

천해 고주파 잔향음 예측모델 (HYREV 모델)

최 지웅, 윤 관섭, 나 정열, 박 정수*, 나 영남*

한양대학교 지구해양과학과 해양음향연구실

*국방과학연구소

Introduction of HYREV (Hanyang univ. Reverberation) model

Jee Woong Choi, Kwan-seob Yoon, Jungyul Na,

Joung-Soo Park*, Young Nam Na*

Ocean Acoustics Laboratory, Dept. of Earth & Marine Sciences, Hanyang Univ.

*Agency for Defense Development, Jinhae

mailto: choijw@ihanyang.ac.kr

※ 본 연구는 수중음향특화연구센터(UARC)의 지원으로 수행되었습니다.

1. 요약문

HYREV (Hanyang univ. Reverberation model)은 천해에서 적용 가능한 고주파 단상대 잔향음 모델이다. 천해에서 발생하는 잔향음은 외해에 비해 경계면 산란 영향이 크기 때문에 경계면 산란 영향을 정확히 포함한 잔향음 모델 개발이 필요하다. 본 모델에서는 고유음선(eigenray) 계산을 통하여 음원과 산란체까지의 도달시간과 전달손실을 계산 하였으며 경계면 산란 예측은 복합 거칠기(composite roughness) 모델을 이용하였다. 모델의 검증을 위하여 GSM(generic sonar model) 잔향음 모의 신호 및 실측 잔향음 신호와 비교하였으며 비교 결과 GSM 보다 HYREV 모델이 천해 잔향음 예측에 적합함을 확인할 수 있었다.

2. 서론

천해는 음향 채널이 해수면과 해저면에 의해서 생성되므로 외해에서 발생하는 잔향음 보다 높은 준위를 나타낸다. 그러므로 천해에서 고주파 능동소나를 운용할 경우 탐지거리의 잔향음에 제한되는 잔향음 제한환경에 속하게 된다. 지금까지 일반적으로 사용된 천해 고주파 잔향음 예측 모델은 GSM 잔향음 모델이다[1]. 그러나 GSM에서 사용하는 해수면, 해저면 산란모델은 각각 1960년대에 제시된 Chapman과 Harris 경험식[2]과 Lambert's law[3]이며 이 두 모델은 경계면 산란을 예측하는데 한계가 있는 것으로 알려지고 있다[4-6].

본 논문에서는 다중경로 확장(Multipath expansion)모델을 사용하여 고유음선(eigenray)을 계산, 경계면까지의 음파도달시간과 입사각 및 전달손실을 파악한 후 경계

면에서의 산란 모델인 복합 거칠기 모델을 이용하여 산란특성을 계산하는 새로운 천해 고주파 잔향음 모델(HYREV, Hanyang Univ. Reverberation Model)을 소개한다. HYREV는 거리독립(range independent) 잔향음 예측 모델로 한국 근해 잔향음 예측에 적합하도록 개발되었으며 주빔(main lobe)에 의한 영향뿐만 아니라 부엽(side lobe)에 의한 해수면/해저면 반사 및 산란 영향까지 고려되었다. 모델의 정확성을 검증하기 위하여 2001년 5월 강원도 동해시 연안에서 실시된 잔향음 측정 신호와 비교하였으며 또한 GSM의 잔향음 예측모델과 비교 분석하였다.

3. HYREV 잔향음 모델

잔향음 준위를 모의하기 위한 첫번째 단계로 음원과 산란체까지의 고유음선 계산을 통하여 음파 도달시간과 입사각, 전달손실을 계산한다. 두번째로는 각각의 산란체(해수면, 해저면, 체적)로부터의 산란강도를 계산한다. HYREV는 해수면 산란강도 예측 모델로 McDaniel과 Gorman[7]에 의해서 개발된 복합 거칠기 모델을, 해저면은 Mourad와 Jackson[8]에 의해서 개발된 복합 거칠기 모델을 이용하였다. 다음 단계로는 아래의 소나방정식에 각각의 파라미터를 대입함으로써 잔향음 준위를 계산한다.

