한국음향학회지 제20권 제4호 pp. 94~100 (2001)

천해에서의 저주파 잔향음 분석

Analysis of Low-frequency Reverberation Inshallow Water

박 길 선*, 나 정 열**, 최 지 웅**, 오 선 택**, 박 정 수***
(Kilsun Park*, Jungyul Na**, Jee Woong Choi**, Suntaek Oh**, Joung-Soo Park***)

*해군해양전술정보단, **한양대학교 지구해양과학과 해양음향연구실, ***국방과학연구소

(접수일자: 2001년 2월 1일; 수정일자: 2001년 4월 2일; 채택일자: 2001년 5월 3일)

수중 폭발성 음원 (SUS: Signals underwater sound)을 이용한 천해 저주파 잔향음 실험을 97년 제주 해역에서 실시하였다. 고유음선 정보에 경계면 반사손실을 보정하여 유효 고유음선을 구하였다. 이것을 기준으로 측정된 신호를 시간영역에서 잡음, 반사, 산란 영역으로 구분하고 각 영역에 대해서 스펙트럼 분석을 실시하였으며 각 영역이 갖는 확률적 특성을 분석하였다. 실험해역은 안정된 해저 형태를 갖는 천해였으므로 산란 신호는 일정한 크기를 갖고 지속적으로 수신되었다. 스펙트럼 분석을 통하여 각 영역별 분포하는 주파수 대역을 확인하였다. 또한 구분된 각 영역에 대해 확률 특성을 분석한 결과 주파수영역의 실수부와 허수부는 각각 정규 분포를 보였으며 그것의 진폭 (envelope)은 레일리 분포를 나타냈다. 또한 산란신호의 위상은 유니폼 분포 특성을 나타내어 잔향음의 확률 분포 특성을 잘 반영하고 있었다.

핵심용어: 천해, 저주파 잔향음, 수중 폭발성 음원, 산란영역, 스펙트럼, 통계적 특성
투고분야: 수중음향 분야 (5.2)

In October 1997, low-frequency reverberation was measured at an experimental site off the west coast of the Jeju island using the explosive charge, Signals Underwater Sound (SUS). Received signals were separated into the noise, the reflection, and the scattering region, and then were analyzed for the spectral and statistical characteristics of each region. In the analysis of the spectrum, we verified that each region had a unique frequency band and statistical characteristics as well. The results of this analysis showed that the real and imaginary portions were shown to be both normal distributions in each frequency bin. The reverberation envelope had a Rayleigh distribution and the phase had a uniform distribution.

Keywords: *Shallow water, Low-frequency reverberation, Signals underwater sound, Scattering region, Spectrum, Statistical characteristics*
ASK subject classification: *Underwater acoustics (5.2)*

I. 서 론

잔향음은 발생 원인에 따라 해수면, 체적, 해저면 잔향음으로 구분할 수 있으며, 이 중에서 해저면 잔향음을 생성하는 요소로는 해저 경계면 거칠기와 하부 퇴적층의 비균질성으로 크게 구분된다[1]. 잔향음 발생에 대한 두 요소의 기여도는 퇴적물의 종류와 주파수에 영향을 받게 되며 특히 고주파의 경우 사질 (sand)로 구성된 퇴적물에서는 경계면 거칠기의 영향을 많이 받으며, 실트 (silt)로 구성된 퇴적물에서는 퇴적물 체적의 영향을 많이 받게 된다[2].

해저면 산란을 예측하는 모델로는 Lambert's law[3]를 사용하였으나, 이 모델은 해저면 상태와 비균질성에 따른 산란은 고려하지 못하는 단점이 있다. 따라서 음파의 파장에 비해 rms 경계면 파고가 훨씬 작은 경우에

책임저자: 박길선 (parkkilsun@hanmail.net)
645-016 경남 진해시 현동 사서함 16호
해군해양전술정보단
(전화: 055-549-6922)

Rayleigh-Rice approximation이[4] 사용되며, 음파의 파장보다 훨씬 큰 경우에는 Kirchhoff approximation이 사용된다[5]. 이 두 모델의 단점을 극복하기 위해서 경계면을 크고 작은 규모의 거칠기가 합쳐진 형태로 간주하여 Rayleigh-Rice approximation과 Kirchhoff approximation을 결합한 composite roughness model이 제시되었다[6]. McDaniel과 Gorman은 해수면 산란을 예측코자 공기방울에 의한 산란 효과와 결합된 composite roughness 모델을 제시하였으며[7], Jackson 등은 composite roughness 모델에 해저면 체적 산란을 결합한 해저면 산란 모델을 개발하였다[8]. 국내에서는 Choi 등이 해저면 거칠기 변화에 따른 3차원 산란 패턴을 측정하여 Jackson 모델과 비교한 바 있다[9]. 그러나 이러한 연구들은 고주파 산란에 관한 것으로서, 저주파 산란에 관한 연구는 상대적으로 부족하였다. 최근 Ogden과 Erskine이 수중 폭발성 음원을 이용하여 저주파 산란에 관해 다수의 연구를 실시하였으나, 이 연구들 또한 단상태 산란 강도 측정 위주의 연구들로 국한되었다[10,11]. Muggleworth는 수중 폭발성 음원을 이용하여 저주파 양상태 산란 연구를 실시하였으나, 반사파와 산란파에 대한 구분 없이, 신호의 전대역을 산란 영역으로 간주하여 분석을 실시하였으므로 반사 특성을 제외한 산란 특성만을 파악하지는 못하였다[12].

