

# 정상모드를 이용한 거리종속 양상태 잔향음 모델

오선택\*, 윤관섭\*\*, 오택환\*\*, 나정열\*\*, 한상규\*

\*STX레이다시스, \*\*한양대학교 해양음향연구소

stoh@stxradarsys.co.kr

## Range-dependent Reverberation Modeling with the Normal Mode

Suntaek Oh\*, Kwan-seob Yoon\*\*, Taekwan Oh\*\*, Jungyul Na\*\*, Sang-kyu Han\*

\*STX RadarSys, \*\*Ocean Acoustics Lab., Hanyang Univ.

본 연구는 수중음향특화연구센터(UARC)의 지원으로 수행되었습니다

### 요약

거리종속 해양환경에서 정상모드 모델 중 하나인 KRAKEN 과 Lambert 공식 형태의 산란 함수를 이용하여 양상태 잔향음을 모델링 하였다. 단열 (adiabatic) 정상모드 모델을 이용하여 거리종속 환경에서의 송신기와 산란체, 산란체와 수신기 사이의 음장을 계산하며 각 산란체에서의 산란 강도는 각 모드별 파수에 의한 입사각 및 산란각을 이용, 모드 조합에 의해 계산하였다. 또한 광대역 모델링을 이용하여 시간 영역에서의 잔향음 신호를 계산하였다.

### 1. 서론

천해에서 저주파수 잔향음은 주로 경계면에서의 산란에 의한 것이다. 고주파수를 이용하는 경우 주로 음원과 수신기가 동일한 위치에 있는 단상태 (monostatic)를 이용하며 이는 산란체 (scatterer)까지의 전달 및 후방산란 (backscattering) 경로는 동일하다는 개념을 사용한다.

반면에 저주파수를 이용하는 경우 음원과 수신기가 분리된 다중상태 (multi-static) 또는 양상태 (bistatic)를 이용하여 이 경우 후방산란뿐 만 아니라 전방산란 (forward scattering) 및 측방산란 (side scattering)에 의한 영향이 포함된다. 후방산란 함수의 경우 많은 실험을 통해 자료가 측정되어 있으나 [1] 이에 비해 양상태 또는 3 차원 산란에 관한 실험은 상대적으로 미비한 상태로 현재까지 입사각에 해당되는 반사각 부근의 전방산란은 강하며 그 이외의 각에서는 약하다는 정도만이 알려져 있으며 고주파수에 대한 연구에 국한되어 있다 [2, 3, 4]. 이러한 조건 하에서 관측된 후방산란 강도를 이용하여 3 차원 산란 함수를 외삽 (extrapolation)하는 방법이 시도된 바 있다 [5]. 그러나 이 경우 산란 함수로 Lambert 공식과 반사각 부근의 산란 공식을 가우시안 (Gaussian) 분포 형태를 결합시킨 형태로 주파수 및 입사각에 대해 독립적인 함수로 사용하므로 물리적인 정당성이 결여된다. 또한 고주파수 (10-100 kHz)에서 사용하는 산란함수 중 하나인 합성 거칠기 (composite roughness) 모델을 저주파수에서 적용한 경우도 있다 [6].

기존의 잔향음을 계산하기 위한 모델로는 RASP model [7], GSM [8] 등의 있으나 대부분의 경우, 음선이론을 기반으로 하고 있다. 음선이론 모델의 경우, 상대적으로 고주파수에 적합하며 또한 해저면 내의 특성을 반영하기 어렵다는 단점이 있다. 그러므로 천해에서 저주파수 잔향음을 예측하기 위해서 정상모드이론과 포물선 방정식을 이용한 연구가 국내외에서는 활발히 진행되고 있다 [9, 10].

본 논문은 정상 모드 방법을 이용한 천해 잔향음 모델을 제안한다. 정상모드 방법을 이용하여 음원과 산란체 및 산란체와 수신기 사이의 음파 전달을 계산하며, 산란체에 입사되어 산란되는 산란각도는 정상모드에서의 수평 파수를 이용하여 입사 및 산란각을 산출하여 고려하였다. 이를 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 제안한 모델에 대해 기술하며, 3 장에서는 제안된 모델을 이용하여 음원과 수신기 배치에 의한 신호를 모의한다. 마지막으로 4 장에서 본 논문의 결론을 요약한다.

## 2. 잔향음 모델링

본 장에서의 정상모드에 의한 잔향음 계산과정은 참고문헌 [11]과 같으므로 생략하며 변경된 내용인 산란함수 및 거리종속에 대해 서술한다.

