

# 해저퇴적층의 비균질성에 따른 음파 산란 특성

김형수, 최지웅, 나정열, 석동우, 박경주, 박길선, 윤관섭, 나영남<sup>1</sup>

한양대학교 지구해양과학과, 국방과학연구소<sup>1</sup>

## Characteristics of Bottom Scattering from Inhomogeneous Bottom Layer

HYUNGSOO KIM, JEE WOONG CHOI, JUNGYUL NA, DONGWOO SUK, KYUNGJU PARK, KILSUN PARK, KWANSEOB YOON AND YOUNG NAM NA<sup>1</sup>

*Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea  
Agency for Defense Development<sup>1</sup>*

E-mail: husems@hymail.hanyang.ac.kr

※ 본 연구는 수중음향특화연구센터(UARC)의 지원으로 수행되었습니다.(UA-13)

### 1. 요약문

고주파 대역의 소오나를 이용하여 해저면 상태, 즉 해저면 거칠기 및 비균질성의 변화에 따른 음파 산란 영향을 파악하기 위한 실험을 실시하였다.

지음향 요소 중, 평균 입도 크기(mean grain size)는 입도 분석을 통하여 결정하였으며, 이를 기초로 하여 나머지 요소들(Density, Velocity Ratio 등)을 결정하였다. 또한 공극률을 측정하여 평균 입도 크기와 비교함으로써, 공극률과 입자 크기 사이의 관계를 나타내보고자 하였다.

이렇게 파악된 해저면 특성들과 해저면에 의해 산란되어 들어오는 신호의 분석을 통하여 해저면의 상태에 따른 신호의 변화를 비교하였다.

획득된 자료들은 해저면의 상태, 즉 해저면 연흔(ripple)의 유무와 해저면내의 비균질성에 따라 수신되는 신호에 차이를 나타내었으며, 또한 입사각, 산란각 및 방위각의 변화에 따라 신호에 차이를 보였다. 수신된 신호들간의 비교를 통하여 해저면내의 비균질성의 차이에 따른 산란 음파의 변화 양상을 파악하고자 하였다.

### 2. 서론

천해에서의 고주파 소오나를 이용한 해저면 비균질성에 의한 산란 특성에 대한 연구는 국내의 경우 거의 미비한 실정이며, 외국의 경우 Hamilton (1972), Jackson 등(1989)에 의해 많은 연구가 이루어졌다 [1],[2]. 국내에서는 최 등(2000)이 해저면 거칠기에 의한 양상태 산란 특성 실험을 실시하였으나 하부 퇴적층의 비균질성의 변화에 따른 산란 특성을 파악하지는 못하였다[3].

따라서, 이번 실험에서는 해저면 양상태 산란 실험을 통하여 해저퇴적층내의 비균질성을 모의하고, 음파의 산란 형태를 분석함으로써 해저퇴적층의 비균질성이 음파의 산란에 미치는 영향을 파악해 보고자 하였다.

해저면에 의한 음파의 양상태 산란은 여러 이전의 연구에서 나타나 있는 바와 같이 해저면의 거칠기에 의한 산란과 해저퇴적층내의 체적에 의한 산란의 두 과정으로 구별될 수 있다[4]. 초기의 연구에 있어서는 이러한 두 산란 경향을 구별하여 분석하는 경향이 있었으나, 현재의 연구에 있어서는 이 두 산란 경향을 같이 고려하고 있음을 알 수 있다[5].

실험지역은 항과 인접해 있는 지역으로 수심은 약 4-5m 정도의 분포를 보이고 있고, 해저면은 wave의 영향으로 인하여 크기는 평균 26cm에서 작게는 10cm 정도의 주기를 갖는 연흔(ripple)이 형성되어 있는 지역이다(그림 1).

