

# 저주파 선박 신호를 이용한 해저면 하부 인자 추정

이성욱, 오철민, 나정열, 김영선\*, 박정수\*, 이필호\*, 최진혁\*  
한양대학교 지구해양학과, 국방과학연구소(진해)\*

## Inference of The Sub-bottom Parameters using Ship-radiated Low Frequency Signal

Seongwook Lee, Cheolmin Oh, Jungyul Na,  
Youngsun Kim\*, Jeongsoo Park\*, Philho Lee\*, Jinhyuk Choi\*  
Dept. of Earth and Marine Sciences, Hanyang University  
Agency for Defense Development (Chinhae)\*

leesw@hymail.hanyang.ac.kr

### 요약

선박 신호를 이용한 퇴적층 인자 추정 가능성 고찰을 위해 천해에서 실험을 수행하였다. 실험 결과와 모델 결과의 비교를 통해 저주파 대역의 신호는 해저면 특성의 변화와 밀접한 관련이 있고 이러한 특성을 활용하면 해저면 인자 추정이 가능함을 확인하였다.

### 서론

외해에서의 수중 음전달은 수층 음속의 수평 및 수직적 분포의 영향을 많이 받는데 비해 항만주변 및 내만을 포함하는 연안역에서의 음전달에는 외해에 비해 해저면의 특성이 중요한 역할을 하게 된다. 특히 수심에 비해 파장이 큰 저주파 대역에서의 음전달을 이해하기 위해서는 수층뿐만 아니라 해저면 아래의 구조 및 탄성적 성질 등이 고려되어야 한다[1]. 탄성을 고려할 경우에는 음파가 해저면에 입사할 때 압축파(Compressional Wave), 전단파(Shear Wave) 및 경계면파(Interface Wave) 성분으로의 에너지 분할을 고려함을 의미한다[2].

경계면파는 서로 인접한 두 경계면 사이에서

전달되는 지진파 성분의 일종으로, 일반적으로 경계면의 성질에 따라 진공-고체의 경계면에서 전달되는 파동에 대해서는 레일리파(Rayleigh Wave), 액체-고체의 경계면에 대해서는 솔트파(Scholte Wave), 고체-고체의 경계면에서는 스톤리파(Stoneley Wave)로 구분된다[3,4].

솔트파는 음원 및/또는 수신기가 해저면 또는 해저면 가까이 위치할 때 발생하고 수신된다. 세기는 경계면에서 두 매질로 멀어짐에 따라 지수함수적으로 감소하는 특성을 지니므로 청음 기로도 감지가 가능하다. 특히 음향 차단주파수(Cut-off Frequency) 이하의 주파수 영역에서 우세한 성분으로 기여한다. 또한 전달 속도는 하부 매질의 전단성(Shear Property)과 밀접한 관련이 있는데, 수층 음속과 해저면 전단파 속도중에서 느린 성분의 0.86배 정도로 근사가 가능하다[5].

이러한 솔트파의 성질을 이용하여 현장에서의 측정이 까다로운 해저면 구성 물질의 전단파 속도 및 감쇄계수를 추정하고자 하는 연구가 최근 여러 연구자들에 의해 수행되어 왔다[6,7].

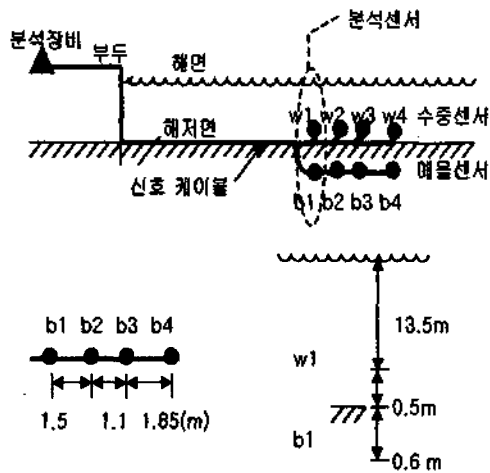


Fig.1 View of the hydrophone installation.

