

저주파 음원을 이용한 해저면 반사계수 추정

Estimation of the sea bottom reflection coefficient

using the low frequency source

최 지웅, 나 정열, 오 선택
Jee Woong Choi, Jungyul Na, Suntaek Oh

한양대학교 지구해양학과

유 해수
Hae Soo Yoo

한국해양연구소

※ 이 논문은 수중음향특화연구센터의 연구비에 의하여 연구되었음.

요약문

동해 38도 10분N, 132도 00분E(site 1)과 38도 01분N, 132도 53분E(site 2)에서 저주파수를 이용한 해상실험자료를 이용하여 해저면 음파반사 특성을 파악하였다. 음원으로는 한국해양연구소 온누리호에 장착되어 있는 총 11.317의 부피를 가지는 에어건 array를 사용하였고 수신장치로는 총 56채널로 이루어진 아날로그 스트리머를 사용하였으며, 각 실험위치에서 3번씩 신호를 수신하였다. 관측해역에 대해 eigenray 모델을 이용하여 에어건에서부터 각 채널까지의 eigenray 정보를 파악한 후 해저면 반사계수를 산출하여 Rayleigh reflection 모델과 비교하였다. 비교 결과 Rayleigh reflection 모델은 해저면 반사 손실과 부합하는 것으로 나타났다.

1. 서론

해저면에서 음파의 반사 및 산란에 관한 연구는 고주파수 대역을 위주로 이루어졌다 (Mourad, et al, 1989; 최 등, 1999). 그러나 고주파에 비해 음파발생이 상대적으로 어려운 저주파에 의한 해저면 반사 및 산란 특성연구는 거의 이루어지고 있지 않고 있다. 국

내에서 문 등(1998)은 수중 폭발성 음원인 SUS(Signal, Underwater sound)를 이용한 해저면 반사계수를 추정하였으나 수신기에 도달한 충격파들에 대한 수평입사각 범위가 제한적이므로 넓은 범위의 입사각에 대한 분석은 이루어지지 않았다.

에어건을 이용한 해양탐사는 지구물리 분야에서 석유 및 가스층과 광물자원을 탐사하기 위한 목적으로 개발되었다(Weichart, 1980).

에어건을 이용한 탐사는 음파도달시간과 상대적 음압준위만을 고려하여 해저지층 구조 파악에 국한되어 있었으나 본 연구에서는 컴퓨터 모의에 의한 에어건 음원준위 자료를 이용, 해저면 입사각에 대한 반사계수를 산출하여 Rayleigh reflection 모델과 비교하였다.

2. 측정

저주파 대역에서 음파 반사 특성을 파악하기 위하여 1999년 4월 동해 38도 10분N, 132도 00분E(Site 1)와 38도 01분N, 132도 53분E(Site 2)에서 에어건을 이용하여 탄성과 탐사를 수행하였다(Fig. 1).

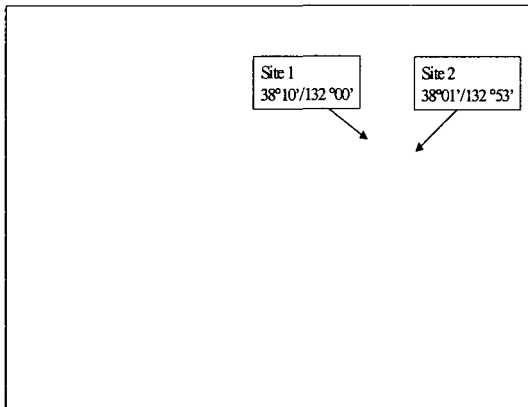


그림 1. 에어건을 이용한 탄성과 탐사 위치

음원으로는 건 부피가 0.16, 0.33, 0.66, 1.15, 1.64, 2.46, 2.46, 2.46/로써 총 11.3/의 부피를 가지는 길이배열(long array)의 에어건을 사용하였다. 음원 배열로는 간격이 좁고 동일 용량의 건을 두 개 나열하는 송이배열(cluster array), 간격과 용량이 다른 길이 배열(long array), 길이 배열이 평

행하게 이차원으로 나열된 폭배열(wide array)등 3가지로 구성된다(Fig. 2).

건 배열은 철재 레일에 고정되어 수중으로 투하하도록 장치되어 있으며 해수에서는 부력이 큰 플라스틱 부표에 연결되어 파원의 수심을 일정하게 유지하도록 설계되어 있다(유해수, 1995). 수신장치로는 56채널 아날로그 스트리머를 사용하였으며 이 스트리머는 스트리머 원치로부터 1개의 유도 구간(lead-in section), 2개의 신축 구간(stretch section), 1개의 무게 구간(weight section), 1개의 연결 구간(interface section), 28개의 감지 구간(active section) 및 1개의 신축 구간으로 구성되어 있다. 길이 50m의 감지 구간에는 각기 2개의 수신 채널이 있으며, 한 채널은 24 V/bar의 감응도를 갖는 수중 수신기 24개로 구성되어 있다.

