

해양 정합장처리에서 매개변수 오정합과 바이어스

Parameter Mismatches and its Biases in Ocean Matched Field Processing

박재은*, 신기철**, 김재수***

(Jae-Eun Park*, Kee-Cheol Shin**, Jea-Soo Kim***)

*해군해양전술정보단, **넥스원퓨처(주) 수중연구소, ***한국해양대학교 해양개발공학부
(접수일자: 2004년 11월 22일; 수정일자: 2005년 1월 18일; 채택일자: 2005년 2월 4일)

해양환경에서 정합장처리를 통해 음원위치를 추정할 경우 실측신호의 음장과 복제음장 사이에 각종 매개변수의 오정합이 발생하여 상관값의 저하와 함께 음원 위치추정 결과에 바이어스를 발생시킨다. 본 논문에서는 정합장처리를 이용한 음원 위치추정에서 해양환경 및 시스템 오정합 매개변수로 인한 바이어스와 상관값의 변화 그리고 민감도에 대해서 고찰하였다. 이를 위해 Pekeris 해양 도파관에서 수치실험을 수행하였으며, 그 결과 매개변수 오정합이 음원 위치에서의 바이어스와 상관값의 감소를 발생시켰다. 또한 매개변수 민감도 평가를 통해 배열의 경사와 수심, 해저면 수심과 해저층의 음속이 민감도가 높음을 확인 할 수 있었다.

핵심용어: 정합장처리, 오정합, 바이어스, 모호표면, 위치추정

투고분야: 수중음향 분야 (5.5)

In matched field processing (MFP), the observed acoustic field data is basically correlated with the replica produced by the modeling, therefore the results of source localization and correlation is limited by the mismatch of the environment and sensor location. In this paper, the effects of mismatch in environment and system on the bias in estimating the source location are investigated in the context of source localization. In the Pekeris waveguide, the simulation shows that the mismatches in environment and system, can cause a significant biases in the source localization and a degradation in MFP correlation. Mismatch caused by uncertainties in array tilt and depth, bottom depth, bottom sound speed, etc., causes degradation in source localization performance.

Keywords: Matched field processing, Mismatch, Bias, Ambiguity surface, Localization

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.5)

I. 서론

정합장처리는 해양 음장의 복잡한 간섭 패턴이 음원의 위치와 지음향 매개변수들의 함수라는 사실을 이용하여 이를 배열에서 측정된 음장과 정합시킴으로써 음장의 매개변수 역산을 가능하게 한다[1]. 신호가 발생되어 전달된 음장을 정확하게 모사할 경우 정합장처리의 결과는 매우 높은 상관 결과를 갖기 때문에 역산하고자하는 매개변수를 정확하게 추정한다. 그러나 시공간적으로 변동이 심한 해양환경을 정확하게 모사하여 정합장처리를 수

행하는 것은 많은 어려움이 있으며, 실제음장과 복제음장의 차이에 따른 각종 형태의 오정합 (mismatch)에 의한 바이어스 (bias)가 발생된다.

정합장처리에서 매개변수의 오정합은 크게 두 종류로 구분된다. 첫 번째는 시스템 오정합으로 신호를 수신하는 배열에 관한 매개변수들이다. 이는 실제 배열이 해/조류 등의 영향으로 원래의 배열 형상과 위치를 유지하지 못함으로 인해 발생된다. 두 번째는 해양환경에 관한 매개변수의 오정합으로 수중음향 전파모델로부터 복제음장을 계산하기 위한 입력변수들이 대부분 이에 해당된다[2]. 매개변수의 오정합은 관측자료와 복제음장과의 상관값을 감소시키며, 위치추정 결과에서 바이어스들을 발생시킨다[3].

