

진해만에서 측정된 높은 수평입사각에서의 고주파 해저면 반사손실

High-Frequency Bottom Loss Measured at Near-Normal Incidence Grazing Angle in Jinhae Bay

나형술*, 박치형**, 조성호**, 최지웅**, 나정열**, 윤관섭***, 박경주****, 박정수*****
(Hyoung Sul La*, Chi Hyung Park**, Sungho Cho**, Jee Woong Choi**, Jungyul Na**,
Kwan-Seob Yoon***, Kyungju Park****, Joung-Soo Park*****)

*한국해양연구원 부설 극지연구소 극지기후연구부, **한양대학교 과학기술대학 해양환경과학과 해양음향연구실
LIG 넥스원(주) 연구개발본부 수중 연구소, *해군사관학교, *****국방과학연구소
(접수일자: 2009년 5월 6일; 수정일자: 2010년 3월 8일; 채택일자: 2010년 4월 23일)

남해 진해만에서 주파수 17-40 kHz를 이용하여 수평 입사각 82°에 대한 고주파 해저면 반사손실을 측정하였다. 측정된 해저면 반사손실은 주파수에 따라서 주기적인 변동성을 보였으며 이러한 특성은 이층 구조의 해저면을 가정한 레일리 반사 계수 모델을 사용하여 예측한 결과와 비교 분석되었다. 이층 구조 반사 계수 모델은 수층, 상부 퇴적층, 그리고 하부 퇴적층으로 구분되며 총 9개의 입력 인자 (수층의 음속과 밀도, 상부 퇴적층의 음속, 밀도, 감쇠계수, 두께, 하부 퇴적층의 음속, 밀도, 감쇠계수)가 사용된다. 하부 퇴적층의 지음향 인자들은 코어로부터 측정된 평균 입도 크기로부터 유추되었으며 상부층의 음속, 밀도, 감쇠계수와 두께는 본테카블로 방법을 이용하여 역추정되었다. 지음향 인자들의 민감도 조사로부터 다층구조 해저면에서 나타나는 반사계수의 종속성은 상부 퇴적층의 두께에 가장 민감하게 반응함을 확인하였다.

핵심용어: 반사손실, 이층 구조 퇴적층, 반사 모델, 주파수 종속

부고분야: 수중음향 분야 (5.2), (5.3)

High-frequency bottom loss measurements for grazing angle of 82° in frequency range 17-40 kHz were made in Jinhae bay in the southern part of Korea. Observations of bottom loss showed the strong variation as a function of frequency, which were compared to the predicted values using two-layered sediment reflection model. The geoacoustic parameters including sound speed, density and attenuation coefficient for the second sediment layer were predicted from the empirical relations with the mean grain size obtained from sediment core analysis. The geoacoustic parameters for the surficial sediment layer were inverted using Monte Carlo inversion algorithm. A sensitivity study for the geoacoustic parameters showed that the thickness of surficial sediment layer was most sensitive to the variation of the bottom loss.

Keywords: Bottom Loss, Two-Layered Sediment, Reflection Model, Frequency Dependence.

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.2), (5.3)

I. 서론

천해에서 해저면 반사는 음파 전달 특성을 이해하는 중요한 요소로서 해저면 불성과 음향 임피던스를 추정하는데 사용될 수 있다 [1]. 이러한 중요성 때문에 다양한

주파수 대역에 대한 이론적인 연구는 물론 다양한 해저면 환경에 따른 해저면 반사손실 측정이 이루어졌다 [1-6]. 해저면 반사는 해저면 거칠기와 기울기, 해저면내 체적 특성, 다층 구조, 근거리 음장 효과 등의 다양한 해저면 특성에 의해 영향을 받는다. 10 kHz 이상의 고주파수 대역에서는 해저면의 감쇠 손실이 크기 때문에 해저면내 투과성이 낮아지고 해저면 거칠기 및 기울기와 상부퇴적층내의 체적 비균질성에 의한 산란의 영향이 해저면내 체적 특성과 층서구조에 의한 영향보다 상대적으로 중요