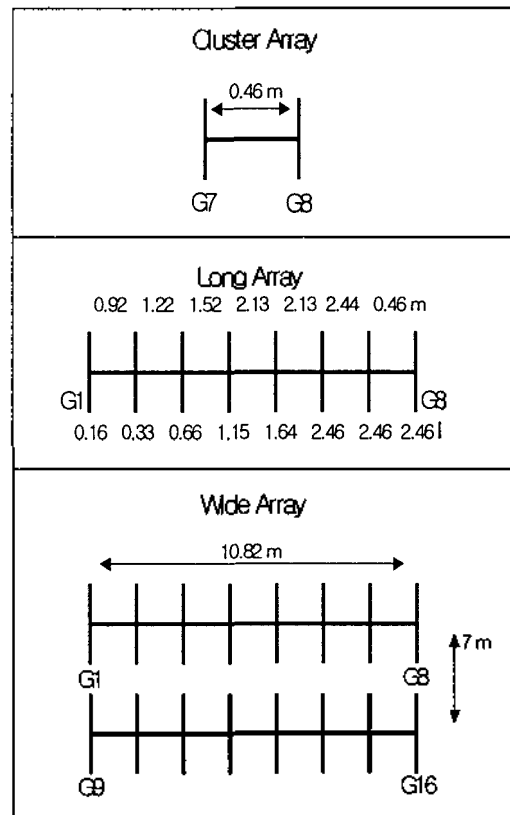


그림 2. 에어건 배열 종류 (유해수, 1995)

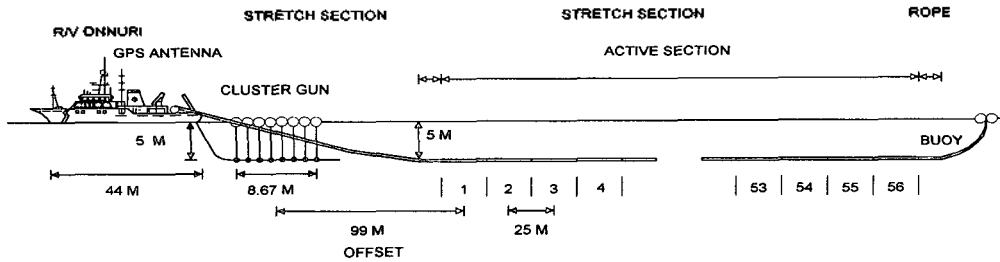


그림 3. 56채널 에어건 탐사 실험의 field geometry

수신 채널의 감응도는 10-200 Hz의 주파수 대역에서는 6 V/bar 정도로 일정하다. 또한 스트리머를 탐사 목적에 맞는 수심 깊이로 유지하기 위하여 총 7개의 수심조절날개 (bird)를 5-6개의 감지 구간마다 부착하여 원격으로 조정할 수 있다(유해수, 1995).

전체적인 에어건 탐사장비의 field geometry는 그림 3과 같다. 실험해역의 수심은 각각 1583m와 2563m였으며 실험해역의 해저면 구성성분은 1995년 한국해양연구소의 코아링 분석 자료에 의하면 site 1은 sandy mud로써 mean grain size는 7.85φ이며 site 2는 mud로써 mean grain size는 9.99φ이다.

3. 해저면 반사계수 및 반사손실

밀도와 음속이 상이한 서로 다른 두 매질 (해수-해저면)에 음파가 입사될 때 일부는 반사되고 일부는 투과된다(그림 4).

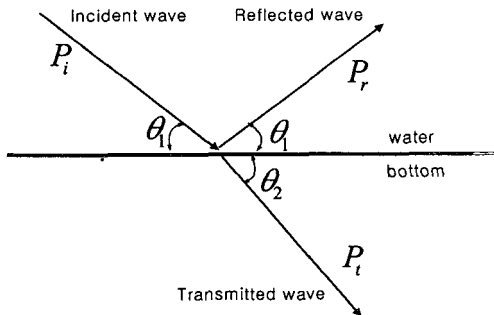


그림 4. 해수와 해저면 사이의 경계에서 반사와 투과

반사계수는 반사신호의 세기(intensity)와 입사신호의 세기의 비로 표현되며, 이렇게 정의된 반사계수는 상하 매질의 물리적인 특성으로 Rayleigh에 의해서 아래와 같이 표현되었다(Rayleigh, 1877-1878).