책임저자: 신기철 (kcshin@nex1.co.kr)
449-910 경기도 용인시 구성면 마북리 148-1
넥스원퓨처(주) 수중연구소
(전화: 031-288-9390; 팩스: 031-285-1674)

오정합에 대한 기존의 연구들로는 수층 음속분포의 오정합으로 인한 각종 정합장 프로세서의 성능 변화에 관한 연구가 진행되어 왔으며[4-7], 수심에 대한 오정합과 매질의 음속, 감쇠계수와 밀도의 변화에 따른 영향에 관한 연구도 일부 수행되었다[8,9]. Porter 등은 해저 매개변수 오정합이 정합장 프로세서에 미치는 영향을 분석하여, 배열이 음영구역 (shadow zone)에 있을 때 해저 매개변수의 오정합으로 인한 영향이 큼을 보였다[5]. 또한 Gingras 등은 배열 매개변수의 오정합 중 배열 경사 (tilt) 오정합이 미치는 영향을 분석하여 음원 위치추정 성능을 분석하였다[10]. 근래에는 매개변수들의 역산에 있어 최적화 기법을 이용하여 매개변수들의 민감도를 평가하려는 연구도 진행되어 왔다[11]. 기존의 연구들은 단일 매개변수 또는 관심이 되는 몇 개의 매개변수에 대해서 오정합의 영향을 조사하였기 때문에 전체적인 오정합의 영향을 판단하기에는 부족함이 있으며, 음원 위치추정 과정과 프로세서의 성능 평가에 목적을 가지고 있다.

본 논문에서는 정합장치에서 음원의 위치추정 바이어스를 유발하는 여러 매개변수들을 개별적으로 분석하고, 종합 평가하여 오정합의 영향이 음원의 위치추정 과정과 프로세서의 출력 즉, 상관값에 어떠한 영향을 주는가를 고찰하였다. 본 논문의 결과는 음향전파모델을 기초로 하는 정합장치에서 오정합 매개변수의 민감도를 제시함으로써 입력 매개변수의 중요도를 판단하거나 또는 선택 우위를 선정할 시 Pekeris 해양 도파관과 같은 해양환경에서 기본적인 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 정합장치와 오정합의 목적함수

정합장치는 가상 음원의 위치 \vec{r} 에 대하여 수중음향 전파모델을 이용하여 배열 소자들 위치에서 복제음장의 벡터 $\mathbf{G}(\vec{r})$ 을 계산하며, 계산된 복제벡터는 식(1)과 같이 단위 길이를 갖는 가중벡터 $\mathbf{w}(\vec{r})$ 의 형태로 정규화된다.

$$\mathbf{w}(\vec{r}) = \frac{\mathbf{G}(\vec{r})}{\|\mathbf{G}(\vec{r})\|} \quad (1)$$

따라서 정합장치는 미지의 음원으로부터 방사된 신호를 배열에서 수신한 신호벡터 $\mathbf{d}(\vec{r}_s)$ 와 가중벡터

$\mathbf{w}(\vec{r})$ 를 상관시킴으로써 음원의 위치 또는 음향전파와 관련된 매개변수들의 역산을 수행하는 것이다. 매개변수 오정합에 의한 바이어스 문제를 다루기 위해서는 매개변수 오정합을 함수로 하는 목적함수를 정의하여야 한다. 수중음향 전파모델에 의한 복제벡터가 음원의 위치와 각종 매개변수들의 함수라는 사실로부터 식(2)의 목적함수 Φ 를 사용하였으며, 이는 Bartlett 프로세서의 출력과 동일한 형태를 갖는다.

$$\Phi(\vec{r} | p_i) = \mathbf{w}^\dagger(\vec{r} | p_i) \mathbf{K}(\vec{r}_s) \mathbf{w}(\vec{r} | p_i) \quad (2)$$

여기에서 \mathbf{w}^\dagger 는 각각 공액전치 (Hermitian)를 나타내며, p_i 는 오정합을 유발하는 매개변수들의 종류를 의미한다. $\mathbf{K}(\vec{r}_s)$ 는 실제 배열에 수신된 신호 또는 수치실험을 목적으로 오정합이 없다는 가정 하에서 모의된 신호의 공분산행렬 또는 상호스펙트럼밀도행렬 (cross spectrum density matrix, CSDM)이다.

