

협대역 신호를 이용한 천해환경 지음향 역산 및 정합장처리

김경섭*, 박철수**, 성우제*

*서울대학교 조선해양공학과, **한국해양연구원/해양시스템안전연구소

Shallow water geoacoustic inversion and matched field processing using narrow band signals

Kyungseop Kim*, Cheolsoo Park**, Woojae Seong*

*Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Seoul National University

**Korea Ocean Research & Development Institute/Korea Research Institute of Ships & Ocean Eng.

E-mail : seop@uwal.snu.ac.kr

요약

본 논문에서는 천해 해양환경에서 이동 음원과 수직 선배열을 이용한 실 해상 실험 자료를 이용하여 지음향 역산 및 정합장처리를 수행하였다. 협대역 신호를 이용하여 음원의 이동에 따른 전달손실을 계산하였고, 이를 음파전달모델을 이용한 결과와 비교하는 방식으로 역산의 목적함수를 구성함으로써 해저면 지음향 인자들의 평균적인 값을 역산할 수 있었다. 역산 결과로 얻은 지음향 인자들을 사용하여 정합장처리를 통해 음원의 이동경로를 추적함으로써 역산 결과의 타당성을 검증하였고, 이를 기존 지질 자료를 이용한 정합장처리 결과와 비교하였다.

1. 서론

대표적인 모델기반 역산 기법인 정합장처리(Matched Field Processing)는 일반적으로 환경모델을 알고 있다는 가정 아래 음전달 모델을 통한 모의 음장을 구하고, 이를 측정된 신호와 비교하여 음원의 위치를 추정하게 된다. 따라서 환경모델을 구성하는 환경인자의 값

이 부정확할 경우 오정합이 발생하게 되는데, 특히 천해환경에서는 음파전달의 도파관 효과가 커지게 되므로 해저퇴적층의 지음향학적 인자들의 값이 중요해진다. 정합장 기법을 이용한 지음향학적 인자 역산은 90년대에 들어 본격적으로 시작된 이후 최근까지 국내외에서 활발하게 연구되고 있으며, 주체의 특성상 실험이 중요한 만큼 외국에서는 실 해상 실험 또한 많이 이루어지고 있는 상태이다[1][2]. 최근 국내에서도 지음향학적 역산과 관련한 정합장실험이 수행되고 있는데, 본 연구에서는 최근 실험에서 수직선배열을 통해 수집된 협대역 CW 신호를 이용하여 천해환경에서의 지음향학적 인자 역산 및 음원 위치추정 가능성에 대해 분석을 하였다. 실험 환경 및 수집된 신호 자료에 대한 정리를 2절에 하였으며, 3절에서는 지음향학적 역산 과정을, 4절에서는 역산된 인자를 이용한 음원 위치 추정 결과들을 나타내었다. 5절에는 논의 및 결론을 나타내었다.

