

중주파수 양상태 잔향음 모델

Mid-Frequency Bistatic Reverberation Model

오택환*, 라형술*, 나정열*, 박치형*

(Taekhwan Oh*, Hyongsul La*, Jungyul Na*, Chihyung Park*)

*한양대학교 해양환경과학과 해양음향 연구실

(접수일자: 2006년 10월 10일; 수정일자: 2006년 11월 16일; 채택일자: 2006년 11월 21일)

중주파수 양상태 잔향음 준위는 음선이론을 사용하여 산출되었다. 제안된 알고리즘은 음파전달 경로 내 전방/후방 산란의 상호작용을 가정한다. 해양환경 (지형, 해저면 산란, 해수면 산란 등)은 거리 독립 해양환경으로 가정되었고 중주파수 산란 모델이 사용되었다. 해상실험 자료를 사용한 알고리즘 검증 결과 양상태 잔향음 모델 알고리즘이 관측 해역의 양상태 잔향음 특성을 잘 반영하고 있음을 확인하였다.

핵심용어: 양상태 잔향음, 경계면 산란, 잔향음 모델, 고유 음선

투고분야: 수중음향분야 (5)

Mid-Frequency bistatic reverberation level is modeled using ray theoretic algorithms. The algorithm assumes multiple forward/backward scatter along with reciprocity in the propagation paths. The environments modeled are assumed to be range independent in bathymetry, bottom scattering and surface scattering. Mid-Frequency bistatic scattering algorithm is used as a scattering model. A comparison of predicted reverberation versus time with measured data is presented to verify the bistatic reverberation model. The result demonstrates that it is possible to obtain reasonable reverberation predictions in experimental site.

Key words: Bi-static reverberation, Boundary scattering, Reverberation model, Eigenray

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5)

1. 서론

일반적으로 잔향음 (reverberation)은 능동 소나 시스템을 사용한 수중 표적 탐지시 주변소음 (ambient noise)과 같이 잡음 (noise)으로써 인식되고 있다. 그러나 최근 잔향음을 이용한 해양환경 파라미터 역산 연구가 활발하게 진행됨에 따라 그 역할이 변화하고 있다 [1-2]. 해양에서의 잔향음은 다양한 전파 경로를 지친 후 수신되기 때문에 해양환경 특성 (음속구조, 해수면과 해저면 거칠기, 및 퇴적층내 비균질 특성 등)에 따라 사공간적으로 복잡한 특성을 나타낸다. 따라서 잔향음을 이용한 해양환경 파라미터 역산 연구를 위해서는 수중 음파 전달 특성뿐만 아니라 해수면, 해저면 및 수중 산란체에 의한 음파 산란 특성 연구가 선행되어야 한다. 국

내에서는 국방과학연구소 및 한양대학교를 중심으로 경계면 산란 특성 및 잔향음 특성 연구와 잔향음 모델 연구가 활발하게 진행 되고 있다.

국내 잔향음 연구는 저주파수 (< 1 kHz)와 고주파수(> 10 kHz) 대역으로 구분하여 이론 모델과 실험 자료를 상호 비교하는 방법으로 단상태 경계면 산란 특성 및 단상태 잔향음 특성 연구가 진행되었다. 또한 이와 같은 경계면 및 잔향음 특성 연구 결과를 바탕으로 천해 저주파 및 고주파 단상태 잔향음 모델 연구가 수행되었다[3-7].

최근 국내 및 국외에서는 향상된 신호처리 기술과 자료 전송 기술 그리고 자료 융합 기술을 사용해 중주파수 (mid-frequency, 1~10 kHz) 대역 양상태 (bi-static sonar)와 다중상태 소나 (multi-static sonar) 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다 [8]. 양상태 소나 시스템은 음원과 수신기의 위치가 분리되어 운용되는 시스템을 의미하며, 다중상태 소나 시스템은 여러 개의 양상태 소나로 구성된 시스템을 의미한다. 즉 다중상태 소나 시스템

책임저자: 라형술 (hsla@ihanyang.ac.kr)
경기도 안산시 상록구 사1동 1271번지 한양대학교 지구해양과학과
해양음향연구실
(전화: 031-400-4156; 팩스: 031-406-6458)

은 서로 다른 위치에 존재하는 여러 개의 음원과 여러 개의 수신기로 구성될 수 있다. 저주파 능동형 소나 시스템 (Low Frequency Active Sonar System, LFASS) 과 다중상태 저주파 능동형 소나 시스템 (Multi-Static Low Frequency Active Sonar System, MSLFASS) 및 일반적인 수중통신 시스템이 여기에 해당된다.

