

부유성 퇴적물이 해저면 잔향음 신호에 미치는 영향

윤관섭, 최지웅, 나정열, 박정수¹

한양대학교 지구해양과학과, 국방과학연구소¹

The effect of suspended sediment on bottom reverberation

Kwan-Seob Yoon, Jee Woong Choi, Jungyul Na, Jung-Soo Park¹

Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea

Agency for Defense Development¹

ksyoon@ihanyang.ac.kr

※ 이 논문은 수중음향특화연구센터의 연구비에 의하여 연구되었음.

요 약

잔향음은 시변동성이 존재하는 유동성 경계면 잔향음(해수면, 체적)과 시변동성이 존재하지 않는 고정 경계면 잔향음(해저면)으로 분류된다. 그러나 고정 경계면 잔향음으로 알려진 해저면 잔향음에서도 단주기적 시변동성이 존재하고 있음이 여러 실측자료에서 관측되고 있다. 본 연구는 시변동성의 원인을 파악하고자 실험실에서 부유성 퇴적물의 농도에 따른 후방산란 신호를 측정하였다. 또한 동해에서 측정된 시간에 따른 잔향음 신호(80kHz)와 ADCP(1.2MHz) 자료를 비교하여 천해에서의 체적 산란체의 변동이 잔향음 신호에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 아울러 본 논문에서는 잔향음 신호의 단주기적 시변동성에 의한 잡음 성분을 제거하여 표준화된 잔향음 신호를 획득하기 위한 방법으로 Low Rank Approximation(LRA)을 제안하였다. 이 기법은 특이해 분해(Singular Value Decomposition, SVD)를 수행하여 실측 자료 행렬로부터 고유치(Eigenvalue)과 고유벡터(Eigenvector)를 추출한 후, 추출된 고유치를 제한적으로 사용하여 근사화 하는 기법으로 시변동성 신호를 제거하는데 효율적인 방법이다.

1. 서 론

수중에서 음파는 소오나 시스템과 주변환경에 의해 크게 영향을 받는다. 수중으로 방사되어진 음파는 수온과 염분 변화에 의해 음속이 변화하고 해수면, 해저면과 같은 경계면에서 흡수, 반사, 굴절 또는 산란 되어진다. 해수 내에서 잔향음은 매질의 경계면 산란에 기인하는 해수면 잔향음, 해저면 잔향음과 해수 내에 존재하는 해양 생물 또는 해수 자체의 비균질성 등에 의한 체적 잔향음으로 구분할 수 있다.

천해의 경우 음향 채널이 해수면과 해저면에 의해 형성되는 잔향음 제한 환경으로 해수면과 해저면에 의한 산란은 음파 전달에 중요한 요소로 작용하게 되며, 오랫동안 음장을 형성하게 된다. 이러한 음파 산란은 수중 표적 탐지와 수중 통신 시스템 운용에 제한요소로 작용한다. 특히 고주파 신호를 사용할 경우 전파 경로에 따라 잔향음에 의한 송신 신호에 대한 수신신호의 특성-시간, 주파수 위상 및 형태가 왜곡되어 표적 반향음의 정확한 식별이 어렵게 된다. 이러한 신호의 왜곡과 더불어, 해양환경에 의한 부가적인 잡음신호, 그리고 잔향음으로 인하여, 표적의 탐지가 더욱 어렵게 된다

1.1 잔향음의 시공간적 변동성

잔향음은 운용 해역의 환경 변화에 따라 시공간적인 변동성을 갖게 된다(그림1). 해수면 잔향음은 파고 또는 해상풍의 속도로서 특성화 되어 지는 해수면 거칠기에 의한 산란과 해수면 근처에서 공기 방울 층에 의해 전

