

동해 천해환경에서 측정된 중주파수 전달손실 측정: Rayleigh 및 HFBL 모델과의 비교

Measurements of mid-frequency transmission loss in shallow waters off the East Sea: Comparison with Rayleigh reflection model and high-frequency bottom loss model

이대혁,¹ 오래근,¹ 최지웅,^{2,3} 김성일,⁴ 권혁중^{5†}

(Dae Hyeok Lee,¹ Raegun Oh,¹ Jee Woong Choi,^{2,3} Seongil Kim,⁴ and Hyuckjong Kwon^{5†})

¹한양대학교 해양융합학과, ²한양대학교 해양융합공학과, ³한양대학교 국방정보공학과,
⁴국방과학연구소, ⁵한국해양과학기술원

(Received May 23, 2021; accepted June 10, 2021)

초 록: 천해 환경에서 음파가 장거리 전파되는 경우, 해저면의 비균질성으로 인해 일반적으로 사용하는 Rayleigh reflection 모델을 적용한 음파전달 모의 결과보다 더 큰 전달손실을 보이는 것으로 알려지고 있다. 이에 따라 미 해군은 경험식 기반의 해저면 반사손실(High-Frequency Bottom Loss, HFBL) 모델을 적용하여 음파 전달을 예측하고 있다. 본 연구에서는 여름철 동해 천해환경에서 중주파수(2.3 kHz, 3 kHz)를 이용한 해상실험 전달손실 측정 및 분석이 수행되었다. BELLHOP 모델을 통해 고유음선을 추적한 결과, 임계각보다 낮은 수평입사각에 대해서만 음파가 수 km 이상 장거리 전파되었으며, Rayleigh reflection 모델 기반의 전달손실 예측값과 실측 전달 손실 값과의 차이는 전달거리가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 큰 수평입사각 영역에서 Rayleigh reflection 모델과 HFBL 모델을 비교하여 HFBL의 입력값인 해저면 province 값을 추정한 후, 이를 적용한 전달 손실을 모의하여 실측 전달 손실 값과 비교하였다. 그 결과 BELLHOP 모델의 반사 손실 모델로 경험식 기반의 HFBL을 적용하여 전달 손실을 모의했을 때, 실측 전달 손실과 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어: 음파전달, 전달 손실, 해저면 반사손실, Rayleigh reflection 모델, High-Frequency Bottom Loss (HFBL) 모델

ABSTRACT: When sound waves propagate over long distances in shallow water, measured transmission loss is greater than predicted one using underwater acoustic model with the Rayleigh reflection model due to inhomogeneity of the bottom. Accordingly, the US Navy predicts sound wave propagation by applying the empirical formula-based High Frequency Bottom Loss (HFBL) model. In this study, the measurement and analysis of transmission loss was conducted using mid-frequency (2.3 kHz, 3 kHz) in the shallow water of the East Sea in summer. BELLHOP eigenray tracing output shows that only sound waves with lower grazing angle than the critical angle propagate long distances for several kilometers or more, and the difference between the predicted transmission loss based on the Rayleigh reflection model and the measured transmission loss tend to increase along the propagation range. By comparing the Rayleigh reflection model and the HFBL model at the high grazing angle region, the bottom province, the input value of the HFBL model, is estimated and BELLHOP transmission loss with HFBL model is compared to measured transmission loss. As a result, it agrees well with the measurements of transmission loss.

Keywords: Sound propagation, Transmission loss, Bottom loss, Rayleigh reflection model, High-Frequency Bottom Loss (HFBL)

PACS numbers: 43.30.Cq, 43.30.Ma

†Corresponding author: Hyuckjong Kwon (hjkwon1014@kiost.ac.kr)

Maritime Security Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, 385, Haeyang-ro, Yeongdo-gu, Busan 49111, Republic of Korea

(Tel: 82-51-664-3662, Fax: 82-51-719-9591)