$$RL_{s,b} = SL - SS_{s,b} + 10 \log A - 2TL + BPT + BPR$$

$$RL_v = SL - SS_v + 10 \log V - 2TL + BFT + BPR$$

여기서 RL_s 와 RL_b , RL_v 는 각각 해수면과 해저면, 체적 잔향음 준위이며 SL 은 음원 준위, SS_s 는 단위 면적당 해수면 산란강도, SS_b 는 단위 면적당 해저면 산란강도, SS_v 는 단위 체적당 체적 산란강도이고 TL 은 음원에서 산란체까지 전달손실, A 와 V 는 각각 경계면 입사 면적(ensonified area)과 입사 체적이다. 또한 BPT 와 BPR 은 송/수신 빔패턴이다. 이렇게 계산된 각각의 잔향음 준위를 동일 시간대역에서 음압강도 합산(intensity sum)함으로써 총 잔향음 준위를 계산한다.

다음 단계에서는 펄스길이 만큼씩의 시간 범위 내의 모든 잔향음 준위들을 음압강도 합산한다(그림 1).

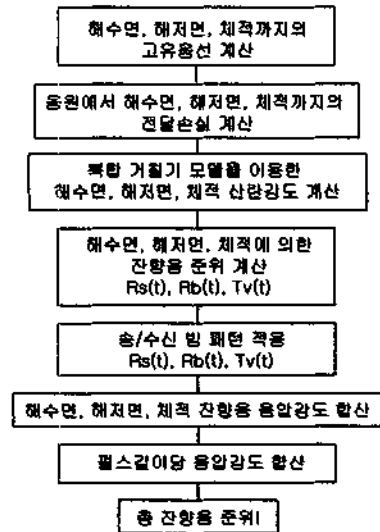


그림 1. HYREV 알고리즘 흐름도.

4. 실험

2001년 5월 19일 고주파 잔향음을 측정하기 위한 실험이 강원도 동해시 연안에서 이루어졌다. 측정 해역 평균 수심은 20m였으며 해저면은 사질(sand)로 구성되어 있었다. 사용한 음원은 TC 2116 트랜스듀서로 수심 18m에 설치되었으며 음원의 3-dB 빔폭은 15도였다. 음원 신호는 70kHz, 정현파 신호로 펄스 길이는 1ms, 2ms, 10ms로 변화시키면서 측정하였다. 발생한 음파는 음원 지향각 5°에 대해서 3초 간격으로 각각 30번씩 반복 송신되었다. 수신 신호는 송신기와 같은 위치에 설치되어진 TC 4014 청음기에 의해서 수신되었다. 수신된 신호는 대역통과 필터를 거친 후 'Heterodyning' 기법을 이용하여 70 kHz를 1kHz로 대역 변위(band-shift)시켜 SONY 레코더로 저장하였다.

실험시의 해상풍은 남동풍이었으며 풍속은 11 ~ 14 knot로 시간에 따라 증가하는 양상을 보였다. 측정 해역의 수심별 음속 구조를 파악하기 위해 잔향음 측정 시간 동안 4번에 걸쳐 CTD를 이용하여 수심별 수온과 염분

을 측정하였다. 이때 수심별 음속 구조를 계산 해 본 결과, 음의 기울기를 갖고 있었으며 시간에 따른 변화는 거의 나타나지 않았다.

5. 결과

5.1 HYREV 모델의 해수면, 해저면, 체적 잔향음 비교

그림 2는 실험시의 잔향음을 HYREV 모델을 이용하여 예측한 결과이다. 음원의 지향각이 해수면을 향하여 5도로 기울어져 있었으므로 초기 잔향음 신호에는 해수면 잔향음 신호가 우세하게 수신된다. 그러나 0.4초 부근에서부터 해수면 잔향음 신호에 비해 해저면 잔향음 신호가 우세하게 수신되며 이러한 양상은 1초까지 지속된다. 모의된 잔향음 신호의 0.5초 이후에서 상대적으로 높은 잔향음 신호(그림 2(b)의 원으로 표시된 부분)가 나타나며 이러한 원인은 음선 추적 결과에서 찾을 수 있다(그림 2(a)). 음원에서 해수면을 향하여 송신되는 음선 중 해수면에 반사되기 전에 해저면쪽으로 굴절되는 음선들은 대부분 0.4 km 부근에서 비교적 큰 평면입사각(grazing angle)으로 해저면에 수렴되어 도달한다. 따라서 이 곳에서 후방 산란되어 수신기로 되돌아오는 신호들이 0.5초 부근에서 강한 해저면 잔향음을 야기시키게 된다.

