

전달손실 모델의 benchmark에 관한 연구

차 경 회*, 김 재 수*, 성 우 제**

* 한국해양대학교 해양시스템공학부, ** 서울대학교 조선해양공학과

A study on benchmark of wave propagation model

Cha, Kyoung Hee · Kim, Jae Soo · Seong Woo Jae

Div. of Marine System Engineering, Korea Maritime Univ.

e-mail : k981072g@hanbada.kmaritime.ac.kr

요 약 문

본 논문은 실제 해양에서 표적의 탐지거리 계산에 필요한 전달손실을 신속, 정확하게 계산하기 위해 가용한 모델을 확보하고, 확보된 모델의 검증을 통해 사용 가능한 범위에 대한 지침을 마련하고자 한다. 연구를 위해 확보된 모델은 포물선 방정식 모델의 RAM, 정상 모드 모델의 KrakenC, 고속음장 모델의 OASES이다.

각 모델을 같은 환경에서 주파수를 변화시켜 가며 비교하였고 완전해를 제공하는 OASES를 기준으로 결과를 비교해 본 결과 KrakenC의 경우, 저주파에서 전달 손실은 거의 일치하거나 2-3dB 정도의 차이를 보였고, ram의 경우는 KrakenC에 비하여 일치하는 정도가 훨씬 낮았다.

I. Benchmark에 대한 개론

수중에서의 음파는 어군제어나 수중통신과 같은 산업분야와 표적탐지와 항만방어를 목적으로 하는 군사분야에서 중요한 역할을 하고 있다. 특히 어군제어와 표적탐지를 위해서는 소나 방정식을 사용하여 탐지거리를

예측하게 되는데 이때 가장 중요한 변수가 주어진 환경에서의 전달손실이다. 이런 전달손실은 지역별, 해역별로 다양한 형태를 가지므로 하나의 수치모델로는 전달 현상을 정밀하게 해석하기가 곤란하므로 다양한 수치해석 기법을 이용한 수치모델들이 개발되었다. 이렇게 개발된 수치모델들은 도입된 수치해석 기법에 따라 그 적용범위가 제한되는데 이 때, 해석하고자 하는 환경에 대해 적절한 모델을 선택하기가 쉽지 않고 선택된 모델의 정확도를 입증하기가 어려우므로 모델의 평가가 이루어져야 하는데 이를 벤치마크(benchmark)라 한다.

L. B. Felsen[4]은 벤치마크를 '모델의 질적 평가를 위한 선택사항(an option for quality assessment)'이라고 하고 대부분의 분석이 정확하거나 부정확 할 수도 있는 가정을 동반하는 것에 대하여 '정직성(honestly)'에 대한 의무를 언급했다. 즉, 여러 모델들에 도입된 가정을 잘 이해하고, 물리현상을 잘 설명 할 수 있게 정규화된 입력요소들을 사용하는데 주의를 기울임으로써 1차적인 벤치마크를 수행하고, 모델의 일반적인 확인 과정으로 사용되는 아래의 방법들로 2차적인 벤치마크를 한다.

벤치마크 방법론

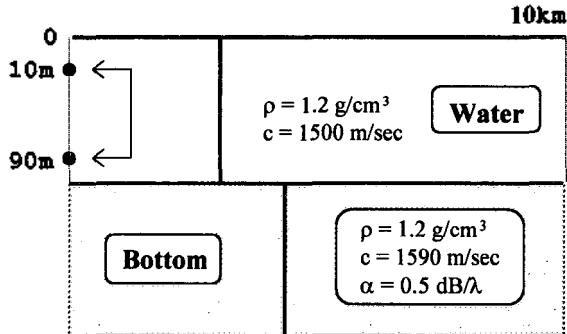
- 1) 실험 데이터와의 비교
- 2) 비슷한 환경과의 비교

- 2) 에너지 보전법칙으로 검사
- 3) 상반원리로 검사(self-checking)
- 4) 상호모델 비교
- 3) 거리독립 환경에 대한 분석적인 참고해와 비교
- 5) 거리의존 환경에 대한 수치적인 벤치마크해와 비교

위의 방법들 중 본 논문에서는 모델의 자가 평가(self-checking)를 위해 상반원리를 적용하였고, 모델 상호간의 비교를 통하여 질적 평가를 하였다.

