

# 수중음향을 이용한 잠피 서식지의 분포 관측

이재혁, 윤관섭, 라형술, 나정열  
한양대학교 과학기술대학 지구해양과학과

## Observation of Seagrass Distribution Using underwater acoustics

Jae Hyuk Lee, Kwan-Seob Yoon, Hyoung Sul La, Jungyul Na  
Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea  
leeheh@ihanyang.ac.kr

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

### 요약

본 논문에서는 연안에 서식하는 잠피(*Zostera Marina*)의 시공간적 분포와 생산성을 파악하기 위해 음향실험을 통한 분석을 시도하였다. 해저면이 니질로 구성된 잠피 서식지에 수평입사각 및 방위각에 따라 120 kHz 및 50 kHz 음원을 이용하여 송·수신 하였다. 수평입사각 및 방위각에 대한 수신 신호의 산란강도를 표현하였으며, 그 분포양상이 실제분포와 유사한 경향을 보인다. 각 음원의 주·야간별 신호에서는 산란강도의 차이가 관측되었다. 이를 통해 잠피의 광합성에 의한 공기방울의 음파산란 영향에 대한 가능성을 확인하였다.

울이 생성되며, 시간에 따른 용존산소량의 변화가 현저하게 관측되었다[3]. 그리고 이러한 공기방울은 음파를 산란시키는 주된 요인으로 작용하게 된다[4]. 그림 1의 (A)는 성장한 잠피의 모습이며 (B)는 잠피의 한 개체에 대한 단면을 나타낸 것이다.



(A) (B)

### 1. 서론

잠피 서식지는 가장 생산력이 높은 생태계 중 하나이며, 큰 경제적 가치와 생태적 가치를 함께 지니고 있다. 또한 연안의 생산성 향상과 생태계 정화에도 큰 역할을 담당한다[1].

신세계적으로 연안에는 많은 잠피들이 존재하며, 그 분포를 음향학적으로 확인할 수 있었다[2],[3]. 잠피를 비롯한 많은 식물들의 산소 광합성 영향으로 해수내에 공기방

그림 1. 잠피의 모양과 개체 단면[J.-P. Hermand, 2004]

그림 2는 Hermand 등이 일주기 동안 수심별로 용존산소량을 측정한 결과이다[3]. 광합성이 활발해 지기 시작하면 잠피 서식지 주변의 해수 전층이 산소로 포화되는 것을 관측할 수 있다.

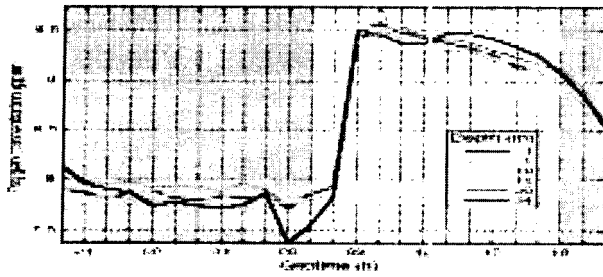


그림 2. 수심에 따른 시간별 DO[J.-P. Hermand, 2004]

현재 국내에서는 갈피 서식지를 조사하는 가장 기초적인 방법인 스쿠버와 항공사진 등을 이용한 조사만이 이루어지고 있을 뿐이다. 수중음향을 이용한 갈피 분포관측은 인력 소모를 줄일 수 있고 경제적 절약에 도모할 수 있을 뿐만 아니라, 수심의 제약이 거의 없으며, 실시간으로 관측할 수 있는 장점이 있다. 이에 본 논문에서는 해초 서식지의 시공간적 분포를 파악하고 군집밀도를 관측하기 위해 음향학적 접근 방법을 제시하고자 한다. 또한 광합성에 의해 생성된 공기방울이 갈피 분포의 관측에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서도 고찰해 본다.

본 논문의 2장에서는 해상실험의 방법 및 절차를 설명하고, 3장에서는 주·야간 산란특성 비교를 위한 자료분석 및 갈피 서식지의 전체적인 분포도 작성 방법을 제시한다. 마지막 4장에서는 결론 및 차후 연구과제에 대해서 논하고자 한다.

## 2. 해상실험

갈피 서식지 분포 관측을 위해 2004년 2월 25일부터 29일까지 경상 남해시 동대리 곤류방파지에서 그림 3과 같은 갈피 서식지에 PAN & TILT를 설치하여 실험을 실시하였다. 그림 4는 실험장비 설치를 나타낸 구성도이다.