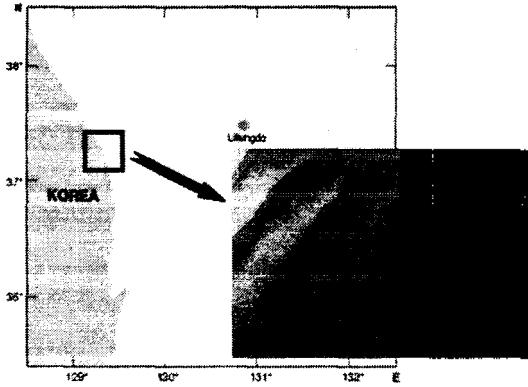


그림 1. 실험지역 및 실험지역의 해저면 거칠기

### 3. 실험 및 분석

해저면 내의 비균질성 파악을 위하여 6개 지점에서 다이버에 의해 표층퇴적물을 채취하였다. 채취된 시료는 2cm 간격으로 절단하여 표층퇴적물의 평균입도 크기 및 공극률을 구하였다.

채취된 시료는 총 58점으로 각각에 대한 입도분석은 10%의 염산과 6%의 과산화수소를 첨가한 후, 90℃에서 가열하여 시료의 탄산염과 유기물을 제거하였다. 전처리된 시료는 건조 시킨 후 기계식 채질기(Ro-tap shaker)에 의해 약 10분 동안 채질하여 1φ 간격으로 입도분석을 하였다.

분석된 입도 자료는 입도 누적확률분포 곡선상에 나타내고, Folk and Ward(1957)의 방법에 의해 퇴적물의 평균입도를 구하였다[6]. 또한 실험에 의한 평균입도를 기초로 하여 퇴적물의 특성을 Hamilton(1982)의 방법을 이용하여 유추하였다(표 1)[7].

표 1. 실험지역의 지음향 특성

Sediment type	Mean grain size (φ)	Porosity (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Velocity ratio	Attenuation (db/m)
Sand	2.089	39.72	1.58	1.133	63.85

해저면에 의한 음파 산란 실험은 입사각 및 산란각 (30°, 45°, 60°)을 변화시켜 각각에 대한 반사 및 산란에 대한 수신 신호를 획득하였다(그림 2).

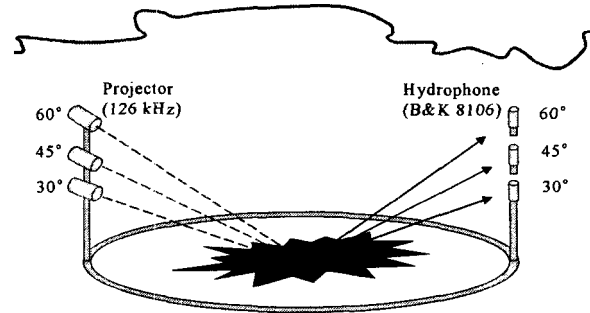


그림 2. Seabed Scattering Measurement System(SSMS)

비균질층에 의한 채적산란 영향을 파악하기 위하여 insonified 면적 내에 직경이 약 1cm내외의 자갈 (gravel)을 각각 8개, 16개씩 배치하여 비균질한 하부 자갈층을 4 ~ 5cm 깊이에 모의하였다(그림 3).

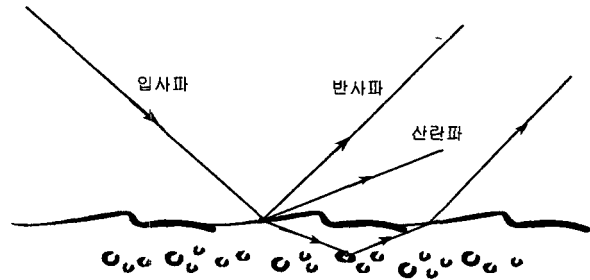


그림 3. 음파에 의한 해저면 산란

실험에 사용된 신호는 126kHz 였으며, 1.5초 간격으로 0.4ms의 신호를 입사각, 산란각 및 방위각에 따라 각각 50ping 씩 방사하였다.

### 4. 결과

해저면을 구성하는 주된 물질은 사질(sand)로서 각각의 정점 모두에서 90%이상의 분포를 나타내었고, 평균 입도의 크기는 2.089φ로 나타났다. 실험 지역의

해저면에 대한 공극률은 40%로 나타났다. 또한 입도 크기와 공극률의 관계는 평균입도의 크기가 증가할수록 공극률이 증가하는 Hamilton의 실험치를 잘 따른다(그림 4).