Copyright©2021 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

해양에서 음파는 수층의 음속 구조, 해저면 구성 성분, 해상상태 등과 같은 다양한 해양환경에 영향을 받으며 전달된다. 특히, 천해에서의 음파 전달은 심해에 비해 해수면 또는 해저면과 같은 경계면 조건에 의한 반사, 산란 등에 영향을 더 많이 받으며, 그에 따라 복잡한 음파전달 양상을 나타낸다.^[1,2] 이러한 음파의 전달 특성은 거리-수심에 대한 전달 손실로 표현될 수 있으며, 수중 표적 탐지를 위해 소나방정식에 사용되어 표적의 탐지 거리를 예측하는데 중요한 파라미터로 사용된다.^[3]

따라서 소나의 탐지 성능을 정확하게 예측하기 위해서는 주어진 해양환경 정보를 반영한 전달손실 모델이 매우 중요하다. 이를 위해 다양한 해양환경에서의 음파전달 특성 연구가 국내외에서 지속적으로 수행되고 있으며,^[4-6] 천해에서의 음파 전달 특성에 중요한 요인으로 작용하는 해저면 반사 손실에 대한 연구도 활발히 수행되고 있다.^[7-10]

음파가 하향 굴절하는 환경에서는 해수면에 의한 영향보다는 해저면과의 상호작용에 의해 발생하는 반사 손실이 더 큰 요인으로 작용한다. 일반적으로 해양에서 음파가 전파하면서 발생하는 해저면 반사 손실을 고려할 때, Rayleigh reflection 모델^[11]을 사용한다. 하지만, 수층 및 퇴적층의 음속비를 이용하여 정의되는 임계각 보다 낮은 수평입사각으로 음파가 장거리 전파되는 경우, 해저면의 비균질성이 고려되지 않은 채 해저면 반사 손실 없이 전파한다고 가정하기 때문에^[11] 전달손실 예측결과의 오차가 발생할 가능성이 크다.

따라서 본 연구는 미 해군의 경험식 기반 해저면 반사손실(High-Frequency Bottom Loss, HFBL)^[12]을 적용한 모델링을 통해 전달손실 예측의 오차를 줄이고자 하였다. HFBL은 본 실험에서 송신된 주파수를 포함하는 1.5 kHz에서부터 4 kHz의 주파수 대역의 해저면 반사손실 모델이며, Maritime Geophysical Survey (MGS) 값에 따른 계수를 적용한 경험식에 수평입사각을 대입하여 해저면 반사손실을 계산할 수 있다. 수평입사각별 해저면 표층입도에 따른 Rayleigh reflection 모델과 MGS bottom province 1부터 5까지의

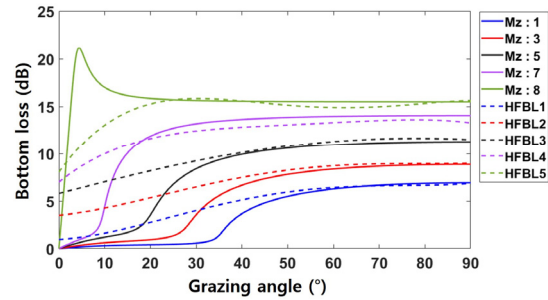


Fig. 1. (Color available online) Rayleigh reflection bottom loss (solid lines) by mean grain size and HFBL bottom loss (dashed lines) by MGS bottom classes versus grazing angle.

HFBL 모델은 약 40° 이상의 수평입사각에서 해저면 반사손실의 크기가 유사하게 나타나지만, 그 이하의 수평입사각에서는 그 차이가 상당히 큰 것을 확인할 수 있다(Fig. 1).

본 연구에서는 음선이론 기반의 음파전달 모델인 BELLHOP^[13]에 Rayleigh reflection 모델과 실험값 기반의 HFBL 모델이 각각 적용된 전달손실 예측 결과를 해상실험에서 획득한 실측 전달손실 값과 비교하였으며, 천해 장거리 음파 전달 환경에서 음파 전달 모델을 이용한 전달 손실 예측에 HFBL 모델의 적용 가능성을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 해상 실험 및 환경에 대해 설명하고 제3장에서는 해상 실험 분석 및 결과를 도시하여 전달손실 분석 내용, 결과와 음파전달 모델링 결과를 비교하였다. 마지막으로 제4장에서는 본 연구의 결론 및 고찰에 대해 기술하였다.