경계면에 음파가 입사하게 되면 반사파와 각기 다른 방향과 크기를 갖는 많은 산란파들이 생성되며 이때 반사파와 산란파의 강도 및 방향성은 경계면의 종류와 거칠기 등에 영향을 받는다 (그림 1). 반사와 산란은 생성 기작이 다르고 특성 또한 다르므로 순수한 산란파에 대한 특성 분석이 필요하며, 이것은 천해 저주파 잔향음 예측과 소오나 운용에 보다 본질적인 도움이 될 수 있다.

그러나 기존의 천해 저주파 잔향음 분석은 잔향음을 반사영역과 산란영역의 구분 없이 전체 잔향음에 대한 통계적 분석만이 수행되었다. 본 논문에서는 수신된 신호에서 반사파와 산란파를 구분하기 위해 거리종속 모델[13]을 통해 구한 고유음선 (eigenray) 정보를 기준으로 신호를 잡음 영역과 반사영역, 산란영역으로 구분하였다. 또한 빔 형성 기법을 통해 영역 구분의 타당성을 확인하였으며, 구분된 각 영역에 대해서 스펙트럼 분석과 통계적 분석을 실시하여 천해에서의 저주파 잔향음 특성을 분석하였다.

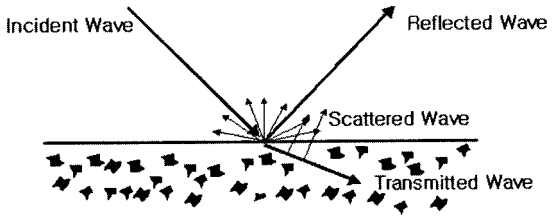

그림 1. 반사파와 산란파의 정의
Fig. 1. Definition of reflection and scattering.

II. 실험 개요

1997년 10월 제주 해역에서 수중 폭발성 음원 (SUS MK64)과 수직선배열 (VLA)을 이용하여 천해 저주파 양상태 잔향음 실험을 실시하였다 (그림 2). 실험 해역은 수심 약 90m의 해역으로 지형적인 큰 변화가 없고 표층 퇴적물은 사니질 (muddy sand)이 광범위하게 분포되어 있는 해역이다. 음원으로는 총 8개의 SUS를 천해모드로 설정하여 60ft (50-70ft)에서 폭발하도록 하였으며, 수신기로는 총 9개의 수직 선배열 (vertical line array)을 수심 33m부터 각 5m간격으로 배치하였다. 실험 해역의 수온 자료는 XBT를 사용하여 측정하였다 (그림 3). 이러한 음속 구조에서는 음선이 해저면을 향해 굴절되어 강한 해저

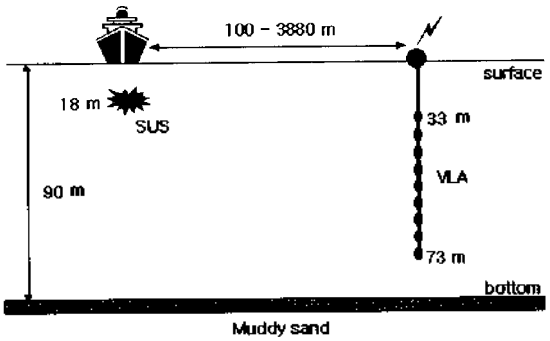

그림 2. 실험 모식도
Fig. 2. Geometry of the experiment.

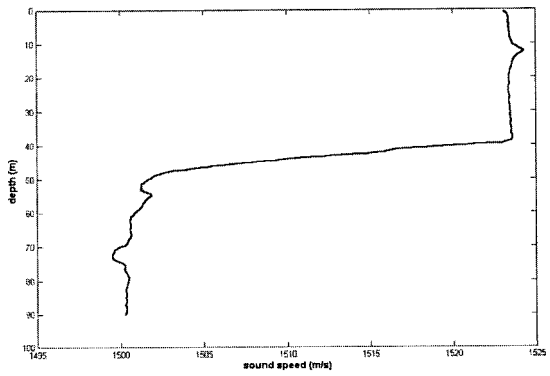

그림 3. 음원 근처 음속 구조
Fig. 3. Sound speed profile near the source.