양상태와 다중상태 소나 시스템은 단상태 (monostatic) 소나 시스템에 비해 수중 표적 탐지 공간이 증가하는 장점을 나타낸다. 그러나 구성 시스템이 매우 복잡하며, 표적 탐지 공간이 직접 차폐 공간 (Direct blast masking zone)에 의해 결정된다는 단점이 있다. 따라서 양상태와 다중상태 소나 시스템의 설계 및 성능 평가뿐만 아니라 수중통신 채널에 대한 이해를 위해서는 양상태와 다중상태 소나 모델 연구가 매우 중요하다. 특히 양상태와 다중상태 소나 시스템을 위한 잔향음 모델 연구는 해양의 2차원적 특성을 이해하는데 도움을 준다. 국내에서는 이미 포물선 방정식을 사용한 저주파 양상태 잔향음 모델 [9], 정상모드를 사용한 거리중속 잔향음 모델 [10] 및 음선 이론을 사용한 고주파 양상태 잔향음 모델 [11]에 대한 연구가 수행되었다.

본 연구에서는 음선이론 모델 [12]과 중주파수 단상태 산란 모델을 사용해 중주파수 양상태 소나 시스템의 잔향음 특성 분석과 잔향음을 이용한 해양환경 파라미터 역산을 위한 양상태 잔향음 모델링 알고리즘을 제안하고, 해상실험 자료 분석을 통해 제안된 알고리즘을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 중주파수 산란 모델에 대해 설명하며, 제 3 장에서는 양상태 잔향음 모델 알고리즘에 대해 언급한다. 제 4 장에서는 해상 실험 및 잔향음 모델 알고리즘 검증 결과를 서술하고, 마지막으로 제 5 장에서 결론을 도출한다.

II. 중주파수 산란 모델

잔향음은 해수면, 해저면 및 체적 산란에 의한 신호로 정의될 수 있다. 따라서 잔향음 모델 개발에 있어 경계면 산란 특성에 대한 예측 모델이 매우 중요하다. 과거 경계면 산란은 저주파수와 고주파수 대역으로 분리되어 단상태와 양상태 산란 연구가 진행되어 왔다.

저주파수 단상태 해수면 산란 모델은 Chapman과 Harris [13]에 의해 연구되었다. Chapman과 Harris는

실험을 통해 평면 입사각 (grazing angle), θ , 풍속, v , 및 주파수, f , 에 따른 해수면 산란 강도, S_s , 에 대한 실험식을 작성하였다 (식1).

$$S_s = 3.3\beta \log \frac{\theta}{30} - 42.4 \log \beta + 2.6 \tag{1}$$

$$\beta = 158 [vf^{1/3}]^{0.58} \tag{2}$$

저주파수 단상태 해저면 산란 강도는 Lambert's law (식3.) 또는 Mackenzie [14] 모델을 사용해 계산된다.

$$S_b = 10 \log \mu + 10 \log (\sin^2 \theta) \tag{3}$$

여기서 S_b 는 해저면 산란 강도이며, μ 는 해저면 산란 상수 그리고 θ 는 평면 입사각을 의미한다.

일반적으로 Chapman - Harris 해수면 산란 모델은 저주파수 산란 실험에 의해 유도된 모델로서 고주파에 적용시 많은 차이를 나타내는 것으로 알려져 있으며, Lambert's law는 평면 입사각에 의한 산란 강도만을 고려하여 해저면의 지음향 특성을 고려하지 못하는 단점이 있다.

고주파 산란 강도의 계산은 이론 식을 바탕으로 작성된 APL-UW 해수면, 해저면 산란 모델 [15]이 사용된다. 해수면 산란 모델의 경우 풍속에 의한 해수면 거칠기와 해수면 부근 공기방울에 의한 손실을 고려하며, 해저면 산란 모델은 해저 경계면의 평균 입도를 기준으로 지음향 파라미터를 결정하고, 이를 사용해 산란 강도를 산출한다. APL-UW 산란 모델은 고주파수 (>10 kHz) 대역에 적합한 것으로 알려져 있다.