그림 3. 갈피 서식지

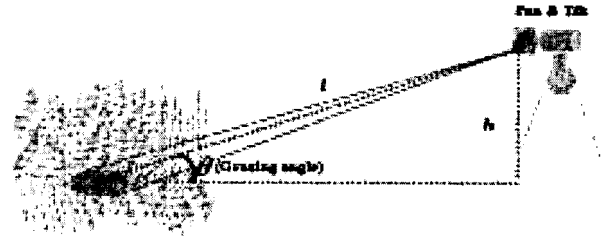


그림 4. 실험 구성도

그림 4와 같이 해저면부터 Pan & Tilt Transducer까지의 높이를  $h$ , 음파가 해저면까지 도달하는 거리를  $l$ 로 두었다.

음원 신호는 120 kHz 및 50 kHz를 사용하였으며, 신호 길이는 각 주파수 별로 2.0 ms의 정현파 신호를 송·수신하였다. 갈피 서식지 주변의 전체적인 분포도 작성을 위해 수평입사각  $40^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ( $5^{\circ}$ 간격) 및, 방위각  $0^{\circ}\sim 130^{\circ}$ ( $5^{\circ}$ 간격) 별로 주간 및 야간으로 구분하여 실험하였다.

해저면으로부터 산란된 신호는 다시 수신기로 수신하여 증폭 후 A/D Converter에 저장하였다.

산란강도를 산출하기 위해 전달손실 및 송수신기의 감도를 고려한 음원 준위와 잔향음 준위, 그리고 Ensonified area를 고려하였다.

## 3. 자료분석 및 결과

수신된 신호의 산란강도를 계산하기 위해 소나 방정식을 적용해야 한다[5]. 식 (1)은 산란강도를 계산하기 위한 단상태 능동 소나 방정식이다.

$$SS = RL - SL + 2TL - 10\log_{10} A \quad \text{식 (1)}$$

SS는 산란강도(Scattering Strength), RL은 잔향음 준위(Reverberation level), SL은 음원 준위, TL은 전달손실(Transmission loss), 그리고 A는 Ensonified area를 나타낸다. 여기서 Ensonified area는 송신된 음파가 갈피 및 해저면에 도달했을 때의 면적을 의미하는데, 송신기의 빔패턴을 고려했을 때, 수평입사각이 낮아 질수록 그 면적은 넓어지게 된다[6]. 그림 5는 단상태에서의 Ensonified area에 대한 설명이다.

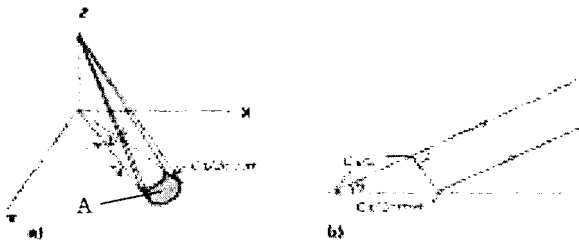


그림 5. Ensonified area

그림 5에서  $c$ 는 음속(1480m/s : CTD 측정자료),  $\tau$ 는 신호길이,  $r_H$ 는 송신기부터 해저면까지의 수평거리, 그리고  $\Phi$ 는 송신기의 half intensity beam width이다. 식 (2)는 면적  $A$ , 즉, Ensonified area를 표현한 것이다.

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

잘피로부터 수신된 신호의 크기를 비교하기 위해서 잔향음 준위와 음원 준위의 차(이하 음압 준위)를 산출하였다. 그림 6은 120 kHz 및 50 kHz 음원의 수평입사각 40°에 대한 음압 준위를 주·야간별로 비교한 것이다.

그림 6에서는 동일한 수평입사각으로 방위각 0°~130°까지의 음압 준위를 평균하여 주·야간 비교했을 때 야간에 비해서 주간신호의 음압 준위가 낮게 관측되며, 그 차이는 수평입사각이 낮아질수록 커진다.