면 잔향음을 유발하며, 해수면 잔향음 효과는 상대적으로 줄어들게 된다[12]. 본 논문에서 분석된 자료는 수신기로부터 100m, 300m, 820m, 3880m 거리에서 폭발된 실험 자료가 사용되었으며, 특히 거리 3880m, 수심 33m에 위치한 수신기에서 획득된 자료를 중심으로 분석하였다.

III. 자료 분석

반사파와 산란파의 구분이 없이 전체적인 특성만을 고려하는 기존 천해 저주파 잔향음 분석 방법과는 달리 반사파가 지배적인 영역과 산란파가 지배적인 영역을 구분하여 특성을 파악하는 새로운 개념으로 잔향음 특성을 분석하였다. 그림 4는 잔향음 신호 분석 흐름도이다.

거리종속 모델을 통해 계산된 고유음선은 약 2.6초 동안 수신되었으며 직접파는 존재하지 않고 각각의 고유음선은 2 -75회의 경계면 반사가 일어남을 확인하였다. 이 고유음선 수신시간 내에서 음원의 특성에 의한 충격파와 기포파의 발생 시간차는 아주 적게 되고 특히 천해의 경우 기포파의 영향은 상대적으로 아주 적으므로 충격파와 기포파를 구분한다는 것은 의미가 없으며, 오히려 정확한 의미의 반사 영역과 산란 영역을 구분하는 것이 중요하다. 따라서 모델을 통해 구한 각각의 고유음선에 대해서 해저면 손실을 보정하였으며, 보정된 고유음선의 준위가 잡음 준위까지 감소되는 시간까지의 음선을 유효 고유음선으로 간주하였다 (그림 5). 고유음선은 음파가 굴절과 반사에 의해 수신기에 들어오는 것을 나타내는 것이므로 유효 고유음선이 존재하는 구간은 반사파가 지배적으로 존재하는 구간이 된다. 따라서 이 구간을 반사영역으로 구분하였으며 그 이후 구간을 산란영역으로 구분하였다. 결국 수신 신호는 최초 반사신호가 수신되기 직전까지의 잡음영역 (N)과 반사영역 (R), 산란영역 (S)으로 구분 가능하며 구분된 각 영역에 대해 분석을 실시하였다 (그림 6).

실제로 구분된 영역에서 반사와 산란 성분들이 지배적으로 존재하고 있는지를 확인하기 위해 빔 형성 기법을 적용하여 수신각에 따른 신호의 각 영역 수신준위를 비교하였다 (그림 7). 사용된 빔 형성 기법은 지연-합 빔 형성 기법을 사용하였다[14]. 이 기법은 각 센서의 수신 신호에 수신각 별 시간지연 ($k_m \tau$)과 가중치 (a_m)를 적용한 후 합하는 방법으로 비교적 간단한 알고리즘으로 빔 형성을 할 수 있는 장점이 있다. 분석 결과, 반사 영역의 신호

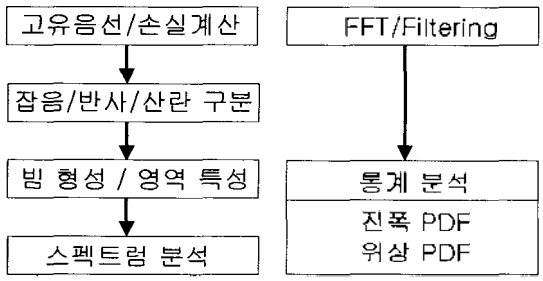

그림 4. 신호 분석 흐름도
Fig. 4. Signal analysis flowchart.

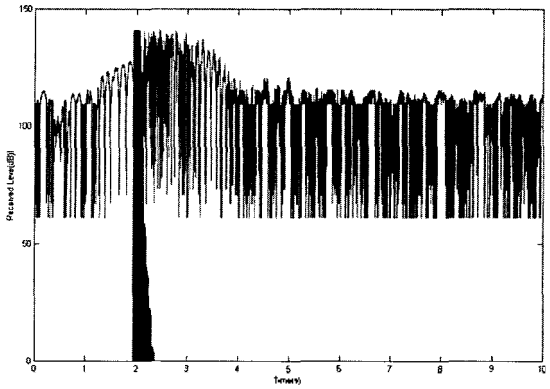

그림 5. 수신신호와 보정된 고유음선
Fig. 5. Received signal and corrected eigenray.