현재 중주파수 대역의 산란 특성 연구는 미비한 상태이다. 본 논문에서는 중주파수 산란 강도 산출을 위해 저주파수 산란 모델과 고주파수 산란 모델을 주파수에 따라 선형 내삽 (linear interpolation)하여 적용한다. 해수면 산란 강도의 경우 Chapman - Harris 모델과 APL-UW 해수면 산란 모델을 사용하고, 해저면 산란 강도의 경우는 Mackenzie 모델과 APL-UW 해저면 산란 모델을 사용하여 산출한다. 따라서 목적 주파수가 1 kHz 대역 부근일 경우는 해수면 산란 강도는 Chapman - Harris 모델의 경향을 나타내며, 해저면 산란 강도는 Mackenzie 모델의 경향을 따른다. 또한 목적 주파수가 10 kHz 대역 부근일 경우는 해저면과 해수면 산란 강도는 APL-UW 산란 모델의 특성을 나타낸다. 그림 1은 각

해수면 산란 모델에 의해 산출된 해수면 산란 강도를 평면 입사각에 따라 비교한 것이다. 그림에서와 같이 해수면 산란 강도는 평면 입사각이 저각 (< 15 deg)과 고각 (> 65 deg)일 경우 큰 차이를 나타내며, 그 사이 각 (15 ~ 65 deg)에서는 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다.

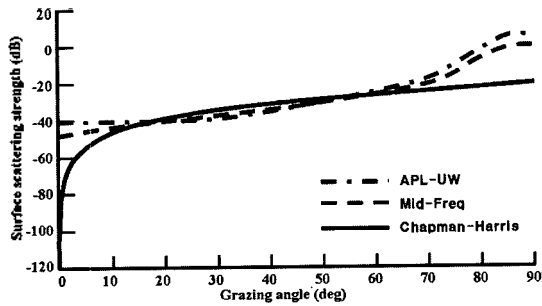


그림 1. 산란 모델 비교(APL UW: 10kHz, Mid Freq.: 7.5kHz, Chapman Harris: 7.5kHz).

Fig. 1. Comparisons of scattering strength models (APL UW: 10 kHz, Mid Freq: 7.5 kHz, Chapman Harris: 7.5 kHz).

양상태 잔향음 산출을 위해서는 경계면에서의 양상태 산란 모델이 요구된다. 그러나 양상태 해수면/해저면 산란 모델은 현재 계속적으로 연구 중에 있으므로, 본 논문에서는 일반적으로 단상태 특성을 양상태 특성으로 확장할 때 사용되는 양상태 정리를 사용해 단상태 중주파수 산란 모델을 양상태 중주파수 산란 모델로 확장하여 적용한다. 그림 2는 양상태 정리의 개념도이다. 양상태 정리에 따르면 송신기의 위치를 S, 수신기의 위치를 R, S의 위치에서 송신된 음이 해저면으로 입사되는 지점을 B라고 한다면, S-B 방향의 해저면 산란강도와 R-B 방향의 산란강도는 SBR이 이루는 삼각형의 이동분이 되는 지점 P-B방향의 산란강도와 동일하다. 이와 같은 양상태 정리는 단상태 표적 강도를 양상태 표적 강도로 확장할 때 적용되고 있으며 양상태 정리에 의한 양상태 산란각은 180도 이내로 제한된다.

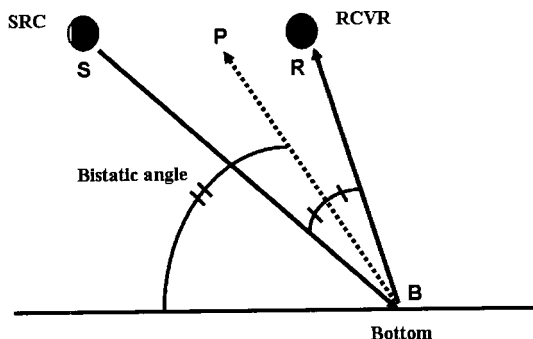


그림 2. 양상태 정리 개념도
Fig. 2. The geometry of bistatic theorem.

