MAPLE 0310 동해 정합장처리 실험

박정수, 김성일, 홍준석, 김영규, 김의형, 김형수, 김영선, 나영남
국방과학연구소

Matched Field Processing in the East Sea of Korea : MAPLE 0310.

J.S. Park, S.I. Kim, J.S. Hong, Y.G. Kim, E.H. Kim, H.S. Kim, Y.S. Kim, Y.N. Na
Agency for Defense Development
js.park@add.re.kr

요약

수직선배열과 이동음원을 이용하여 수심이 140m인 동해 연안에서 정합장처리 실험을 실시하고 신호를 분석하였다. Battlett, MVDR, WNGC 정합장처리기를 이용하여 음원위치추정을 수행하였다. 실험 해역의 수온구조는 내부파등의 단주기 변동의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 왔으며, 정합장처리 결과에서도 단주기변동의 영향을 받아 부엽준위가 증가하였다.

1. 서론

천해환경에서 다중표적을 탐지하고 위치를 파악하기 위한 기존의 평면파 방형성 기법은 복잡한 다중경로 현상을 충분히 반영하지 못한다. 반면에 정합장처리 기법은 음파전달모델을 이용하여 적합한 조향성분을 추정하고 적용한다[1]. 그러나 실제로 정합장처리 기법의 성능은 이론적인 경우보다 매우 낮다[2].

정합장처리는 전달된 음장과 복제음장과의 상관관계를 나타내는 것이므로, 신호가 전달된 음장을 정확하게 모사한 경우에는 출력이 매우 높은 상관관계를 가지며 추정된 값들의 정확성이 높지만, 그렇지 않은 경우에는 상관관계가 저하되어 추정된 값에 오차가 포함된다. 수신된 음장과 복제음장 사이에서 매개변수들의 오정합은 항상 존재하고, 이러한 매개변수들의 오정합은 단일 또는 결합된 양상을 보인다. 오정합에 의한 출력저하 및 오차의 주 요인은 복잡한 해양환경과 및 빈번한 해상교통의 영향을 받는다.

본 논문에서는 동해 연안의 해양환경요소와 정합장처리의 상관성을 살피기 위하여 2003년 10월 수심이 약 140m인 동해 연안에서 그림 1과 같이 길이가 70m인 16채널의 수직선배열과 예인음원을 이용하여 MAPLE03 (Matched Acoustic Properties and Localization Experiment, 2003) 실험을 실시하고 획득한 자료를 분석하였다.

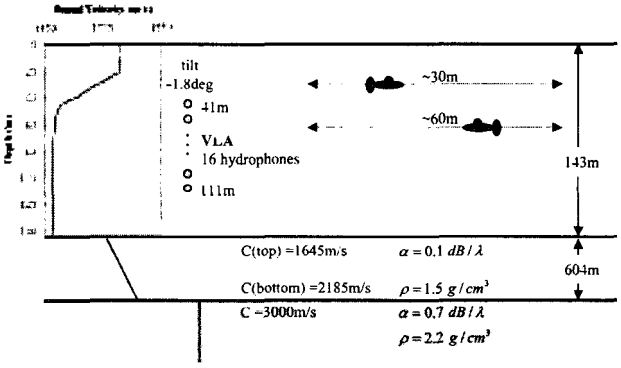

그림 1. MAPLE 0310 실험 개요 및 해양환경.

2. 정합장처리 결과

2.1 정합장처리 알고리즘

수신센서가 N개인 배열에서 정합장처리의 파워 출력은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$P = \vec{w}^{H} K \vec{w} \qquad (1)$$

여기서 $\vec{w}$는 Nx1 가중벡터이고 K는 NxN CSDM

이다.