III. 오정합과 바이어스

3.1. 수치실험을 위한 해양환경

개별 매개변수 오정합이 정합장치에서의 결과에 미치는 영향을 고찰하기 위한 수치실험 환경은 그림 1과 같은 Pekeris 해양환경이다. Pekeris 해양환경은 균질한 음속과 거리독립 특성을 갖기 때문에 해석적인 파동방정식의 해를 얻을 수 있으며, 또한 매개변수 오정합에 의한 영향을 분석하기에 용이한 환경조건이라 할 수 있다.

수치실험을 위하여 사용된 중심 주파수는 250Hz이며, 음원 위치는 배열을 기준으로 $\vec{r}_s = (4\text{km}, 60\text{m})$ 이다. 또한 수직 선배열은 수심 20m부터 80m까지 3m 간격으로

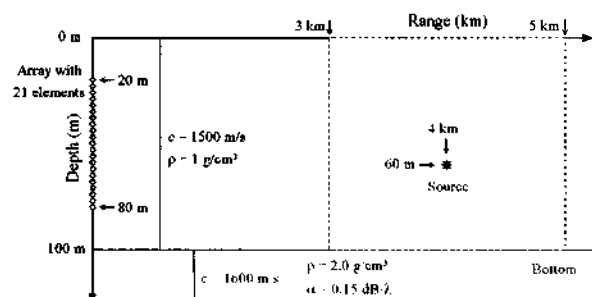


그림 1. Pekeris 도파관에서 수치실험의 구성
Fig. 1. Setup for numerical simulation in the Pekeris waveguide

21개의 센서로 구성된 것으로 가정하였다. 해양 환경은 수심 100m이고, 수층의 음속은 1500m/sec로 일정하며, 해저층은 음향학적 반무한 영역으로 음속은 1600m/sec, 밀도는 2.0g/cm³, 감쇠계수는 0.15dB/λ 로 설정하였다. 공분산행렬 $K(\vec{r})$ 을 계산하기 위한 모의신호와 복제음장의 모델링은 정상모드 음향전파모델인 KRAKEN [12] 를 사용하였으며, 잡음은 없는 것으로 가정하였다.

3.2. 매개변수 오정합

정합장치리에서 오정합에 의한 영향을 살펴보기 위해 음원의 주파수, 선배열의 수심과 경사, 수층의 수심, 해저층의 음속과 밀도, 감쇠계수 등 7가지 매개변수에 대한 수치실험을 그림 1의 해양환경에서 수행하였다.

매개변수 오정합의 수치실험은 고찰하고자 하는 매개변수 오정합을 조사할 경우 나머지 매개변수의 값은 그림 1의 매개변수 값으로 고정하고, 해당되는 매개변수의 값을 가능한 오정합 범위에서 변화시키면서 수행하였다. 오정합에 의한 바이어스들은 음원의 수심 60m에서 오정합에 따른 탐색거리와 음원의 거리 4km에서 오정합에

따른 탐색수심, 추정된 음원 거리와 수심, 그리고 음원 추정위치에서의 상관값으로 분석된다. 분석에 이용된 목적함수는 식 (2)와 같으며, 공분산행렬 $K(\vec{r})$ 을 정규화하여 오정합이 없는 경우의 상관값이 '1'로 유지되도록 하였다. 따라서 오정합이 없는 경우의 상관값이 오정합의 발생된 경우의 출력 바이어스의 기준값이 된다.