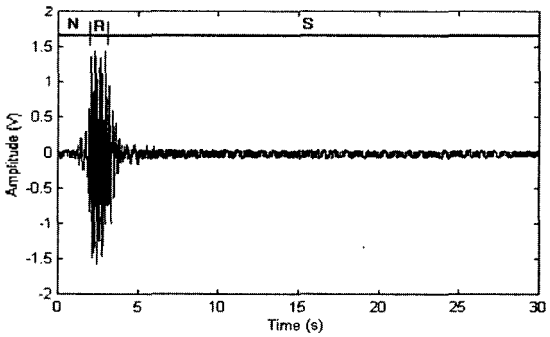

그림 6. 각 영역의 구분
Fig. 6. Separation of each region.

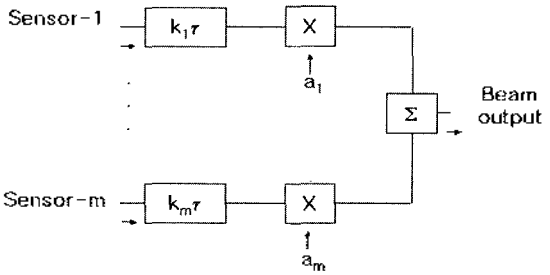

그림 7. 시간영역 지연-합 빔 형성기
Fig. 7. Time-domain-delay-sum beamformer.

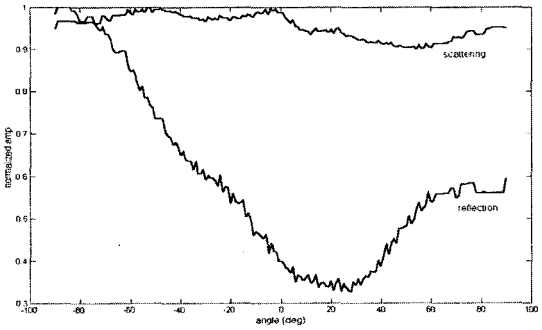

그림 8. 수신각에 따른 준위 비교
Fig. 8. Comparison of the amplitude for received angle.

준위는 경계면을 (+:해수면,-:해저면) 향하여 지향성을 갖으며 특히 해저면 방향으로 강한 지향성을 보이고 있다. 반대로 산란 영역은 특정 방향에 대한 지향성 없이 전 수신각에서 수신되고 있음을 알 수 있다 (그림 8). 이러한 결과는 경계면 반사 후 수신되는 반사파와 전 방향에서 복잡하게 수신되는 산란파의 특성을 각 영역이 잘 반영하고 있는 것으로서 영역 구분의 타당성을 확인할 수 있게 한다.

사용된 음원은 무지향성 광대역 (10Hz -20kHz) 신호이므로 수신신호의 시간에 따른 주파수 성분 분포를 파악하기 위하여 전 영역에 대해서 스펙트로그램 (spectrogram)을 구하였다 (그림 9).

반사영역에서는 광범위한 주파수 대역이 분포하며 이것은 산란파보다 짧은 경로, 고주파 성분의 적은 손실, 광범위한 주파수 성분을 갖는 음원 신호 자체의 변형이 적었다는 것을 의미한다. 반면 산란영역에서는 고주파 성분의 급격한 감소가 일어나고 약 300Hz이하의 주파수 성분이 지속적으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 결국, 반사파는 일정 시간 내에 급격한 감소를 나타내는 반면 산란파는 안정적으로 오랫동안 지속되며 이러한 산란파의 지속은 측방 (out-of-plane)산란을 포함한 3차원 잔향음이 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다.

소오나를 운용시 발생하는 탐지거리 제한환경으로는 주변소음 제한환경과 잔향음 제한환경으로 구분할 수 있으며[1], 앞에서 분석한 스펙트로그램을 통해 잔향음 제한환경에서 우세하게 작용할 수 있는 주파수 대역은 약 300Hz이하의 성분들임을 확인할 수 있다.

천해에서의 저주파 신호는 해저면 퇴적층의 영향을 많이 받게 된다. 특히 ground wave는 해저면을 투과한 후 해수에 비해 음속이 빠른 퇴적층을 통하여 전파되므로 해수층을 통해 전달된 신호보다 먼저 수신된다. Waveguide에서 음압 신호 (pressure signal)가 전파될 때 waveguide의 기하학적, 물리적 특성에 의해서 신호의 주파수 성분들이 서로 다른 속도로 전파되는 분산 (dispersion)현상이 나타나며 이러한 분산현상에는 위상속도 (phase velocity)