본 논문에서는 해저면 전단파 성분과 경계면 파를 고려한 음전달 모델을 이용하여 선박에서 방사되는 저주파 신호로부터 해저면 아래의 구조에 대한 정보 추출 가능성에 대해 고찰하였다.

### 음전달 실험 및 결과

저주파수 대역에서의 음전달 특성을 파악하기 위해 진해만 내의 부도 주변 해역에서 국방과학연구소 주관으로 200년 7월에 실험을 수행하였다.

실험은 수심 14m 해역에서 수행하였고, 수중 및 해저면 아래에 4조 쌍의 청음기를 설치한 후 거리 1km 지점에서부터 10노트로 선박이 진입할 때 수신되는 신호를 녹음하였다(Fig.1). 이때 선박과 청음기 사이의 거리는 GPS를 이용하여 산출하였다. 또한 선박의 엔진 회전수 변화로 인해 야기될 수 있는 신호의 주파수 변화 등을 방지하기 위해 신호 측정 구간에서는 회전수 및 기동 경로를 일정 상태로 유지하도록 하였다.

측정된 신호중에서 해저면에 매설된 b1 청음기에 수신된 신호와 주파수 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 시간 신호는 선박이 청음기쪽으로 접근하여 170s 부근에서 가장 가까운 거리를 통과후 청음기로부터 멀어짐에 따라 진폭이 감소하는 경향을 보여준다. 중앙의 스펙트럼은 선박에서 방사되는 신호의 특성과 야간의 배경소음 수준을 나타낸다. 스펙트럼의 주파수 간격은 이동중인 음원에 의해 발생하는 도플러 효과에 의한 주파수 변화가 나타나지 않도록 약 0.2Hz

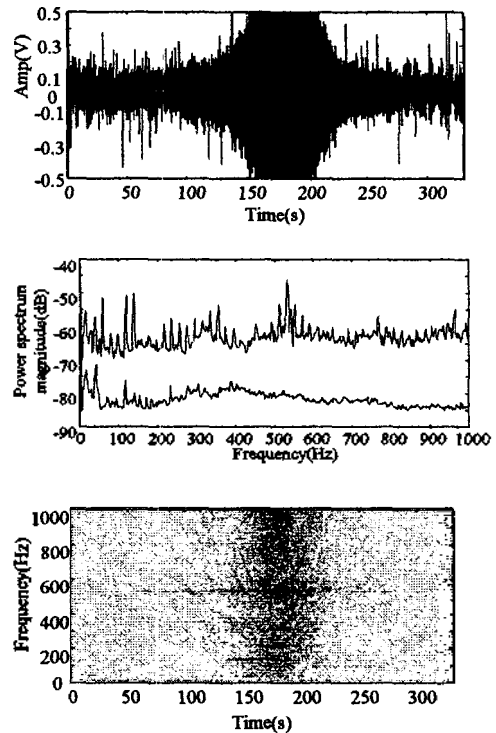


Fig.2 Measured signal at b1 hydrophone and analysis results.

간격이 되도록 하였다. 하단의 시간-주파수 영역에서의 스펙트럼은 선박의 진입 및 이탈시에 여러개의 주파수 선이 발생함을 보여주는데 이들 주파수 선의 진폭 변화로부터 전달손실을 구하였다.

전달손실은 선박의 후류 등에 의한 신호 변형을 피하기 위해 선박이 접근할때의 신호를 취하

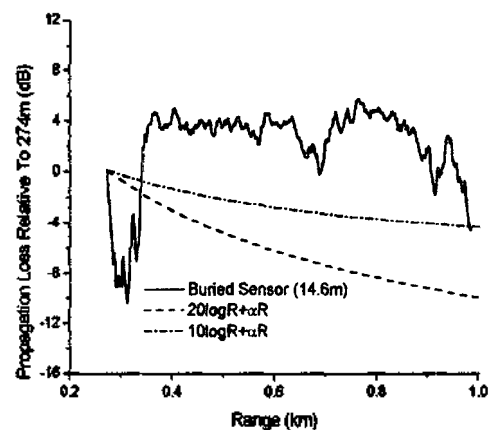


Fig. 3. Measured relative propagation loss at b1 hydrophone for 13.7Hz

여 신호의 Clipping이 발생하기 전의 거리에 해당하는 274m에서의 수신준위를 기준으로 하여 상대적인 값을 구하였다.