3.2.1. 주파수 오정합에 의한 바이어스

중심주파수 250Hz를 기준으로 ±10Hz 주파수 오정합 범위에서 수치실험을 수행하였다. 그림2에서와 같이 주파수 오정합의 정도에 따라 음원의 추정거리에서 일정한 편이 (offset)를 보이며, 이러한 결과는 D'Spain 등의 결과와 동일하다[13]. 주파수 오정합에 의해 추정된 음원의 수심은 변화가 없으나, 거리에서 편이가 발생하는 현상은 식 (3)의 도파관 불변성 (waveguide invariant)으로 설명된다.

$$\frac{\Delta r}{r} = \beta \frac{\Delta \omega}{\omega} \tag{3}$$

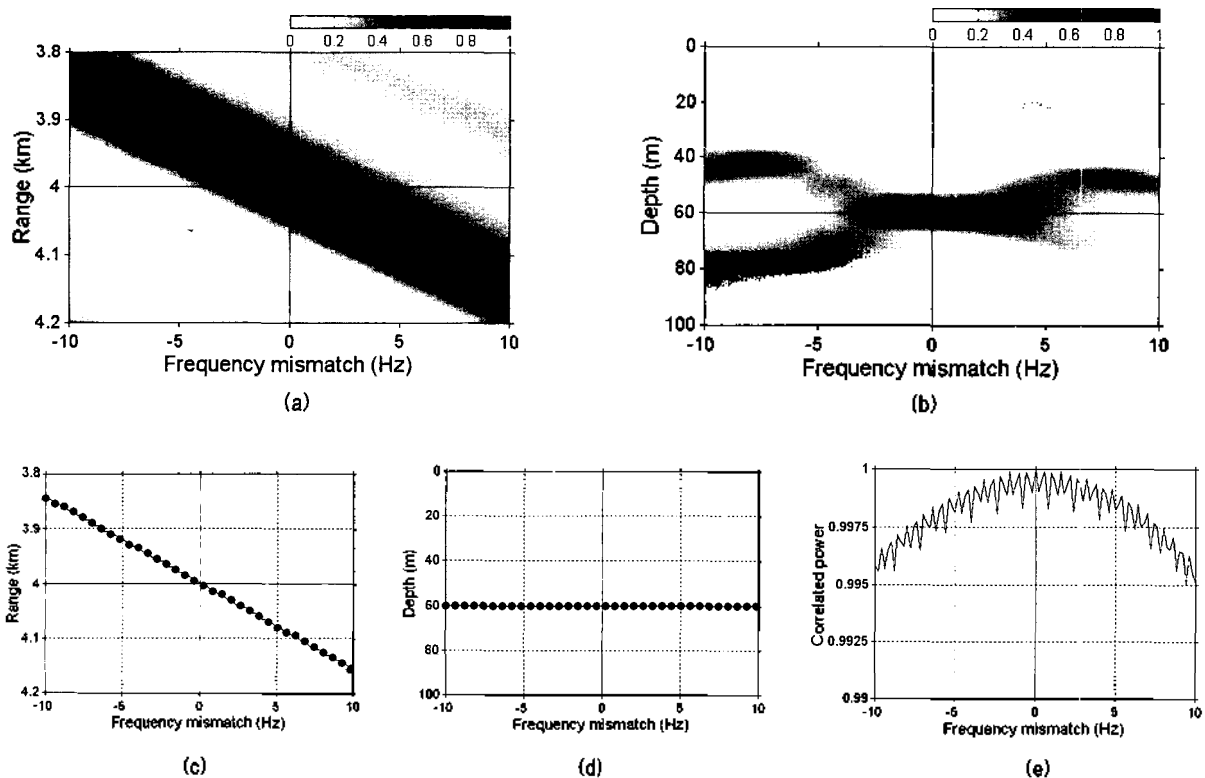


그림 2. 주파수 오정합에 의한 정합장치리 결과: (a) 음원 수심에서의 모호표면 (b) 음원 거리에서의 모호표면 (c) 추정된 음원 거리 (d) 추정된 음원 수심 (e) 추정된 음원 위치에서의 상관파워

Fig. 2. Results of MFP for the frequency mismatch: (a) Ambiguity surface as function of the frequency mismatch at true source depth, (b) Ambiguity surface as function of the frequency mismatch at true source range, (c) Estimated source range, (d) Estimated source depth, and (e) Correlated power at estimated source location.

