

## 잘피의 후방산란 특성

라형술, 윤관섭, 이재혁, 나정열  
한양대학교 지구해양과학과 해양음향연구실

# Backscattering from Seagrass beds

Hyoung-sul La, Kwan-seob Yoon, Jae-hyuk Lee, Jungyul Na

Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea

E-mail : hsla@ihanyang.ac.kr

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-11658-0)지원으로 수행되었음

### 요약

본 연구에서는 해양의 기초 생산자인 잘피 (*Zostera marina*)의 후방산란 특성을 일주기 동안 관측 하였다. 해상 실험은 2004년 2월 25~29일 기간 중 남해 동대만에서 실시 하였다. 그랩(Grab)을 이용하여 해초지의 입도를 분석 하였으며 주파수별 산란 특성을 고려하기 위해서 17, 30, 50, 80, 100, 그리고 120 kHz 음원을 해초지에 수직 지향하여 주, 야간 잘피의 후방 산란을 측정하였다. 실험 환경 분석을 위해 파고와 조석 및 잘피의 생체량(biomass)측정을 실시 하였다. 광합성 시 해초지에서 발생하는 산소 공기는 해수에 의해 용존 되거나 산소 가스 형태로 존재하게 된다. 이들 공기 방울에 의해서 형성되는 공기 방울 층은 음 세기의 감쇠를 야기 시킨다. 실험 결과 주, 야간 동안 음의 산란 강도 변화를 확인 하였다.

### 1. 서론

잘피(seagrass)는 해조류(algae)와는 구별되어 지는 고등 현화 식물로 경제적 가치가 큰 많은 어족 자원들의 중요한 서식지를 제공해 주며 환경오염의 지시자로 연안 생태계의 중요한 에너지원으로 작용한다[1]. 전세계 모든 해안에 분포하고 있는 잘피의 음향학적 특성 연구는 국내의 경우 거의 미비한 실정이나, 외국의 경우, McCarthy(2000), Bozzano(1997) 등이 음파를 이용한 잘피의 후방산란 측정, 그리고 군사적인 목적으로 잘

피 생육지 대한 연구가 이루어 졌다[5-7], Bruce M. Sabol과 W.J. Lee Long, 등은 Biosonics사의 DT 4000 고주파(420 kHz) 음향 센서를 이용하여 잘피의 길이와 생육지의 분포면적 그리고 생육밀도를 관측한 바 있다[8-10]. Hermand는 저주파(0.1~1.6 kHz)를 이용하여 잘피의 광합성에 의한 산소 공기층이 야기시키는 음 세기의 감쇠와 시간 지연 현상을 일주기 동안 관측 하였고, 음향학적으로 역산된 산소 공기량을 이용한 잘피 생육지의 생산성 모니터링 가능성을 보여 주었다[3,4]. Shizu Sudoh은 잘피의 수심별 후방 산란 강도를 측정하였다[11]. 해수 중 용존 산소는 광합성에 의한 산소 생성과 대기 중 산소 용해에 의한 표층 해수로의 공급, 생물의 호흡 및 유기물 분해에 의한 산소의 소비에 변화하게 된다. 실제로 표층 해수는 공기방울의 포획과 광합성 작용 때문에 산소가 과포화(3~5%) 상태인 것으로 알려져 있으며 [14], 과포화 상태에서는 많은 부분의 산소가 공기방울의 형태로 해수중에 남게 된다.