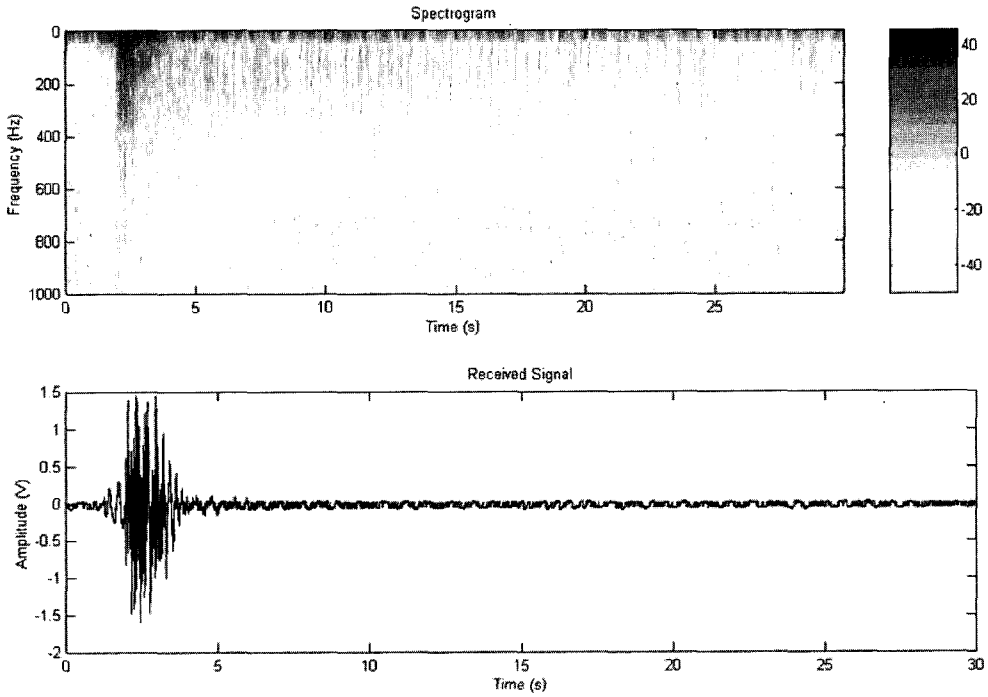

그림 9. 신호의 스펙트로그램 (3880m)
Fig. 9. Spectrogram of the signal (3880m).

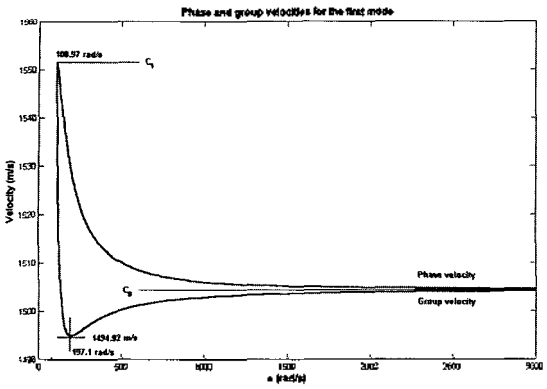

그림 10. 첫 번째 모드의 위상속도와 군속도
Fig. 10. Phase and group velocities for the first mode.

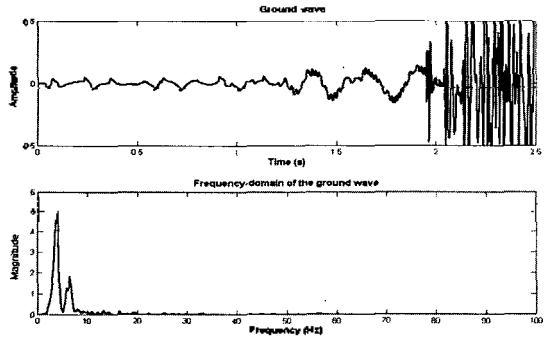

그림 11. 해저면 굴절파와 주파수 성분
Fig. 11. Ground wave and magnitude in the frequency-domain.

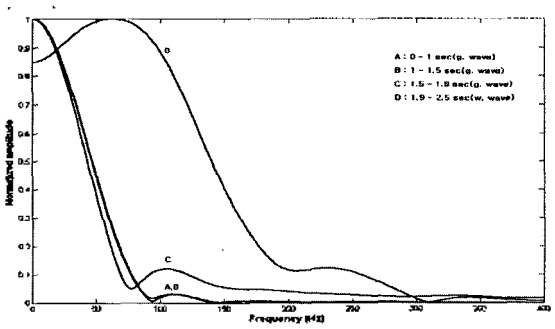

그림 12. 구간별 스펙트럼
Fig. 12. Spectrum of each time-segment.