방향으로 산란 되어지는 체적 산란으로 구성되어진다. 따라서 해상 상태에 크게 의존적이며 일반적으로 지향각과 주파수에 의존적인 것으로 알려져 있다. 체적 잔향음의 경우 경계면 잔향음에 비해 큰 시공간적 변동성을 가지고 있어 변동성을 함수화 하기에는 어려움이 있다. 해저면의 경우에는 그 변동성의 요인을 크게 공간적 변동성과 시간적 변동성으로 나눌 수 있다. 공간적 변동성의 경우 퇴적물의 구성 물질의 종류와 구성 비율(공극률과 함수율), 그리고 퇴적물 하부의 비균질성과 가스층 존재 유무, 해저면과 내부 경계면의 거칠기 등이 변수로 작용한다[1-3]. 상대적으로 적은 영향이 주는 것으로 알려져 있는 시변동성의 경우, 해저 경계면에서의 난류에 의한 부유 물질의 운동과 해저면 자체 유동성 등에 기인 한다. 본 연구는 이러한 해저면 잔향음의 변동성을 이해하고 나아가 변동성을 억제하여 해저면 산란 신호의 안정성을 확보하고자 하였다.

1.2. Low rank approximation, LRA

시변동성 신호의 표준화를 위해서는 행렬 근사화 기법 중 하나인 Low rank approximation(LRA)을 이용하였다. 능동 소오나에 수신되어진 신호는 식 (1)과 같이 송신 신호와 운용해역의 환경 인자들의 혼블루션으로 표현된다.

$$y[n] = x[n] * h[n] \quad (1)$$

여기서 $y[n]$ 은 수신신호, $x[n]$ 은 송신신호이며 $h[n]$ 은 매질에 의한 임펄스 응답이다.

수신 신호를 각기 다른 고유치와 고유벡터를 갖는 신호들의 선형 독립 조합이라 가정하면 이때의 고유치는 수신 신호들에 미치는 가중치이며 고유벡터는 각각의 신호들의 시간적 변동량이다. 본 연구는 고유치 분해(Eigenvalue Decomposition) 방법 중 하나인 특이해 분해(SVD)를 이용하여 식 (2)와 같이 고유치와 고유벡터를 추출하였다. 자료 행렬 Y 에 대해 특이해 분해를 수행하면 식(2)와 같이 세 개의 각기 다른 행렬의 곱으로 표현이 가능하다.

$$Y = U \Sigma V^T \quad (2)$$

여기서 Y 는 수신신호 행렬, U 와 V 는 고유벡터이며 Σ 는 양의 실수 값으로써 특이치(singular value)를 가지는 대각행렬(diagonal matrix)이다. SVD를 이용하면 임의의 행렬을 고유한 두 가지 방향벡터(고유벡터)와

고유치를 분리할 수 있는데, 산출된 고유치는 일반적으로 지수적으로 감소하는 경향을 보인다. 이때 상대적으로 우세한 고유치를 갖는 Low Rank만으로 임의의 행렬을 식 (3)과 같이 근사화 할 수 있다[4]. 이러한 근사화 기법을 이용하면 소오나 운용해역에서의 시공간적 주성분 (Principal Component) 신호를 획득[5] 할 수 있으며, 시변동성을 갖는 기동하는 표적의 신호를 분리 할 수도 있다[6]. 결국 LRA는 신호를 확률적 기여도에 따라 필터링 하는 것으로, 이러한 기법을 잔향음 제한 환경인 천해에 응용한다면 표준화된 잔향음 신호를 획득할 수 있다.

2. 해저면 산란 강도의 변동성과 제거

2.1 실측 자료와 수조 실험 자료 비교

본 연구에서 사용된 실측 해양 자료는 2000년 8월 동해 덕산항 연안에서 획득된 자료이다. 이때 사용 주파수는 126kHz, 펄스 길이 0.4msec, 펄스 간격 1.5초로 50번 반복하여 송수신 하였다. 25°, 38°, 52° 로 입사각을 변화 시켜 해저면 산란 강도를 측정하였다.