Bartlett 의 가중벡터는 복제음장 d와 같고, MVDR은 조향위치의 신호는 이득의 왜곡이 없게 하고 다른 위치의 신호와 소음의 이득은 최소로 만드는 단일 구속조건을 사용하는 최적의 적응 알고리즘이며, 복제음장과 CSDM에 따라 달라지는 가중벡터를 다래와 같이 계산한다[3].

$$\overrightarrow{w}_{MVDR} = \frac{K^{-1}\overrightarrow{d}}{\overrightarrow{d}^{H}K^{-1}\overrightarrow{d}} \qquad (2)$$

여기서 $\overrightarrow{d}$는 복제음장 벡터이다.

오정합에 민감한 MVDR 알고리즘을 강인하게 하기 위하여 시스템의 백색잡음 이득을 제한하는 방법이 WNGC 이며, 아래와 같이 가중벡터를 쓸 수 있다[4].

$$\overrightarrow{w}_{DL} = \frac{(K+\epsilon I)^{-1}\overrightarrow{d}}{\overrightarrow{d}^{H}(K+\epsilon I)^{-1}\overrightarrow{d}}; \qquad (3)$$

여기에서 I는 단위행렬이고, ϵ는 공분산 행렬 K의 대각항에 더해지는 일정량의 값이다. WNGC는 아래의 식과 같이 정의된다.

$$G_w(\epsilon) = (w_{DL}^{\dagger}w_{DL})^{-1} \qquad (4)$$

위 식에서 WNG G_w가 식 (5)를 만족하도록 공분산행렬 K에 ϵ를 증가시킨다.

$$\delta^2 \square G_w \square N \qquad (5)$$

MAPLE03 실험에서 획득한 신호에 포함된 주파수는 모두 7개이므로, 7개 주파수를 각각 협대역 정합장처리한 후에 더해서 평균을 취하는 비상관 광대역 처리 (incoherent broadband processing)을 하였다

2.2 MAPLE 0310 정합장처리 결과

정지음원 실험에서 획득한 신호를 이용하여 추정한 환경 변수를 이용하여 이동음원에 대한 정합장처리를 수행하였다. 이동음원은 주파수 70Hz부터 130Hz까지 10Hz간격으로 총 7개의 토날을 음원준위 150dB//1μPa @1m로 송신하였다. 수온, 염분, 해류, 해역수심, 음원수심, 음원거리 등을 함께 관측하였다

그림 2는 음원 수심이 약 60m인 수신신호를 Bartlett 하여 당지한 시간별 음원 거리이다. 음원이 3100초 동안 1700m에서 5800m까지 이동했음을 볼 수 있다. FFT 길이는 16384이고, 신호단편은 50% 중첩하여 30개를 사용하여 평균을 취하였다. 부엽 준위가 매우 낮고 음원의 이동경로가 잘 나타났다.

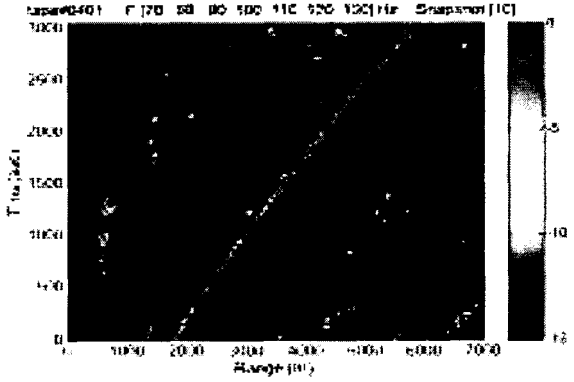

그림 2. Bartlett 처리 결과 (음원수심 60m).

