의 후방산란강도는 주간에 비해 2-6 dB 크게 측정되었고 주파수가 증가함에 따라 후방산란강도가 감소하는 주파수 의존성을 확인하였다. 주간 야간 후방산란강도의 차이는 환경 자료와 비교함으로써 광합성에 의해 생산되는 산소 공기방울에 의한 영향으로 추정된다.

따라서 거머리말과 같이 경계면에 서식하는 해양 생물은 해저면 위에 또 다른 경계면을 형성하기 때문에 기존 해저면 산란모델을 적용 시 거머리말의 산란특성을 함께 고려해야 한다. 이를 위해 추후에는 거머리말의 수직 입사각에 대한 후방산란 특성 연구가 요구된다.

또한 주간 광합성 시 발생하는 다량의 산소 공기방울의 감쇠효과를 검증하기 위해서 용존산소량과 해수 중 존재하는 기포의 크기 및 분포를 관련짓는 이론연구가 수행되어야 한다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2003-000-11658-0) 및 한양대학교 과학기술 장학금의 지원을 받아 수행되었음.

### 참고 문헌

1. R. J. Urick, "Principles of Underwater Sound, 3rd ed", McGraw-Hill Inc., Chap. 5, pp 99-146, 1983.
2. 최지용, 나정열, 석동우, 오선택, 나영남, 천해에서의 고주파 해저면 후방산란강도 측정, 한국음향학회 논문집, 18 (1s), pp 198-201, 1999.
3. J.W. Choi, J. Na, and K. S. Yoon, High-frequency Bistatic Sea-Floor Scattering from Sandy Ripple Bottom, IEEE J. Oceanic Eng., 28, pp 711-719, October 2003.
4. 박순식, 윤관섭, 조진석, 나정열, 고주파 해저면 반사손실의 주파수 종속성 측정, 한국음향학회지, 22 (8), pp. 652-659, 2003.
5. 박순식, 조진석, 윤관섭, 나정열, 석동우, 주진용, 고주파 해저면 반사손실 모델, 한국음향학회 추계학술발표대회 논문집, 22 (2S), pp. 207-210, 2003.
6. 조진석, 윤관섭, 박순식, 나정열, 석동우, 주진용, 퍼지 이론을 이용한 해저면 분류 기법, 한국음향학회지, 23 (4), pp. 296-302, 2004.
7. 라형술, 윤관섭, 이재혁, 나정열, "질피의 후방산란", 한국음향학회 학술발표대회 논문집 23 (1(s)), pp. 191-194, 2004.
8. 이재혁, 윤관섭, 라형술, 나정열, "수중음향을 이용한 질피 서식지 분포

9. 이광우, 양한섭, 과학해양학, 청문각, pp. 85-110, 2002.
10. Jean-Pierre Hermand, Pamela Nascetti, Francesco Cinelli, Inversion of Acoustic Waveguide Propagation Features to Measure Oxygen Synthesis by Posidonia oceanica., Proc. Of IEEE, pp 919-926, Sept, 1998.
11. Jean-Pierre Hermand, The effect of photosynthetic bubbles on underwater sound propagation, The 18th ICA, April, pp. 2515-2518, 2004.
12. 이상룡, 한국산 거머리말속(Zostera, Zosteraceae)의 생태 및 분류학적 특성에 관한 연구, 한양대학교, 박사학위논문, pp167, 2001.
13. 이근섭, 이상룡, 남해안 질피 서식지 현황 및 복원 방안, 자연보존, 116:15-20, 2001.
14. 이상룡, 이상미, 최창일, 덕산항에 생육하는 포기 거머리말 개체군의 생물계절학과 형태 변이, 한국해양학회지, 20 (4), pp. 339-346, 2002.
15. Elena M. McCarthy, Acoustic Characterization of Submerged Aquatic Vegetation : Military and Environmental Monitoring Application, IEEE, pp 1957-1961, 2000.
16. Shizuo Sudoh, Hisayoshi Taria, Ryuju Yokoyama, Shin-ichiro Kwaguchi, Fundamental Analysis for Quantification of Communities of Zostera marina, Eisenia bicyclis and Ecklonia cava with Echo Sounding System, Marine biology research report, No.97101: 1-9, 1977.
17. Bruce M. Sabol and Stephen A. Johnston, Innovative Techniques for improved Hydroacoustic Bottom Tracking in Dense Aquatic Vegetation, Aquatic Plant Control Research Program, US Army Corps, August, pp 1- 16, 2001.
18. Terry Domico, Assessment of Digital Sonar Technology to Map Eelgrass(Zostera marina) in the San Juan Islands, Puget Sound BioSurvey, pp 1-10, Biosonics.
19. 박용안, 해양지질학 및 퇴적학 실험, 서울대학교 자연과학대학, pp 19-37, 1982.
20. R. J. Urick, "Principles of Underwater Sound, 3rd ed", McGraw-Hill Inc., Chap. 8, pp 237-290, 1983.
21. H. Medwin, C.S. Clay, "Fundamental of Acoustical Oceanography", Academic press, Chap. 8, pp. 287-344, 1998.
22. B.D. Johnson, R.C. Cooke, Bubble population and spectra in coastal waters: A photographic approach, J. Geophys. Res., 84, pp. 3761-3766, 1979.

### 저자 이력

#### • 라형술 (Hyoungsul La)



2002년 2월: 한양대학교 지구해양학과 (이화사)  
 2003년 3월~현재: 한양대학교 지구해양학과  
 (석사과정)  
 ※ 주관실분야: 수중음향산란

#### • 윤관섭 (Kwan-Seob Yoon)

한국음향학회지 제21권 제5호 참조

#### • 나정열 (Jungyul Na)

한국음향학회지 제21권 제8호 참조