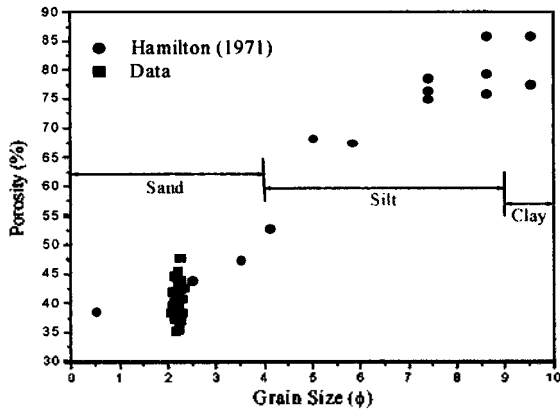


그림 4. 평균 입도 분포와 공극률 분포

수신된 신호는 대역제한 필터(band-pass filter)를 사용하여 사용 주파수 대역 이외의 주파수 성분은 제거하였다. 각각 획득된 50ping의 신호들을 평균하여 잔향음 준위를 계산하였으며, 계산되어진 잔향음 준위를 이용하여 해저면에 의한 음파의 산란 강도를 아래의 식을 이용하여 계산하였다[8].

$$SS = RL - SL + TL1 + TL2 - 10 \log A \quad (1)$$

여기에서  $RL$ 은 잔향음 준위이고,  $SL$ 은 음원준위를 나타낸다. 또한  $TL1$ 과  $TL2$ 는 각각 센서로부터 해저면까지의 전달손실과 해저면으로부터 수신기까지의 전달손실을 나타내고,  $A$ 는 해저면의 insonified 면적을 나타낸다.

해저면내의 자갈 입자의 유무에 따른 수신 신호의 변화 양상은 해저면내에 자갈이 모이된 두 가지 경우와는 다른 형태를 나타내고 있다(그림 5). 연구지역에서 실시한 실험에서 자갈 입자가 해저퇴적층내에 무작위로 층을 이루도록 하였으며, Snell의 법칙에 의해 굴절각을 계산하였다. 해저 퇴적물 내에서의 속도는 Hamilton의 지음향 모델에 의해 결정하여 신호의 해저면내에서의 거리에 따른 투과 손실을 계산하였고(표 1), 실제로 측정된 신호의 거리에 따른 투과 손실을

계산하여 비교하였다.

거리에 따른 퇴적물 내에서의 계산된 자갈층에서의 감쇄에 의한 손실은 약 6dB정도였으나, 자갈이 존재할 경우가 존재하지 않는 경우에 비해 산란강도가 약 1dB 정도 높게 나타났다. 이는 사용 주파수가 고주파임에도 불구하고 표층 수 cm이내의 체적 산란이 해저면 산란에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 또한 자갈층이 존재하지 않을 경우 해저면 산란신호가 급격히 감소하는 반면, 자갈층 존재 시에는 일정시간 이상 산란 신호가 지속됨을 알 수 있다(그림 5). 이러한 원인 역시 하부 퇴적층에 의한 산란이 음파 산란에 영향을 미침을 의미한다.

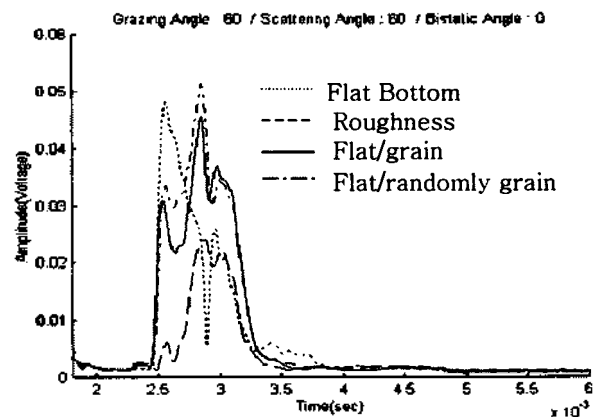


그림 5. 해저면 상태에 따른 수신신호 비교

(입사각 :  $60^\circ$ , 산란각 :  $60^\circ$ , 방위각 :  $0^\circ$ )

해저면 연흔의 유무에 따른 신호의 산란 형태에서는 해저면에 연흔이 존재하지 않을 경우가 존재하는 경우보다 큰 피크치를 나타내고 있으며, 이는 사용 주파수의 파수에 비해 연흔의 거칠기가 훨씬 큼에 따른 입사각 및 산란각의 지역적 변화( $\epsilon_i$ )에 의해 반사방향이 달라짐에 따른 것으로 추측된다(그림 6).