해초에 대한 국내 연구는 해초 종들의 분포와 형태 [1,2], 해초의 생물 계절학적 특징에 대한 연구가 활발히 수행 되고 있지만[12] 해초 생육지의 면적, 생물량과 생육밀도 그리고 해초 개체의 건강 정도에 대한 시·공간적인 변동성을 파악에 대한 연구는 전무하다. 특히 기존의 다이버에 의한 직접 채집과 항공사진들을 이용하는 관측 방법은 혼탁도가 높고 수심이 깊은 지역에 서식하는 잘피 관측에 있어 많은 어려움이 있다[8]. 이러한 문제점을 보완하기 위해 수중음향을 이용하여 해초지 자체의 음향 특성 연구가 선행 되어야 한다

## 2. 해상실험 및 분석

잘피의 후방산란 특성을 2004년 2월 25 ~ 29 일 기간 중 남해 동대만에서 관측 하였다. 그림 1과 같이 다중 주파수(30, 50, 80, 100, 120 kHz)를 송수신할 수 있는 음향장비를 해초지에 수직 지향 시켰다. 송신기는 T 128(30 kHz), TC 2116(50,80,100 kHz) 및 T 38(120 kHz)이고 수신기는 B&K TC 4014 청음기를 사용하여 후방산란 신호를 획득하였다.

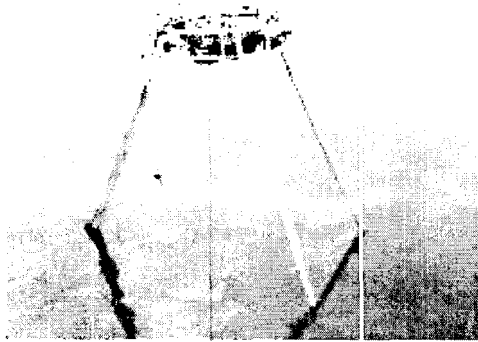


그림 1. 산란신호 측정 시스템

실험 해역의 수심은 만조시 최고 4 m 였고 센서는 해저면에서 2 m 높이에 위치 시켜 실험을 실시하였다. 사용된 음향 신호는 펄스 길이가 0.4 ms, 1 ms인 정현파 신호를 사용하여 0.5 s 간격으로 송신하였다. 측정된 신호는 고주파 필터를 사용하여 주변 소음 영향을 제거하였고, 120 kHz 단일 주파수를 이용하여 시간에 따른 해초지의 후방산란 특성을 주·야 만조시간 동안 관측 하였다. 잘피의 평균 생체량은 334.328 g/m<sup>2</sup> 이고 Grab core를 이용 관측 지역의 저질이 니질임을 확인하였으며, CTD와 WTR 9을 이용한 환경 분석 결과는 표 1과 같다.

표 1. 환경자료

	수온 (°C)	염분 (psu)	유속 (m/sec)
주간	8.0	33	1480.0
야간	7.5	33	1479.6

해저면 후방산란 강도는 해저면에 입사되는 평면파

의 1 m 떨어진 곳에서의 음파강도( $I_{inc}$ )와 산란파 강도( $I_{scat}$ )의 비로 정의된다[13].

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

또한 해저면 산란강도는 소나 방정식을 사용하여 얻을 수 있다.

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

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

## 3. 해상실험 및 분석

시간을 거리로 환산한 결과, 해저면 도달 시간은 2.8 ms이며 2.2 ~ 2.8 ms 사이의 신호는 잘피의 높이와 움직임을 나타내는 것으로 추정되며, 잘피의 움직임을 고려하였을 때 실제 측정된 잘피의 길이(50 cm)와 잘 일치한다(그림 2).

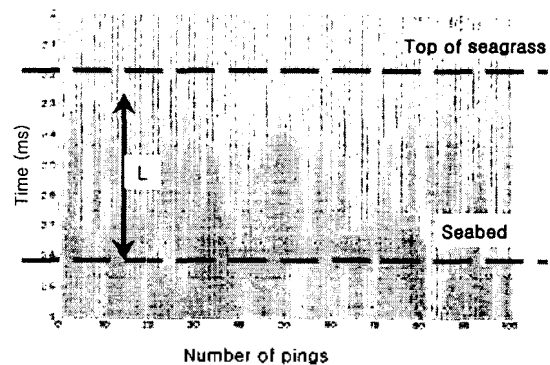


그림 2. 해저면 산란 시계열 신호

그림 3은 수직 입사각에 대한 잘피의 주파수별 주야간 산란강도 결과를 보여준다. 사각형과 원은 주파수별 산란강도로서 30 회 이상 반복 송수신 결과의 평균과 표준편차이며, 점선은 최소자승법을 이용하여 계산된 주파수에 따른 산란 강도 변화이다.