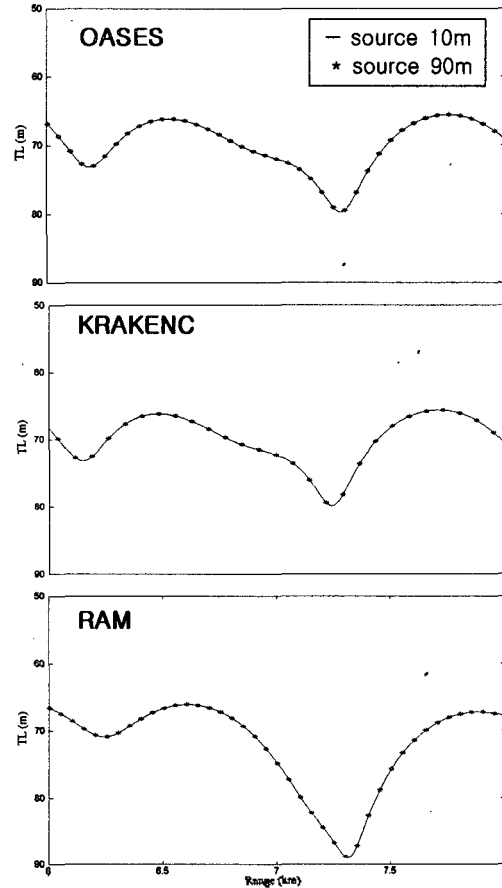
Self-Checking을 위한 상반원리의 적용

음향학에서의 상반원리(The principle of reciprocity)란 주어진 환경에서 매질이 시 불변 선형 매질 일 때 음원과 수신기의 위치와 방향을 서로 바꿔어도 파형이 변하지 않는다는 것으로 본 논문에서는 모델의 자가평가를 위하여 상반원리를 적용하였고, 거리를 작은 구역으로 나누어 정밀하게 비교해 보고 언제부터 오차가 생기는지를 관찰하였다.



(그림 1) calibration environment for self-checking

위 환경에서 주파수를 20Hz부터 1280Hz까지 옥타브 밴드로 증가시키고, 음원과 수신기를 10m와 90m에 두고 2Km씩 구간을 나눠 관찰한 결과, 세 모델 모두 전 구역에서 정확히 일치하였다. (그림2)는 특정 주파수 80Hz에 대한 값을 보여준다.



(그림 2) oases, krakenc, ram 각각에 대한 구간 6~8Km에서의 상반원리의 적용

II. 수치 모델

본 연구를 위해 확보된 모델은 포물선 방정식 기법의 RAM, 정상 모드 기법의 KrakenC, 파수 적분법을 사용한 OASES이다.

A. 파수 적분 모델 (OASES)

파수 적분법(고속 음장법)은 수평으로 성층화 된 유체(고체)환경에서 수심분리형 파동 방정식의 해를 구하기 위해 개발된 알고리즘[1]으로 직접대역행렬(direct global matrix)의 조합으로 파수를 적분하는 근사법이다. 파수적분 모델로는 OASES가 있는데, 이 모델은 파

동방정식의 완전해를 제공하고, 경계면과 상호작용이 많은 환경에서 정확한 계산이 가능해 주로 다른 모델의 검증용으로 쓰이므로 본 논문에서 모델검증의 기준으로 삼았다. 거리독립 환경에서만 사용가능 하다는 것이 단점이었으나 최근 hybrid 개념을 도입하여 거리의존 환경에서 적용이 시도되고 있다.

B. 정상 모드 모델 (KrakenC)

정상 모드법은 파수적분법으로 구해진 해에서 정밀하게 음원항을 제거한 수심의존형 방정식의 해를 구하는 것으로 원거리에서 매우 정확한 해를 제공한다. 반면 고주파 대역의 계산시간이 길고 거리독립 환경에서만 적용이 가능한 단점이 있어 1980년대 초 거리의존 모델로의 확장으로 연성 정상모드 모델(Coupled Normal Mode Model)이 개발되었다. 확보된 모델은 KrakenC 이고 이는 주 프로그램인 Kraken을 복소영역까지 확장한 거리독립 모델로서 흡수와 산란 메커니즘을 감소시켜 비교적 정확하다.