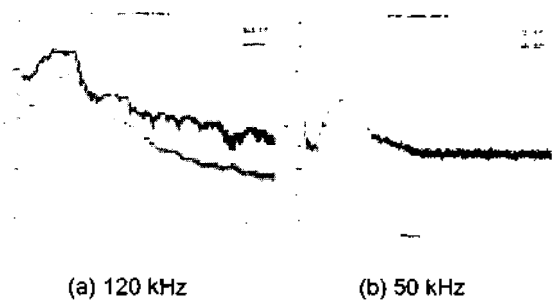


그림 6. 음압 준위의 주·야간 비교(수평입사각 40°)

그림에서 알 수 있듯이, 수평입사각이 40°인 경우 120 kHz의 음압 준위는 주간이 야간에 비해 약 9 dB정도 낮으며, 50 kHz 신호에서는 약 12 dB정도 낮게 관측된다. 또한 주간에는 시각지연(Time delay) 및 시간분산(Time dispersion) 현상도 관측된다. 그림 7은 그림 6에서 산출

된 음압 준위를 방위각별로 표현한 것이다.

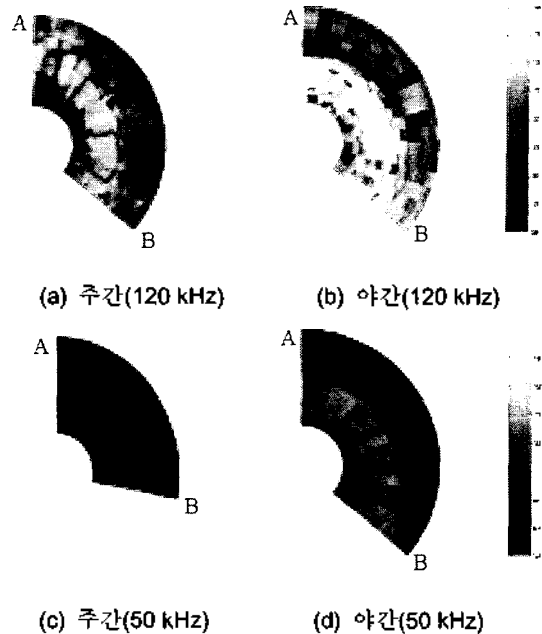
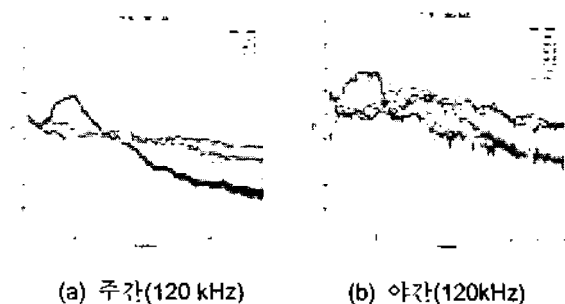


그림 7. 수평입사각 40° 음압 준위 분포 비교

동일한 수평입사각에 대한 주·야간의 음압 준위 분포를 살펴보면, 주·야간별로 분포양상은 유사하지만 그림 7과 같이 음압 준위의 차이가 있음을 확인할 수 있다.

그림 6과 7에서 설명한 바와 같이 주·야간별 차이를 보이는 이유에 대해서 고찰해 보았다. 잘피는 주간에 활발한 광합성을 통해 산소 공기방울을 생성한다. 주간의 산소 공기방울이 음파산란에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위해 DO meter를 이용하여 주·야간 실험시간대의 용존산소량을 측정하였다. 그 결과, 주간(10시~12시)에는 6.25 ppm, 야간(23시~01시)에는 5.4 ppm이 측정되었다.

그림 8은 120 kHz 및 50kHz 신호의 주·야간 음압 준위를 나타낸 것으로서, 수평입사각의 변화에 따른 해저면 및 잘피의 음압 준위 변화를 관측할 수 있다.



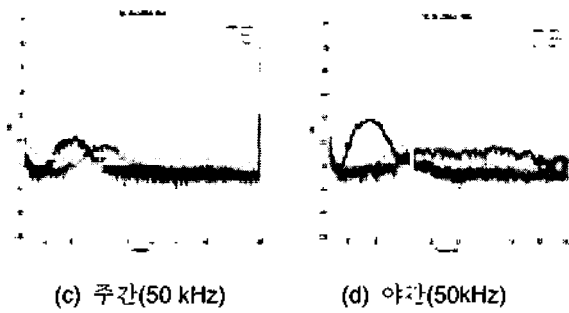


그림 8. 음압 준위의 수평입사각별 비교

그림 9는 그림 8의 수평입사각별 음압 준위에 전달손실 및 Ensonified area를 고려한 120 kHz의 주·야간별 산란강도이다. 전체적으로 주간이 야간보다 낮은 산란강도를 보이며, 수평입사각이 낮아질수록 주간 산란강도 변화의 기울기가 야간의 기울기보다 크다. 그 원인은 광합성에 의해 생성된 산소 공기방울의 음파 산란과 거리에 따른 감쇠의 영향으로 추정된다.