책임저자: 최 지 웅 (choijw@hanyang.ac.kr)
경기도 안산시 상록구 사3동 1271번지 한양대학교 과학기술대학 해양환경과학과 해양음향연구실
(전화: 031-400-5531)

해진다 [7]. 하지만 해저면 감쇠 손실은 해저면 상부에 음향 임피던스가 다른 매질의 층이 음파의 파장에 비해 그리 크지 않는 두께로 존재할 경우 고주파 대역에서도 해저면내 다층 구조의 영향이 고려되어야 한다. 즉, 해저면 상부에 존재하는 층의 두께가 음파의 파장에 비해 상대적으로 큰 경우에는 퇴적층내의 감쇠 현상으로 인하여 해저면 반사에 큰 영향을 주지 않지만 파장이 약 15 cm 이하인 10 kHz 이상의 고주파수에 대해서 수 센티미터 두께의 층은 음파 에너지의 반사와 투과에 큰 영향을 줄 수 있다. Mourad 와 Jackson 은 고주파를 사용한 경우에서도 상부 퇴적층이 고려된 반사 및 산란 모델의 필요성을 제안하였으며 [3], Lyons 와 Orsi 는 X-ray를 이용하여 해저면 코어의 밀도를 측정 한 후 밀도가 변화하는 얇은 층에 대한 반사손실과 후방산란강도를 수치적으로 계산하였다. 그 결과 반사손실과 후방산란강도는 높은 수평 입사각 부근에서 가장 큰 변화가 있음을 확인하였다 [4]. 2001년 동중국해에서 실시한 ASIAEX 음향실험에서는 해저면 상부에 0(1 m)의 퇴적층이 존재하는 해역에서 2-20 kHz 주파수 대역의 반사손실이 수평 입사각과 주파수에 따라 변화하는 것을 보고하였으며, 다층 구조 반사 계수 모델과의 비교를 통하여 이를 확인하였다 [5].

본 논문에서는 수심 25 m 이내의 진해만에서 측정 한 고주파 해저면 반사손실의 결과를 소개하고 실험 결과로부터 상부 퇴적층이 고려된 해저면 반사손실의 주파수 종속성에 대하여 논한다 (그림 1). 해저면 반사 신호는 수평 입사각 82°부근에서 17-40 kHz 대역의 정현파 신호를 사용하여 획득하였고 측정된 반사손실은 레일리 반사 계수 모델과 비교, 분석하였다.

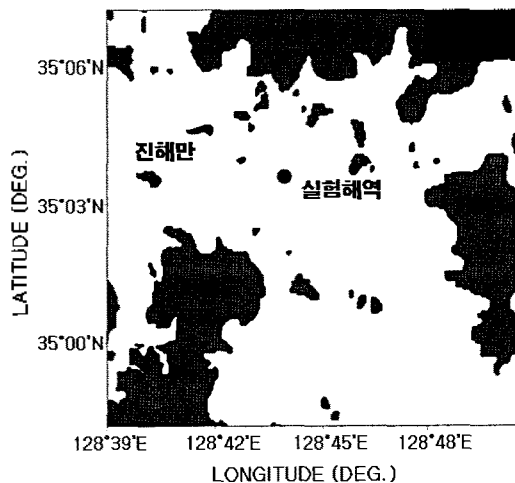


그림 1. 실험 해역
Fig. 1. Location of the experimental site.

실험 해역 (35° 03' N 128° 43' E)인 진해만은 반폐쇄성만으로 수심이 전반적으로 평탄하며 약 40 m 두께의 미사와 점토성 퇴적물로 쌓여있다 [8-11]. 음향 실험이 실시된 장소의 해저 퇴적물은 전반적으로 두께 4 m 까지 평균 입도 크기 8-8.2 ϕ 로 구성되어 있는 것으로 보고되었다 [11]. 하지만 진해만은 하천수의 유입 그리고 밀물 때 125 cm/s, 썰물때 135 cm/s의 최대 유속으로 이동하는 조류 [8]의 영향으로 퇴적물의 이동이 심한 지역이다. 이러한 하천수의 유입과 강한 조류의 영향은 해저면 상부에 퇴적층을 형성시킬 수 있다.