C. 포물선 방정식 모델 (RAM)

포물선 방정식 모델은 거리의존 환경에서 전진파만을 고려하여 해를 구하는 방법으로 환경변수가 수평방향에 대해 의존적인 음장을 예측하는데 적합한 모델로 본 논문에서는 RAM을 사용한다.

III. 실험 및 결과

각 모델을 동일한 calibration 환경에 적용하여 주파수별 전달손실의 크기를 비교하였다.

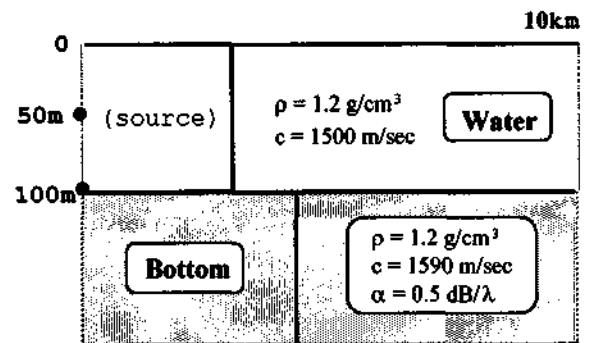
calibration 환경에 대하여 (표 1)과 같이 수신기 10개를 100m까지 등간격으로 배치하고 주파수를 10Hz에서 1280Hz까지 옥타브밴드로 증가시킨 결과 저주파에서 고주파로 갈수록 모델간 차이가 심해지는 것을 알 수 있었다. 그 중 수신기가 80m에 있고 주파수가 20, 80, 160, 640, 1280Hz일 경우에 대한 결과를 아래 (그림 5)에 보였다.

OASES와 KrakenC의 경우, 640Hz까지는 경향이 거의 동일하고 전달손실의 크기도 거의 일치하는 반면

(표 1) benchmark 문제 제원

frequency [Hz]	10-1280 (8개)
reference sound speed [m/s]	1500
source depth [m]	50
receiver depth [m]	10-100 (10개)
water depth [m]	100
pressure release surface	