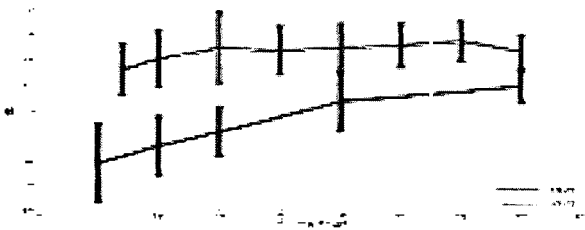
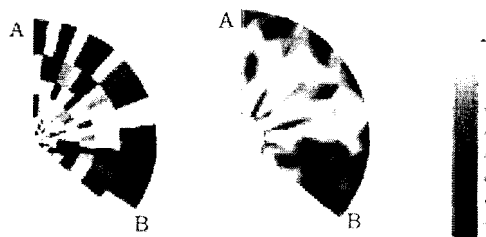


그림 9. 수평입사각별 산란강도 변화 비교

그림 10은 120 kHz 야간 신호의 산란강도를 수평입사각 및 방위각별로 표현하여 잘피 서식지 전체적인 분포도를 작성한 것이다. 그림 10과 실제 촬영한 그림 2의 잘피 서식지 사진을 비교한 결과 분포양상이 유사하게 나타났다.



(a) 산란강도 분포 (b) 내삽법을 이용한 산란강도 분포

그림 10. 잘피 서식지의 산란강도 분포 (120kHz 야간)

#### 4. 결론 및 토의

본 연구를 통해 해저면 및 잘피의 산란강도 변화가 주·야간별로 현저하게 차이가 있음을 관측할 수 있었으며, 그 원인이 광합성에 의한 산소 공기방울의 영향임을 추정할 수 있는 가능성을 제시하였다. 향후, 공기방울 이외의 부유물질 등에 의한 산란체 영향을 연구할 예정이다.

또한 수중음향을 이용한 잘피 서식지 분포도 작성의 가능성을 충분히 확인할 수 있었다. 광합성에 의한 산소 공기방울로 인해 정확한 산란 특성을 이해하지 않으면 잘피 분포도 작성이 어려울 것이다. 반면, 공기방울에 의해 산란된 신호를 분석함으로써 잘피의 생산성과 건강상태를 파악할 수 있는 가능성을 제시해 주었다. 차후 정밀한 분포도 작성을 위해서 수평입사각과 방위각을 세밀하게 분류하여 실험할 예정이며, 앞으로도 지속적인 연구를 진행할 예정이다.

#### 참고 문헌

1. Sang Yong Lee, Sung Mi Lee and Chung il Choi, "Phenology and Morphometrics Vhange of *Zostera caespitosa* Miki Populations at the Duksan Port in the Eastern Coast of Korea", *Korean J. Environ. Biol.*, 2002
2. Bruce M. Sabol and Stephen A. Johnston, "Innovative Techniques for Improved Hydroacoustic Bottom Tracking in Dense Aquatic Vegetation", *US Army Corps of Engineers*, 2001
3. J.-P. Hermand, P. Nascetti and F. Cinelli, "Inversion of Acoustic WaveGuide Propagation Features to Measure Oxygen Synthesis by *Posidonia oceanica*", in *Proceedings of the Oceans '98 Conference*, vol. 11, pp 919-926, IEEE, Sept, 1998
4. J.-P. Hermand, "The effect of photosynthetic bubbles on underwater sound propagation", *The 18<sup>th</sup>, ICA*, April, pp IV-2515-2518, 2004
5. Ji Woong Choi, "High-Frequency Bistatic Scattering from Ocean Boundaries", *EMSOAL HanYang Univ.*, 2002
6. Robert J. Urick, "Principles of underwater sound", *The Catholic University of America*, Chap. 8