

수온의 단주기 변동이 있는 동해에서의 정합장처리 실험 : MAPLE 0310

Matched Field Processing Experiment in the East Sea of Korea Characterized by Short Period Fluctuating Temperature: MAPLE 0310

박 정 수*, 김 성 일*, 홍 준 석*, 김 의 형*, 김 영 규*
(Joung-Soo Park*, Seongil Kim*, Jun-Suk Hong*, Eui-Hyung Kim*, Young-Gyu Kim*)

*국방과학연구소

(접수일자: 2005년 6월 20일; 수정일자: 2005년 7월 7일; 채택일자: 2005년 7월 20일)

복잡한 음파전달과 시끄러운 해상 교통량이 많은 천해 환경에서 조용한 수중 표적의 탐지와 위치 추정은 아직까지 많은 문제점들을 남기고 있다. 정합장처리는 적절한 조향 벡터를 구성하기 위하여 음파전달 모델을 이용함으로써 최적의 배열 이득과 위치 추정 정밀도를 제공한다. 그러나 실제로는 아직까지 몇몇 제약조건들 때문에 정합장처리의 성능이 제한되고 있다. 가장 중요한 제약조건은 일반적으로 수중의 환경에 대한 정확한 자료가 부족하다는 것이다. 한국 주변의 천해에서 정합장처리의 성능을 판단하기 위하여 일련의 해상실험인 MAPLE (matched acoustic properties and localization experiment)을 실시해오고 있으며, 본 논문은 2003년 10월에 수직선배열과 이동음원을 이용하여 동해 연안에서 실시한 정합장처리 실험으로부터 획득한 자료를 분석한 결과이다. 정합장처리 알고리즘을 이용하여 음원위치추정을 수행하였다. 실험 해역의 수온구조는 내부파 등의 단주기 변동의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 왔으며, 본 논문의 정합장처리 결과에서도 단주기변동의 영향을 받아 부엽준위가 증가한 것으로 보인다.

핵심용어: MAPLE, 정합장처리, Bartlett, MVDR, WNGC

투고분야: 수중음향 (5.5)

Detection and localization of a quiet target in shallow water environments is a challenging problem because of the complicated acoustic propagation and the prevalence of loud surface ship interference. Matched Field Processing (MFP) can help address the concern by using a propagation model to determine the steering vectors, thus providing optimal array gain and localization accuracy. However, performance of MFP have yet realized in practice, for several reasons. The most important limitation is that precise information on the underwater environments is generally not available. To examine the performance of MFP in the East Sea of Korea, we have accomplished a series of matched acoustic properties and localization experiment (MAPLE). We analyzed the array data measured from MAPLE which is accomplished using a vertical line array and a towed acoustic source off the east coast of Korea in Oct. 2003. We localized the acoustic source using MFP. It is well known that the temperature structure in the experimental site is affected by the short period fluctuation such as internal wave. In this paper, it is found that the sidelobe level on the MFP ambiguity surface is increased being affected by the short period fluctuation.

Keywords: Matched Acoustic Properties and Localization Experiment (MAPLE), Matched Field Processing, Bartlett, MVDR, WNGC

ASK subject classification: Underwater acoustics (5.5)

I. 서론

천해환경에서 다중표적을 탐지하고 위치를 파악하기 위한 기존의 평면파 빔형성 기법은 복잡한 다중경로 현상을 충분히 반영하지 못하기 때문에 배열이득이 저하되고 방위오차 등이 발생한다[1-3]. 반면에 정합장처리 기법은 해양환경을 고려할 수 있는 음파전달모델을 이용하여 적합한 조향성분을 추정하고 적용한다[4,5]. 그러나 실제로 정합장처리 기법의 성능은 이론적인 경우보다 매우 낮다.

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. 특히, 천해에서는 해양환경의 시공간 변동이 크기 때문에 해양환경에 대한 정확한 정보를 확보하기 어려워 오정합이 커지게 된다. 계산된 배열 조향벡터와 실제의 배열 조향벡터의 오정합의 결과는 배열이득의 손실을 초래하며, 적응 정합장처리를 사용할 경우에 오히려 표적 자신이 억제되는 결과를 가져온다[6].

복잡한 해양환경에 의한 오정합과 함께 다중 표적 환경을 만드는 빈번한 해상교통 또한 정합장처리의 성능을 저하시키는 한 요인이다[7]. 특히, 빔 분해능이 높은 선배열에서는 이동하는 다중표적이 성능을 심각하게 저하시킨다. 표적의 이동을 고려하여 제한된 수의 신호단편을 사용하여도 표적의 에너지가 인접한 빔들에 퍼지게 됨으로서 저소음 표적의 신호출력 파워가 낮아지고 표적의 탐지와 위치 추정이 어려워진다[8,9]. 강한 표적이 다수 존재할 경우에 비적용 기법인 고전적인 정합장처리 기법은 높은 부엽준위 때문에 저소음 표적을 탐지하기가 어렵다. MVDR (minimum variance distortionless response)[10,11]과 같은 적응 정합장처리 기법은 배열 신호의 공분산 역산으로부터 계산한 적응 가중벡터를 사용하여 간섭표적의 부엽을 낮추어 분해능을 증가시킴으로써 저소음 표적의 탐지 확률을 높인다. 하지만, 적응 정합장처리 기법은 오정합에 매우 민감해지는 단점을 가지고 있다. 적응 정합장처리 기법을 오정합에 보다 강인하게 만들기 위하여 시스템의 백색잡음을 조절하는 기법이 이용되고 있다[12]. 적응 정합장처리 기법에 백색잡

음 이득 구속을 적용하면 고분해 능을 유지하면서 Bartlett 처리기의 강인한 특성을 갖게 된다. 다중표적 문제는 천해환경의 복잡성에 의한 오정합과 함께 다음 단계로 연구되어야할 중요한 부분이다.