II. 해상실험

2005년 5월 해저면 반사 신호를 획득하기 위한 음향실험이 수심이 23 m 인 남해 진해만 (35° 03' N 128° 43' E)에서 실시되었다. 부지향성 센서 (Neptune, D17)와 단일 수신기 (Reson, TC4014)로 구성되어 있는 음향 시스템을 해저면으로부터 약 14 m 수심에 위치시켰으며 송신기와 수신기는 수평적으로 약 4.5 m 분리시킨 후 동일한 수심에 고정하였다 (그림 2 (a)). 음원은 펄스 길이가 2 ms 인 정현파 신호를 사용하였고 17-40 kHz (주파수 간격: 50 Hz) 를 사용하여 1 초 간격으로 주파수별 신호를 송수신하였다. 동일한 해저면에 대한 주파수 종속성을 관측하기 위해서는 가능한 짧은 시간에 많은 주파수별 반사신호 획득이 요구되었기 때문에 본 실험에서는 주파수별 반사신호를 1 핑 (ping)씩 수신하였다. 수신 신호는 12 비트 A/D 변환기 (샘플링 간격: 200 kHz)와 고주파 대역

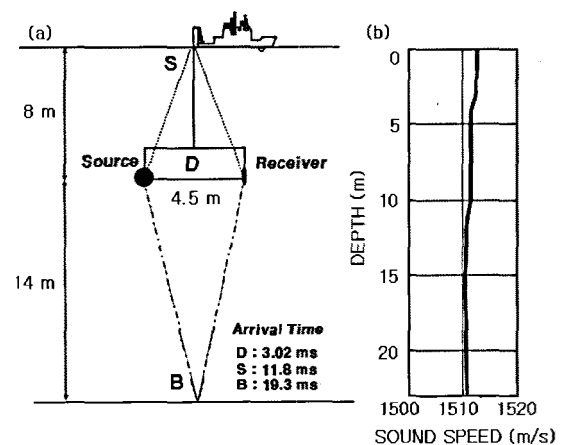


그림 2. (a) CTD를 이용하여 측정 한 음속구조 및 (b) 해저면 반사 신호 획득을 위한 실험 구성도
Fig. 2. (a) Sound speed profile of the water column measured by conductivity-temperature-depth (CTD) casts. (b) Experimental geometry for measurements of bottom reflection signals.

통과 필터를 거친후 컴퓨터에 저장되었다. 음속구조는 CTD (Conductivity temperature depth ; SBE 19)를 이용하여 측정하였으며 음속은 표층 약 1513 m/s, 해저면 부근 약 1511 m/s 로 수심에 따른 음속 변화가 크지 않았다 (그림 2 (b)). 고유음선 추적을 통하여 해저면 반사각은 82°로 계산되었다.

해저면 반사손실은 송신기로부터 수신된 직접파 음압 세기와 해저면으로부터 반사되어 수신된 반사파 음압 세기 차이에 직접파와 반사파 사이의 전달 손실을 보정하여 계산되었다. 일반적으로 반사손실을 계산하는 방법은 수신 신호들의 최고값을 이용하는 방법과 수신신호의 음압 세기를 일정구간 내에서 시간 적분하여 계산하는 방법이 있다. 전자의 경우 예측된 반사손실이 실제보다 과대 평가되는 경향이 있으므로 본 논문에서는 후자의 방법을 사용하여 반사손실을 계산하였다. 적분 시간구간은 산란의 영향까지 충분히 고려할 수 있는 긴 시간 동안을 취하는 것이 적합하나, 주파수별 단 1 핑에 대한 수신신호만을 획득하였기 때문에 산란의 영향을 고려하는 데에는 어려움이 있으므로 펄스길이 보다 충분히 긴 구간이라 판단되는 3 ms에 대하여 적분을 수행하였다. 그러나 점토성 퇴적물로 구성되어 있는 해저면 특성상 사용 주파수의 파장에 비해 해저면 거칠기가 평탄하며, 산란의 영향보다는 반사의 영향이 훨씬 우세하므로 산란의 영향은 무시할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 수층의 흡수 손실은 Francois 와 Garrison의 경험식을 적용한 경우 40 kHz 에서 약 0.01 dB/m 로 무시 가능하였다 [12].