III. 양상태 잔향음 모델 알고리즘

양상태 소나 시스템은 음원과 수신기의 위치가 분리된 시스템을 의미한다. 양상태 잔향음 모델 개발을 위해서는 3차원 음파전달 특성 연구와 3차원 경계면 반사 및 산란 특성 연구가 선행되어야 한다. 현재 음파 전달시 야기되는 3차원적 특성에 대해서는 계속적으로 연구가 수행 중에 있으나, 그 결과 발표는 미진한 상태이다. 그러므로 본 논문에서는 그림 3과 같이 음원과 수신기가 비교적 근거리에서 위치하고, 동일한 좌표 평면(거리수심 평면)에 존재한다고 가정한 후 양상태 정리에 의해 확장된 중주파수 양상태 산란 모델을 사용해 잔향음 준위를 산출한다.

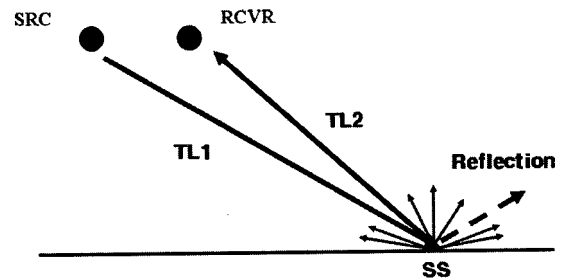


그림 3. 양상태 소나 시스템 개념도
Fig. 3. Schematic of a bistatic sonar system.

중주파수 양상태 잔향음 모델 흐름도를 그림 4에 나타내었다. 중주파수 양상태 잔향음 준위 산출을 위한 제 1 단계로 음원에서 방사되어 경계면(해수면, 해저면)에 입사한 음선의 도달시간, 입사각 및 전달손실(TL_{1n})을 계산한다. 제 2 단계로는 경계면과 수신기까지의 음선 도달시간, 입사각 및 전달 손실(TL_{2m})을 계산하며, 제 3 단계에서 산출된 음원과 경계면 사이의 음선들과 경계면과 수신기 사이의 음선들을 조합하고, 양상태 산란 모델을 적용하여 산란 강도(SS_{nm})를 산출한다. 이때 경계면은 공간 산란체(cell scatterer)로 가정한다. 제 4 단계에서는 식 4.를 사용해 양상태 잔향음 준위(RL_{nm})를 계산한다.

$$RL_{nm} = SL - TL1_n - TL2_m - SS_{nm} + 10 \log A + BPT + BPR \quad (4)$$

여기서 SL은 음원 준위를 의미하며, A는 경계면 입사 면적을 나타낸다. 그리고 BPT와 BPR은 음원과 수신기의 빔패턴을 뜻한다. 또한 n, m은 음선이론에 의해 계산된 음선의 번호이며, nm은 n 번째 음선과 m 번째 음선

의 조합을 의미한다. 마지막 5 단계에서는 수신 신호의 도달시간을 송신 신호 길이 (pulse length)로 구분해 시간에 따른 합으로 음압 강도를 산출한다.

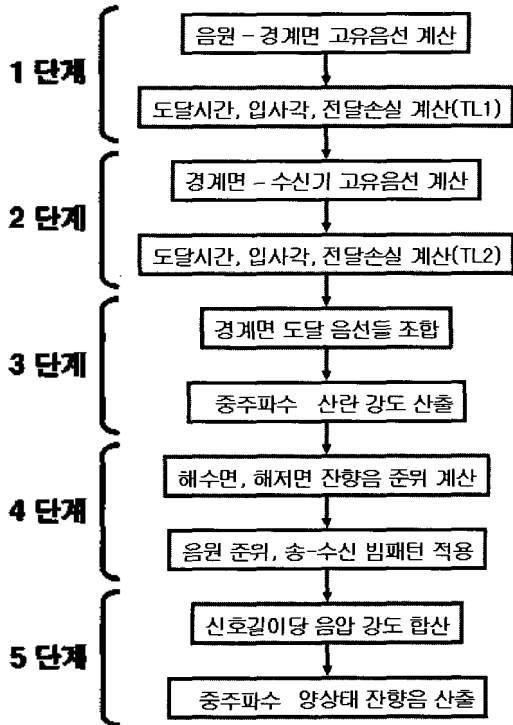


그림 4. 중주파수 양상태 잔향음 모델 흐름도
Fig. 4. Processing flow of Mid frequency bistatic reverberation model.