이들 중에서 가장 낮은 주파수에 해당하는 13.7Hz에서의 상대적 전달손실을 Fig. 3에 나타내었다. 실험 결과와의 비교를 위해 구형 및 원통형 분산에 대한 손실과 Thorp의 흡수손실[8]을 고려할 때의 상대적 손실 값을 함께 나타내었다.

13.7Hz 신호의 수신준위 변화 특성은 원통형 분산 또는 구형 분산과 유사하게 거리가 증가함에 따라 에너지가 감소한다기 보다는 0.3km 이상에서는 274m에서의 값에 비해 오히려 증가하는 듯한 경향을 보여주고 있다. 또한 0.3, 0.7, 0.9km 부근에서 손실이 상대적으로 증가하는 보이는 것도 특징적이라 할 수 있다.

### 수치 모델을 이용한 해석

앞 절에서 언급한 저주파 신호 전달에서 나타나는 특성을 분석하기 위해 천해 저주파 음전달 환경에 적용 가능한 KRAKEN 모델을 사용하였다.

KRAKEN은 거리에 대한 함수와 수심에 대한 함수의 곱으로 표시되는 모드의 함수로 음압을 구하는 정상모드(Normal Mode) 방법에 근거한 모델로서 거리 변화에 따른 수중음속 및 수심의 변화, 즉 거리종속성(Range Dependency)을 고려할 수 있으며 해저면 입사각이 임계각보다 큰 경우에 해당하는 가상모드(Virtual Mode) 혹은 연속모드(Continuous Mode, Leaky Mode라 부르기도함)에 의한 영향도 포함하고 있다. 또한 해저면의 탄성을 고려할 수 있는 장점도 있다 [9].

Table 1에는 모델 수행을 위해 고려한 지음향 인자를 나타내었다. 수중음속은 현장에서 실측한 값을 이용하였으며 거리종속성은 없는 것으로 가정하였다.

먼저 해저면 아래의 층 구조가 두께 6m의 퇴적층과 반 무한 평면으로 구성된 경우를 모의하였다. 퇴적층의 구성물질이 점토(Clay) 또는 실트(Silt)일 때 이들의 탄성, 즉 전단파 성분의 고려 유무에 따른 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 모의 결과는 실트층의 전단파 성분을 고려한 경우만이 실측치와 유사하게 0.3, 0.7, 1.0km에서 풀이 발생하는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

Table 1. Geoacoustic parameters for model simulation.

Thickness (m)	Type	Compressional Wave		Shear Wave		Density (kg/m <sup>3</sup> )
		V <sub>p</sub> (m/s)	α <sub>p</sub> (dB/m)	V <sub>s</sub> (m/s)	α <sub>s</sub> (dB/m)	
6	Clay	1500	0.1	65	0.2	1.5
	Silt	1600	0.2	111	0.5	1.6
210	Chalk	2390	0.05	1370	0.1	2.2
∞	Granite	5000	0.01	2500	0.02	2.4

다음으로 두께 6m의 실트층 아래에 Chalk 층 및 화강암 층이 위치하는 경우에 대해 Chalk 층의 두께를 변화시켜가며 모의한 결과, Chalk 층의 두께가 210m일 때 Fig. 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 모델 결과는 약 0.7km 부근까지는 실측치와 거의 일치하고 0.7km 이후부터는 다소 차이를 보임을 알 수 있다.