2. 실험 환경 및 획득 자료

지난 2004년 5월 동해에서는 정합장처리 및 지음향

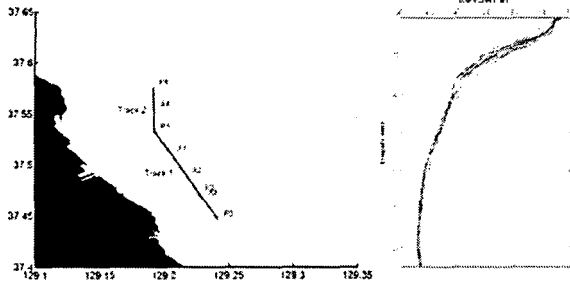


그림 1. 음원의 이동경로와 실험해역의 수층 음속구조

역산을 위한 정함장실험(MAPLE0405)이 수행되었다. 강한 레벨의 다중 협대역 주파수 성분들을 가지는 CW 음원이 실험선에 의해 깊이 60 m 에서 약 3.5 knot의 속도로 예인되었다. 그림 1은 음원의 이동경로와 실험해역의 음속구조를 나타내고 있는데 P1 지점에 19개의 수신기를 가진 수직선배열이 설치되었으며, 음원은 평균수심 120 m 가량의 거리 독립 환경인 P1-P3 지점 선상을 따라 왕복 예인되었다. 음원에서는 협대역 multi-tone 신호(70~270 Hz 사이의 총 15개 주파수 토널)가 각 토널 별 소스레벨 130~170 dB의 다중 레벨로 연속적으로 방사되었다. 그림 2는 수직선배열의 채널1에서 수신된 신호의 주파수 스펙트럼을 나타내고 있는데 음원에서 방사된 15개의 토널 성분들이 잘 나타나 있고 배경소음이 강한 100 Hz 이하 영역을 제외하면 대체적으로 신호 대 잡음비가 좋은 상태임을 알 수 있다. 본 연구에서는 P1 지점으로부터 음원이 멀어

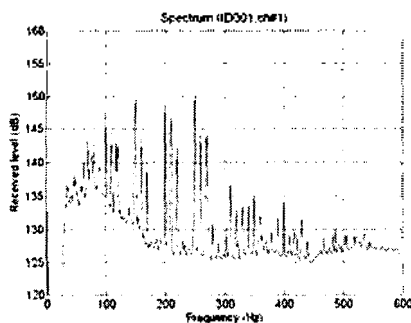


그림 2. 채널1에서 수신된 신호의 주파수 스펙트럼

지는 상태에서 수신된 신호를 이용하였다.

3. 지음향 인자 역산

지음향 역산을 위해 먼저 역산할 파라미터들의 범위 설정이 필요한데, 기존 지질자료를 참고하였으나 전달 손실(TL)비교를 통해 잘 맞지 않는 부분은 수동으로 파라미터들을 변화시키며 대략적인 파라미터 범위를 결정하였다.

3.1 TL-matching을 통한 지음향 역산

일반적으로 지음향 역산의 cost function으로서 TL-matching이 많이 사용되지는 않으나, 음원이 이동한 거리에 대해 지음향 파라미터들의 전체적인 평균값 또는 거리에 따라 파라미터들의 변화가 어느 정도인지 파악할 수 있을 것으로 생각되어 TL-matching을 cost function으로 사용하였다. Cost function은 다음과 같이 모델을 이용한 TL 값과 실험데이터에서 얻은 TL 사이의 correlation으로 정의할 수 있으며 편이상 정규화를 하였다.

$$I(x) = \frac{\sum_{i=1}^N TL_{data}(i) \times TL_{model}(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N |TL_{data}(i)|^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N |TL_{model}(i)|^2}} \quad (1)$$

여기서 실험데이터 TL_{data} 는 레코더에 기록된 time sequence의 3000 point FFT를 통해 1초 간격으로 계산이 되었으며, i 는 거리 지표를 나타낸다. 실제 역산 과정에는 거리에 따른 지음향 파라미터 변화 정도를 확인하기 위해 수신된 데이터 영역의 초반부(~2.5 km) 데이터만을 사용했고, 대상 주파수는 TL-matching 시 주파수가 낮을수록 모드 형태를 관찰하기 쉬운 것으로 생각되어 총 12개의 주파수 토널 중 100 Hz를 대상으로 하였다. TL_{model} 은 노말 모드 모델인 ORCA를 사용하였다. 최적화 방법은 simulated annealing(SA)를 사용하였으며, 반 무한영역을 제외한 하나의 바닥층을 설정한 상태에서 최적값 탐색을 위한 지음향 인자는 총

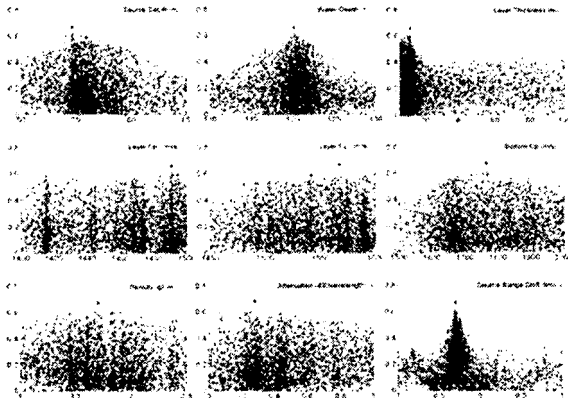


그림 3. 지음향 인자 역산 결과

9개로 두었다. shear wave는 모두 무시하였고, 음속에 비해 상대적으로 음파 전달에 영향이 적다고 생각되는 밀도와 감쇠계수는 편의상 바닥층과 만 무한영역에서 같은 값을 가지도록 설정했다.

