

천해에서의 고주파 해저면 후방산란강도 측정

High-frequency bottom backscattering strength measurements in shallow water

최 지웅*, 나 정열*, 석 동우*, 오 선택*, 박 정수**

Jee Woong Choi, Jungyul Na, Dongwoo Suk, Suntaek Oh, Joungsoo Park

* 한양대학교 지구해양학과

** 국방과학연구소

※ 이 논문은 수중음향특화연구센터의 연구비에 의하여 연구되었음.

요약문

고주파를 이용한 해저면 후방산란강도를 진해 해군사관학교 내의 실험해역에서 측정하였다. 측정된 후방산란강도를 수평입사각의 함수로 나타낸 후 Jackson 모델과 비교, 분석하였다. 해저면 구성성분을 파악하기 위해 다이버에 의해 코어링이 채취되었으며, 해저면 환경파라미터들은 Hamilton 모델에 의해 산출되었다. 분석 결과, 해저면이 거칠 경우 고주파 해저면 후방산란강도는 퇴적층 내부의 체적산란강도 보다 해저면 거칠기에 의한 산란의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다.

1. 서론

해저면 잔향음은 해저면 특성을 파악할 수 있는 중요 요소로써 작용 할 뿐 아니라 능동소나나 운용시 소나나 시스템에 강한 영향을 미친다. 본 논문에서는 고주파 해저면 후방산란 신호를 이용하여 해저면 구성성분 및 거칠기 등의 특성과 산란신호와의 관계를 파악하고자 하였다.

해저면 후방산란강도는 지역에 따라 각기 다른 값을 나타내므로 능동소나나 운용을 위해서는 후방산란강도에 따른 지역별로 해양을 구분하여야 한다. 이러한 해양 데이터베이스를 구축하기 위해서는 해저면의 특성에 따른 산란 특성을 정확히 파악해야 할 필요가 있다. 기존의 연구에서는 해저면 산란 예측을 위해서 서로 다른

두가지 과정인 해저면 거칠기에 의한 경계면 산란[1][2]과 퇴적층내의 비균질성에 의한 체적 산란[3][4][5]으로 해저면 잔향음을 예측하고자 하였다. 그러나 이러한 과정을 각기 분리한 모델로는 해저면 산란을 정확히 예측하기 어려웠고 Jackson 등은 이 두가지 과정을 합한 모델로서 산란과정을 이해하고자 하였다[6].

본 논문에서는 실험에 의한 관측치와 Jackson 모델[7]을 비교하였으며 사용되어지는 해저면 파라미터 입력자료는 Hamiton[8]의 모델을 이용하여 구하였다.

2. 해저면 후방산란 모델

Jackson 은 고주파 해저면 후방산란 강도를 예

측하기 위해서 Composite roughness approximation (이후 CRA)과 Kirchhoff approximation(이후 KA) 그리고 체적산란 모델을 결합하였다[7].

먼저 해저면 후방산란강도, $S_b(\theta)$ 는 아래의 식에 의해서 구해진다.

$$S_b = 10 \log[\sigma_r(\theta) + \sigma_v(\theta)] \quad (1)$$

여기서 $\sigma_r(\theta)$ 는 해저면 거칠기에 의한 후방산란 단면적이고 $\sigma_v(\theta)$ 는 해저면 내의 체적산란 단면적이다.

해저면 거칠기에 의한 후방산란 단면적은 수평입사각이 수직에 가까워질수록 KA를 그 이외의 각에서는 CRA로 계산한다.

해저면은 큰 규모의 해저면 거칠기와 작은 규모의 거칠기로 구분할 수 있다(Fig. 1).

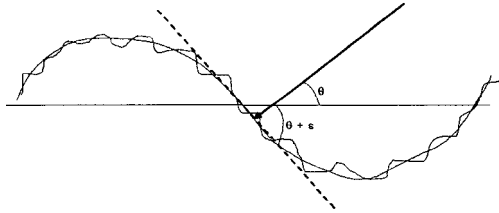


Fig. 1. The composite roughness bottom roughness

CRA는 음파가 해저면에 입사될 때 큰 규모의 해저면 기울기에 의한 임영 부분을 고려한 후, 입사각의 변화에 따른 효과를 보상해 주기 위해 slope averaging integral을 취한 Small-roughness perturbation approximation을 사용한다.

$$\sigma_{pr}(\theta) = \frac{S(\theta, s)}{\pi^{1/2} s} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma_{pr}(\theta + \epsilon) \exp\left(-\frac{\epsilon^2}{s^2}\right) d\epsilon \quad (2)$$

여기서 $\sigma_{pr}(\theta)$ 는 small perturbation 단면적이다. 또한 퇴적층/해수의 interface에서 굴절과 투과손

실을 포함하는 해저면 체적산란에 대한 표현은 Stockhausen의 모델을 사용하였다[9].