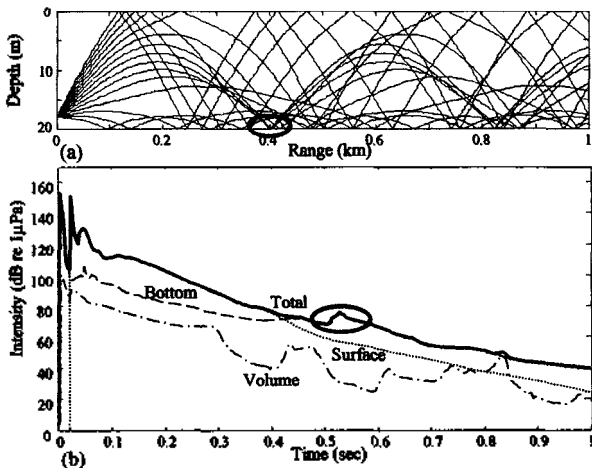


그림 2. 음선추적 및 HYREV 모델에 의해서 예측된 잔향음 신호.

HYREV 모델에서는 체적 잔향음을 원하는 수심에 따른 체적 잔향음 테이블로 입력 시킬 수 있으며 본 모의에서는 수심 7 m와 14 m에 각각 -70 dB와 -65 dB를 사용하여 모의하였다. 모의 결과 0.8초 부근에서 체적 잔향음이 약간 우세한 구간이 있으나 전체적으로 해수면과 해저면 잔향음에 비해서 미약하게 모의되었다.

5.2 GSM 잔향음 모델 및 실측 신호와 비교

모의된 HYREV 모델을 검증하기 위하여 GSM 잔향음 모델 및 실측 신호와 비교하였다. 그림 3(a)는 펄스 길이가 1 ms 경우의 비교 결과이다. 실측치는 시스템 소음에 의해서 0.2초 이후에는 일정한 값을 나타내었으므로 0.2초 이후에는 모델과의 비교가 불가능하였다. 그러나 0.2초 이전에서 GSM에 의한 모의 잔향음 신호는 실측치에 비해 비교적 낮은 준위를 나타내는 반면 HYREV 모델에 의한 모의 잔향음 신호와는 정확히 일치하고 있다. 특히 0.02초 이내의 신호는 부엽에 의한 해수면 잔향음 신호로써 GSM 결과에서는 예측하지 못하였으나 HYREV 모델 결과에서는 정확히 예측하였다. 부엽에 의한 신호 파악은 eigenray 모델의 결과인 eigenray 정보를 이용하여 파악하였다. Eigenray 정보에는 송신각 및 경계면 입사각, 도달시간, 전달손실 등의 정보를 포함하고 있으므로 송신각과 도달시간을 비교하여 각각의 도달시간이 해당하는 음선이 주/부엽에 의한 잔향음 신호임을 파악할 수 있다. 0.5초 부근에서 해저면 잔향음에 의한 신호 증가는 두 모델에서 모두 같은 양상을 보이고 있으나 HYREV 모델에 의한 예측치가 좀 더 높은 준위를 나타낸다.

펄스 길이가 2 ms인 경우에서도 역시 GSM에 의한 예측치 보다는 HYREV 모델에 의한 예측치가 실측치와 잘 일치하고 있다(그림 3(b)). 펄스 길이가 10 ms에서도 위의 두 경우와 마찬가지로의 결과를 나타내고 있으나 초기의 잔향음 신호(0.01초 이내)는 두 모델 다 예측하지 못하였다(그림 3(c)).