II. 해상실험 및 환경

해상실험은 국방과학연구소 주관으로 동해 수심 50m~60m, 해저면 표층 입도 약 2.4φ의 평탄한 해역에서 2020년 7월에 수행되었다. 음원은 조사선인 청해호에 의해 평균 3.5 kn의 속도로 약 25m 수심을 유지하면서 예인되었으며, 송신 신호는 선형 주파수 변조(Linear Frequency Modulation, LFM) 신호와 연속파(Continuous Wave, CW) 신호로 조사선의 이동 방향에 따라 선택 사용되었다.

송신신호는 해상에 계류되어 있는 수직 선배열 (Vertical Line Array, VLA)에서 수신되었으며, 조사선이 수직 선배열로부터 멀어지는 방향에서는 중심주파수 3 kHz, 펄스 길이 1초의 LFM 신호(T1), 근접하는 방향에서는 중심주파수 2.3 kHz, 펄스 길이 0.1 s의 CW 신호(T2)와 LFM 신호(T3)를 반복 송·수신하였다. 전달손실 분석 과정에서 다중경로에 의한 신호 간섭 효과를 줄이기 위해 모든 신호는 20 s 간격으로

반복 송신되었다. Table 1은 각 송신 신호(T1, T2, T3)에 대한 신호 특성을 보여준다.

수직 선배열은 13개의 수중청음기로 구성되어 수심 약 9m 부터 약 49m 까지 동일한 간격으로 배치되어 있었으며, 조사선은 선배열로부터 880 m에서 4,500 m의 수평거리를 왕복 이동하였다(Fig. 2). Fig. 3(a)는 Expandable Bathy Thermograph(XBT)로 측정된 수직 음속구조를 나타내며, 표층에서의 음속이 가장 빠르고 수심이 깊어짐에 따라 음속이 느려지는 구조로 음파의 하향굴절이 예측되는 환경이었다. Fig. 3(b)는 측정된 수직 음속구조를 사용하여, 송·수신기 거리 4,500 m, 송신기 수심 25 m, 수신기 수심 49 m일 때의 고유음선 추적 결과이다. 수신기에 도달하는 고유 음선들은 약 4.8°에서 26.8°의 해저면 수평 입사각을 갖는데, 이는 해당 실험 환경에서 해저면 반사손실의 임계각(28.1°)보다 낮은 수평 입사각에 대해 음파 전달이 우세하게 나타나는 것을 의미한다.

Table 1. List of transmitted signal information.

	Pulse type	Center frequency (Hz)	Bandwidth (Hz)	Pulse length (s)	Source level (dB)	Local time (hh:mm)
T1	LFM	3000	1000	1	205	09:36 - 10:09
T2	CW	2300	-	0.1	205	10:46 - 10:54
T3	LFM	2300	1000	0.1	205	11:02 - 11:12

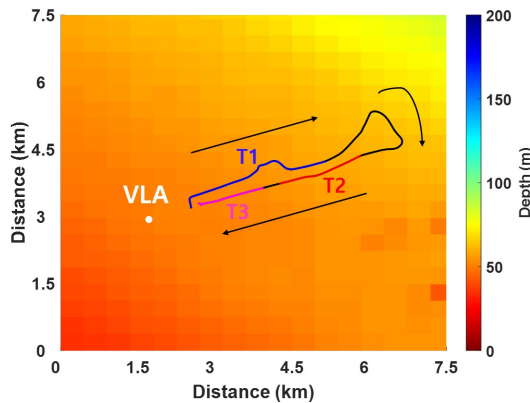


Fig. 2. (Color available online) R/V Cheonghae ship track (black solid line) and mooring locations of VLA (white circle).