우선 산란함의 경우 기존의 경우 주파수 종속성이 결여되어 있었으나 이를 보정하기 위해 다음과 같은 방법에 의해 해저면에서의 산란함수를 고려하였다 [12].

$$\begin{aligned} \mu_{bot} &= -37 + 10 \log f & : \text{mud} \\ \mu_{bot} &= -31 + 10 \log f & : \text{sand} \\ \mu_{bot} &= -18 & : \text{rock} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $f$  는 주파수로 kHz 단위이다. 따라서 기존의 산란강도 식(2)에서  $\mu$  값은 해저면의 성질 및 주파수에 따라 다르게 적용된다.

$$S(\theta, \theta', \phi') = \mu_{bot} \sin \theta \sin \theta' + \nu(1 + \Delta\Omega)^2 \times \exp(-\Delta\Omega/2\sigma^2) \quad (2)$$

거리종속 환경에서의 잔향음을 계산하기 위해서는 각 거리에서의 입사각 및 산란각을 계산하기 위해 수평 파수 성분이 필요하며 이때 전달손실 등을 계산하기 위해 모드함수를 산출해야 한다 (그림 1).

그림 1 에서  $k_m^i$  는 거리 단면( $i$ )상에서의  $m$  번째 모드의 수평 파수이며  $\phi_m^i$  는 거리 단면( $i$ )상에서의  $m$  번째 모드 형태이다.

여기서 거리종속성에 대한 계산방법은 단열적 접근(adiabatic approach) 방법을 사용하였다.

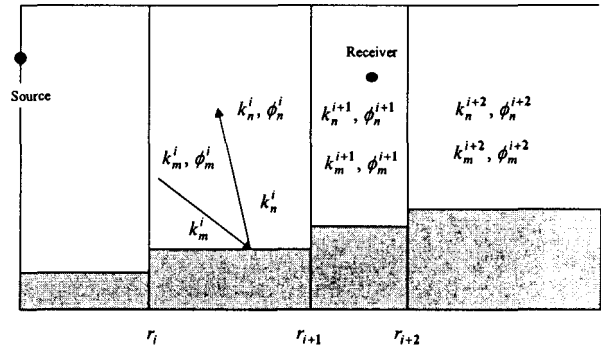


그림 1. Range segmentation for calculating bistatic reverberation.

## 3. 모델 적용

양상태 거리종속 시계열 잔향음 신호를 모의하기 위해 다음과 같은 3 가지 환경을 고려하였다.

우선 음원 수심 50 m, 수신기 수심 100 m, 음원과 수신기 사이의 거리 500 m, 음원의 주파수 범위는 200-250 Hz, 계산을 위한 최대 거리는 4000 m, 음속구조는 거리 및 수심에 따라 일정한 1500 m/s 로 가정하였다 (Fig 2). 또한 해저면은 모래(sand)로 가정하여 식 (1)에

의한 계수를 결정하여 산란강도 계산시 고려하였다.

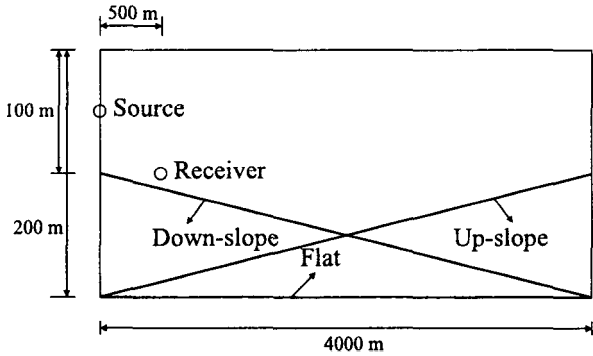


Fig 2. Environment setups for signal simulation.

잔향음 신호 모의를 위해 해저면 경사를 3 가지로 구분하였다. Fig. 2 에서와 같이 해저면이 평탄한 경우 (flat), 음원 위치로부터 거리에 따라 수심이 감소하는 경우 (up-slope), 그리고 음원 위치로부터 거리에 따라 수심이 증가하는 경우 (down-slope)로 나누어 시계열 잔향음신호 및 잔향음 준위를 산출하였다.

Fig. 3~5 의 잔향음은 음원준위와 산란 단면적을 고려하지 않은 결과이다.

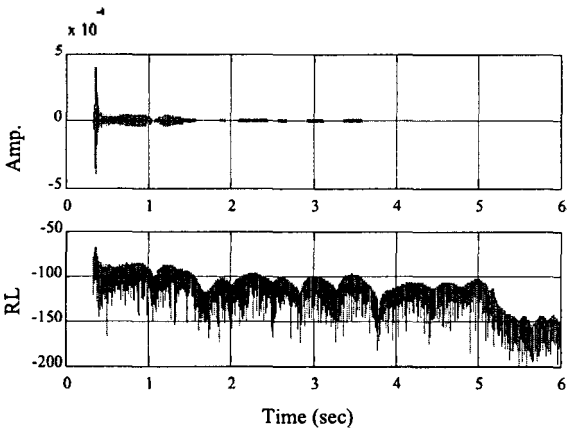


Fig 3. Bistatic reverberation signals in the case of flat bottom.

Fig. 3 은 평탄한 해저면에서 계산한 잔향음 신호로 Fig. 4, 5 와 비교할 때 시간에 따른 진폭의 변화가 크게 나타났다. 이는 전달손실의 변동에 의한 것으로 판단된

다. Fig. 4 는 역경사를 갖는 해저면에서 계산한 잔향음 신호로 해저면에 입사되거나 산란되는 음파가 다른 2 가지 경우에 비해 상대적으로 수렴되므로 시간에 따라 잔향음의 진폭이 일정하게 나타난다. 마지막으로 Fig. 5 는 순경사의 경우로 음파가 음원으로부터 발산되는 경향이 있으므로 시간에 따라 잔향음의 진폭이 급격하게 감소하는 것으로 나타났다.