III. 측정결과

그림 3은 주파수 변화에 따른 측정된 해저면 반사손실

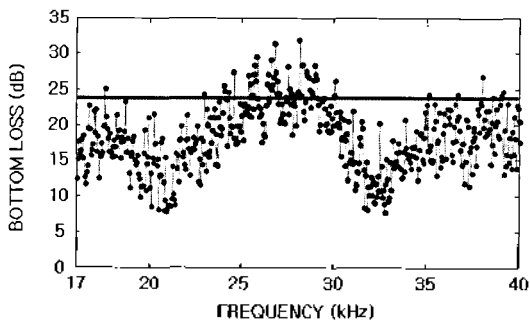


그림 3. 측정된 반사손실과 단일 경계면 반사손실 모델의 예측 결과 비교

Fig. 3. Measured bottom losses as a function of frequency compared to $-20\log|R|$ based on the Rayleigh coefficient model for half space.

과 단일 경계면에 대한 레일리 반사 계수 모델 [3]의 예측 결과이다. 반사 모델 모의는 수평 입사각 82°에 대하여 CTD로 측정된 해수의 평균 음속 (1511 m/s)과 코어 데이터로 분석된 평균 압도 크기 8.1 ϕ 를 적용하여 예측하였다. 예측된 반사손실은 24 dB 로 주파수 독립적인 반면, 측정된 반사손실은 7-32 dB 범위 내에서 주파수 종속성을 보였다. 반사손실의 주파수 종속성은 다층 구조가 존재하는 해저면일 경우 나타날 수 있으나 본 실험 환경에서는 Chirp 소나 데이터로부터 해저면 내에 다층 구조의 존재를 확인하지 못하였다. 따라서 반사손실의 주파수 종속성은 해저면 내부의 다층 구조가 아닌 Chirp 소나 신호로부터 분리되지 못할 정도로 얇은 두께의 상부 미세 퇴적층의 존재에 의한 영향으로 추정하였으며 그에 따른 이층 구조를 고려할 수 있는 반사계수 모델을 적용하였다. 수층과 이층 구조에서의 레일리 반사 계수는 식 (1) 과 같다 [13].

$$R = \frac{R_{01} + R_{12}e^{2ik_1h\cos\theta_1}}{1 + R_{01}R_{12}e^{2ik_1h\cos\theta_1}} \quad (1)$$

$$R_{12} = \frac{m_1\cos\theta_1 - \sqrt{n_1^2 - \sin^2\theta_1}}{m_1\cos\theta_1 + \sqrt{n_1^2 - \sin^2\theta_1}} \quad (2)$$

여기서, R_{00} 와 R_{02} 는 각각 수층과 상부 퇴적층, 그리고 상부 퇴적층과 하부 퇴적층 사이의 경계면에서의 반사계수를 의미한다. 식 (2) 에서 $n_1 = c_1/c_2$, $m_1 = \rho_2/\rho_1$ 은 상부 퇴적층과 하부 퇴적층의 음속비 와 밀도비 이며 $k_1h\cos\theta_1$ 는 상부 퇴적층에 의한 반사계수의 위상 지연을 야기시키는 변수이며, k_1 , θ_1 , h 는 각각 음파의 파수, 수직 입사각, 상부 퇴적층의 두께이다. 또한 위에서 제시된 이층 구조 퇴적층에서 반사손실 모델의 입력 인자는 수층 음속과 밀도, 상부 퇴적층의 음속, 밀도, 감쇠계수, 두께, 그리고 하부 퇴적층의 음속, 밀도, 감쇠계수 총 9개 이다.