3.2 역산 결과

위와 같은 과정으로 구한 역산 결과를 그림 3에 나타내었다. 각 파라미터들의 민감도가 일반적인 역산 결과의 경향을 잘 따르고 있으나 바닥층 음속의 경우 모호성이 큰 것으로 보인다. 특히 바닥 표층 음속의 경우, 결과에 나타난 최적화 단계에서는 correlation peak가 1490 m/s 근처로 나왔지만 1415 m/s의 낮은 영역에서도 peak와 큰 차이가 없는 correlation 값이 나타나고 있어 표층에 얇은 점토질 층이 존재하고 있을 가능성을 뒷받침해 주고 있다. 표 1에는 역산을 통해

표 1. 역산을 통해 추정된 지음향 인자

지음향 인자	Optimized value
source depth	54.67 m
water depth	120.23 m
layer thickness	10.79 m
layer C_p (upper/lower)	1490.8/1567.8 m/s
half space C_p	1766.5 m/s
ρ	1.7 g/cm ³
p-attenuation	0.28 dB/ λ
source range shift	-299 m

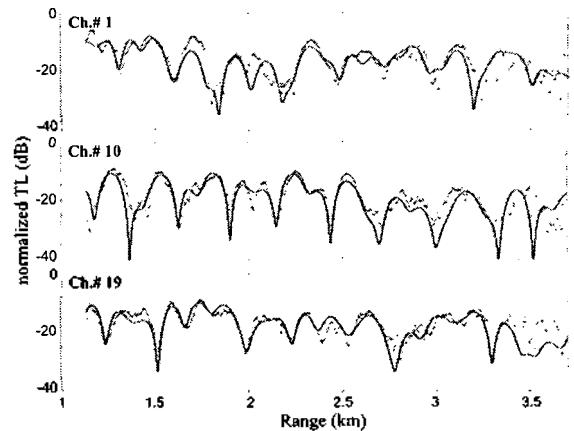


그림 4. 역산 결과를 이용한 모델과 실험의 TL 비교

추정된 지음향 인자 값들을 정리하였으며, 그림 4에는 이를 이용하여 전파 모델로부터 구한 TL과 실험데이터를 비교하였다. 실선이 모델을, 점으로 나타내진 것이 실험값인데 역산과정에는 2.5 km까지의 데이터만 활용했으나 그 이후의 거리에서도 대체적인 패턴이 잘 맞는 것을 알 수 있다.

4. 정합장처리를 통한 음원 위치 추적

앞서 역산을 통해 얻은 지음향 인자 값들을 이용해 이동 음원의 위치 추적이 성공적으로 되는지에 대한 확인을 해보았다. 정합장처리 프로세서는 기본적으로 Bartlett을 사용하였고 MVDR with white noise constraint (WNC)[3]를 이용한 결과를 이와 비교했다. 총 19개의 수신기 중 상태가 좋은 16개의 신호만 사용해 공분산행렬을 구성하였으며, 필요한 신호처리 파라

표 2. MFP를 위한 신호처리 파라미터

파라미터	value
Sampling frequency	3,000 Hz
Length of 1 frame	120,000 points
FFT length	12,000 points
Snapshot overlap	50 %
No. of snapshot / frame	19
Used No. of channels	16