음원수심이 30m인 그림 3의 정합장처리 결과에서는 상대적으로 부엽 준위가 높고 규칙적인 부엽이 반복되는 것을 볼 수 있는데, 이것은 수온구조에서 강하게 형성되어있는 수온약층 내에 음원이 있기 때문이다. 실험해역의 수온약층은 단주기변동과 거리별 변동이 큰 해역으로써, 복제음장을 추정할 때 입력되는 수온구조가

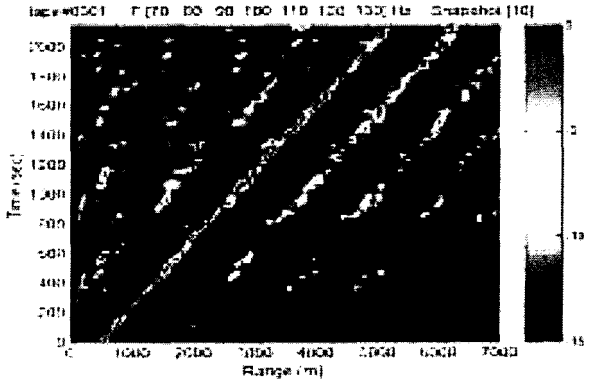

그림 3. Bartlett 처리 결과 (음원수심 30m).

수온약층의 변동성을 포함하고 있지 못하기 때문에 발생하는 오정합의 결과로 판단된다.

실험 기간 중에 표층과 저층의 온도차이가 크고, 표층에 20m~30m 폭의 온도 혼합층이 잘 발달되어 있었다. 그림 4는 수직선배열에 부착한 수온센서에 나타난 수심 40m의 시간에 따른 수온변동으로써, 선배열의 기울기 및 수심 변화는 매우 미약한 상태였다. 실험 해역인 동해 연안은 내부파가 매우 강하게 발생하는 것으로 알려져 있으며, 따라서 이러한 변동의 요인이 내부파의 영향일 가능성이 있다. 그러므로 강한 수온약층의 단주기 변동 요인 때문에 음원의 수심이 수온 약층의 영향을 크게 받는 위치에 있을 때는 그림 3에서처럼 위치 바이어스가 존재하고, 부엽이 높아지는 것으로 보인다.

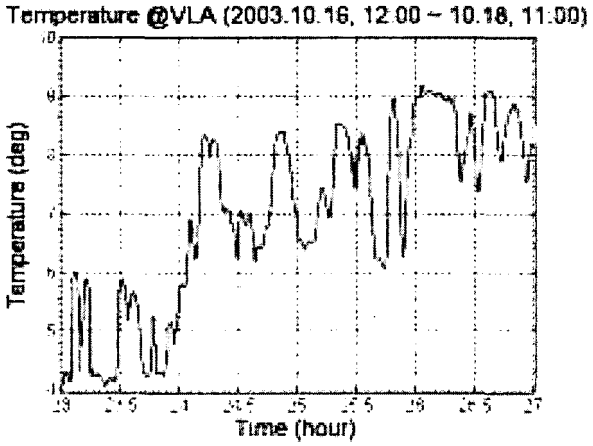

그림 4. 수직선배열에 부착한 수온센서에 나타난 수심 40m의 시간에 따른 수온변동

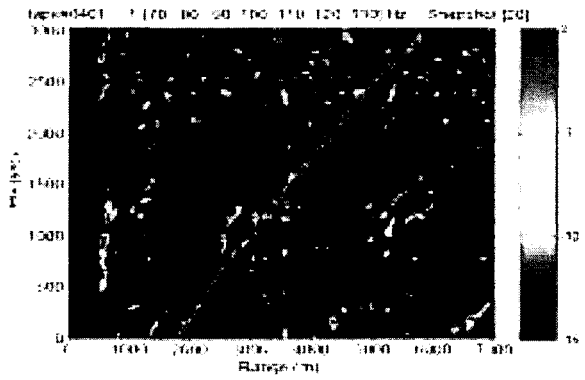

그림 4. MVDR-WNGC 처리 결과 (음원수심 60m, WNGC = -1 dB).