III. 분석 및 결과

전달 손실 준위(Transmission Loss, TL)는 Eq. (1)과 같이 송신 신호 준위(Source Level, SL)와 수신 신호 준위(Received Level, RL)의 차이를 통해 계산할 수 있으며,^[14] 각 수신기에 수신된 신호들은 송신 신호 타입(CW, LFM)에 따라 대역통과필터, 정합 필터를 각각 적용하여 분석되었다.

$$TL = SL - RL. \tag{1}$$

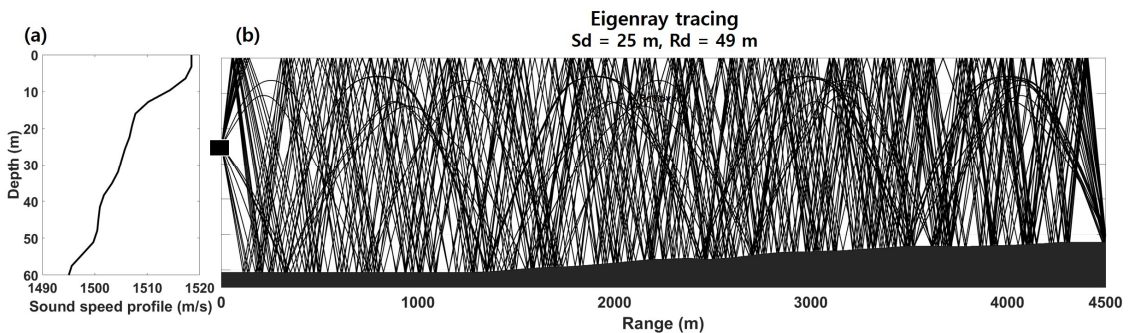


Fig. 3. Experimental layout. (a) Sound speed profile of the water column measured by XBT (b) eigenray tracing results from source-receiver range of 4,500 m. Black square indicates the sound source.

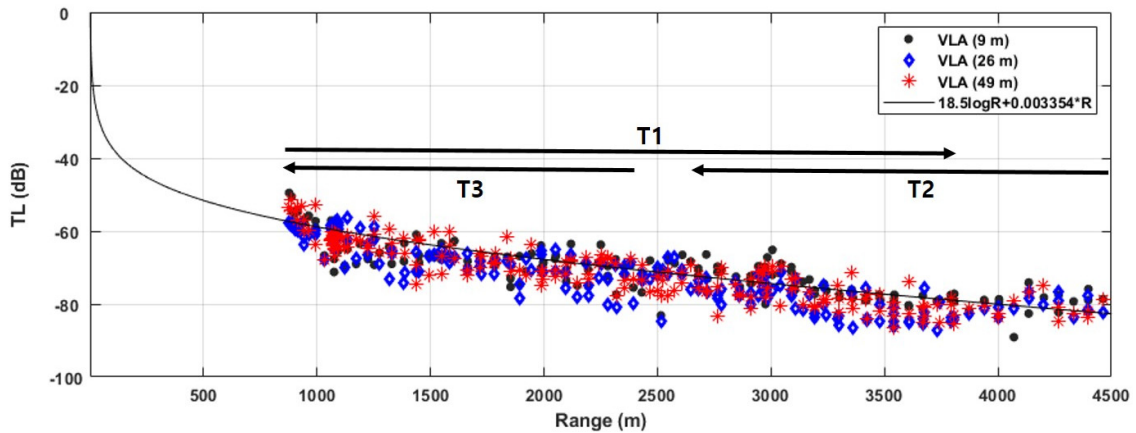


Fig. 4. (Color available online) Comparison of transmission loss measurements (T1, T2, T3) and regression curve (black solid line). The black circle, blue diamond, red star represent the values measured at the water depth of 9 m, 26 m, 49 m, respectively. The Black arrows indicate direction of movement of the source according to the signal type.