입력 인자에 대한 이층 구조 반사 계수 모델의 상대적 영향을 파악하기 위한 모델 민감도 분석 (sensitivity analysis)이 실시되었고 관측 데이터가 없는 상부 퇴적층 4개의 인자에 대한 민감도만을 평가하였다. 실험 해석과 유사한 환경을 모의하기 위해서 수층 음속과 하부 퇴적층 구성 물질은 실측값인 1511 m/s와 코어 측정 결과인 8.1 ϕ 를 적용하였고 지음향 역 추정 결과로 획득된 값들을

사용하여 계산하였다 (표 1). 그림 4는 상부 퇴적층 입력 인자의 모델에 대한 민감도를 민감도 지수로 정량화하여 나타낸 결과이다. 민감도 지수 (sensitivity index)는 가상 해양 환경에서 주파수 (17-40 kHz)별 반사손실을 모의한 결과와 상부 퇴적층의 입력 인자를 선정된 범위 내에서 변화시키며 계산된 결과의 상관계수를 이용하였다 [14,15]. 민감도 지수는 1에 가까울수록 입력 인자에 대한 모델의 민감도가 크다는 것을 의미한다. 이 결과로부터 반사손실의 주파수 종속성은 상부 퇴적층의 음속, 밀도, 감쇠계수 보다 표층의 두께 변화에 상대적으로 민감함을 알 수 있다.

반사손실의 주파수 종속성을 가장 잘 반영할 수 있는 상부 퇴적층의 지음향 인자는 실측 결과와 모의 결과의 유사도를 통해서 추정할 수 있다. 본 연구에서는 유사도를 나타내는 목적 함수 (objective function)를 설정한 후 몬테카를로 방법을 이용한 최적화 과정을 통해 상부 퇴적층의 지음향 인자를 추정하였다. 식 (3)은 사용된 목적 함수를 보여준다.

$$E = \sum \sqrt{(D_{obs} - D_{model})^2} \quad (3)$$

표 1. 민감도 테스트를 위한 모델 입력 인자
Table 1. Model input parameters for sensitivity test.

| | | |
|--------|------|------------------------|
| 수층 | 음속 | 1511 m/s |
| | 밀도 | 1.0 g/cm ³ |
| 상부 퇴적층 | 음속 | 1550 m/s |
| | 밀도 | 1.22 g/cm ³ |
| | 감쇠계수 | 0.1 dB/λ |
| | 두께 | 6 cm |
| 하부 퇴적층 | 음속 | 1483 m/s |
| | 밀도 | 1.15 g/cm ³ |
| | 감쇠계수 | 0.09 dB/λ |

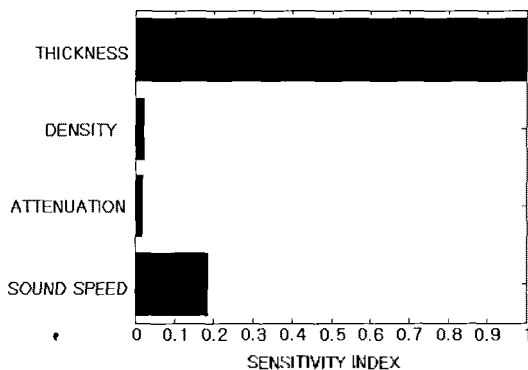


그림 4. 모델 입력 인자의 민감도 지수
Fig. 4. Sensitivity index for the model parameters.

여기서 D_{obs} 는 측정된 주파수별 반사손실을 나타내며 D_{model} 는 상부 퇴적층의 입력 인자 (음속, 밀도, 감쇠계수, 두께)를 변화시키며 모의한 주파수별 반사손실 결과이다.

주파수별 반사손실 모의를 위해서 수층 음속과 밀도는 1511 m/s, 1.0 g/cm³를 적용하였고 하부 퇴적층의 음속과 감쇠계수는 코어 데이터로부터 측정된 1483 m/s와 0.09 dB/λ를 사용하였다. 하부 퇴적층의 밀도는 평균 입도 크기와 밀도에 대한 관계식을 이용하였다 [1].