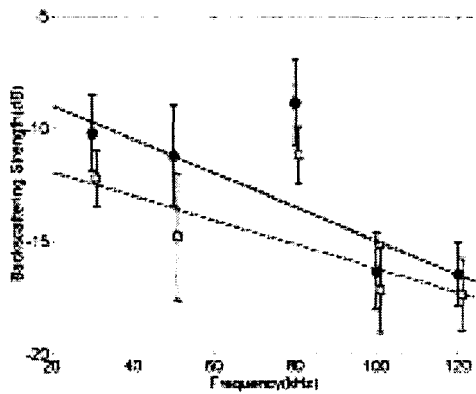


그림 3 주파수별 후방산란 강도

사각형과 원은 각각 야간과 주간을 표시하며 주파수 종속성을 보여준다. 주파수가 증가함에 따라 산란강도가 감소하며, 주간과 야간을 비교해 볼 때 야간의 산란 강도가 주간에 비해 1~3 dB 높고 평균에 대한 편차도 주간에 비해 작음을 알 수 있다.

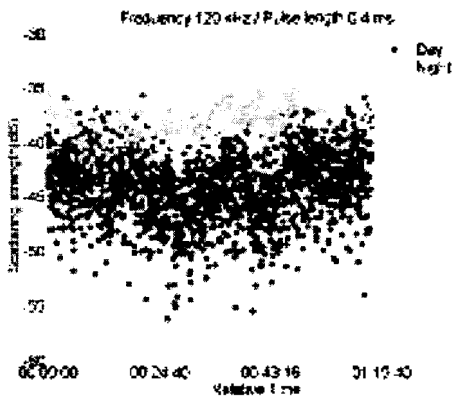


그림 4 시간에 따른 후방산란 강도

그림 4, 5는 상대적인 시간에 따른 주·야간 후방산란 강도이다. 주간에 비해 야간의 후방산란 강도가 약 7~8 dB 높게 관측되었다. 주·야간 모두 Gaussian 분포를 가지며, 야간의 표준편차가 주간에 비해 작게 관측되었다. 그 원인은 광합성에 의해 생성된 산소 공기방울의 음파 산란 영향으로 추정할 수 있다.

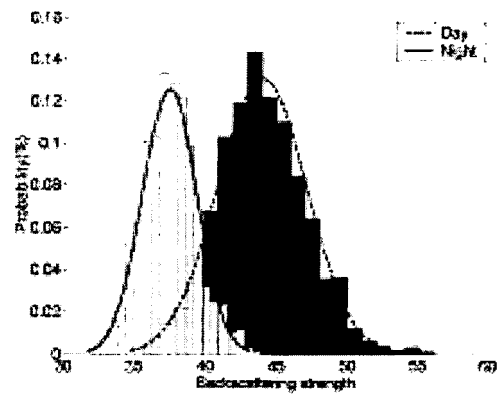


그림 5 주·야간 후방산란 강도

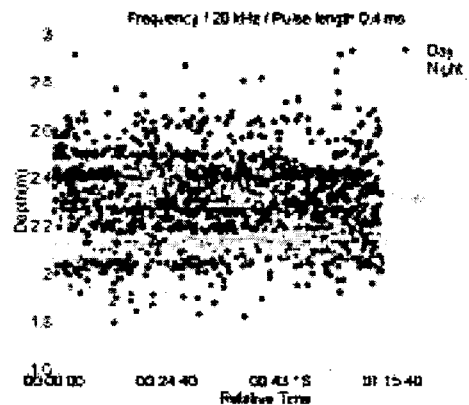


그림 6 시간에 따른 산란체의 수심 변화

그림 6, 7은 주·야간 수심에 따른 산란체의 도달 시간을 나타내었다. 야간의 경우 거리 2.1 m에 산란체의 후방산란이 지배적으로 나타나는 반면 주간에는 산란체 깊이의 분포가 다양하게 나타났다.