Fig. 4는 수직 선배열의 표층(9m), 중층(26m), 저층(49m)에 위치한 수신기에 수신된 각 펄스(T1, T2, T3)의 거리에 따른 전달 손실을 나타낸다. 실험 환경은 Fig. 3(b)과 같이 음파의 하향굴절이 우세한 환경이었으나, 전달 손실 분석결과에서 수직선배열의 수심(표층, 중층, 저층)에 따른 전달 손실 차이는 확인하기 어려웠다.

전달 손실 분석 결과는 Pekeris 모델을 가정한 이론적인 전달 손실 곡선과 비교되었다. Pekeris 모델은 천해를 단순한 두 개의 등속 유체 층으로 구성되었다고 가정하는 모델로서, 음파 전달에 영향을 미치는 각 인자별 음파 전달 특성을 이해하는데 유용하게 사용되고 있다.^[6,15-18] 이 Pekeris 도파관에서 음파는 최초로 구형 분산으로 전파되다가 해수면, 해저면과 같은 경계조건에 의해 차츰 원통형 분산으로 전환되는데, 이 때의 이론적인 전달 손실 계산식[Eq. (2)]은 확산 손실 계수(A)와 흡수 손실 계수(B)로 단순화하여 표현할 수 있다.^[3] r 은 음파의 전파 거리(m)를 나타내며, 구형 분산과 원통형 분산에서 확산 손실 계수는 각각 20, 10을 갖는다.^[11]

$$TL = A \log(r) + Br. \quad (2)$$

이처럼 이론적인 전달 손실 계산식[Eq. (2)]을 실측 전달 손실 분석 결과에 curve fitting 하여 실험 해역에서의 확산 손실 계수와 흡수 손실 계수를 도출하

였으며, 그 값은 각각 18.5, 0.0033으로 계산되었다. 계산된 확산 손실 계수와 흡수 손실 계수를 이용한 전달 손실 곡선은 Fig. 4에 검정색 실선으로 나타내었다. 본 실험해역은 천해의 환경임에도 확산 손실 계수 A 가 18.5로 구형 분산의 경우($A=20$)에 근접한 결과를 보였으며, 이는 음파가 하향 굴절함에 따라 해저면 반사 손실에 의한 영향이 크게 작용했기 때문으로 추정된다.

이를 확인하기 위해 실측 전달 손실과 음파 전달 모델링을 통한 전달 손실을 비교하고자 하였으며, 전달 손실 모델링에 사용된 음파 전달 모델은 음선 이론 기반의 BELLHOP 모델이 사용되었다. 전달 손실 모델링에 사용된 지음향 인자 정보(음속:1700 m/s, 밀도:2.0 g/cm³, 감쇠계수:0.74 dB/m/kHz)는 국방과학연구소에서 보유하고 있는 지음향 DB 자료를 참고하였으며, XBT를 이용하여 측정된 실험 해역의 수직 음속 구조, 음원의 수직 각도별 빔패턴이 전달 손실 모델링에 고려되었다.

Rayleigh reflection 모델을 반사 손실 모델로 사용하는 BELLHOP 모델에서 주파수 3 kHz, 음원수심 25 m, 수신기 수심 49 m에서의 전달 손실을 모의하였다. 모의된 전달손실은 전파거리가 증가함에 따라 실측 전달 손실 값과의 차이가 점차 증가하는 경향을 보였으며, 약 4,500 m 거리에서는 실측값보다 약 15 dB의 차이가 발생한 것을 확인하였다(Fig. 5). 이와 같은 결과는 임계각보다 낮은 수평입사각의