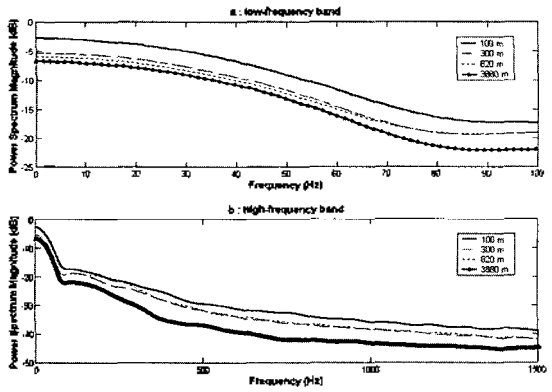

그림 13. 거리에 따른 산란영역의 PSD
Fig. 13. Power spectral density of the scattering region with respect to range.

와 군속도 (group velocity)가 있다[15]. 위상속도는 일정한 위상 표면 (constant phase surface)이 주어진 방향으로 움직일 때의 속도를 나타내고, 군속도는 waveguide에서 에너지가 전파될 때의 속도를 나타내는 것으로서 에너지 전파율을 측정한다. 따라서 위상속도와 군속도를 구하여 ground wave의 주파수 성분을 확인했다.

그림 10은 첫번째 모드에 대한 위상속도와 군속도를 보여주고 있다. 군속도의 최소값을 Airy phase라 하고 이것을 기준으로 그 이상의 주파수 성분은 주파수의 증가에 따라 해수에서의 음속에 접근하게 된다. 반대로 그 이하의 주파수 성분은 급격히 속도가 증가하여 퇴적층에서의 음속에 접근하게 되며, 최소 주파수는 waveguide에서 통과할 수 있는 주파수 성분의 경계 (cutoff-frequency)가 된다. 결국 수신된 신호는 퇴적층을 통해 가장 빨리 전달되는 ground wave와 water wave, Airy phase 순으로 수신되게 된다.

그림 11은 수신된 신호의 ground wave 부분과 주파수 성분을 보여주고 있다. 계산된 cutoff-frequency는 약 17Hz이므로 이론적으로 이 주파수 이하의 주파수 성분은 waveguide에서는 전파될 수 없다. ground wave로 설정된 구역의 주파수는 4Hz와 7Hz 대역으로 이 영역이 ground wave임을 확인할 수 있다.

그림 11에서 0 - 1sec까지를 영역 A, 1 - 1.5sec를 영역 B, 1.5 - 1.9sec를 영역 C로 구분하였으며 1.9 - 2.5sec를 영역 D로 구분하였다. 영역 A,B,C는 ground wave 부분이므로 저주파일수록 강한 에너지 분포를 나타내고 있으며 영역 D는 반사영역으로서 50 - 80Hz에서 가장 큰 에너지 분포를 보임으로써 ground wave와는 차이를 나타내고 있다 (그림 12).

거리에 따른 산란영역의 스펙트럼 특성을 살펴보기 위해 다른 거리에서 폭발된 신호의 산란영역 PSD를 비교하였다 (그림 13). 음원과 수신기간의 거리가 증가함에 따라 스펙트럼 준위가 감소하고 있으며 100Hz이하의 주파수 성분들은 각각의 분포 양상이 매우 안정적이며 준위의 차가 크지 않다 (그림 13a). 그러나 주파수와 거리가 증가할수록 스펙트럼 준위가 급격히 감소하는 경향을 나타내며 이것은 고주파 성분들이 거리의 증가에 따른 손실 영향을 많이 받는다는 것을 의미한다 (그림 13b).

천해에서 수중 폭발성 음원에 의해 발생된 잔향음 후미 (reverberation tail)는 수신기와 음원의 거리가 멀어질수록 준위가 낮아지고 짧아지게 된다. 그러나 각각의 신호를 거리차만큼 시간 이동시키면 잔향음 후미의 준위는 서로 같아지는 경향을 나타내게 되며, 따라서 양상태 잔

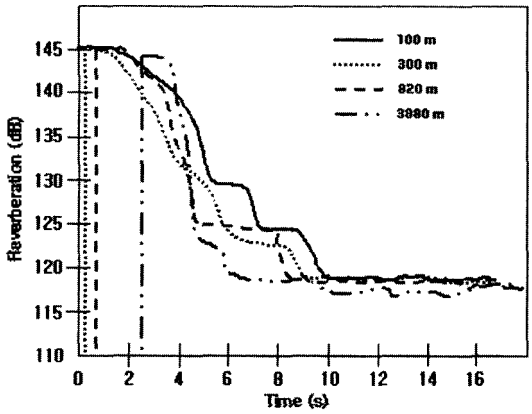

그림 14. 전달 시간에 의한 잔향음 후미의 시간 이동
Fig. 14. Reverberation tails are displaced in time by the estimated travel time

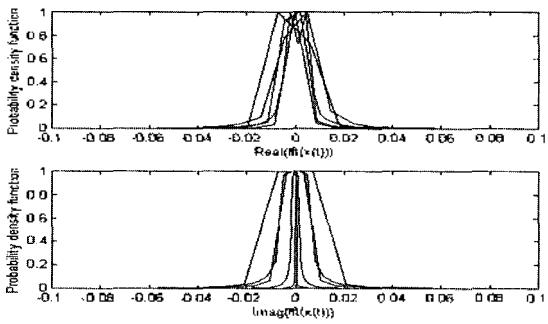

그림 15. 산란영역의 확률밀도 함수
Fig. 15. Probability density function of scattering region.