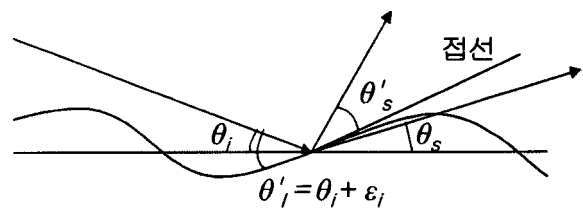


그림 6. 지역적 변화에 따른 반사 비교

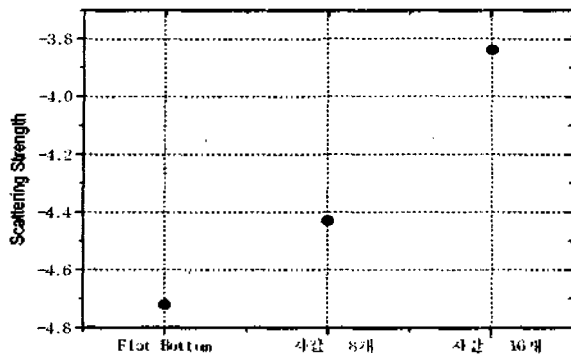


그림 7. 자갈 개수에 따른 산란 강도의 변화

그림 7은 자갈의 개수를 변화시켰을 경우의 산란강도를 나타낸 그림이다. Insonified 면적 내에 자갈 개수를 8개 배치하였을 경우는 자갈이 존재하지 않았을 경우에 비해 산란 강도 차이가 그리 크지 않았으나, 자갈의 개수가 늘어남에 따라 산란 강도가 증가하는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

고주파를 이용한 해저면의 비균질성에 따른 음파의 산란 특성을 알아보기 위한 실험을 실시하였다. 해저면의 비균질성을 모의하기 위하여 직경 1cm 정도의 자갈을 이용하여 퇴적층 내에 자갈층을 형성하였고, 표층 및 하부 퇴적층의 형태를 변화시켜 각각에 대한 신호를 비교하였다.

수신된 신호들은 해저면의 거칠기와 비균질성에 대해 차이를 보였다. 고주파임에도 불구하고 하부퇴적층에 자갈층이 존재시, 존재하지 않을 경우에 비해 비교적 높은 산란 강도를 나타냈다. 본 실험은 고주파 대역에서 실시되었고, 또한 실험지역은 하부퇴적층보다는 경계면 산란이 니질(mud, silt)에 비해 강한 것으로 알려진 사질 지역이었음에도 불구하고 하부퇴적층에 의한 체적 산란이 음파 산란에 영향을 미침을 알 수 있었다. 해저면 투과성이 좋은 저주파일수록, 또한 하부퇴적층 산란 영향이 큰 것으로 알려진 니질지역일수록 하부퇴적층 비균질성이 음파산란에 영향을 더 크게 미칠 것으로 추측된다. 그러므로, 다양한 해저면 환경 하에서 음파의 산란 영향을 파악하기 위해서는 비균질 퇴적층에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

## 6. 참고문헌

1. E. L. Hamilton, "Compressional wave attenuation in marine sediments," *Geophysics* 37, pp.620-646.
2. P. D. Mourad and D. R. Jackson, "High-frequency sonar equation models for bottom backscatter and forward loss," *Proc.OCEAN' 89*, pp.1168-1175, 1989.
3. J. W. Choi, J. Na, and W. Seong, "240-kHz Bistatic bottom scattering measurements in Shallow-water," *IEEE J. OCEAN Eng.* (Accepted for publication), 2000.
4. C. S. Clay, and H. Medwin, *Acoustical Oceanography: Principles and Applications* (Wiley-Interscience, New York, 1977).
5. 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).
6. Folk, R. L. and Ward, W., Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J.sedim.Petrol.*27, 1957.
7. Edwin L. Hamilton and Richard T. Bachman, "Sound velocity and related properties of marine sediments," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.72, pp.1891-1903, 1982.
8. R.J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill, New York, 1983.