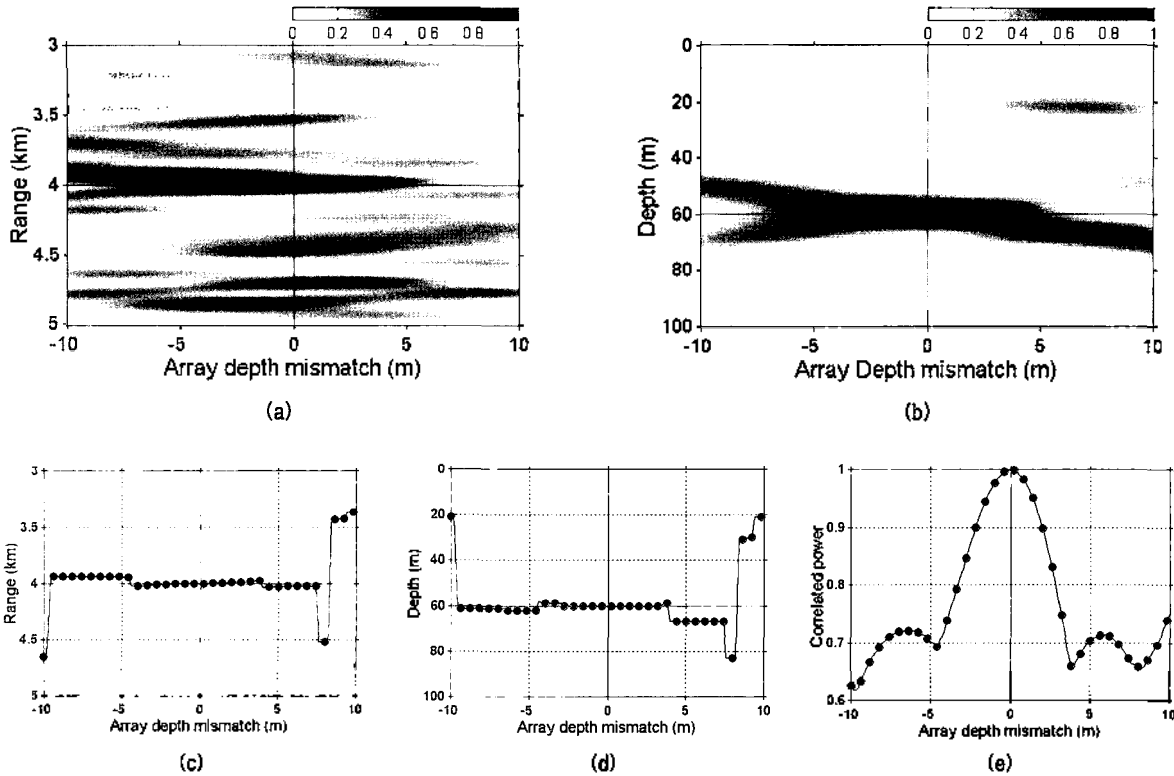


그림 3. 배열 수심 오정합에 의한 정합장처리 결과: (a) 음원 수심에서의 모호표면 (b) 음원 거리에서의 모호표면 (c) 추정된 음원 거리 (d) 추정된 음원 수심 (e) 추정된 음원 위치에서의 상관파워
 Fig. 3. Results of MFP for the array depth mismatch: (a) Ambiguity surface as function of the array depth mismatch at true source depth, (b) Ambiguity surface as function of the array depth mismatch at true source range, (c) Estimated source range, (d) Estimated source depth, and (e) Correlated power at estimated source location.

여기에서 r 과 ω 는 각각 거리와 각주파수이고, Δr 과 $\Delta \omega$ 는 각각의 증분이다. 그리고 β 는 해저 지형과 관련된 불변량(invariant)으로 Pekeris 도파관의 경우 $\beta=1$ 로 알려져 있다[13].