$$R = \frac{m \cos \theta_1 - n \cos \theta_2}{m \cos \theta_1 + n \cos \theta_2}$$

$$= \frac{m \cos \theta_1 - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1}}{m \cos \theta_1 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1}}$$

여기서 m은 두 매질의 밀도비로 ρ_2/ρ_1 이고 n은 음속비로 v_1/v_2 이다. 또한 forward reflection loss는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$r = -20 \log_{10} |R|$$

4. 분석 및 비교

그림 5는 site 1에서 수신된 신호를 나타내었다. 수신신호는 에어건 발파 후 1.5초 이후부터 trigger를 사용하여 수신하였으며 처음에 수신되는 신호가 해저면 반사파에 의한 반사신호이다.

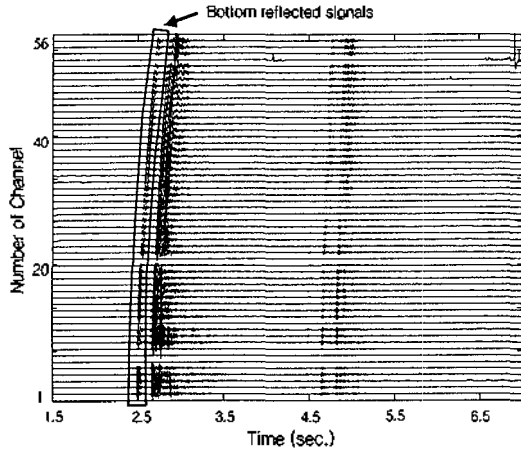


그림 5. site 1 에서 수신된 해저면 반사신호

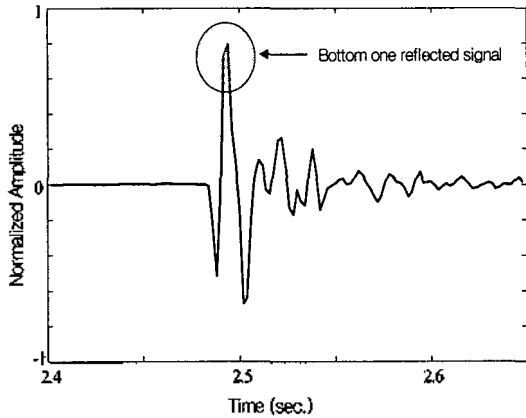


그림 6. 해저면 반사신호

그림 6은 해저면 반사신호를 확대한 그림으로 원안의 부분이 해저면 반사신호의 amplitude 부분이며 반사신호임에도 위상이 역전되지 않은 것은 장비 특성상 신호 수신 시 위상을 반대로 수신하기 때문이다. 컴퓨터로 모의된 에어건의 음원 특성은 그림 7과 같으며 음원 레벨은 197.4dB이다.

각 수신 채널들의 깊이는 bird에 의해서 원격으로 조절된다. 또한 bird에 의해서 수신시의 수심정보를 파악할 수 있으므로 신호분석시 interpolation 방법을 사용하여 각 채널들의 수심을 보상하였다(Fig. 8).

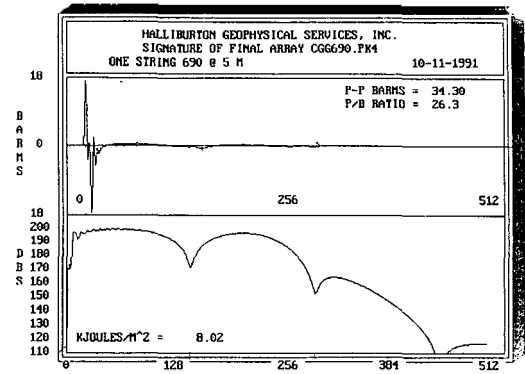


그림 7. 컴퓨터로 모의된 에어건의 음원 특성

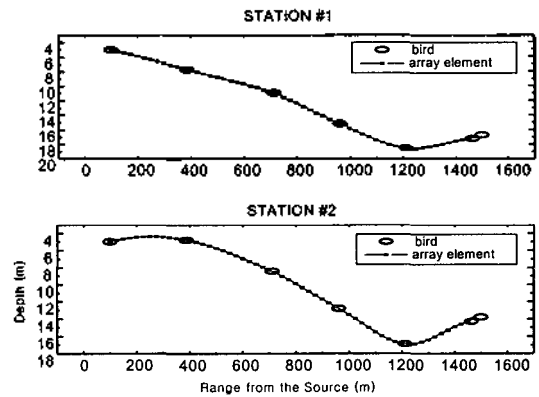


그림 8. Bird에 의해서 보상된 각 채널들의 수심 분포

eigenray 모델을 이용하여 에어건에서부터 각 채널들까지의 eigenray 정보를 파악한 후 아래의 공식에 의해서 반사계수를 계산하였다.