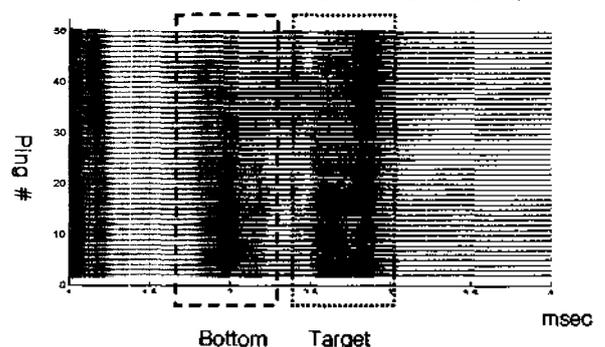


그림 1 해저면 산란 신호(30°)와 표적 산란신호

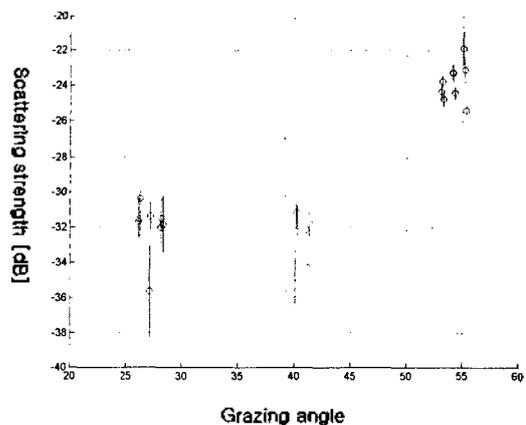


그림 2 입사각에 따른 해저면 산란 강도의 표준 편차

이때 해저면은 입도가 1.21 Φ 인 모래로 구성 되어 있었으며 주엽(main lobe)에 의한 해저면 산란 신호의 변동성을 비교하기 위해 부엽(side lobe)의 방향에 고정 표적을 설치하여 그 양상을 비교한 결과 해저면 신호는 표적의 신호에 비해 큰 변화 양상을 보였다(그림 1). 각각의 수신 신호를 입사각에 따른 후방 산란 강도를 계산 해 본 결과, 후방 산란 강도의 변동성이 존재하고 있음을 확인 하였으며 입사각이 낮은 각에서 더 많은 변동성을 보였다(그림 2). 입사각의 크기가 작을수록 후방 산란 강도는 상대적으로 낮은 값을 갖으므로 해저면 근처에서의 유동성의 영향이 더 크게 나타나기 때문이다.

2.2 ADCP자료와 체적 잔향음 신호와의 상관 관계

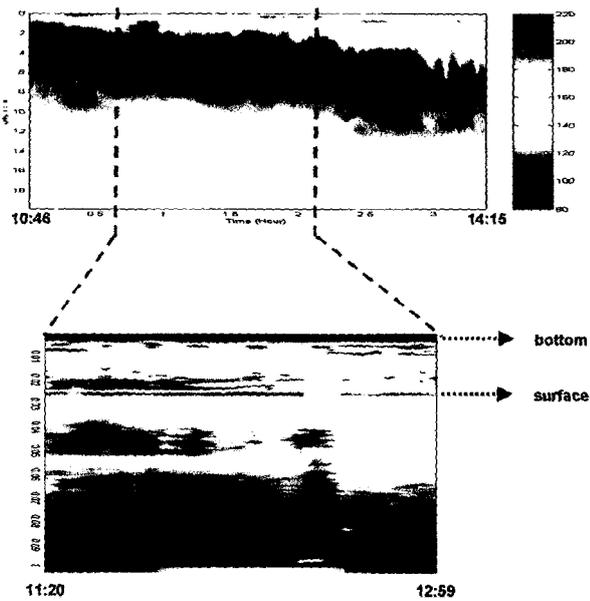


그림 3 시간에 따른 ADCP의 평균 반향 강도(위)와 능동 소오나에 의한 잔향음 준위(아래) 비교

능동 소오나에 획득된 잔향음의 변화와 ADCP에 의해 측정된 체적의 산란 강도의 변화를 비교하여 실제 해양에서 체적의 유동성이 잔향음에 미치는 영향을 확인하였다. 이때 사용된 자료는 2001년 5월 동해연안에서 획득한 시간별 잔향음 자료와 ADCP 자료이다. 능동 소오나의 사용 주파수는 90kHz, ADCP의 주파수는 1.2MHz, 해상풍의 속도는 11시경에는 5-6knot에서 1시경에는 15-16knot로 증가하였으며 능동 소오나는 수심