Pekeris 도파관과 같은 균질의 음장에서는 모드의 수직파수와 고유함수가 주파수와 독립됨으로 인해 주파수 오정합은 추정된 음원의 수심에 영향을 미치지 못한다. 따라서 주파수 오정합은 그림 2와 같이 음원의 거리 추정에만 영향을 미치며, 주파수가 증가할수록 음원의 추정거리도 증가된다.

3.2.2. 배열 오정합에 의한 바이어스

선배열 수심 오정합은 배열 전체의 수심 오정합을 ± 10 m 의 범위에서 조절하여, 전 배열의 길이 60m는 변함이 없는 것으로 가정하여 수행하였다. 배열 수심 오정합의 범위는 중심주파수 250Hz를 고려하였을 때 대략 $\pm 1.67\lambda$ 의 배열 수심 오차를 갖는 것으로 발생할 수 있는 오정합의 범위를 충분히 고려한 것이다.

그림 3과 같이 ± 4 m ($\pm 0.67\lambda$)의 배열 수심의 오정합은 음원 위치추정에 영향이 없는 것으로 나타났으나, 그 이상의 범위에서는 음원의 거리와 수심에서 바이어스를 동반하였다. 또한 음원의 위치추정이 제대로 이루어지는 오정합 범위에서도 대략 0.3 정도의 상관값의 감소를 보이고 있다.

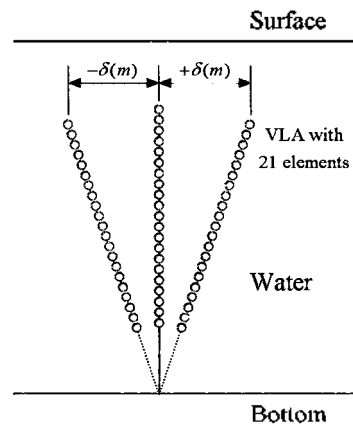


그림 4 배열 경사 오정합의 정의
 Fig. 4. Definition of array tilt mismatch.

배열 경사 오정합은 해/조류 등의 영향으로 수직으로 설치된 선배열이 불규칙한 형상으로 운용되어 발생된다. 수치실험에 있어서 수직 선배열의 경사는 그림 4와 같이 선배열이 해지면 쪽이 고정되고, 수면에 가까운 쪽에서 선형적으로 경사가 발생된 것으로 정의하였다. 배열 경사 오정합의 범위는 수직 선배열을 기준으로 전후 방향으로 ± 10 m ($\pm 1.67\lambda$)로 하였다.

그림 5는 수치실험 결과로서 대략 ± 2 m ($\pm 0.33\lambda$)까지는 배열의 경사가 변하여도 음원 위치추정에 미치는 영향이 없으나, 그 보다 큰 경사에서는 불규칙하게 음원 위치추정을 하였다. 또한 음원의 위치추정이 제대로 이루어지는 오정합 범위에서도 대략 0.2 정도의 상관값의 감소를 보이고 있다.

3.2.3. 해저층 매개변수 오정합에 의한 바이어스

해저면 수심 오정합은 특히 천해에서 조석이나 장주기 파도 등에 의해 발생된다. 실제 음원의 위치와 해저면 수심 오정합으로 인한 추정된 음원의 위치와의 관계를 해석적으로 표현하면 식 (4)와 같다[3].

$$\hat{z}_s = \frac{d_m}{d_r} z_s, \quad \hat{r}_s = \frac{1}{\Delta \hat{k}_{n,l}} \int_0^{r_s} (\Delta k_{n,l}) dr \quad (4)$$

여기에서 \hat{z}_s 와 \hat{r}_s 는 각각 추정된 음원의 수심과 거리이며, d_m 는 오정합에 의한 수심, d_r 는 실제 수심, z_s 와 r_s 는 각각 실제 음원의 수심과 거리이다. 그리고 $\Delta k_{n,l}$ 과 $\Delta \hat{k}_{n,l}$ 은 각각 오정합이 없는 경우의 모드 파수(mode wave number)의 차이와 오정합이 있는 경우의 모드 파수의 차이를 나타낸다. 따라서 \hat{z}_s 는 모드와 주파수에 독립적이기 때문에 모든 모드들과 주파수들에 대해서 적용 가능하다. \hat{r}_s 는 모드의 함수임으로 모드와 주파수에 따라 거리 천이량이 결정된다.