한국의 동해 연안은 해양변동이 매우 다양한 형태로 나타나고, 변화 폭이 큰 것으로 알려져 있다. 이에 따라 한국 내에서는 동해에서 정합장처리 기법의 적용가능성 연구를 수행해오고 있으며[13~25], 최근에는 이동음원을 이용한 몇 번의 해상실험을 통하여 변동이 큰 동해에서 표적을 탐지하고자하는 연구가 이루어져왔다[26-28]. 특히, 2002년부터 국방과학연구소에서는 시공간 해양환경 변동이 큰 동해에서 정합장처리 기법을 이용한 환경 인자와 표적위치 역산의 성능을 평가하기 위하여 MAPLE 과제를 수행하고 있으며, 실험 장비 제작과 해상실험을 수행해오고 있다. 본 논문에서는 동해 연안의 해양환경 요소와 정합장처리의 상관성을 살피기 위하여 2003년 10월 수심이 약 140m 인 동해 연안에서 길이가 70m 인 16채널의 수직선배열과 예인음원을 이용하여 음향 실험을 실시하고 획득한 자료를 분석하였다.

2장에서는 MAPLE 실험내용을 설명하고, 3장에서는 실험에서 획득한 자료의 정합장처리 결과를 기술하였다.

II. MAPLE 0310 실험

2003년 10월 16일부터 19일까지 4일 동안의 실험 기간에 그림 1과 같이 길이가 70m 인 16채널의 수직선배열을 수심 143m 인 실험 해역에 설치하고, 국방과학연구소의 선진호를 이용하여 예인음원을 운용하였다.

실험에 사용한 선배열의 길이는 90m 이고, 수신센서

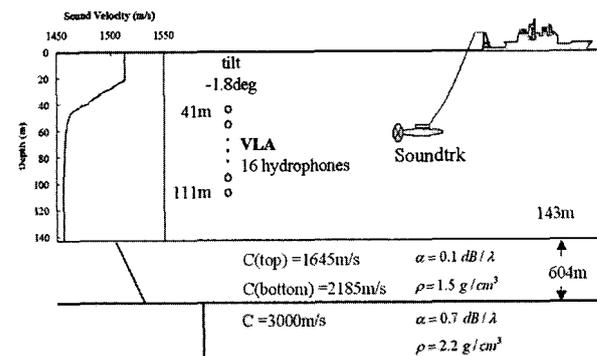


그림 1. MAPLE 0310 실험 개요 및 해양환경
Fig. 1. Schematic of MAPLE 0310 experiment and shallow water environments.

수는 25개이다. 25개의 수신센서 중에서 실험대상 주파수에 적합한 20개의 수신센서를 취한 후에 상태가 양호한 16개를 다시 선정하였다. 선배열의 길이도 70m 가 되도록 재구성하였다. 선배열에서 수신한 신호는 표층부 이를 거쳐 합상의 원격 RF 수신단에 수신되며, 이때 전송량의 제한 때문에 600Hz 까지만 전송과 수신 가능 하다. 예인음원의 수심을 30m~70m 로 유지하였으며, 선배열로부터 최대 9km 까지 왕복 예인하였다. 정합장 처리를 위한 이동음원 실험은 주로 10월 16일과 17일 동안 수행되었으며, GPS (global positioning system) 를 사용하여 1초 간격으로 관측한 선진호의 이동 경로와 선배열로부터의 거리는 그림 2에서 볼 수 있다.

음원을 이용한 실험은 총 6회 (Event 0, Event1, Event2, Event 3, Event 4, Dipping)를 실시하였으며, 선배열을 기준으로 왕복 예인 및 정지 송신하였다. 또한 복제음장 계산을 위하여 입력되는 지음향 자료의 역산을 위하여 음원을 일정 수심에 내리고 정지한 상태에서 Dipping 실험을 실시하였다. Event 0은 예인음원의 각