20m해역의 18m에 설치하였다. 그림 3에서와 같이 해상풍의 속도가 증가 하면서 ADCP의 평균 반향 강도(average echo intensity)와 능동 소오나의 잔향음 준위가 모두 증가함을 보이며 또한, 해수면 산란뿐 아니라 체적에 의한 산란까지도 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 결과적으로 해상풍에 의한 해양의 유동성이 천해에서는 잔향음 준위에 커다란 영향을 주고 있음을 확인하였다.

2.3 부유 퇴적물에 의한 음파 산란 모의 실험

실험을 통해 실제 해양에서의 해저면 후방 산란 신호의 변동성을 확인하였으며 그 원인이 파악하고자 실험실에서 부유성 퇴적물의 운동을 모의하여 후방 산란 강도의 변화를 측정하였다.

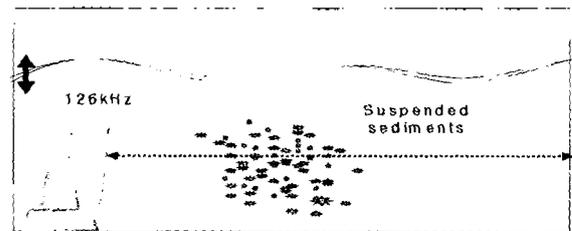


그림 4 부유 퇴적물에 따른 후방 산란 강도 변화 모의 실험

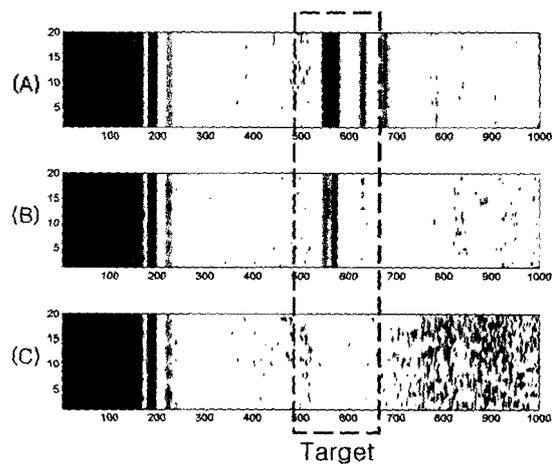


그림 5 부유 퇴적물 농도에 따른 후방 산란 강도 변화
(A) 4.5mg/l, (B) 27.6mg/l, (C) 144.8mg/l

퇴적물의 부유를 모의하기 위해 그림 4와 같이 126kHz 센서의 주엽(main lobe)이 수조 벽면을 향하도록

특 하고 설치하고 센서와 벽면 사이에 모래를 부유 시켜 벽면의 후방산란 강도의 변화를 측정하였으며 부유 물질의 양을 정량적으로 측정하기 위해 신호의 송신 전에 부유물질이 포함되어 있는 물을 채수할 한 후 0.45 μm 필터를 통해 단위 ℓ 당 부유 물질의 농도를 측정하였다. 일반적으로 100kHz에 영향을 미치는 부유물질의 농도는 강하구나 연안에서 100mg/ ℓ 이상으로 알려져 있다[7]. 수조 모의 실험 결과 부유 물질이 증가 할수록 표적의 후방 산란 강도가 약해짐을 알 수 있다(그림 5).

