동해 천해해역에서의 정합장처리 실험과 결과

신기철*, 김재수*, 박정수**, 김영규**
* 한국해양대학교
** 국방과학연구소

A Matched Field Processing Experiment and Results in The East Sea

Kee-Cheol Shin*, Jea-Soo Kim*, Joung-Soo Park**, Young-Gyu Kim**
* Korea Maritime Univ.
** Agency for Defense Development

본 연구는 수중음향특화센터(UARC)의 지원으로 수행되었음

요 약

소나선배열 신호처리에 있어서 일반적으로 사용하는 빔형성기법은 환경에 대한 정보를 사용하지 않으나, 정합장처리 기법은 해양환경 정보를 사용함으로써 소음원의 추적 및 환경정보의 역산에 이용될 수 있다. 본 연구에서는 2001년도에 동해에서 수행된 실험 자료에 대한 정합장처리 실험과 결과에 대해서 소개한다.

I. 서 론

정합장처리는 평면파 빔형성 기법의 일반화된 형태이다. 실 해양에서의 신호는 다중경로를 통해 전달되므로 평면파를 가정한 빔형성 기법으로는 음원 위치에 대한 정보를 파악하기 어렵다. 정합장처리 기법은 선배열에서 측정된 신호 음장과 예상되는 음원의 위치에 관한 환경정보를 음향전파모델에 적용하여서 예측된 음장을 상관시키는 모델링을 기초로 한 알고리듬으로 음원의 방위정보 뿐만 아니라 거리, 수심 정보 등을 획득할 수 있다[1-3].

최근의 여러 음향전파모델의 개발과 컴퓨터 처리 속도의 향상은 모델링을 기초로 하는 정합장처리와 같은 신호처리 기법의 가능성을 높여주고 있다. 선진 외국에서는 이미 알고리듬의 개발과 실 해상에서의 검증 단계를 통해 시스템 구축에 들어간 것으로 보인다[4-6]. 국내에서도 지난 몇 년간의 연구 성과를 토대로 연근해 정합장처리 시험이 수행되었으며 짧은 연구기간에도 불구하고 좋은 성과를 보이고 있다.

본 연구에서는 2001년 6월 동해안 천해해역에서 수행된 정합장처리 실험의 분석 결과를 위주로 하여 국내 해역에서의 정합장처리의 가능성과 앞으로의 연구 방향에 대해서 설명하였다.

II. 동해 실험 자료의 적용 및 분석

2.1 실험 해역의 해양환경

2001년 6월 13일과 15일의 양일간 동해안의 천해해역에서 수행된 정합장처리 실험은 그림 1과 같이 거리독립 환경인 Track-I, Track-II에서 수행되었다. 거리종속 환경에서도 실험이 수행되었으나, 수심 자료의 불량으로 분석에서 제외하였다.

수직 선배열(VLA)은 (37°35.507 N, 129°10.881E)의 위치에 그림 2와 같이 해저 수심 125 m에 고정시켜 설치하였다. 신호의 수신에 사용한 선배열은 배열의 길이가 90 m이고, 수신 센서의 수는 총 25개로서 4개의 밴드 별로 10-11개씩 구성되어 있다. 실제 측정에 사용된 센서는 19 개의 센서였으나, 이

중 수심 64 m부터 114 m까지 5 m 간격의 11개 센서로부터 수신된 신호를 사용하여 자료 분석에 사용하였다. 정합장처리를 위해 사용된 수신 센서들은 전 수층 중 하부 수층의 일부에 대한 신호 음장을 수신한다.

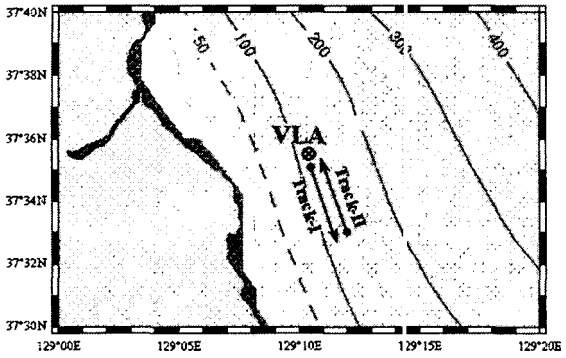


그림 1. 동해안 천해해역의 정합장처리 실험

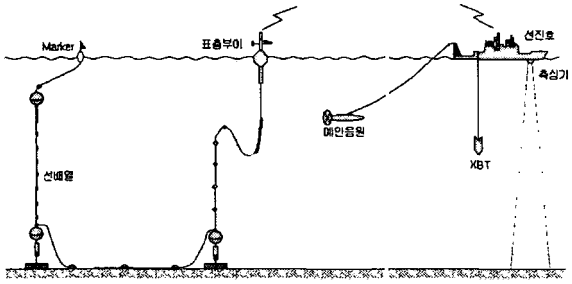


그림 2. 실험의 구성도

표 1. 각 트랙별 음원 예인 매개변수와 환경

예인경로		Track-I	Track-II
음원	주파수(Hz)	50, 70, 90 Hz	50, 70, 90 Hz
	예인속도(Kts)	4.1	3.6
측정시간		6월 13일 12:37-13:05	6월 15일 09:05-09:45
환 경		거리독립	거리독립