상부 퇴적층을 이룰 수 있는 구성 물질의 탐색 범위는 점토성 퇴적물 중 가장 굵은 은 4 φ 부터 8.5 φ까지 제한하였다. 탐색 범위를 이와 같이 제한한 이유는 실험해역에 존재하는 퇴적물의 대부분은 낙동강으로부터 유입되며 유입되는 퇴적물은 점토성 퇴적물이 대부분이고 측정된 코어 관측 결과에서 퇴적물의 대부분이 8.5 φ이하로 측정되었기 때문이다 [8,10]. 따라서 상부 퇴적층 지음향 인자의 추정 범위는 음속 1450-1600 m/s, 밀도 1.1-1.5 g/cm³, 감쇠계수 0.01-1.1 dB/λ, 두께 1-40 cm 대역으로 선정하였다. 실측 결과와 모의 결과의 최대 상관을 찾기 위해 몬테카를로 방법에 의해 랜덤하게 선정된 지음향 인자들로부터 50,000 번의 모델 실행을 수행한 후 계산된 목적함수 중 상위 0.1%를 선별하였다. 상부 퇴적층의 최적 입력 인자는 음속 1550 m/s, 밀도 1.22 g/cm³, 감쇠계수 0.1 dB/λ, 두께 6 cm 로 추정되었다. 상부 퇴적층 두께는 ±0.5 cm의 범위를 가지며 최적값 6 cm 로 수렴하지만 음속, 밀도, 감쇠계수의 경우 각각 ±0.3 g/cm³, ±50 m/s, ±0.1 dB/λ 로 상대적으로 큰 오차 범위를 나타냈으며 이는 민감도 테스트로부터 얻어진 각 입력인자들의 민감도 결과와 일치한다 (그림 4). 그림 5는 측정된 반사손실과 몬테카를로 방법을 이용하여 추정된 상부 퇴적층의 지음향 인자를 사용하여 모의한 예측 결과의 비교이다. 이층 구조 반사계수 모델을 이용하여 예측한 결과는 측정된 반사손실의 주파수 종속성을 잘 반영하고 있다.

IV. 결론 및 요약

고주파수 대역의 다중 주파수 (17-40 kHz)를 이용하여 해저면 반사 신호를 측정하였고 측정된 반사손실은 평면파를 가정한 이층 퇴적층 구조에서의 반사계수 모델과 비교하였다. 해상 실험은 무지향성 단일 송수신기를 이용하여 수심이 23 m 인 진해만에서 실시되었다. Chirp 소나와 코어 자료를 이용하여 실험 해역의 지형과 해저면 물성 (8.1 φ)을 파악하였다 [11]. 측정된 해저면 반사손실

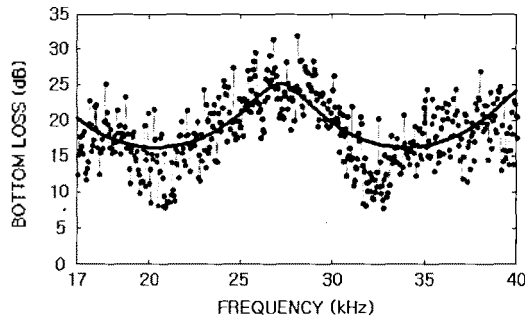


그림 5. 측정된 반사손실과 이층 구조 경계면 반사손실 모델의 예측 결과 비교

Fig. 5. Measured bottom losses as a function of frequency compared to $-20\log|R|$ for the surficial sediment layer overlaying homogenous half-space obtained using the best-fit geoacoustic parameters.

은 7 dB에서 32 dB 범위 내에서 주파수 종속성을 나타내었으며, 이러한 결과는 이층 경계면 반사 모델과 비교, 분석 되었다. 해저면 반사손실의 주파수 종속성을 잘 반영할 수 있는 상부 퇴적층의 지음향 인자는 몬테카를로 방법을 이용하여 역추정되었다. 이층 경계면 반사 모델을 이용하여 역추정된 최적 상부 퇴적층의 지음향 인자들은 음속 1550 m/s, 밀도 1.22 g/cm³, 감쇠계수 0.1 dB/λ, 두께 6 cm 였으나 상부 퇴적층 두께를 제외한 지음향 인자들은 반사손실의 주파수 종속성에 민감도가 크게 떨어졌다. 따라서 이층 구조 퇴적층의 지음향 인자 중 퇴적층의 두께가 고주파 반사손실의 주파수 종속성에 가장 큰 영향을 주는 인자임을 확인할 수 있었다.