그림 5와 그림 6는 WNGC를 -1 dB, -3 dB로 했을 때의 MVDR 출력이다. WNGC가 작아지면 부엽 준위가 급격하게 낮아지는 것을 볼 수 있으나, 음원위치의 지속적인 탐지는 어려워지는 것을 볼 수있다. 즉, WNGC가 -1 dB 일 때는 Bartlett 보다 성능이 향상되지만, WNGC가 -2 dB 일 경우에는 음원 경로가 지속적이지 못하다.

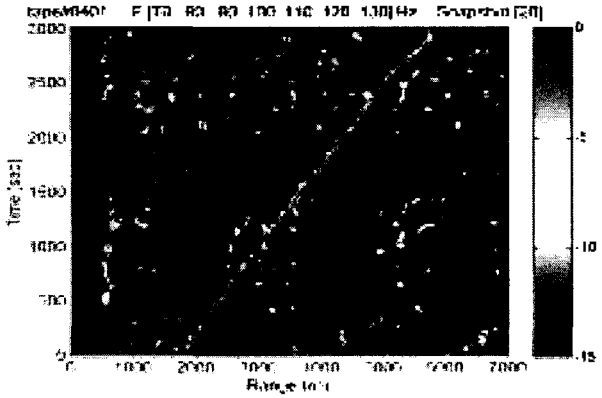

그림 5. MVDR-WNGC 처리 결과 (음원수심 60m, WNGC = -2 dB).

3. 요약 및 결론

MAPLE03에서 음원은 송신주파수 70Hz부터 130Hz까지 10Hz간격으로 총 7개의 도달을 음원준위 150dB//1μPa @1m로 송신하였고, 음원 수심은 약 30 ~ 70m를 유지하였고 해저면이 평탄한 경로를 따라 예인하였다.

정합장처리에서 가장 중요한 것은 오정합이 적은 복제음장을 생성하는 것이다. 그러나 현실적으로 오정합을 없애기는 불가능하지만, 가능한 모든 오정합요소를 줄여주는 노력이 필요하다. 수층의 환경요소와는 달리 해저면과 퇴적층의 지음향 정보는 변동성을 무시 할수 있어서 매우 안정적이다. 지음향 정보는 직접관측하기 어려우며 탄성파장비 등을 이용하여 역산하지만, 이 과정에 오차가 발생할 가능성이 있다. 또한 탄성파 탐사로부터 구한 지음향 정보가 저주파 음파전달 모델 입력으로 사용되기에는 문제점이 있을 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 탄성파 탐사로부터 알려진 지음향 정보를 음파전달산출에 적합하게 하기 위하여 최적화 과정을 거쳤다.

강한 수온약층의 단주기 변동 요인 때문에 음원의 수심이 수온 약층의 영향을 크게 받는 위치에 있을 때는

위치 바이어스가 존재하고, 부엽이 높아지는 것으로 보인다.

WNGC를 적용하면 부엽의 준위가 크게 감소하였고, 주엽의 폭이 안정적으로 좁아져서 탐지에 유리해졌다. 그러나 짧은 선배열과 수층의 단주기 변동에 의한 신호 일관성의 저하 때문에 WNGC를 너무 낮게 하면 오히려 성능이 저하되었다. 따라서 WNGC는 신호의 특성과 오정합에 따라 적절하게 사용해야만 성능향상을 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. A. Tolstoy, *Matched-field Processing for Underwater Acoustic*, World Scientific, Singapore, 1993
2. A. B. Baggeroer, W.A. Kuperman, and P. N. Mikhalevsky, "An Overview of Matched Field Methods in Ocean Acoustics," IEEE J. Ocean. Eng., 18, pp. 401-424, 1993.
3. J. Capon, R.J. Greenfield, and R J. Kolker, "Multidimentional maximum likelihood processing of a large aperture se smic array," Proc. of the IEEE. 55. pp. 192-21', 1967.
4. R.A. Gramann, *ABF ALGORITHMS IMPLIMENTED AT ARL:UT*, ARL-UT-EV-92-31, 1992.