2.4 LRA를 이용한 산란 강도 계산

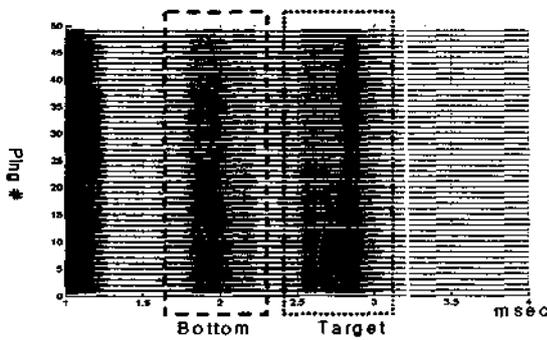


그림 6 LRA를 이용한 표준 산란 신호

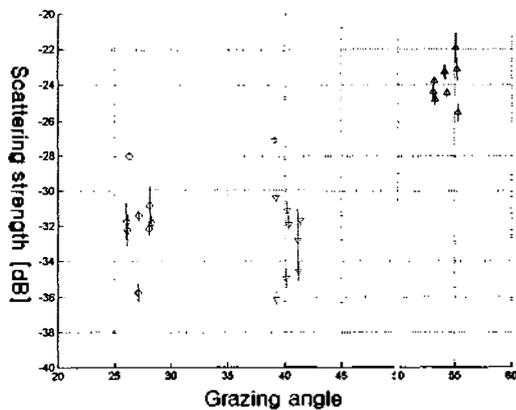


그림 7 표준 산란 신호를 이용한 해저면 후방 산란 강도

부유성 퇴적물이 유동성 등의 기인한 해저면 산란 강도의 변동성을 제거하기 위해 LRA를 이용하여 그림 6과 같은 표준화된 산란 신호를 획득하였다. 이렇게 획득된 산란 신호를 이용해 해저면의 후방 산란 강도를 계산하여 본 결과, 그림 1에 비해 표준 편차가 크게 감소하였다(그림 7).

3. 결 론

본 연구는 천해에서의 능동 소오나 운용 시 해상상태의 변동성은 해수면 산란 뿐 아니라 체적과 해저면에도 변동을 가져 올 수 있음을 확인하였다. 또한 실측과 모의를 통해 해저면 산란의 경우 부유 물질의 농도에 따라 산란 강도의 왜곡이 발생함을 관찰 하였다. 아울러 이러한 단주기적 변동성을 자료 행렬의 근사화를 통해 억제하였다. 향후 LRA과 같은 근사화 기법을 이용하여 단주기적 시변동성의 제거는 물론 근사치와 실측치 사이의 잔차(residual value)를 통한 시변동성의 역산 기법으로 활용이 가능하다.

참고 문헌

1. S. Stanic, K. B. Briggs, P. Fleischer, R. I. Ray, and W. B. Sawyer, "Shallow-water high frequency bottom scattering off Panama-City, Florida," *J. Acoust. Soc. Am.* 83, pp. 2134-2144, 1988.
2. D. Tang, "Modeling high-frequency acoustic backscattering from gas voids buried in sediments," *Geo-Marine Lett.*, 16, pp. 261-265, 1996
3. Jee Woong Choi, Jungyul Na, and Woojae Seong, "240-kHz bistatic bottom scattering measurements in shallow water," *IEEE J. Oceanic Eng.*, 26(1), pp. 54-62 January 2001.
4. D. Eckart and G. Young, "The approximation of one matrix by another of lower Rank.," *Psychometrika*, 1, pp.211-218, 1936
5. D.W Tufts, D.H kil and R.R. Slater, "Reverberation Suppression and Modeling", Ocean Reverberaion (D.D Ellis, J,R, Preston, and H.G. Urban Eds.), *Kluwer Academic Publishers*, 1993
6. 윤관섭, 나정열, 최지웅, 박정수, "Low rank approximation을 이용한 표준 잔향음 획득 및 제거 기법, 2001년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집, pp649-652
7. J. D. Milliman and J. Qingman, *Cont. Shelf Res.* 14, pp223-250, 1985