측정 오차를 야기 시킬 수 있는 요인으로는 시스템 불안정성에 기인하는 시스템 오차, 실시간으로 변화하는 해수면 변화에 따른 송수신 위치 불안정에서 오는 기하학적 오차, 랜덤 거칠기를 갖는 해저면 반사로부터 야기되는 랜덤신호 오차 등이 있다. 이러한 오차를 줄이기 위해서는 반복 측정을 수행한 후 이를 음압 세기 평균(intensity average)하는 과정이 필요하나 본 연구에서는 주파수 별로 한번의 송수신만을 실시하였으며, 이로 인해 측정된 반사손실에는 측정오차가 포함되어 있을 것으로 판단된다. 그러나 이러한 오차들은 일정 상수값으로 편중(bias)되기 보다는 평균값을 중심으로 일정 범위에 분포되므로 50 Hz 간격으로 측정되었음에도 불구하고 실측된 반사손실 값에 변이(variance)가 보이는 것은 이러한 오차들의 영향이 우세할 것으로 판단된다. 또 다른 원인은 체적내의 미세구조에 의한 산란 영향도 포함될 수 있을 것이나, 이러한 요소들에 의한 영향은 본 논문의 주제에 벗어나며, 추 후 연구될 수 있을 것이다.

감사의 글

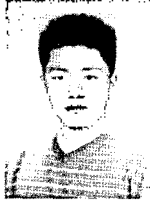
본 연구는 국방과학연구소의 위탁연구 (계약번호: UD080001DD)와 한국과학재단 (과제번호:2008-0058752) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. D. R. Jackson and M. D Richardson, *High-frequency Seafloor Acoustics*, Springer, 2007.
2. 박순식, 윤관섭, 최지웅, 나정열, "고주파 해저면 반사손실의 주파수 종속성 측정," *한국음향학회지*, 22권, 8호, 652-659쪽, 2003.
3. P. D. Mourad and D. R. Jackson, "High frequency sonar equation models for bottom backscatter and forward loss," *Proc. OCEAN '89*, New York, pp. 1168-1175, 1989.
4. A. P. Lyons and T. H. Orsi, "The Effect of a Layer of Varying Density on High-Frequency Reflection, Forward Loss, and Backscatter," *IEEE Oceanic Eng.*, 23(4), pp. 411-422, Oct, 1998.
5. J. W. Choi and Peter H. Dahl, "Mid-to-High-Frequency Bottom Loss in the East China Sea," *IEEE Ocean Eng.*, vol. 29, no. 4, pp. 908-987, 2004.
6. N. P. Chotiros, A. P. Lyons, J. Osler, and N. G. Pace, "Normal incident reflection loss from a sandy sediment," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 112, no. 5, pp. 1831-1841, 2002.
7. E. L. Hamilton, "Geoacoustic modeling of the sea floor," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 68, no. 5, pp. 1313-1340, 1980.
8. 이광수, "진해만 가스 함유 퇴적물의 퇴적환경 및 음향특성," 부경대학교 석사학위논문, 2006.
9. H. J. Lee, Y. P. Wang, Y. S. Chu, and H. R. Jo, "Suspended Sediment Transport in the Coastal Area of Jinhae Bay-Nakdong Estuary, Korea Strait," *Journal of Coastal Research*, vol. 22, no. 5, pp.1062-1069, 2006.
10. D. C. Kim, G. S. Lee, G. H. Lee and S. C. Park, "Sediment echo types and acoustic characteristics of gas-related acoustic anomalies in Jinhae Bay, southern Korea," *Geosciences Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 47-61, 2008.
11. 수중음향 특화연구센터 수중음향모델링 연구실 3단계 종결 보고서, TECD-120-000857, 1995.
12. R. E. Francois and G. R. Garrison, "Sound absorption based on ocean measurements: Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption," *J. Acoust. Soc. Am.*, 72, pp. 1879-1890, 1982(b).
13. F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, and H. Schmidt, *Computational Ocean Acoustics*, AIP Press, New York, 2000.
14. K. Yang, Y. Ma, C. Sun, J. H. Miller, and G. R. Potty, "Multistep Matched-Field Inversion for Broad-Band Data From ASIAEX2001," *IEEE Oceanic Eng.*, vol. 29, no. 4, pp. 964-972, Oct, 2004.
15. G. R. Potty, J. H. Miller, P. H. Dahl, and C. J. Lazauski, "Geoacoustic Inversion Results From the ASIAEX East China Sea Experiment," *IEEE Oceanic Eng.*, vol. 29, no. 4, pp. 1000-1010, Oct, 2004.