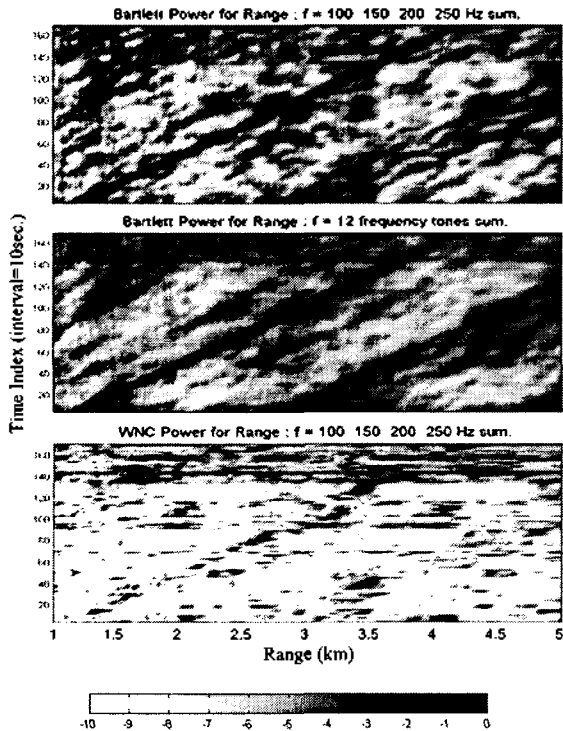


그림 5. Bartlett과 WNC를 이용한 음원 위치추적

미터들은 표 2에 정리하였다. 그림 5에는 Bartlett과 WNC 프로세서를 이용한 음원 위치추적 결과를 나타내었다. 주파수 토널에 대해 비 상관 평균을 하였는데, Bartlett의 경우 4개 평균이나 12개 평균 결과 모두 비교적 깨끗한 음원 이동 경로를 보여준다. WNC는 white noise gain 값을 -2 dB로 설정했는데 경로가 많이 끊기는 것을 볼 수 있다. 오정합에 상대적으로 민감한 WNC 결과의 경우 실제 음원 위치 외에 비슷한 레벨의 부엽이 존재하기 때문인데 이는 역산된 인자가 아직 부정확성을 가지고 있다는 뜻이다. 역산 인자 설정 시 상대적으로 민감도가 낮다 하더라도 바닥층과 반무한영역의 밀도 및 감쇠계수를 같게 설정하였고, cost function으로 TL-matching을 사용했기 때문에 현재 역산된 인자 값에 작은 오차는 있을 것으로 생각된다. 따라서 역산 인자와 cost function의 설정을 조정하여 세부적인 범위 내에서 재역산이 필요할 것으로 보인다.

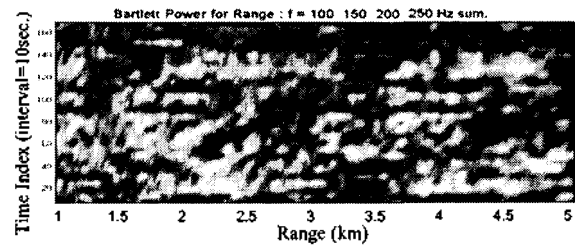


그림 6. 기존 지질자료를 이용한 음원 위치추적

특히 현재 민감도가 가장 높아 보이는 바닥층 음속 결정에 많은 주의가 필요할 것이다. 참고로 역산된 결과와 비교 시 바닥층 음속에서 가장 큰 차이를 보였던 기존 지질자료를 이용해 정합장처리를 해 본 결과, 그림 6에 나타나듯이 오정합에 강건한 Bartlett의 경우에도 거리에 따라 위치 추적 성능이 상당한 편차를 보였다.

5. 결론

협대역 multi-tone 신호를 이용해 TL-matching을 통한 지음향 인자 역산을 시도했고, 역산된 인자를 이용한 TL 비교와 음원 위치 추적을 통해 결과를 검증해 보았다. 음원 이동 경로를 따라 지음향 인자들의 평균적인 값들을 역산해낼 수 있었으나, 얇은 두께의 점토층 음속분포에 모호성이 있어 추후 역산 인자와 cost function의 조정을 통해 세부적인 범위 내에서 재역산이 필요한 것으로 보인다.

참고문헌

1. 박철수, "예인 수평선배열을 이용한 시간영역에서의 지음향학적 인자 역산," 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 2003.
2. A. Tolstoy and N. R. Chapman (eds.), "Benchmarking geoacoustical inversion methods," J. Comp. Acoust. 6(1&2), 1998.
3. H. Cox et al., "Robust adaptive beamforming," IEEE Trans. on Acoust., Speech, and Signal processing, ASSP-35(10), 1987.