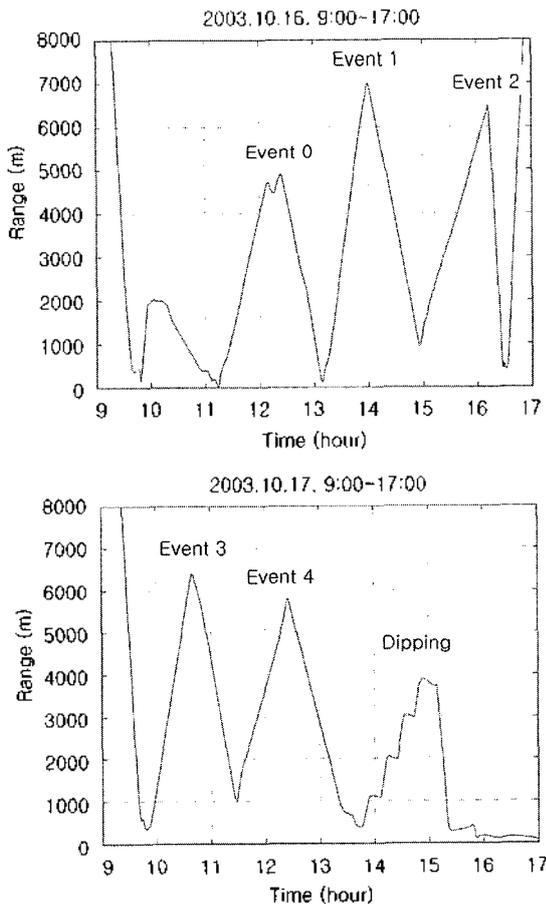


그림 2. GPS로 관측한 각 Event 별 예인음원과 수직선배열의 거리
Fig. 2. Range from the towed source to the vertical line array measured by GPS in each Event.

주파수의 음원준위 출력을 보정하기위한 사전 실험이었다. Event 1과 Event 3의 설정 예인음원 수심은 약 30m 이고, Event 2와 Event 4의 예인음원 설정 수심은 약 60m 였다. 그러나 예인합속 등의 영향으로 실제 예인음원은 약 10m 범위 내에서 수심의 변화가 있었다.

XBT를 이용하여 음원 예인 중에 1km~2km 마다 수온을 관측하였다. 실험 기간이 가을임에도 불구하고 표층과 저층의 온도차이가 크고, 표층에 20m~30m 폭의 온도 혼합층이 잘 발달되어 있다 (그림 3). 모든 Event 는 등수심 선상에서 이루어 졌으므로 실험해역의 특성상 수온의 거리변화가 미약할 것으로 예상되었으나, 수온 약층 아래에서도 동일 수심에서 약 2도의 온도 변화가 관측되었다. XBT로 관측한 수온을 이용하여 수중 음속을 계산할 때 염분을 수심에 상관없이 일정한 값을 사용하면 오차가 커진다. 따라서 CTD (SBE19)를 사용하여 염분을 관측하여 사용하였다. 또한 수직으로 설치한 선배열의 양 끝단과 중간, 그리고 예인음원체에 간에 CTD (SBE39)를 부착하여 수심과 수온의 변화를 관측하였다.

음원을 예인하는 경로상의 해역수심은 선진호에 장착된 측심기를 이용하여 관측하였다. Event 1, Event 2, Event 3, Event 4의 예인 중에 음원에서는 70Hz부터 130Hz까지 10Hz간격으로 총 7개의 토날을 음원준위 150dB/1μPa @1m 로 송신하였다.

변동성이 큰 해역에서 정합장처리를 위한 복제음장 산출에는 자료의 대표성 결여에 따른 오정합 때문에 관측한 환경자료들을 그대로 사용하기 어렵다. 따라서 XBT 관측 수온은 거리별 평균을 구하고 스플라인 곡선 적합

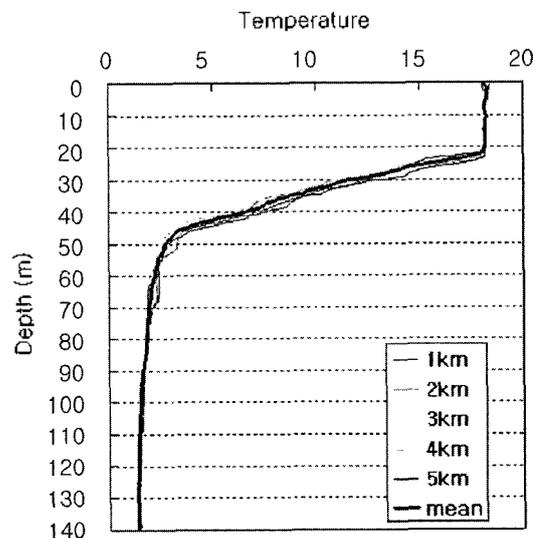


그림 3. XBT로 관측한 Event 4 의 수직선배열 기준의 거리별 구온 구조와 평균 수온 구조

Fig. 3. Vertical temperature profiles and a mean temperature measured by XBT at each range from the vertical line array.