저자 약력

•나 형 술 (Hyoung Sul La)



2002년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학사)
 2005년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학석사)
 2009년 8월: 한양대학교 해양환경과학과 (이학박사)
 2009년 9월 ~ 현재: 한국해양연구원 부설 극지연구소
 연수연구원
 ※ 관심분야: 수중음파 산란

•박 치 형 (Chi Hyung Park)



2005년 2월: 한양대학교 원자력공학과 (이학사)
 2008년 8월: 한양대학교 해양환경과학과 (이학석사)
 ※ 관심분야: 수중 퇴적층 음향

•조 성 호 (Sungho Cho)



2005년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학사)
 2007년 2월: 한양대학교 해양환경과학과 (이학석사)
 2007년 3월 ~ 현재: 한양대학교 해양환경과학과 (박사
 과정)
 ※ 관심분야: 수중음파 산란

•최 지 용 (Jee Woong Choi)



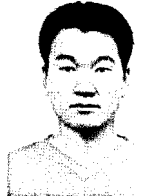
1996년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학사)
 1998년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학석사)
 2002년 8월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학박사)
 2002년 11월 ~ 2007년 8월: Applied Physics Lab.,
 Univ. of Washington, USA, Research Associate
 2004년 ~ 현재: 미국음향학회 수중음향 기술위원회 위원
 2007년 9월 ~ 현재: 한양대학교 해양환경과학과 조교수
 ※ 관심분야: 수중음파 산란

•나 정 열 (Jungyul Na)



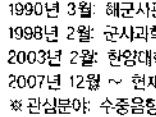
1968년 8월: 서울대학교 물리대학 천문기상학사
 1972년 2월: 미 플로리다주립대 해양학석사
 1976년 2월: 미 플로리다주립대 해양학박사
 1977 ~ 1986: 국방과학연구소 책임연구원 수중음향실장
 1986 ~ 2008: 한양대학교 해양환경과학과 교수
 1996 ~ 1998: 한국음향학회 회장
 2009 ~ 현재: 한양대학교 해양환경과학과 명예교수
 2009 ~ 현재: 서태평양 지역 음향학술위원회 회장
 ※ 관심분야: 수중음향 (음파산란, 음파전달, 진함음 신호
 모델링, 수중통신)

•윤 관 섭 (Kwan-Seob Yoon)



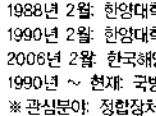
2000년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학사)
 2002년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학석사)
 2006년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학박사)
 2006년 2월 ~ 현재: LG 넥스웬(주) Maritime연구센터
 선임연구원
 ※ 관심분야: 수중음향

•박 경 주 (Kyungju Park)



1990년 3월: 해군사관학교 해양학(이학사)
 1998년 2월: 군사과학기술원 해양과학(이학석사)
 2003년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학박사)
 2007년 12월 ~ 현재: 해군사관학교 근무
 ※ 관심분야: 수중음향

•박 정 수 (Joung-Soo Park)



1988년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학사)
 1990년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학석사)
 2006년 2월: 한국해양대학교 해양개발공학과 (공학박사)
 1990년 ~ 현재: 국방과학연구소 선임연구원
 ※ 관심분야: 정합장처리, 진함음