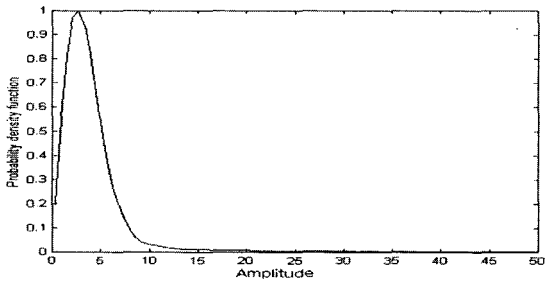

그림 16. 잔향음 진폭의 확률밀도 함수
Fig. 16. Probability density function of reverberation envelope.

향음 준위는 음원의 폭발 후 같은 시간 간격에서의 단상태 잔향음 준위와 같아지게 된다[16]. 그림 14는 거리에 따른 시간차를 고려하여 시간 이동시킨 잔향음의 진폭(envelope)이다. 시간 보상 후 잔향음 후미의 준위가 거의 같아짐을 알 수 있다.

잔향음의 통계적 특성을 구하는 것은 기본적인 특성에 접근하는 한 방법이며, 소오나 시스템 모델을 구성하는데 중요한 자료가 된다. 잔향음은 통계적으로 산란체의 수가 증가하게 되면 정규 분포를 갖게 된다는 중점제한정

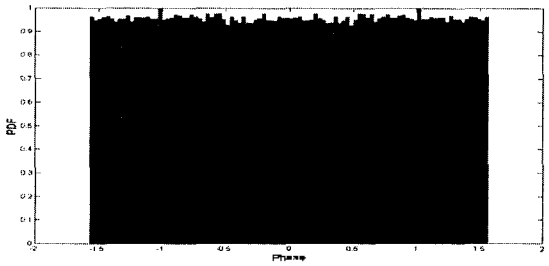

그림 17. 잔향음 위상의 확률밀도 함수
Fig. 17. Probability density function of reverberation phase

리 (central limit theorem)를 만족하게 된다. 따라서 산란신호 진폭의 결합 확률 밀도 함수는 레일리 (Rayleigh) 분포를 따르며 위상은 유니폼 (uniform) 분포를 따른다고 알려져 있다[17,18]. 이러한 잔향음의 확률적 특성과 비교하기 위해 먼저 산란영역을 1/3 옥타브 밴드로 필터링한 후 FFT (fast Fourier transforms)를 하고 실수부와 허수부의 확률밀도 함수를 구하였다. 각 주파수 밴드별 잔향음의 실수부와 허수부 모두 정규 분포를 보이고 있다 (그림 15). 또한 진폭에 대한 확률밀도 함수는 레일리 분포를 잘 따르고 있으며, 위상의 확률 밀도는 유니폼 분포를 따르고 있다 (그림 16,17).

IV. 결론

천해에서의 저주파 잔향음 특성을 파악하기 위해 수중폭발성 음원을 이용한 실험 자료를 분석하였다. 고유음선 정보에 경계면 반사 손실을 보정하여 유효 고유음선을 구한 후 이것을 기준으로 반사영역과 산란영역으로 구분하였다. 빔 형성기법을 통하여 반사영역은 해저면과 해수면쪽으로 강한 지향성을 나타낸 반면 산란영역은 전 방향에서 수신됨을 확인할 수 있었다. 산란영역의 스펙트럼 분석 결과, 300Hz이하의 주파수 성분이 전 수신시간에 지속적으로 영향을 미치고 있었으며, 약 100Hz를 경계로 거리별 스펙트럼 차이를 확인할 수 있었다. 또한 거리별로 수신된 잔향음 신호 후미를 거리차 만큼 시간 보상 시킨 결과, 잔향음 후미의 준위가 거의 같아짐을 확인할 수 있었다. 잔향음의 통계적 특성을 분석한 결과, 잔향음의 진폭은 레일리 분포를, 위상은 유니폼 분포를 따르고 있어 기존 잔향음의 통계적 특성을 잘 반영하고 있다.