(fitting)을 이용하여 관측 구간의 평균적인 수온구조를 추정하였다. 해저면과 퇴적층의 지음향 정보는 변동성을 무시 할 수 있어서 매우 안정적이지만, 탐성과 탐사로부터 알려진 지음향 정보를 음파전달산출에 적합하게 하기 위하여 최적화 과정을 거쳤다[28]. 최적화 기법으로는 유전알고리즘을 이용하였으며, 유전알고리즘은 전역적인 공간에서 최적해 발견 가능성이 높은 적응 탐색기법이다. 유전알고리즘을 이용하여 추정한 지음향 정보는 퇴적층 두께, 퇴적층 상부 음속, 퇴적층 하부 음속, 기저층 음속, 퇴적층 감쇄계수, 기저층 감쇄계수, 퇴적층 밀도, 기저층 밀도 등이며, 수신센서의 수심과 기울기, 표적의 거리와 수심, 해역의 수심 등을 함께 추정하였다. 최종적으로 정합장치리를 위한 복제음장산출의 경계조건으로써 그림 1과 같은 최적화된 환경모델을 설정하였다. 유전알고리즘을 이용하여 최적화한 지음향 정보를 이용한 정합장치리의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다 [28].

III. 정합장치리

3.1 정합장치리 알고리즘

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

$$P = \vec{w}^H K \vec{w} \tag{1}$$

여기서 \vec{w} 는 Nx1 가중벡터이고 K는 NxN 공분산 행렬이다.

Bartlett 의 가중벡터는 복제음장 \vec{d} 와 같고, MVDR 은 조향위치의 신호는 이득의 왜곡이 없게 하고 다른 위치의 신호와 소음의 이득은 최소로 만드는 단일 구속조건을 사용하는 최적의 적응 알고리즘이며, 복제음장과 공분산행렬에 따라 달라지는 가중벡터를 아래와 같이 계산한다[5].

$$\vec{w}_{MVDR} = \frac{K^{-1} \vec{d}}{\vec{d}^H K^{-1} \vec{d}} \tag{2}$$

여기서 \vec{d} 는 복제음장 벡터이다.

오정합에 민감한 MVDR 알고리즘을 강인하게 하기 위

하여 시스템의 백색잡음 이득을 제한하는 방법이 WNGC (white noise gain constraint) 이며, 아래와 같이 가중 벡터를 쓸 수 있다[29].

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

여기에서 I는 단위행렬이고, ϵ 는 공분산행렬 K의 대각항에 더해지는 일정량의 값이다. WNG (white noise gain)은 아래의 식과 같이 정의된다.

$$G_w(\epsilon) = (\vec{w}_{DL}^H \vec{w}_{DL})^{-1} \tag{4}$$

위 식에서 WNG G_w 가 식 (5)를 만족하도록 공분산 행렬 K에 ϵ 를 증가시켜 준다.

$$\delta^2 \leq G_w \leq N \tag{5}$$

여기서 δ^2 는 간섭의 제거와 오정합에 의한 손실 사이의 균형을 부여하기 위한 변수이며, 일반적인 경우에 G_w 를 -3dB에 해당하는 값을 사용한다[30].

MAPLE03 실험에서 획득한 신호에 포함된 주파수는 모두 7개이므로, 7개 주파수를 각각 협대역 정합장치리 한 후에 더해서 평균을 취하는 비상관 광대역 처리를 하였다. 각각의 주파수 결과가 갖는 부엽의 위치와 공간 상관성이 다르기 때문에 비상관 광대역 처리를 하면 음원 위치의 출력은 향상되고 부엽은 낮아지는 효과를 준다.

3.2 정지 음원 정합장치리 결과

MAPLE 0310 실험에서 실시한 Dipping 실험은 예인 음원을 일정거리에서 정지시키고 정해진 수심에서 5분 동안 송신하였다. 정합장치리를 위한 전달환경을 역추정하기 위하여 음원과 수신기가 정지된 상태에서 관측한 안정된 Dipping 신호가 필요했다. 정지음원은 주파수 70Hz부터 130Hz까지 10Hz간격으로 총 7개의 토날을 음원준위 150dB//1μPa @1m 로 송신하였다. 표본화 주파수가 3000Hz인 신호의 FFT 길이는 16384이고, 신호단편은 50% 중첩하여 10개를 사용하여 평균된 공분산행렬을 구하였다. 복제음장을 구성하기위한 음파전달 모델은 KRAKEN 정상모드 모델을 사용하였다[31].

그림 4는 거리 약 4000m 에서 음원을 수심 30m 와

60m 에 내리고 실시한 4번째 정지음원 신호의 정합장치리 결과이다. 부엽 준위가 매우 낮고 음원의 이동경로가 잘 나타났다. 30m 와 60m 실험의 시간차이는 약 5분이며, 예인함의 이동을 50cm/sec 라면 5분 동안의 이동 거리는 약 150m 이다. 그러나 정합장치리 결과로부터 탐지되는 거리는 음원 수심이 60m 일 때 약 3800m 이고 30m 일 때 약 4200m 로서, 400m 의 거리차이가 난다. 그림 2에서 처럼 GPS로 관측한 실제 거리는 약 3800m 였으므로 음원의 수심이 60m 인 경우의 거리가 참값에 가깝다. 음원이 30m 인 경우에는 오정합에 의한 거리 바이어스로 판단된다.

음원 수심이 30m 일 때의 부엽 준위가 높고 규칙적으로 부엽이 반복되는 것을 볼 수 있는데, 음원이 수온약층 내에 위치해 있기 때문이다. 실험해역의 수온약층은 단주기변동과 공간적인 변동이 큰 해역으로써, 복제음장을 추정할 때 입력되는 수온구조가 수온약층의 변동성을 포함하고 있지 못하기 때문에 부엽이 높고 바이어스가 발생하는 것으로 판단된다.