음원 신호 발생을 위해 수심 25 m의 일정 수심을 유지하면서 음원을 예인하였으며, 음원 주파수 50, 70, 90 Hz의 3개 토널 신호를 발생시켰다. 각 트랙별 음원 매개변수와 실험 환경에 대해서 표 1에 정리하였다.

실험 해역의 음속 구조를 측정하기 위해 XBT(expendable bathythermograph)를 이용하여 실험 기간 동안 관측하였다. 그림 3은 Track-I, II에 해당하는 실험시간 동안 측정된 수온을 음속으로 역산하여 도시한 것이다.

실험 해역에서의 해저퇴적층과 저층 환경 자료의 부족으로 각 층의 음향 특성자료는 추정 값을 사용하였다. 해저퇴적층의 두께는 300 m, 해저퇴적층의 조성은 모래와 진흙이 혼합되어 있으며, 음속은 1600 m/s, 밀도는 1.6 g/cm^3, 감쇠계수는 0.15 dB/λ로 하였다. 화성암과 변성암으로 구성된 저층의 음속은 2800 m/s, 밀도는 2.7 g/cm^3, 감쇠계수는 0.2 dB/λ이다. 그림 4는 해양환경의 기본 모델을 도시한 것이다.

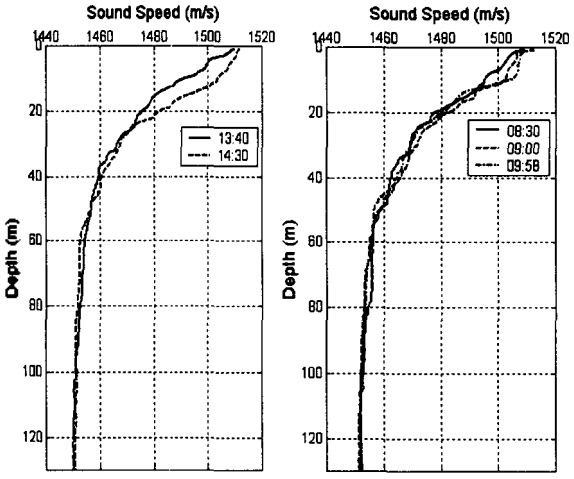


그림 3. 음속의 구조

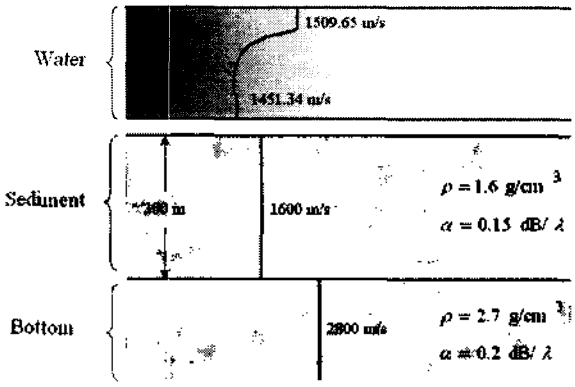


그림 4. 실험의 기본 환경모델

2.2 기하와 지음향 매개변수 역산

음향전파모델에 의해 복제음장을 생성하기 위해서는 기하와 지음향 매개변수들을 포함한 평균 환경 자료의 역산이 필요하다.

기본 환경모델의 음원 위치 추정 오차를 줄이기 위해 전역최적화 방법인 유전자알고리즘을 이용하여 매개변수 역산을 시도하였다[7-9]. 사용된 주파수는 다른 주파수에 비해 상대적으로 SNR이 우세

한 90 Hz를 사용하였다. 총 14개의 매개변수는 대상으로 하였으며, 수층의 음속분포는 해수면에서 수심 40 m까지의 음속에 대하여 13시 40분에 측정된 음속 자료를 기준으로 14시 30분의 음속 자료와의 차이를 σ라 정의한 후 $\pm 1.5\sigma$를 탐색공간으로 하였다. 각 매개변수별 탐색공간의 크기는 128개, 초기 모집단의 크기는 각 매개변수별로 64개, 재생산율은 $f=0.5$, 교배 비율 $p_x=0.8$, 돌연변이 비율 $p_m=0.05$로 하였다. 그리고 사후 확률분포(a posteriori probability)를 구하기 위해 독립적인 매개변수 역산을 50회 수행하였다. 매개변수 역산에 의한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 매개변수 역산 결과