본 논문에서는 잔향음을 반사영역과 산란영역으로 세분하여 각각의 특성을 파악하는 새로운 잔향음 특성 분석

방법을 제시하였다. 각 영역의 특성 분석결과 영역구분을 하지 않던 기존 분석 방법보다는 새로운 방법이 잔향음 특성을 더욱 잘 반영함을 확인할 수 있었다.

천해에서의 저주파 신호는 해저면의 구성물질과 구조 등의 해저면 영향을 많이 받게 되므로 지음향 파라메터에 대한 분석이 병행되어야 한다. 또한 폭발성 음원은 정확한 음원 정보를 얻기 힘든 단점이 있으므로 정확한 잔향음 특성을 파악하기 위해서는 정확한 음원 정보 및 통제 가능한 음원을 이용한 저주파 잔향음 측정이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 수중음향특화연구센터의 연구 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. R. J. Urick, Principles of Underwater Sound, 3rd ed., New York, McGraw-Hill, 1983.
2. D. R. Jackson and K. B. Briggs, "High-frequency bottom backscattering : Roughness versus sediment volume scattering," J. Acoust. Soc. Am., Vol. **92**(2), pp. 962-977, 1992.
3. K. V. Mackenzie, "Bottom reverberation for 530 and 1030 cps sound in deep water," J. Acoust. Soc. Am., Vol. **33**, pp. 1498-1504, 1961
4. E. I. Thorsos and D.R. Jackson, "The validity of the perturbation approximation for rough surface scattering using a Gaussian roughness spectrum," J. Acoust. Soc. Am., Vol. **86**, pp. 261-277, 1989.
5. E. I. Thorsos, "The validity of the Kirchhoff approximation for rough surface scattering using a Gaussian roughness spectrum," J. Acoust. Soc. Am., Vol. **83**, pp. 78-92, 1988.
6. B. F. Kuryanov, "The scattering of sound at a rough surface with two types of irregularity," Soc. Phys. Acoust., **8**, pp. 252-257, 1963.
7. S. T. McDaniel and A.D. Gorman, "An examination of the composite roughness scattering model," J. Acoust. Soc. Am., Vol. **73**, pp. 1476-1486, 1983.
8. 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).
9. J. W. Choi, J. Na and W. Seong, "240-kHz bistatic bottom scattering measurements in shallow-water," IEEE J. OCEAN Eng. 2001. 1. (In press).
10. P. M. Ogden and F. T. Erskine, "Low-frequency surface and bottom scattering strengths measured using SUS charges," in Ocean Reverberation, D. Ellis, J. Preston, and H. Urban, eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.
11. P. M. Ogden and F. T. Erskine, "Surface and volume scattering measurements using broadband explosive charges in the Critical Sea Test 7 Experiment," J. Acoust. Soc. Am., Vol. **96**, pp.2908-2920, 1994.
12. C. E. Muggleworth, Shallow water reverberation measurement and prediction, Master's thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California, 1994.
13. J. B. Bowlin, J. L. Spiesberger, T. F. Duda, and L. F. Freitag, Ocean Acoustical Ray-Tracing Software RAY, Tech. Rep. WHOI-93-10, Wood Hole Oceanographic Institution, Wood Hole, Mess., 49p, 1992.
14. R. O. Nielson, Sonar Signal Processing, Artech House, 1991.
15. H. Medwin and C.S. Clay, Fundamentals of Acoustical Oceanography, Academic Press, 1998.
16. R. J. Urick, "Reverberation-derived scattering strength of the shallow sea bed," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 48, pp. 392-397, 1970.
17. A. Ishimaru, wave propagation and scattering in random media, IEEE Press, New York, 1997.
18. V. V. OlShevskii, Characteristics of sea reverberation, CONSULTANTS BUREAU, New York, 1967.

저자 약력

● 박 길 선 (Kilsun Park)

1992년 3월~1996년 3월: 해군사관학교 해양학과 (이학사)
1999년 3월~2001년 2월: 한양대학교 대학원 지구해양과학과(이학석사)
2001년 1월~현재: 해군해양전술정보단

● 나 정 열 (Jungyul Na)
한국음향학회지 제8권 6호 참조

● 최 지 웅 (Jee Woong Choi)
한국음향학회지 제19권 2호 참조

● 오 선 택 (Suntaek Oh)
1992년 2월: 한양대학교 지구해양과학과(이학사)
1995년 2월: 한양대학교 대학원 지구해양과학(이학석사)
1999년 3월~현재: 한양대학교 대학원 지구해양과학과 박사과정
※ 주관심분야: 해양음향 토모그래피, 수중음향 신호처리, 수중음향 모델링

● 박 정 수 (Joung-Soo Park)
한국음향학회지 제16권 6호 참조