3.3 이동 음원 정합장치리 결과

정지음원 실험에서 획득한 신호를 이용하여 유전알고리즘으로부터 추정된 환경 변수를 입력하여 계산한 복제음장을 이용하여 이동음원 실험에 대한 정합장치리를 수

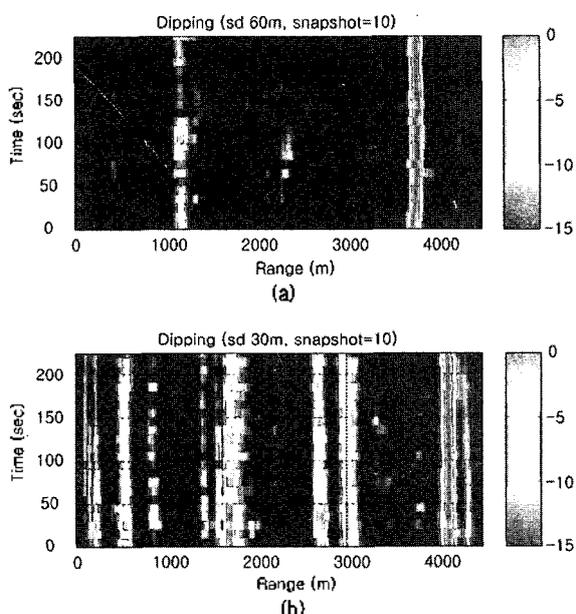


그림 4. Dipping 신호를 Bartlett 정합장치리 하여 시간별 거리를 나타낸 결과로서, 표적이 240초 동안 4100m 에 정지해 있었다. (a) 음원 수심 60m, (b) 음원 수심 30m.

Fig. 4. Bartlett range versus time estimates from VLA data (N=16) of Dipping. The target was dipped at 4100m during the 240sec observation. (a) Source depth 60m, (b) Source depth 30m.

행하였다. 이동음원 실험에서도 Dipping 실험과 동일하게 주파수 70Hz부터 130Hz까지 10Hz간격으로 총 7개의 토날을 음원준위 150dB//1μPa @1m 로 송신하였다. 신호의 FFT 길이는 16384이고 신호단편은 50% 중첩하여 평균하였다. Bartlett 처리에서는 신호단편을 10개 평균하여 공분산행렬을 구성하였다. 그러나 WNGC 처리는 공분산행렬의 역산을 이용하는 적응처리이기 때문에 수신센서의 수보다 많은 20개의 신호단편을 평균함으로써 안정된 역산 추정이 가능하도록 하였다.

그림 5, 6, 7은 각각 Event 1, Event 3, Event 4의 Bartlett 정합장치리 결과이며, Event 1과 Event 3의 음원수심은 30m, Event 4의 음원수심은 60m 로 설정한 경우이다. 음원수심이 30m 인 Event 1과 Event 3의 정합장치리 결과에서는 상대적으로 부엽 준위가 높고 규칙적으로 부엽이 반복되는 것을 볼 수 있는데, 이것은 Dipping의 경우와 동일한 원인으로 보이며, 음원이 수온약층 내에 있기 때문일 것이다. 실험해역의 수온약층은 단주기변동과 거리별 변동이 큰 해역으로써, 복제음장을 추정할 때 입력되는 수온구조가 수온약층의 변동성을 포함하고 있지 못하기 때문에 발생하는 오정합의 결과로 판단된다. 실험 기간 중에 표층과 저층의 온도차이가 크고, 표층에 두께 20m 이상의 온도 혼합층이 잘 발달되어 있었다. 그림 8은 Event 3과 Event 4 동안 수직선배열에 부착한 수온센서에 나타난 수심 40m 의 시간에 따른 수온변동으로써, 선배열의 기온기 및 수심 변화는 매우 미약한 상태였다. 실험 해역인 동해 연안은 내부파가 매우 강하게 발생하는 것으로 알려져 있으며, 그림 8과 같이 불과 30분 내에 수온이 4도에서 8도까지 변동하는 원인은 내부파의 영향일 가능성이 가장 유력하다. 그러

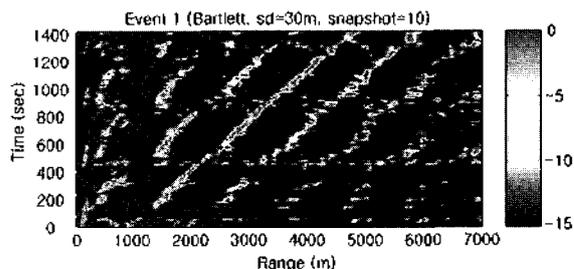


그림 5. Event 1 신호를 Bartlett 정합장치리 하여 시간별 거리를 나타낸 결과로서, 표적이 1400초 동안 1000m 에서 5000m 까지 이동했다. 예인음원의 수심은 30m 로 일정하게 유지 하였다

Fig. 5. Bartlett range versus time estimates from VLA data of Event 1. The target was towed from 1000m to 5000m during the 1400sec observation. The acoustic target was towed at the nominal depth 30m.