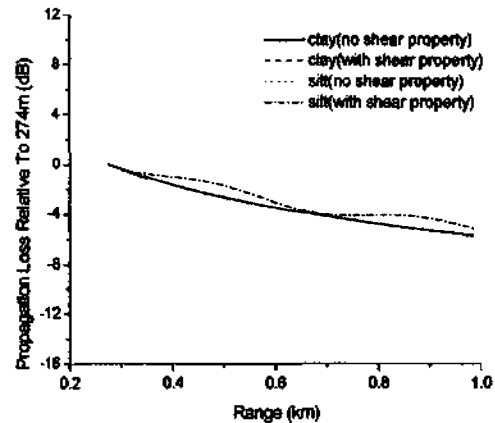


Fig. 4. Model simulation for 2 layer bottom.

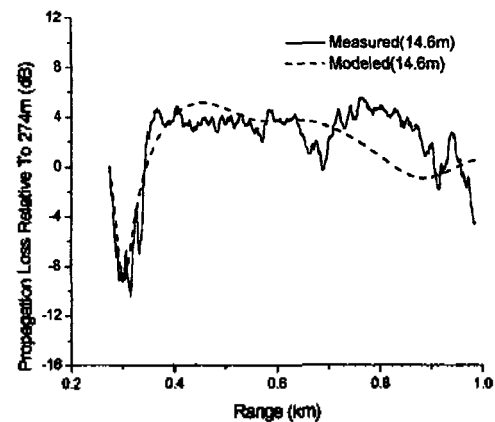


Fig. 5. Model simulation for 3 layer bottom.

## 결론

해저면의 전단파 인자를 고려한 음전달 모델과 선박에서 방사되는 저주파 신호로부터 해저면에 대한 지음향 특성 추출 가능성에 대해 고찰하였다.

수치모델과 실험 결과를 비교한 결과 본 연구에서 분석한 13.7Hz의 선박 신호는 해저 퇴적층을 3층 구조로 하고 1층이 두께 6m의 실트, 2층이 두께 210m의 chalk일 때 양호한 결과를 나타냈다. 이는 역으로 해저퇴적층에 대한 인자 추출이 가능함을 나타내 준다고 할 수 있다. 본 연구에서는 일반적인 지음향 특성을 이용하여 두께를 산정하였지만, 음전달 실험과 층서자료 획득을 병행할 경우에는 보다 객관적인 과정을 통해 수심별 전단파 성분에 대한 정보 추출도 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1]. T. Akal and F. B. Jensen, "Ocean Seismo-Acoustic Propagation", in *Progress in Underwater Acoustics*, edited by H. M. Merklinger(Plenum, 1987).
- [2]. F. B. Jensen, "Excess Attenuation in Low-Frequency Shallow-water Acoustics : A Shear Wave Effect ?", in *Shear Waves in Marine Sediments*, edited by J. M. Hovem et al.(Kluwer,1991)
- [3]. D. Rauch, "On the Role of Bottom Interface Waves in Ocean Seismo-Acoustics : A Review", in *Ocean Seismo-Acoustics*, edited by T. Akal and J. M. Berkson(Plenum,1986).
- [4]. H. Schmidt, "Excitation and Propagation of Interface Waves in a Stratified Sea-Bed", in *Acoustics and The Sea-Bed*, edited by N. G. Pace(Bath Univ.,1983)
- [5]. E. K. Westwood, C. T. Tindle and N. R. Chapman, "A Normal Mode Model for Acousto-elastic Ocean Environments", *J. Acoust. Soc. Am.*, 100(6), 3631-3645, 1996.
- [6]. H. B. Ali and M. K. Broadhead, "Shear Wave Properties from Inversion of Scholte Wave Data", in *Full Field Inversion Methods in Ocean Seismo-Acoustics*, edited by O. Diachok et. al.(Kluwer,1995).
- [7]. G. V. Frisk, "A Review of Modal Inversion Methods for Inferring Geoacoustic Properties in Shallow Water", in *Full Field Inversion Methods in Ocean Seismo-Acoustics*, edited by O. Diachok et. al.(Kluwer,1995).
- [8]. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, 3d ed., McGraw-Hill, 1983.
- [9]. M. B. Porter, "The KRAKEN Normal Mode Program", SACLANTCEN Tech. Rep., SACLANT, La Spezia, Italy(1990).