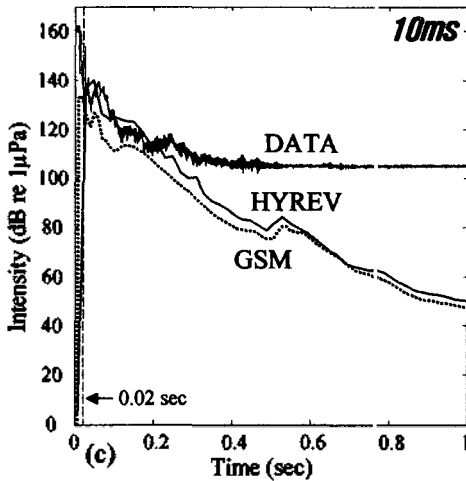
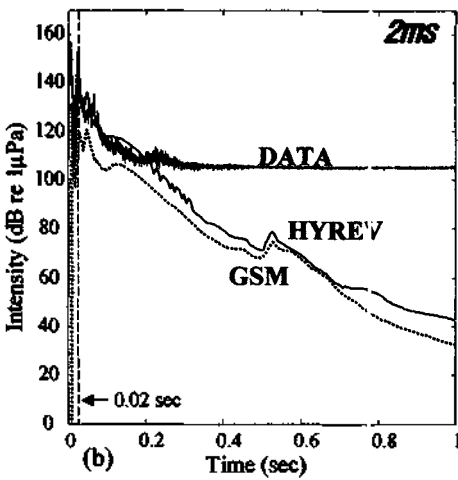
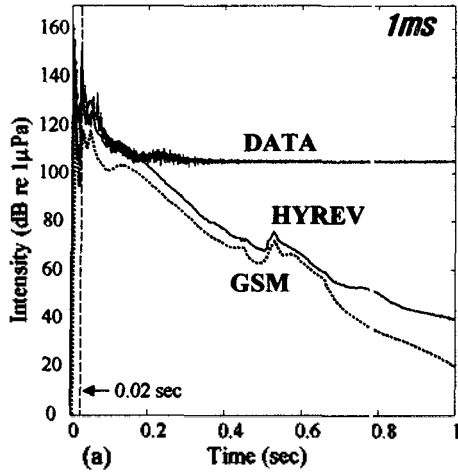


그림 3. HYREV, GSM, 실측신호 비교.
a) 펄스길이 1 ms b) 2 ms c) 10 ms

6. 결론 및 토의

천해에서 적용 가능한 고주파 단상태 잔향음 모델인 HYREV를 소개하였다. HYREV는 거리독립(range independent) 잔향음 예측 모델로 한국 근해 잔향음 예측에 적합하도록 개발되었으며 주빔(main lobe)에 의한 영향뿐만 아니라 부엽(side lobe)에 의한 해수면/해저면 반사 및 산란 영향까지 고려되었다. HYREV 모델에 의한 모의 잔향음 신호와 GSM 잔향음 모의 신호, 실측 잔향음 신호를 비교한 결과 GSM 잔향음 신호는 실측치에 비해 비교적 낮은 잔향음 준위를 나타내는 반면, HYREV 결과는 실측치와 비교적 잘 일치하였다.

7. 참고문헌

1. H. Weinberg, *Generic Sonar Model*, Naval Underwater Syst. Ctr., Tech. Doc. 5971A, 1980.
2. R.P. Chapman and J.H. Harris, "Surface backscattering strengths measured with explosive charges," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 34, pp.1592-1597, 1962.
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. 최지용, 나정열, 나영남, "양상태 해수면 음파산란 측정," 한국음향학회지, 제20권4호, pp.81-86, 2001.
5. 최지용, 나정열, 박경주, 윤관섭, 박정수, 나영남, "고주파 해수면 후방산란 신호 측정," 한국음향학회지, 제21권4호, pp.421-429, 2002.
6. 최지용, 나정열, 석동우, 오선택, 박정수, "천해에서의 고주파 해저면 후방산란강도 측정," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제18권1s호, pp.198-201, 1999.
7. S.T. McDaniel and A.D. Gorman, "Acoustic and radar sea surface backscatter," *J. Geophys. Res.*, Vol. 87(C6), pp.4127-4136, 1982.
8. P.D. Mourad and D.R. Jackson, "High frequency sonar equation models for bottom backscatter and forward loss," *Proc. OCEAN'89*, pp.1168-1175, 1989.