므로 강한 수온약층의 단주기 변동 요인 때문에 음원의 수심이 수온 약층의 영향을 크게 받는 위치에 있을 때는 위치 바이어스가 존재하고, Event 1과 Event 3 처럼 부엽이 높아지는 것으로 보인다. 음원의 수심이 수온약층의 아래에 있는 Event 4의 정합장치리 출력은 양호하고

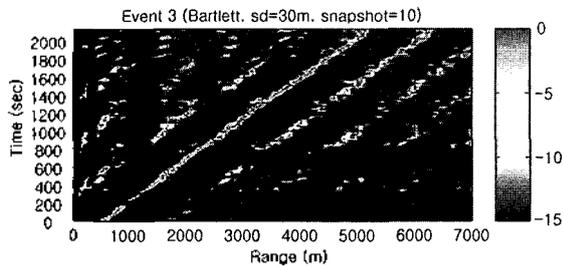


그림 6. Event 3 신호를 Bartlett 정합장치리 하여 시간별 거리를 나타낸 결과로서, 표적이 2100초 동안 500m 에서 5100m 까지 이동했다. 예인음원의 수심은 30m 로 일정하게 유지 하였다

Fig. 6. Bartlett range versus time estimates from VLA data of Event 3. The target was towed from 500m to 5100m during the 2100sec observation. The acoustic target was towed at the nominal depth 30m.

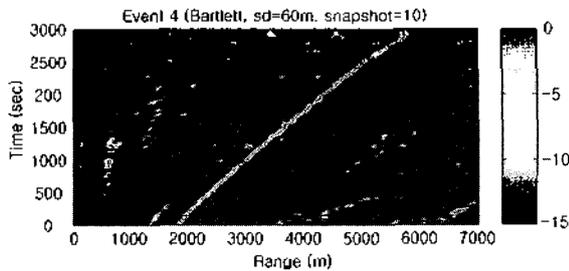


그림 7. Event 4 신호를 Bartlett 정합장치리 하여 시간별 거리를 나타낸 결과로서, 표적이 3000초 동안 1800m 에서 5700m 까지 이동했다. 예인음원의 수심은 60m 로 일정하게 유지 하였다

Fig. 7. Bartlett range versus time estimates from VLA data of Event 4. The target was towed from 1800m to 5700m during the 3000sec observation. The acoustic target was towed at the nominal depth. 60m.

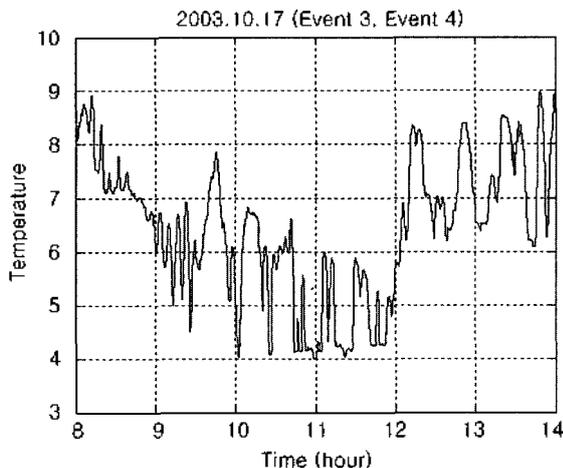


그림 8. 수직선배열에 부착한 수온센서에 나타난 수심 40m 에서의 시간에 따른 수온 변동 (Event 3, Event 4)

Fig. 8. Temperature variation versus time at 40m water depth measured by the temperature sensor attached to the vertical line array (Event 3, Event 4).

매우 안정된 상태이다. 즉, 수온약층의 변동이 커도 음원의 수심이 수온약층의 아래에 위치할 경우에는 오정합이 줄어드는 것으로 판단된다.

그림 9는 G_w 를 -1 dB과 -3 dB에 해당하는 값으로 선정 했을 때의 WNGC 알고리즘 출력이다. G_w 가 작아지면 부엽 준위가 낮아지는 것을 볼 수 있으나, 음원 위치의 지속적인 탐지는 어려워지는 것을 볼 수 있다. 이것은 이동음원의 경우에 신호단편 간의 상관성이 저하되고 오정합의 영향 또한 증가함으로써, G_w 를 너무 낮게 하면 오히려 신호성분까지 억제되기 때문에 판단된다. 따라서 G_w 는 측정 장비와 신호의 성격에 따라 적절하게 사용해야할 것으로 보인다.