$$r = SL - TL_1 - TL_2 - SPL$$

여기서 r 은 반사손실, SL 은 음원레벨이고 TL_1 은 음원에서 해저면까지의 전달손실, TL_2 는 해저면에서 각 채널들까지의 전달손실이다. 또한 SPL 은 각 채널에서 수신한 수신 레벨이다.

각 site에서의 해저면의 밀도와 음속은 Hamilton 모델(1982)에 의해서 각각 1.493 g/cm^3 , 1530.47 m/sec 와 1.424 g/cm^3 ,

1503.93m/sec 로 계산하였다. 계산되어진 forward reflection loss 와 Rayleigh reflection 모델과 비교한 결과를 그림 9 에 나타내었다.

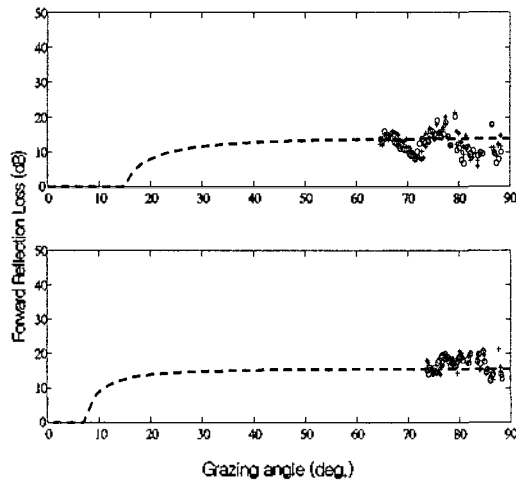


그림 9. 실측된 forward reflection loss와 Rayleigh reflection 모델과 비교

site 1 은 수심이 1583m였으므로 grazing angle 의 범위가 약 65-88°로 수심 2563m 인 site 2 의 74-88° 보다 넓은 범위에서 forward reflection loss 를 구할 수 있었다. 전체적인 해저면 반사 손실은 모델과 잘 일치하는 것으로 나타났다. 에어건의 음원레벨이 정확히 알려지지 않았고 다만 컴퓨터 모의로 인한 음원레벨만 알고 있으나 오차를 몇 dB 고려하여도 전체적인 경향은 모델과 잘 일치한다.

5. 결론

저주파 음원인 에어건을 이용하여 해저면 반사계수를 추정하였다. Eigenray 모델을 이용하여 실험 해역에서의 음선정보를 파악한 후 forward reflection loss 를 계산하였으며 Rayleigh reflection 모델과 비교하였다. Site 1 에서 site 2 보다 넓은 범위에서 해저면 반사

손실을 파악할 수 있었으며 추정된 해저면 반사 손실은 모델과 잘 부합한다.

5. 참고문헌

1. P. D. Mourad and D. R. Jackson, "High frequency sonar equation models for bottom backscattering and forward loss," in *Proceedings of OCEANS'89* (IEEE, New York), pp.1168-1175, 1989.
2. 최 지용, 나 정열, 석 동우, 오 선택, 박 정수, "천해에서의 고주파 해저면 후방산란강도 측정," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, Vol.18(1(s)), pp.198-201, 1999.
3. 문 형필, 하 성훈, 나 정열, "Deconvolution 방법을 이용한 수중폭발성 음원의 해저면 반사 연구," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, Vol.17(1(s)), pp495-498, 1998.
4. H. F. Weichart, "Application of geophysical methods and equipment to explore the sea bottom," in *Bottom-Interacting Ocean Acoustics*, edited by W. A. Kuperman and F. B. Jensen, Plenum press, New York and London, 1980.
5. 유 해수, "다중채널 반사파 탐사를 위한 획득 장비 특성분석 및 야외변수 최적화 연구," 한양대학교 대학원 박사학위논문, 1995.
6. L. Rayleigh (J. W. Strutt), *The Theory of Sound* (Dover, New York, 1945), originally published 1877-78.
7. G. V. Frisk, *Ocean and Seabed Acoustics*, P T R Prentice Hall, New Jersey, 1994.
8. E. L. Hamiton and R. T. Bachman, "Sound velocity and related properties of marine sediments," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.72(6),

pp1891-1904, 1982.

9. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*,
3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1983.