매개변수	역산 결과
어레이 수심 오차 (m)	0.58268
어레이 경사 (m)	-3.0709
수층 음속분포 오차상수 (σ)	-0.94488
수층 수심 (m)	130.5512
해저퇴적층 두께 (m)	200.7087
해저퇴적층 상부 음속 (m/s)	1565.2756
해저퇴적층 하부 음속 (m/s)	1883.7
해저퇴적층 밀도 (g/cm^3)	11.589
해저퇴적층 감쇠계수 (dB/λ)	0.61024
저층 음속 (m/s)	2980.7
저층 밀도 (g/cm^3)	3.16
저층 감쇠계수 (dB/λ)	1.11

2.3 음원위치 추적

정합장처리는 수신기 배열에서 측정된 신호 음장과 예측되는 후보 음원 위치들에 대한 음향전파모델에서 계산된 복제음장과의 상관관계에 의해 음원의 위치를 추정한다. 상관성이 높게 나타나는 곳이 가정된 음원 위치가 실제 음원일 가능성이 높다는 것을 지시하게 된다. 상관성의 측정은 다음에 의해서 수행된다.

$$P(f,r,z)=\frac{\sum_i\sum_j S_i^*(f,r,z)\,R_{ij}(f)\,S_j(f,r,z)}{\sum_i R_{ii}(f)\sum_i |S_i(f,r,z)|^2}$$

여기서, f는 음원의 주파수 그리고 r과 z는 각각 가정된 음원 위치의 거리와 깊이이다. i과 j는 배열의 수신기의 번호이다. $S_i(f,r,z)$는 음원의 주파수 f이고 r과 z에 위치한 음원에 의해 i 번째 수신기에서 예측된 복제음장을 나타내고, $R_{ij}(f)$는 신호의 공분산행렬(cross spectral density matrix)이다.

여러 주파수가 사용 가능할 경우, 간단한 비일관성(incoherent) 처리를 통해 정합장처리 결과를 효과적으로 개선할 수 있다. 만약 사용 가능한 토널 주파수가 M개라면, 각 토널 주파수에 대해 $P(f,r,z)$를 계산한 후 다음과 같이 비일관성 평균할 수 있다.

$$P(r,z)=\frac{1}{M}\sum_f P(f,r,z)$$

동해안 천해해역 정합장처리 실험에서는 50, 70, 90 Hz의 세 토널 주파수가 사용되었으며, 정합장처리는 세 토널 주파수에 대한 정합출력장 결과를 비일관성 평균하여 계산한다.

매개변수 역산 결과를 토대로 거리독립인 Track-I와 Track-II에 대하여 음원 위치 추적을 수행하였다. 신호처리 시 신호단편 크기는 2 sec로 하였고, 신호단편들은 50% 중첩하여 만든 후 표본 공분산행렬을 구성하기 위해 5개의 신호단편을 평균하여 사용하였다. 그리고 복제음장을 구성하기 위한 음향전파모델은 KRAKEN을 사용하였다. 사용된 프로세서는 비일관성 광대역 선형 광대역프로세서를 사용하여 각 주파수별 정합출력장을 계산한 후 dB 단위에서 더하는 방법을 사용하였다.

그림 5와 그림 6은 Track-I와 Track-II에 대한 음원 위치 추적 결과이다. 각 토널 주파수별 위치 추적 결과는 음원의 위치를 제대로 추적하지 못하고 있으나, 부엽의 패턴은 두 트랙을 비교해 보면 알 수 있듯이 Track-I에서 VLA에서 멀어지는 현상을 보이고 있고, Track-II는 VLA에 근접해 오는 현상을 보이고 있다. 부엽의 이러한 편향 양상과 각 주파수별로 같은 시간대에서 부엽의 위치가 다른 곳에 나타난다는 것을 이용하면 그림 5(d)와 그림 6(d)와 같이 각 주파수 정합출력장을 비일관성 처리에 의해 dB 단위 또는 과워를 합할 경우 보다 확실하게 이동 음원을 궤적을 추적할 수 있다.

III. 결 론

본 연구에서는 동해안 천해해역에서의 정합장처리 실험 자료를 분석하였다. 환경정보의 부족으로 환경 매개변수 역산을 통해 변수 최적화를 시도하였고, 역산된 매개변수를 음향전파모델링에 적용하여 정합장처리의 환경정보로 사용하였다. 동해 천해

해역의 거리독립 환경에서의 정합장처리는 비일관성 광대역 선형 프로세서에 의해 이루어졌으며, 제시된 결과와 같이 연속된 이동음원의 위치를 추적하고 있는 것으로 보인다. 환경정보를 이용한 모델링 기초 신호처리 기법은 신뢰성 있는 환경정보를 요구하므로 앞으로의 연구에서 환경정보 역산의 연구가 필요하리라 생각된다.