만약 음원이 전방 지향 송신기 (forward-directional transmitter)일 경우 그림 5.의 제 3 영역에 대한 잔향음 준위를 산출하며, 무지향 송신기 (omni-directional transmitter)일 경우에는 제 1 영역과 제 3 영역에 대해 잔향음 준위를 계산한다. 또한 직접 차폐 효과를 고려하기 위해 제 2 영역에서는 반사만을 고려한 음압 준위를 산출한다.

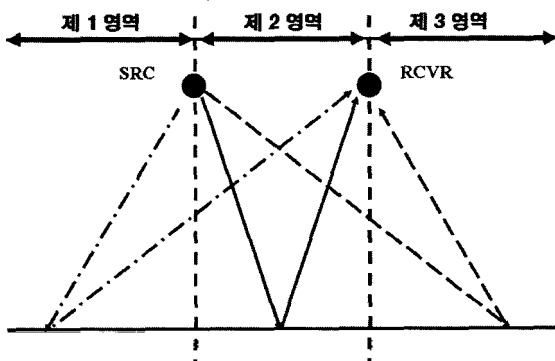


그림 5. 양상태 잔향음 개념도
Fig. 5. Schematic of bistatic reverberation.

IV. 해상 실험 및 잔향음 모델 알고리즘 검증 결과

2005년 10월 동해에서 양상태 잔향음 모델 검증을 위한 해상 실험을 수행하였다. 잔향음 신호 획득을 위해 2척의 실험선과 예인형 음원 그리고 예인형 수평 선배열 수신기를 사용해 양상태 소나 시스템을 구축하였다. 2척의 실험선은 근거리를 유지하며 거리 독립해양 환경에서 잔향음 신호를 획득하였다. 사용된 송신 신호는 정현파 신호 (CW signal)와 주파수 변조 신호 (LFM signal)가 사용되었다. 본 연구에서는 정현파 신호를 사용해 제안된 양상태 잔향음 알고리즘을 검증하였다. 분석된 신호의 신호길이는 0.5초이며, 주파수는 1.2 kHz이다. 음원과 수신기는 모두 100m 부근 수심에서 운용되었으며, 음원과 수신기 사이의 수평 거리는 2 km 이내로 유지하였다. 이때 음원과 수신기는 약 4 knots의 속도로 예인하였다.

실험 해역의 평균 수심은 약 1340 m 이다. 음속 구조 변동 특성 파악을 위해 4 정점에서 XBT를 사용해 수온 구조를 관측하였고 본 논문에서는 Time: 1551에 획득한 수온 자료의 데이터 오류로 인해 3 정점에 대한 XBT 자료만을 표시하였다 (그림. 6). 수온구조 분석 결과 혼합층과 수온약층 이후 수온구조는 유사하나, 수심 약 100 m 부근에서 형성된 수온약층의 수심에 따른 수온 변화율이 큰 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 과거 관측된 수온 자료의 평균 수온 분포도에서도 관찰할 수 있는 실험해역의 해양학적 특징이다.

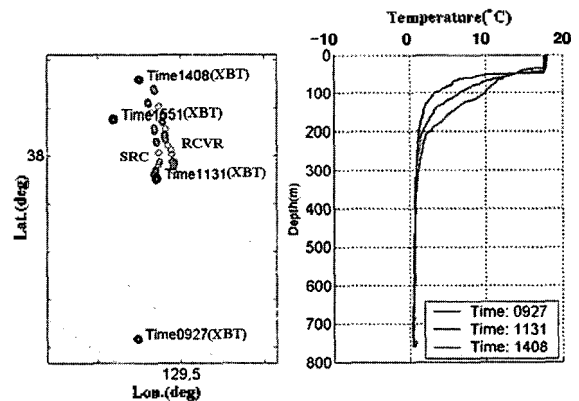


그림 6. 실험 해역 및 수온 구조
Fig. 6. Location of the East Sea experimental site and temperature profiles.

해상실험에서 획득된 잔향음 신호 모의를 위한 모델 입력 파라미터는 표 1.에 나타내었다. 퇴적층의 지음향

표 1. 양상태 잔향음 모델 입력 파라미터

Table 1. Model input parameters for bistatic reverberation.