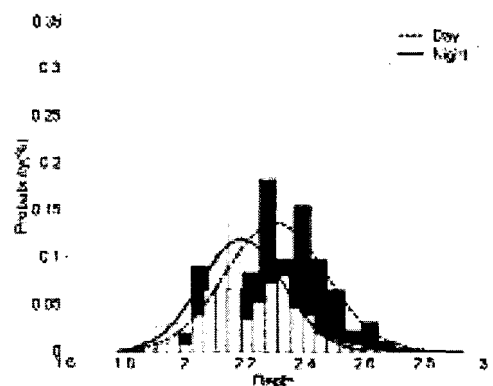


그림 7 수심에 따른 산란체의 도달 시간

#### 4. 결론

잘피의 후방산란 특성을 파악하기 위하여 지향성 음원을 사용하여 후방산란 신호를 측정하였다. 주파수 별 산란 강도 변화가 주야간 별로 차이가 있음을 관측하였다. 광합성이 활발한 주간에 비해 야간의 산란강도가 5 ~ 15dB 높은 경향을 보였으며 야간의 산란강도가 주간에 비해 다소 높은 주파수 의존성을 보였다. 결과적으로 광합성으로 인해 해수 중에 존재하는 산소가스가 음파 산란에 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 추후 실험에는 주·야간 잘피의 후방 산란강도의 일조량에 따른 용존 산소량의 변화 그리고 부유물질과의 비교가 필요하다.

#### 참고문헌

1. 이상룡, 한국산 거머리말속(*Zostera, Zosteraceae*)의 생태 및 분류학적 특성에 관한 연구, 한양대학교, 박사학위논문, pp167, 2001.
2. 이근섭, 이상룡, 남해안 잘피 서식지 현황 및 복원 방안. 자연보존, 116:15-20, 2001.
3. 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.
4. Jean-Pierre Hermand, The effect of photosynthetic bubbles on underwater sound propagation, The 18<sup>th</sup> ICA, April, 2004.
5. Elena M. McCarthy, Acoustic Characterization of Submerged Aquatic Vegetation : Military and Environmental Monitoring Application, IEEE, pp 1957-1961, 2000
6. R. Bozzano, R. Mantovani, A. Siccardi, and, L. Castellano, Acoustic Backscattering From Marine Vegetation, Proc. Of IEEE, pp 927-930, 1998.
7. A. Siccardi, R. Bozzano, and R. Bono, Seabed Vegetation Analysis By A 2 MHz Sonar, Proc Of MTS/IEEE OCEANS '97, October, 1997.
8. W.J.Lee Long, C.A. Roder and L.J. McKenzie, Preliminary Evaluation of an Acoustic Technique for Mapping Tropical Seagrass Habitats, A Report to The Great Barrier Reef Marine Park Authority, Research Publication No. 52, June, 1998.
9. 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, 2001.
10. Terry Domico, Assessment of Digital Sonar Technology to Map Eelgrass (*Zostera marina*) in the San Juan Islands, Puget Sound BioSurvey, Biosonics
11. Shizuo Sudoh, Hisayoshi Taria, Ryuju Yokoyama, Shin-ichiro Kwaguchi, Fundamental Analyses for Quantification of Communities of *Zostera marina*, *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava* with Echo Sounding System, Rep, Mar, Ecol, Res, Inst, No.97101:1-9, 1977. .
12. 이상룡, 이성미, 최청일, 덕산항에 생육하는 포기 거머리말 개체군의 생물계절학과 형태 변이. 한국해양학회지. 20(4):339-346, 2002.
13. R. J. Urick, Principles of Underwater Sound, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill, New York, 1983
14. 이광우, 양한섭, 화학해양학, 청문각, 1998