3. 측정 및 분석

해저면 산란신호의 측정은 1998년 9월 26일 진해 해군사관학교 내 실험해역에서 실시하였다. 측정 해역의 수심은 4.9m였으며, 수온은 23.34℃, 염분도는 29.68‰로 측정되었다.

해저면에서 3.11m 위치에 센서를 설치한 후 해저면을 향하여 지향각을 변화시켜가면서 해저면 산란신호를 측정하였다(Fig. 2).

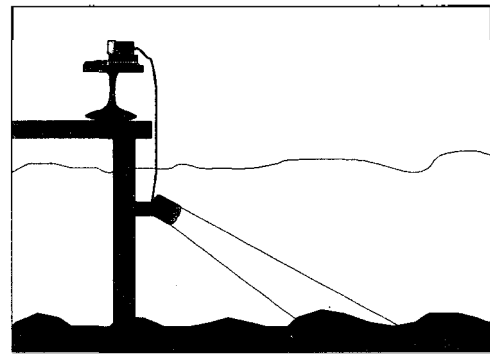


Fig. 2. Experimental apparatus.

주파수는 126kHz를 사용하였고, 해저면을 향하여 각각 30, 40, 50, 60, 70°의 지향각을 주었으며, 지향각별, pulse length별로 각각 30 ping씩을 방사하였다. CTD 측정 결과, 수온의 시·공간적인 변화량이 일정하였고 수심이 알았으므로 음파의 굴절은 무시한 후 분석하였다. 또한 측정된 후방산란 신호는 대역제한 필터를 사용하여 사용주파수대역이외의 주파수 성분은 제거하였다. 그림 3은 지향각별 실측신호이다. 수평입사각이 증가할수록 해저면 산란신호의 amplitude가 증가함을 알 수 있으며, pulse length가 길어질수록 해저면 산란신호 역시 오랜시간 동안 수신됨을 알 수 있다.

각각의 측정신호들의 평균을 취한 후 RVS(Receiving Voltage Sensitivity)를 고려하여 잔향

음 준위를 계산하였다.

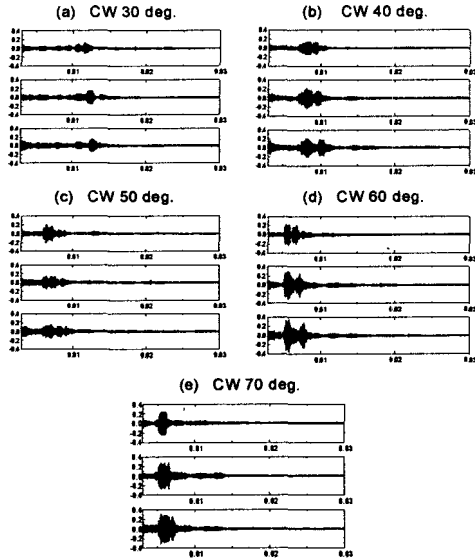


Fig. 3. 지향각별 실측신호. 윗그림부터 pulse length가 각각 1.0, 1.5, 2.0 msec이다.

계산되어진 잔향음 준위를 아래의 식에 대입하여 해저면 후방산란 강도를 계산하였다[10].

$$SS = RL - SL + 2TL - 10 \log A \quad (3)$$

여기서 RL은 잔향음 준위이며, SL은 음원준위로써 TVR(Transmitting Voltage Response)를 고려함으로써 계산할 수 있다. TL은 전달손실신호로써 후방산란강도를 고려함으로 왕복거리를 계산하며, A는 해저면의 ensonified 면적이다.

해저면 구성성분은 상층에 조개껍질(coarse shell fragments)이 다소 섞여있었으며 전반적인 구성성분은 gravel이 약 73%로 주성분을 이루었다(Table 1). 또한 측정 지역의 해저면 porosity는 29%로 나타났다.

Hamiton의 모델을 사용하여 CRA 모델의 입력 자료를 구한 후 CRA 이론 및 Lambert's law[11]와 비교하였다(Fig. 4). 수평입사각이 50~60° 범

위에서 모델의 산란강도가 감소하는 경향을 나타내는 것은 CRA과 KA을 interpolation 할때 두 모델간의 예측치 차이에 의해서 나타나는 예리값이다.