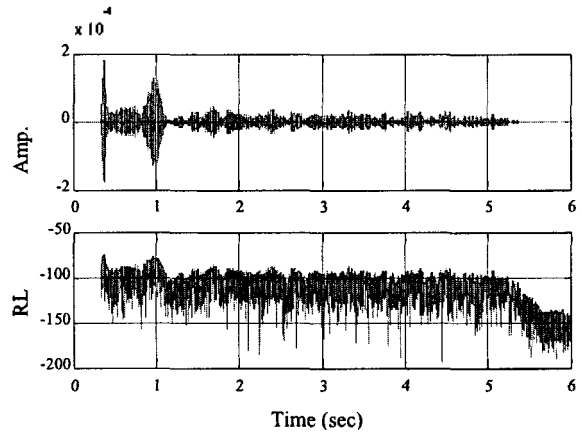


Fig. 4. Bistatic reverberation signals in the case of up-slope bottom.

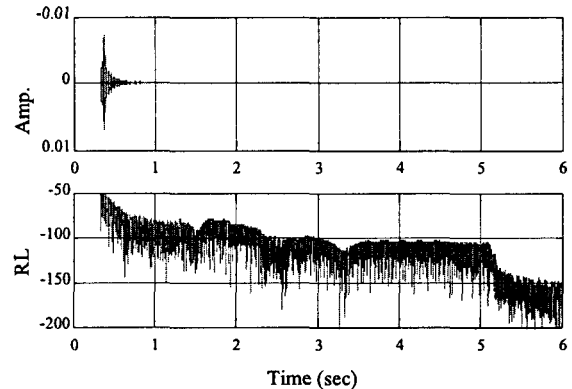


Fig. 5. Bistatic reverberation signals in the case of down-slope bottom.

#### 4. 결론

정상모드를 이용한 거리중속 잔향음 양상태 모델을 제시하였다. 해저면 구성물질 및 주파수를 고려한 3 차

원 산란 함수를 적용하여 양상태 산란함수를 향상시켰으며 광대역 모델링을 이용하여 시계열 잔향음 신호를 모의 하였다. 현재 고려한 거리종속성은 단일 정상모드를 이용하였으나 대륙사면과 같은 경사 (일반적으로 3°-6°)를 고려하기 위해서는 모드간의 에너지 교환을 고려할 수 있는 결합 (coupled) 정상모드 방법의 도입이 필수적이다.

### 참고문헌

1. R. J. Urick, Principles of Underwater Sound (McGraw-Hill, New York, 1983), 3rd ed., Chap. 8, pp. 237-290.
2. D. R. Jackson and K. B. Briggs, "High-frequency bottom scattering: Roughness versus sediment volume scattering," J. Acoust. Soc. Am. 92, 962-977, 1992.
3. J. W. Choi, J. Na and W. Seong, "240-kHz Bistatic Bottom Scattering Measurements in Shallow Water, IEEE J. Oceanic Eng. 26, 54-62. 2001.
4. K. L. Williams and D. R. Jackson, Bistatic Bottom Scattering: Model, Experiments, and Model/Data Comparison, APL-UW TR 9602, Applied Physics Laboratory, University of Washington, 1997.
5. D. D. Ellis and D. V. Crowe, "Bistatic reverberation calculations using a three-dimension scattering function," J. Acoust. Soc. Am. 89, 2207-2214, 1991.
6. M. T. Sundvik and S. M. Reilly, "Measurements of low grazing angle bottom backscatter at frequencies from 220 to 1000 Hz in the central Mediterranean Sea," J. Acoust. Soc. Am. 92, 2466, 1992.
7. E. R. Franchi, J. M. Griffin and B. J. King, "NRL reverberation model: A computer program for the prediction and analysis of medium-to-long-range boundary reverberation," Naval Research Laboratory, Washington DC, Report 8721, 1984.
8. H. Weinberg, "The Generic SONAR model," Naval Underwater System Center, New London, CT, Technical Document 5971D, 1985.
9. T. C. Yang and T. J. Hayward, "Low-Frequency Arctic reverberation: II. Modeling of long-range reverberation and comparison with data," J. Acoust. Soc. Am. 93(5), 2524-2534, 1993.
10. 김남수, 오선택, 윤관섭, 이성욱, 나정열, "천해 저주파 양상태 잔향음 모델," 한국음향학회지, 22(6), 472-481, 2003.
11. 윤관섭, 오선택, 나정열, "정상모드를 이용한 양상태 저주파 잔향음 모델," 한국음향학회 추계 학술발표대회 논문집, 211-214, 2003.
12. [http://www.saclantc.nato.int/mast/prosim/public/techrep3/c\\_hap3-5/Chap3\\_5.htm](http://www.saclantc.nato.int/mast/prosim/public/techrep3/c_hap3-5/Chap3_5.htm)