* frequency : 옥타브 밴드로 증가
receiver : 등 간격으로 증가

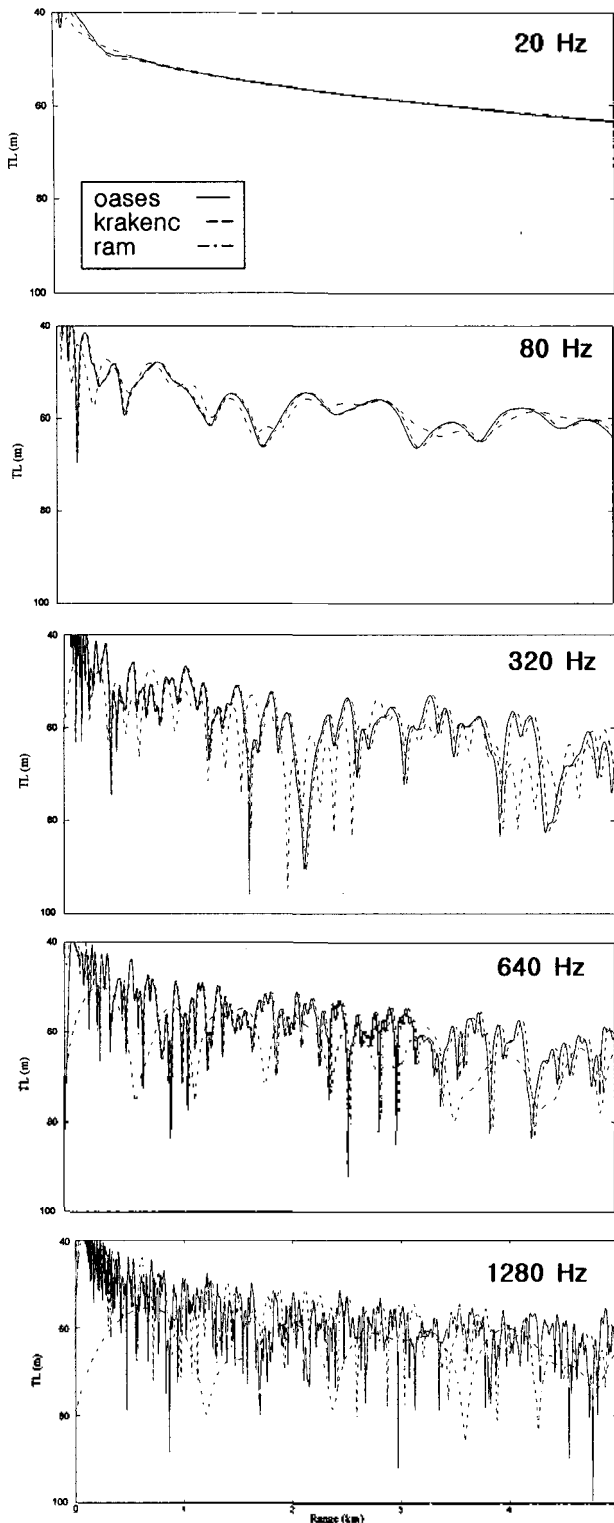


(그림 3) calibration environment for intermodel comparison

RAM은 40Hz까지 경향과 전달손실의 크기가 동일하나 80Hz부터 약 1-2dB 정도의 크기 차이가 나고 160Hz를 넘어서면서부터는 상당한 차이가 보였다.

IV. 요약 및 결론

이상과 같이 여러 수치모델들을 주파수 별로 구동시켜 전달손실의 크기를 비교·분석하고, 각 모델을 상반원리에 적용하였다. ram은 저주파에서 비교적 정확했고 oases와 kraken은 완전해를 제공하므로 고주파까지 거의 동일한 파형과 전달손실을 보였다. 또한 음원과 수신기의 위치와 방향을 바꾸어도 세 모델 모두 동일한 경향과 전달손실을 보여 상반원리를 성립함을 알 수 있었다.



(그림 4) 수신기 80m, 거리 0~5Km의 전달손실

참 고 문 헌

- [1] H. Schmidt, "SAFARI User's Guide," SR-113, 'SACLANCEAN', 1988
- [2] H. Schmidt, "OASES User's Guide and Reference Manual," MIT, 1997
- [3] F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter and H. Schmidt, "Computational Ocean Acoustics," American Institute of Physics, New York, 1994
- [4] L. B. Finn, "Benchmarks : An option for quality assessment," J.Acoust. Soc. Am. **87(4)**, pp.1497-1498, 1990
- [5] L. B. Finn, F. B. Jensen and Carlo. M. Ferla, "Numerical solutions of range-dependent benchmark problems in ocean acoustics," J. Acoust. Soc. Am. **87(4)**, pp.1499-1510, 1990
- [6] Collins, "User's Guide for RAM," NRL, 1995
- [7] C. Etter, "Underwater Acoustic Modeling," Elsevier Applied Science, 1991
- [8] P. G. Bergmann, A. Yaspan, "Physics of Sound in the Sea : Part I, Transmission," Sonar Analysis Group, National Research Council, pp.38-39, pp.269-270, 1968~
- [9] R. R.W. Coates, "Underwater Acoustic Systems," Macmillan Education LTD, pp.18-21, pp.73-89, 1990
- [10] 김봉채, 최복경 외, "한반도 동해 남부 및 중부해역에서의 음파전달 특성, I. 실험," 9th 수중음향학 발표논문집, pp.20-28, 1994
- [11] 성우재, 김국현, 김태훈, "거리의존 해양환경에서의 수중음파전달 모델에 대한 benchmark 시험," 11th 수중음향학 발표논문집, pp.64-68, 1996
- [13] 송희천, 최지호, "한반도 동해 남부 및 중부해역에서의 음파전달 특성, II. 모델," 9th 수중음향학 발표논문집, pp.29-33, 1994