참고문헌

[1] A. Tolstoy, *Matched Field Processing for Underwater Acoustic*, World Scientific Singapore, 1993

[2] A. B. Baggerorer, W. A. Kuperman, and P. N. Mikhalevsky, "An Overview of Matched Field Methods in Ocean Acoustics," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 18, pp. 401-424, 1993

[3] A. B. Baggeroer, W. A. Kuperman, Henrik Schmidt, "Matched filed processing: Source localization in correlated noise as an optimum parameter estimation problem," *J. Acoust. Soc. Am.* 83(2). pp. 571-587, Feb. 1983

[4] C. Feuillade, W. A. Kinney and D. R. DelBalzo, "Shallow-water matched-field localization off Panama City, Florida." *J. Acoust. Soc. Am.* 88(1). pp. 423-433, July 1990

[5] R. T. Bachman, P. W. Schey, N. O. Booth, and F. J. Ryan, "Geoacoustic databases for matched-field processing: Preliminary results in shallow water off San Diego, California," *J. Acoust. Soc. Am.* 99(4). pp. 2077-2085, April 1996

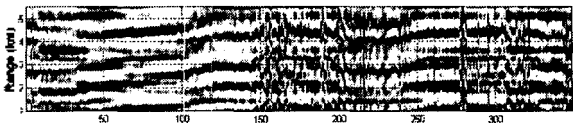
[6] G. L. D'Spain, J. J. Murray, and W. S. Hodgkiss, "Mirages in Shallow water matched field processing," *J. Acoust. Soc. Am.* 105(6). pp. 3245-3265, June 1999

[7] P. Gerstoft, "Inversion of seismoacoustic data using genetic algorithms and a posteriori probability distributions," *J. Acoust. Soc. Am.* 95(2), pp. 770-782, 1994

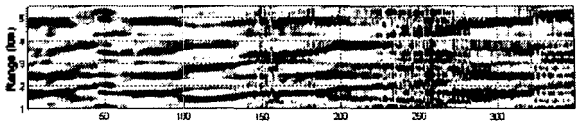
[8] D. F. Gingras and P. Gerstoft, "Inversion for genetic and geoacoustic parameters in shallow water: Experimental results," *J. Acoust. Soc. Am.* 97(6), pp. 3859-3598, 1995

[9] P. Gerstoft and D. F. Gingras, "Parameter estimation using multifrequency range-dependent acoustic data in shallow water," *J. Acoust. Soc. Am.* 99(5), pp. 3859-3598, 1995

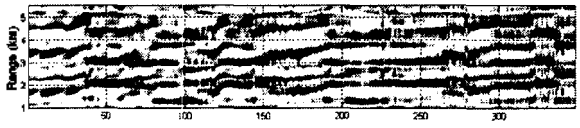
(a) 50 Hz



(b) 70 Hz



(c) 90 Hz



(d) sum

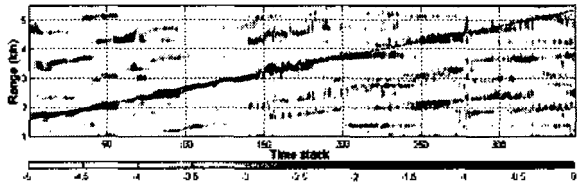
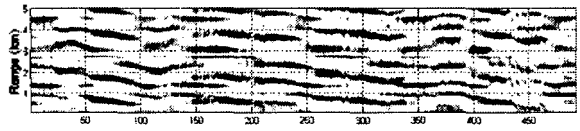
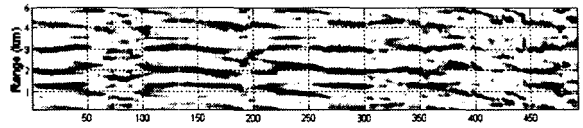


그림 5. Track-I의 음원 위치 추적

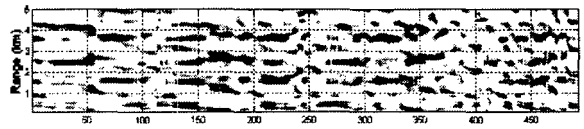
(a) 50 Hz



(b) 70 Hz



(c) 90 Hz



(d) sum

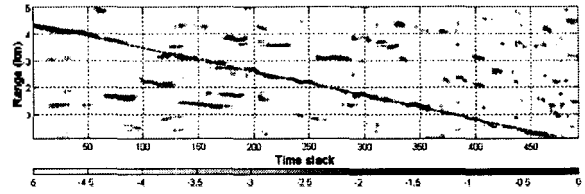


그림 6. Track-II의 음원 위치 추적