	Value
Source depth	70 m
Receiver depth	90 m
S R range	1000 m
Water depth	1400 m
Mean grain size	8 phi.
Wave height	3m

특성은 한국지질자원연구원에서 관측한 자료를 내삽해 사용하며, 이때 사용된 퇴적층의 평균 입도는 8.0 phi.로 이는 Silty Clay에 해당한다.

모의된 잔향음 준위와 실험에서 획득된 잔향음 준위의 비교 결과는 그림 7.에 나타내었다. 잔향음 모의시 해수면 부근 공기방울에 대한 영향은 고려하지 않았으며, 음원과 수신기 및 경계면에 의한 도플러 영향도 고려하지 않았다. 또한 수신기의 정확한 수신 감도를 알 수 없었기 때문에 잔향음 준위는 정규화(normalize)하여 비교하였다. 분석 결과 시간에 따른 상대 잔향음 준위가 비교적 일치함을 알 수 있으며, 첨점(peak)들의 위치가 매우 유사함을 알 수 있다. 1초 부근 신호는 경계면 반사 신호이며, 이때 나타난 잔향음 준위 차이는 반사 신호의 준위가 수신 시스템에 설정된 허용 준위 보다 높아 수신 신호가 클리핑(clipping) 되었기 때문으로 판단된다.

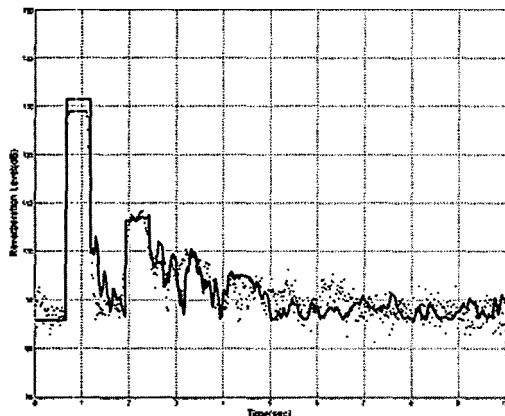


그림 7. 양상태 잔향음 준위 비교 (실선: 시뮬레이션, 점: 관측신호)
Fig. 7. Comparisons of bistatic reverberation level (Solid line: simulation, dots: measured data.)

V. 결론 및 토의

양상태 잔향음 모델은 양상태와 다중상태 소나 시스템의 설계 및 성능 평가뿐만 아니라, 수중 통신 채널 분석

에 중요한 자료를 제공한다. 본 논문에서는 음선이론 모델과 중주파수 산란 모델을 사용한 양상태 잔향음 준위 산출 알고리즘을 제안하고, 해상 실험 자료를 사용해 제안된 알고리즘을 검증한다. 중주파수 산란 모델은 실험에 근거한 저주파 단상태 산란 모델(Chapman - Harris 해수면 산란 모델, Mackenzie 해저면 산란 모델)과 이론식에 근거를 둔 고주파 산란 모델(APL-UW 해수면/해저면 산란 모델)을 주파수에 따라 내삽해 단상태 산란 강도를 산출하며, 양상태 정리를 사용해 단상태 산란 강도를 양상태 산란 강도로 확장한다. 모의된 양상태 잔향음 준위와 동해 수심 약 1340 m 부근 해역에서 획득된 근거리 양상태 잔향음 신호와의 비교 분석 결과 시간에 따른 상대 잔향음 준위가 비교적 일치함을 알 수 있다. 따라서 제안된 잔향음 모델 알고리즘이 양상태 잔향음 특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. 또한 첨점(peak)들의 위치가 매우 유사함을 알 수 있는데, 이는 양상태 소나 시스템 운용시 표적과 잔향음을 분별하는데 유용한 자료를 제공할 것으로 판단 된다.