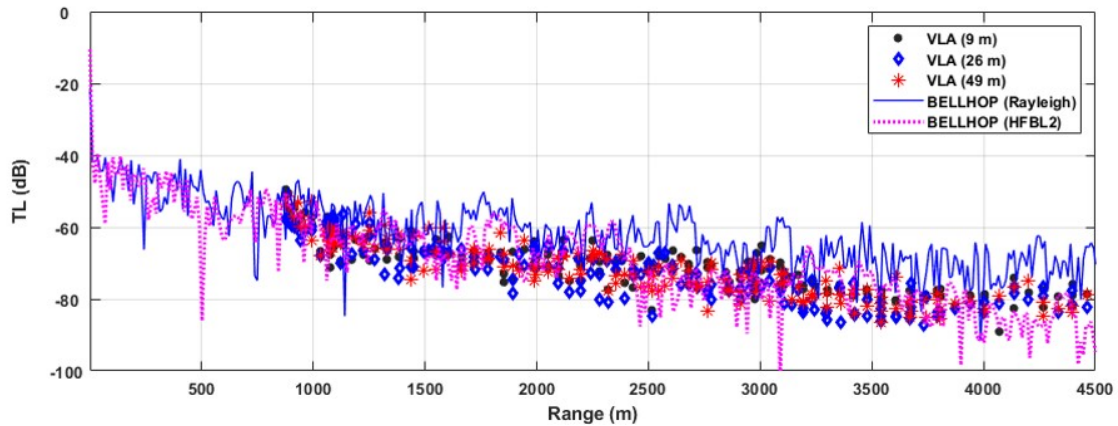


Fig. 5. (Color available online) Comparison of transmission loss measurements and simulation result using Rayleigh reflection model (blue solid line) and another simulation result using HFBL2 (magenta dashed line): source depth was 25 m and receiver depth was 49 m.

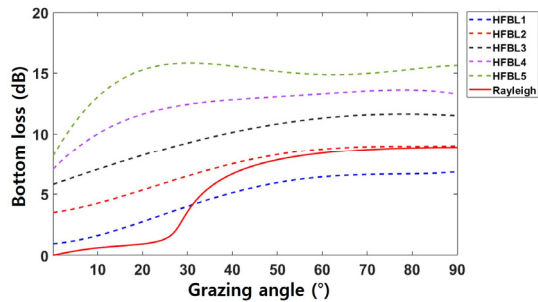


Fig. 6. (Color available online) HFBL bottom loss (dashed lines) by MGS bottom classes and Rayleigh reflection bottom loss (solid red line) versus grazing angle.

음파 전달이 우세한 환경인 경우, 해저면 내 퇴적물의 체적 비균질성 등에 의한 영향이 충분히 고려되지 않은 Rayleigh reflection 모델 특성으로 인해 반사 손실의 영향이 저평가되어서 발생한 것으로 판단된다.

따라서 임계각보다 낮은 수평입사각에서의 반사 손실의 영향을 보다 정확하게 반영하기 위해, 미 해군에서 사용하고 있는 경험식 기반의 해저면 반사손실(HFBL) 모델을 적용하여 음파 전달 모델링을 재수행하고자 하였다. HFBL 모델은 실측 기반의 경험식으로 임계각보다 낮은 수평 입사각에서 Rayleigh reflection 모델보다 해저면 반사 손실 영향이 더 크게 나타난다. Fig. 6은 수평 입사각에 따른 반사 손실 모의 결과로, 실험 해역의 지음향 인자를 적용한 Rayleigh reflection 모델과 MGS province(1-5) 모델의 결과를 나타낸 그림이다. HFBL 모델의 경험식을 구성하는 세

부 파라미터들에 대한 정보는 현재 잘 알려져 있지 않기 때문에, 약 40° 이상의 높은 수평 입사각에서 Rayleigh reflection 모델과 경향이 가장 유사한 HFBL 모델을 선정하고자 하였다. HFBL2이 Rayleigh reflection 모델의 결과와 상당히 유사하게 나타났으며, 임계각 주변 및 그 이하의 수평입사각에서 그 차이가 두드러지는 것을 확인하였다. 따라서 HFBL2가 동일한 전달 손실 모의 환경에서 반사 손실 모델에 따른 전달 손실 차이 비교에 적합할 것으로 판단되었으며, BELLHOP 모델에 HFBL2를 적용하여 전달 손실 모델링을 재수행하였다. 그 결과, BELLHOP 모델의 반사 손실 모델로 HFBL2를 적용한 전달 손실 모델링 결과가 Rayleigh reflection 모델을 적용했을 때보다 실측 전달 손실과 일치하는 것을 확인하였다(Fig. 5).