IV. 요약 및 결론

2003년 10월 예인음원과 수직선배열을 이용한 실험인 MAPLE 0310 에서 획득한 각종자료와 정합장치리 결과를 분석하였다. 수직선배열을 수심 40m 에서 110m 사이에 위치하도록 수중 설치하였으며, 선배열의 자세를 추정하기위한 보조 센서를 부착하였다. 모의 표적 역할을 한 음원은 70Hz부터 130Hz까지 10Hz간격으로 총 7개의 토날을 음원준위 150dB//1μPa @1m 로 송신하였고, 음

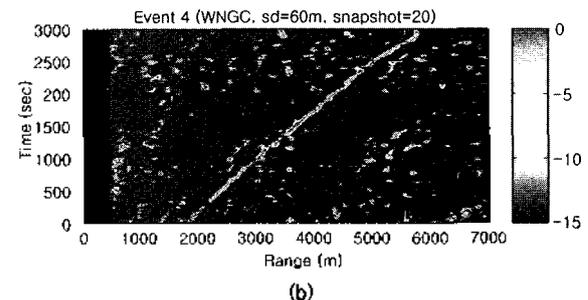
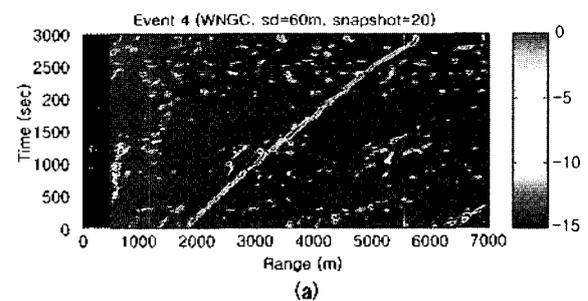


그림 9. Event 4 신호를 WNGC 정합장치리 하여 시간별 거리를 나타낸 결과이다 (a) WNG -1dB (b) WNG -3dB

Fig. 9. WNGC range versus time estimates from VLA data of Event 4. (a) WNG -1dB. (b) WNG -3dB.

원 수심은 약 30m~70m 를 유지하며 해저면이 평탄한 경로를 따라 예인하였다.

XBT 로 관측한 수온으로부터 수중음속을 계산하는 과정에서 수심에 따른 염분을 CTD 로 관측하여 사용하였다. GPS를 사용하여 예인음원의 위치를 관측하고, 측심기로 예인 경로상의 해역수심을 관측하였다. 간이 CTD 를 이용하여 예인음원과 수직선배열의 수심변화를 관측하였다.

정합장처리에서 중요한 것은 오정합이 적은 복제음장을 생성하는 것이다. 그러나 현실적으로 오정합을 없애기는 어렵지만, 가능하면 오정합에 영향을 줄 수 있는 요소를 줄여주는 처리가 필요하다. 수온구조는 거리에 따라 평균을 구하고, 수심방향으로는 곡선 적합처리를 하였다. 탄성과 탐사 등으로부터 알려진 지음향 정보는 유전알고리즘을 이용하여 음파전달모델에 적합하도록 최적화함으로써 오정합을 줄이고자 하였다.