차후 양상태 잔향음 모델 연구를 위해서는 3차원 산란 모델과 해수면 부근 공기방울에 대한 연구가 요구된다. 그 동안 발표된 연구 결과에 따르면 양상태 해수면과 해저면 산란특성은 경계면의 거칠기와 형태에 따라 방위각에 따른 산란 특성이 크게 변화하는 것을 알 수 있다 [16]. 또한 해수면 부근 공기방울의 영향은 흡수와 산란 및 음속의 변화로 나타나며, 고주파수일 경우 산란의 영향이 증가하고, 저주파수일 경우 흡수와 음속 변화의 영향이 증가하게 된다. 이와 같은 연구는 고주파수와 저주파수에 대한 연구이며 아직 중주파수에 대한 연구는 진행 중에 있다. 따라서 저주파수, 중주파수 및 고주파수 산란 특성이 신호 미치는 영향에 대한 상호 비교 연구와 지속적인 해상실험을 통한 모델 알고리즘 검증 및 보완 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 해상실험 및 자료 획득에 도움을 주신 국방과학연구소 (제2체계) 여러분들께 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. J. R. Preston, "Inversion of reverberation data for rapid environmental assessment," J. Acoust. Soc. Am., 107, 2772~2772, 2002.
2. J. Zhou and X. Zhang, "Sea bottom geoacoustic inversion from reverberation vertical coherence in shallow water," J. Acoust. Soc. Am., 113, 2204~2204, 2003.
3. 박갈선, 나정열, 최지웅, 오선택, 박정수, "천해에서의 저주파 잔향음 분석," 한국음향학회지, 20(4) 94~100, 2001.
4. 최지웅, 윤관섭, 나정열, 박정수, 나영남, "천해 고주파 잔향음 예측 모델," 한국음향학회지, 21(8) 671~678, 2002.
5. 김남수, 오선택, 나정열, "천해 저주파 잔향음 예측 모델," 한국음향학회지, 21(8) 679~685, 2002.
6. 박경주, 김은혜, 강돈희, 나정열, "천해 채적 산란강도의 수직분포 변동성," 한국음향학회지, 22(1) 69~77, 2003.
7. 김형수, 최지웅, 나정열, 석동우, "퇴적층 구성 매질 및 표면 형태에 따른 후방산란 강도 측정," 한국음향학회지, 22(1) 78~87, 2003.
8. 오택환, 나정열, 조홍상, 박상현, 김기택, 이원병, 주종민, "다중상태 소나 신호 모의 및 탐지 성능 평가," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 24(2) 39~42, 2005.
9. 김남수, 오선택, 윤관섭, 이성욱, 나정열, "천해 저주파 양상태 잔향음 모델," 한국음향학회지, 22(6) 472~481, 2003.
10. 오선택, 윤관섭, 오택환, 나정열, 한상규, "정상모드를 이용한 거리중속 양상태 잔향음 모델," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 23(2) 411~414, 2004.
11. 윤관섭, "고주파 양상태 잔향 모델," 한양대학교 박사학위 논문, 2006.
12. H. Weinberg and R. Keenan, "Gaussian ray bundles for modeling high frequency propagation loss under shallow-water conditions," J. Acoust. Soc. Am., 100(3) 1421~1431, 1996.
13. R. P. Chapman and J. H. Harris, "Surface backscattering strengths measured with explosive charges," J. Acoust. Soc. Am., 34, 1592~1597, 1962.
14. K. V. Mackenzie, "Bottom reverberation for 530 and 1030 cps sound in deep water," J. Acoust. Soc. Am., 33, 1498~1504, 1961.
15. 국방과학연구소 기술보고서, "다중상태소나 탐지환경모델 연구," 국방과학연구소, 2006.
16. Hongsang Cho, Hyongsul La, Kwan-seob Yoon, Jungvul Na, Bong chae Kim, "High-Frequency Bistatic Scattering from a Corrugated Sediment Surface," J. Acoust. Soc. Kor, 25(2E) 60~68, 2006.

• 라형술 (Hyongsul La)



2002년 2월 : 한양대학교 지구해양과학과(이화사)
 2003년 3월 ~ 2005년 2월 : 한양대학교
 지구해양과학과 대학원 (이화석사)
 2005년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 해양환경학과
 대학원 (박사과정)

• 나정열 (Jungvul Na)



한국음향학회지 제21권 8호 참조

• 박치형 (Chihyung Park)



2005년 2월 : 한양대학교 원자력공학과 (공학사)
 2006년 2월 ~ 현재 : 한양대학교 해양환경학과 대학원
 (석사과정)

저자 약력

• 오택환 (Taekwan Oh)



2000년 2월 : 한양대학교 지구해양과학과(이화사)
 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 한양대학교
 지구해양과학과 대학원 (이화석사)
 2006년 2월 : 한양대학교 해양환경학과 박사
 2006년 10월 : 넥스원퓨처리 수중연구소 선임연구원