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 여름철 동해의 천해환경에서 중주파수 음파 전달 실험을 수행하고, 관측된 전달 손실과 모의한 전달 손실을 상호 비교하여 해저면 반사 손실 모델에 따른 전달 손실 차이를 파악하고자 하였다. 결론적으로, 음파가 하향 굴절하는 수직음속 구조임에도 불구하고 임계각보다 낮은 수평입사각에서의 전파가 우세한 환경에서의 음파 전달은, 임계각보다 낮은 수평입사각에서의 반사 손실 차이로 그 예측 결과가 상당히 달라질 수 있음을 확인하였다.

실험 해역의 해저면 지음향 인자와 Rayleigh reflection 모델을 사용하여 계산된 반사 손실은 임계각을 기준으로 더 낮은 수평 입사각에서는 반사 손실이 크지 않은 것에 비해, 실험값을 기반으로 구축된 HFBL 모델을 사용한 반사 손실은 임계각보다 낮은 수평 입사각에서도 비교적 큰 반사 손실 값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 평균 입도 및 수층과 해저면의 음속 비로 계산되는 Rayleigh reflection 모델이 해저면내 체적 비균질성 등에 의한 영향이 충분히 고려되지 않았기 때문에 발생하는 차이로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 음파전달모델에 사용되는 반사 손실 모델에 Rayleigh reflection 모델과 HFBL 모델을 각각 적용하여 전달 손실을 모의하였고, 이를 실측 전달 손실 값과 비교하여 그 차이를 비교하였다. 그 결과 BELLHOP 모델의 반사 손실 모델로 HFBL2를 적용하여 전달 손실을 모의했을 때, 실측 전달 손실과 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 본 연구에서 사용된 HFBL 모델은 평탄한 심해에서의 측정값 기준으로 만들어진 경험식 및 외삽에 의한 추정 값이며, 해저면 거칠기에 의한 산란, 해저면의 비균질성, 하부지층구조의 영향 등 여러 가지의 환경 변동성에 대한 제한¹²⁾이 있기 때문에 본 결과를 천해 음파전달 모델링에 일반화하여 사용하기는 어려울 것으로 판단된다. 하지만 최근 해양 탐사 및 수중 표적 탐지 등에 대한 관심 영역이 심해에서 천해로 확대되고 있는 만큼, 소나의 탐지 성능에 중요한 인자로 작용하는 전달 손실을 보다 정확하게 예측하기 위해 해저면 반사 손실에 대한 실험적 접근 및 다양한 검증 방법이 필요함을 제시한다. 결과적으로, 한반도 주변의 다양한 해역에서 해저면의 반사 특성을 보다 정확히 반영한 경험식 기반의 한국형 HFBL 모델 개발이 필요하며, 이를 위해 한반도 주변 해역에서의 음향 실험을 통한 해저면 반사 특성 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound 3rd ed* (McGrawHill, New York, 1983), pp. 172-182.
2. B. Katsnelson, V. Petnikov, and J. Lynch, *Fundamentals of Shallow Water Acoustics* (Springer Science & Business Media, New York, 2012), pp. 1-16.
3. A. D. Waite, *Sonar For Practising Engineers 3rd ed* (Spon Press, New York, 2003), pp. 43-49.
4. D. Tang, F. S. Henyey, Z. Wang, K. L. Williams, D. Rouseff, P. H. Dahl, J. Quijano, and J. W. Choi, "Mid-frequency acoustic propagation in shallow water on the New Jersey shelf: Mean intensity," *J. Acoust. Soc. Am.* **124**, EL85 (2008).
5. H. Kwon, J. W. Choi, and B. Kim, "Estimation of a transition point of sound propagation condition using transmission loss data measured in SAVEX15" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **37**, 1-11 (2018).
6. J. W. Choi and P. H. Dahl, "First-order and zeroth-order head waves, their sequences, and implications for geoacoustic inversion," *J. Acoust. Soc. Am.* **119**, 3660-3668 (2006).
7. H. Kwon, J. W. Choi, W.-H. Ryang, S.-U. Son, and S.-K. Jung, "Measurements of mid-frequency bottom-interacting signals and geoacoustic inversion in Jinhae Bay, Southeast Korea," *J. Acoust. Soc. Am.* **145**, 1205 (2019).
8. J. W. Choi and P. H. Dahl, "Mid-to-high-frequency bottom loss in the East China Sea," *IEEE J. Ocean Eng.* **29**, 262-397 (2004).
9. H. La and J. W. Choi, "8-kHz bottom backscattering measurements at low grazing angles in shallow water," *J. Acoust. Soc. Am.* **127**, 160-165 (2010).
10. Y. G. Yoon, C. Lee, J. W. Choi, S. Chom, S. Oh, and S. K. Jung, "Measurements of mid-frequency bottom loss in shallow water of the yellow sea" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **34**, 423-431 (2015).
11. F. Jensen, W. Kuperman, M. Porter, and H. Schmidt, *Computational Ocean Acoustics 2nd ed* (American Institute of Physics, New York, 1993), pp. 14-15, 40-46.
12. Richard P. Hodges, *Underwater Acoustics: Analysis, Design and Performance of Sonar* (A John Wiley and Sons, Ltd, Publication, Chichester, 2011), pp. 114-116.
13. M. B. Porter, "The BELLHOP Manual and User's Guide:PRELIMINARY DRAFT," Heat, Light, and Sound Research, Inc., 2011.
14. H. Medwin and C. S. Clay, *Fundamentals of Acoustical Oceanography 1st ed* (Academic press, San Diego, 1998), pp. 17-27.
15. C. L. Pekeris, *GSA Memoirs, Propagation of Sound in the Ocean*, <https://pubs.geoscienceworld.org/books/book/33/chapter/3786458/>, (Last viewed May 21, 2021).