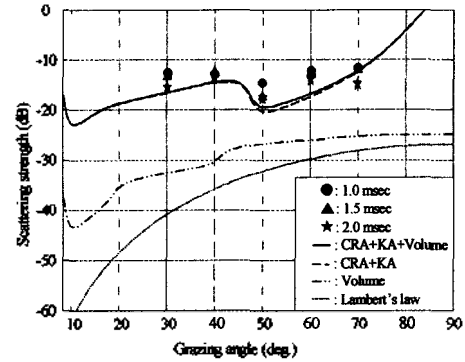


Fig. 4. 측정 데이터와 모델들과의 비교.

모델들과의 비교 결과는 Lambert's law와는 큰 차이점을 보였고 Jackson의 모델과는 상당히 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있었다. Lambert's law는

$$S_B = 10 \log \mu + 10 \log \sin^2 \theta \quad (4)$$

이며 $10 \log \mu$ 는 평균값인 -29dB를 사용하였다. 그러나 Lambert's law는 주파수와 퇴적층의 구성 성분 및 거칠기 변이와는 무관하며 단지 수평입사각의 변화에 따라서만 변화하므로 여러 환경 변수의 특성을 무시하는 단점이 있다.

일반적으로 해저면 후방산란은 경계면 산란과 하부퇴적층내의 체적산란에 의해서 영향을 받으며 경계면에서의 산란만을 고려하였을 경우 실측치와 많은 차이가 있다[12]. 그러나 본 실험 결과 해저면의 주요 구성성분이 gravel이었으므로 하부퇴적층으로의 음파 투과에 의한 퇴적층 내 체적 산란영향은 경계면 산란에 비해 상대적으로 미약하였고 이는 모델의 예측결과에서도 잘

나타나고 있다. 따라서 고주파를 이용시 해저면의 거칠기가 클수록 하부퇴적층에 의한 산란보다는 경계면에서의 산란을 고려해 주어야 한다.

4. 결론 및 토의

고주파(126kHz)를 이용한 해저면 후방산란신호를 측정하였다. 측정된 신호는 Jackson의 후방산란강도 예측모델 및 Lambert's law와 비교하였다. 계산된 후방산란강도는 Lambert's law와는 모든 수평입사각 범위에서 많은 차이를 나타내었고 Jackson의 모델과는 상당히 유사한 경향을 나타내었다. 또한 해저면의 주요 구성성분이 gravel이었으므로 하부퇴적층 내 채적 산란은 경계면 산란에 비해 상대적으로 미약하게 나타남을 예측할 수 있으며, 이는 모델의 예측결과에서도 잘 나타나고 있다. 따라서 고주파를 이용시 해저면의 거칠기가 클수록 하부퇴적층에 의한 산란보다는 경계면에서의 산란 영향이 강함을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. C. S. Clay, and H. Medwin, *Acoustical Oceanography: Principles and Applications* (Wiley-Interscience, New York, 1977), Chap.10 and Appendix A10.
2. E. Y. Kuo, "Wave scattering and transmission at irregular surfaces," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.36, pp.2135-2142, 1964.
3. A. N. Ivakin and Yu. P. Lysanov, "Underwater sound scattering by volume inhomogeneities of a bottom medium bounded by a rough surface," *Sov. Phys. Acoust.*, Vol.27, pp.212-215, 1981.
4. P. C. Hines, "Theoretical model of acoustic backscatter from a smooth seabed," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.88, pp.324-334, 1990.
5. D. J. Tang, "Acoustic wave scattering from a random ocean bottom," Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, 1991.
6. D. R. Jackson, D. P. Winebrenner and A. Ishimaru, "Application of the composite roughness model to high-frequency bottom backscattering," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.79, pp.1410-1422, 1986(a).
7. P. D. Mourad and D. R. Jackson, "High frequency sonar equation models for bottom backscatter and forward loss," in *Proceedings of OCEANS'89* (IEEE, New York), pp.1168-1175, 1989.
8. E. L. Hamilton and R. T. Bachman, "Sound velocity and related properties of marine sediments," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.72(6), pp.1891-1904, 1982.
9. M. D. Stockhausen, "Scattering from the Volume of an Inhomogeneous Half-Space," Naval Research Establishment, Canada, Report No. 63/9, 1963.
10. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1983.
11. K. V. Mackenzie, "Bottom reverberation for 530 and 1030 cps sound in deep water," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.33, pp.1498-1504, 1961.
12. A. P. Lyons and A. L. Anderson, "Acoustic scattering from the seafloor: Modeling and data comparison," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.95(5), pp.2441-2451, 1994.