정합장처리는 비적용 알고리즘인 Bartlett과 오정합에 강인한 적응 알고리즘인 WNGC를 적용하였다. 정지음원과 이동음원 모두 음원이 변동하는 수온약층 내에 위치해 있는 경우에는 부엽이 증가하고 바이어스가 발생하였으며, 이것은 내부파 등의 영향으로 수온약층이 단주기 변동을 하고 있기 때문에 판단된다. 적응처리인 WNGC를 적용할 경우에 짧은 선배열과 수층의 변동에 의한 신호의 일관성 저하 때문에 WNG를 너무 낮게 하면 성능이 저하되었다. 따라서 신호의 특성과 오정합의 정도에 따라 WNG를 적절하게 사용해야만 성능향상을 기대할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 박정수, 천승용, 이성은, 심태보, "다중경로 음파전달이 HLA의 근거리 방위탐지에 미치는 영향," 한국음향학회지 16 (6), 100-105, 1997.
2. 박정수, 최진혁 "해양에서 근거리효과를 이용한 수동 위치추정 오차분석," 한국음향학회지 20(6), pp.75-81, 2001.
3. J. Park, S. Kim, Y. Na, Y. Kim, T. Oh, and J. Na, "Measurement of horizontal coherence using a line array in shallow water," J. Acoust. Soc. Kor., 22 (2E), 78-86, 2003.
4. A. Tolstov, Matched-field Processing for Underwater Acoustics, World Scientific, Singapore, 1993.
5. A. B. Baggeroer, W.A. Kuperman, and P. N. Mikhalevsky, "An Overview of Matched Field Methods in Ocean Acoustics," IEEE J. Ocean. Eng., 18, 401-424, 1993.
6. H. Cox and R. Pitre, "Robust DMR and multi-rate adaptive beamforming," in Proc. 31st Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, IEEE Computer Society, 920-924, 1997.
7. Lisa M. Zurk, Nigel Lee, and James Ward, "Source motion mitigation for adaptive matched field processing," J. Acoust. Soc. Am. 113 (5), 2719-2731, 2003.
8. J.S. Kim, W.S. Hodgkiss, W.A. Kuperman, and H.C. Song, "Null-broadening in a waveguide," J. Acoust. Soc. Am. 88 (4), 1851-1862, 2001.
9. H.C. Song, W.A. Kuperman, W.S. Hodgkiss, P. Gerstoft, and J.S. Kim, "Null broadening with snapshot-deficient covariance matrices in passive sonar," IEEE J. Oceanic Eng., 28 (2), 250-261, 2003.
10. J. Capon, R.J. Greenfield, and R.J. Kolker, "Multi-dimensional maximum likelihood processing of a large aperture seismic array," Proc. of the IEEE, 55, 192-211, 1967.
11. J. Capon, "High resolution frequency wavenumber spectrum analysis," Proc. of the IEEE, 57, 1408-1418, 1969.
12. H. Cox, R.M. Zeskin, and M.M. Owen, "Robust Adaptive Beamforming," IEEE Trans. of Acoustic., Speech Signal Processing, 35, 1365-1376, 1987.
13. 박정수, 나영남, 정문섭, 최진혁, "Correlated Noise와 수신센서 배열 특성에 따른 Matched Field Processing", 1997 한국음향학회 발표지 17 (1s), 161-164, 1997.
14. 박정수, 나영남, 정문섭, 최진혁, 심태보, "짧은 수직 선배열을 이용한 Multitone Matched Field Processing의 성능", 한국음향학회 13회 수중음향학술발표지, 60-63, 1998.
15. 변양현, 박재은, 김재수, "수직선배열센서를 이용한 정합장처리에서 음속분포 오정합에 의한 음원 위치 추정에 관한 연구", 1999 한국음향학회 발표지 18 (1s), 210-213, 1999.
16. 황성진, 성우제, 박정수, "특성치 추출 기법에 의한 강인한 정합장처리에 관한 연구", 한국음향학회지 20 (7), 83-88, 2001.
17. 박재은, 신기철, 김재수, "최소분산 프로세서를 사용한 정합장처리에서 신호단편수에 따른 바이어스의 영향", 한국음향학회지 20 (7), 94-100, 2001.
18. 신기철, 박재은, 김재수, "일관성 광대역 정합장처리에 의한 수중 이동음원의 위치추적", 한국음향학회지 20 (8), 67-73, 2001.
19. 수중음향특화연구센터, 정합장처리(MFP) 기법을 이용한 수중음원 파라미터 추정 연구(위탁연구 최종 보고서), 국방과학연구소 보고서 NSDC-417-011272, 2001.
20. 박정수, 김성일, 김영규, 김재수, "근접한 다중음원환경에서 저소음원 탐지를 위한 적응정합장처리", 한국음향학회 18회 수중음향학술발표지, 20-24, 2003.
21. 신기철, 김재수, "음향에너지 최대 대비에 의한 정합장처리", 2003 한국음향학회 발표지 22 (2s), 171-172, 2003.
22. 김경섭, 박철수, 성우제, "협대역 신호를 이용한 천해환경 지음향 역산 및 정합장처리", 2004 한국음향학회 발표지 23 (2s), 385-388, 2004.
23. 박정수, 김재수, 김성일, 김영규, "표적의 이동에 의한 영향을 극복하기 위한 광대역 정합장처리", 2004 한국음향학회 발표지 23 (2s), 389-392, 2004.
24. 박정수, 김재수, 김성일, 신기철, 김영규, "적용 정합장처리에서 도파관 공간간섭 필터링", 한국음향학회지 23 (4), 288-295, 2004.
25. 한양대학교, 적응 정합장처리를 이용한 해양환경 역산기술 연구(위탁연구 1차년 보고서), 국방과학연구소 보고서 NSDC-408-040779, 2004.

26. 박정수, 김성일, 김영규 외, "MAPLE0310 동해 정합장처리 실험", 2004 한국음향학회 발표지 23 (1s), 400-403, 2004.
27. 김성일, 도경철, 나정열, 김구 외, "MAPLE (Matched Acoustic Properties and Localization Experiment)", 2004 한국음향학회 발표지 23 (2s), 377-380, 2004.
28. 박정수, 김영규 외, MAPLE0310 정합장처리 해상실험, 국방과학연구소 보고서 NSDC-515-040308, 2004.
29. R.A. Gramann, ABF ALGORITHMS IMPLEMENTED AT ARL:UT, ARL-UT-EV-92-31, 1992.
30. N.O. Booth, A.T. Abawi, P.W. Schey, and W.S. Hodgkiss, "Detectability of Low-Level Broad Band Signal Using Adaptive Matched-Field Processing with Vertical Aperture Array," IEEE J. of Oceanic Eng., 25, 296-313, 2000.
31. M. B. Porter, The KRAKEN Normal Mode Program, NRL/MR/5120-92-6920, 1992.

저자 약력

• **박 정 수 (Joung-Soo Park)**

한국음향학회 제23권 제4호 참조

• **김 성 일 (Seongil Kim)**

한국음향학회 제23권 제4호 참조

• **홍 준 석 (Jun-Suk Hong)**



1999년: 서울대학교 해양학과 (학사)
 2002년: 서울대학교 지구환경과학부 물리해양학 전공 (석사)
 2002년~현재: 국방과학연구소 연구원
 ※주관심분야: 수중음향, 지음향, 정합장처리

• **김 의 형 (Eui-Hyung Kim)**



1974년: 서강대학교 전자공학과 (학사)
 1994년: 부산대학교 전자공학과 (석사)
 1978년~현재: 국방과학연구소 연구원
 ※주관심분야: 수중음향 탐지체계 설계/종합

• **김 영 규 (Young-Gyu Kim)**

한국음향학회 제23권 제4호 참조