16. G. V. Frisk and J. F. Lynch, "Shallow water waveguide characterization using the Hankel transform," J. Acoust. Soc. Am. **76**, 205-216 (1984).
17. D. R. Del Balzo, C. Feuillade, and M. M. Rowe, "Effects of water-depth mismatch on marched-field localization in shallow water," J. Acoust. Soc. Am. **83**, 2180-2185 (1988).
18. M. J. Buckingham and E. M. Giddens, "On the acoustic field in a Pekeris waveguide with attenuation in the bottom half-space," J. Acoust. Soc. Am. **119**, 123-142 (2006).

▶ 권혁종 (Hyuckjong Kwon)



2013년 2월 : 한양대학교 해양환경과학과 학사
 2020년 2월 : 한양대학교 해양융합과학과 박사
 2020년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 박사 후 연구원

저자 약력

▶ 이 대 혁 (Dae Hyeok Lee)



2015년 2월 : 부산대학교 해양학과 학사
 2016년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 해양융합 과학과 석·박사통합과정

▶ 오 래 근 (Raegun Oh)



2013년 2월 : 한양대학교 해양환경과학과 학사
 2021년 2월 : 한양대학교 해양융합과학과 박사
 2021년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 박사 후 연구원

▶ 최 지 웅 (Jee Woong Choi)



1996년 2월 : 한양대학교 지구해양과학과 학사
 1998년 2월 : 한양대학교 지구해양과학과 석사
 2002년 8월 : 한양대학교 지구해양과학과 박사
 2002년 11월 : Applied Physics Lab., Univ. of Washington, USA, Research Associate
 2007년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 해양융합 공학과/국방정보공학과 교수

▶ 김 성 일 (Seongil Kim)



1986년 2월 : 서울대학교 해양학과 학사
 1988년 2월 : 서울대학교 해양학과 석사
 2002년 : Univ. of California, San Diego 해양 학 박사
 1990년 ~ 현재 : 국방과학연구소 수석연구원
 <관심분야> 수중음향