그림 6은 수심 100m를 기준으로 수심 오정합 ± 10 m ($\pm 1.67\lambda$) 범위에서 수치실험을 수행한 결과이다. 수심의 오정합에 따라 상관값의 감소와 함께 음원 위치추정에 바이어스가 발생되며, 실제 수심 100m인 환경에서 105m로 수심을 예측한다면 음원의 수심은 63m, 거리는 4400m로 추정하게 된다.

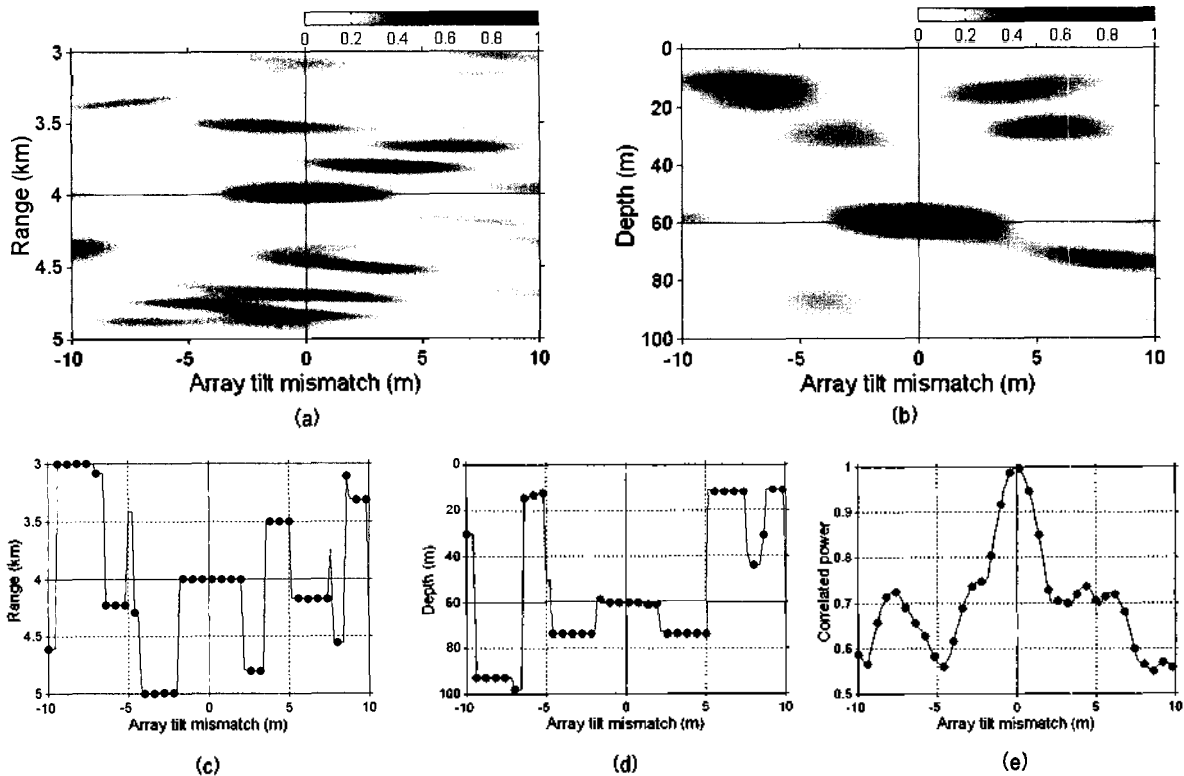


그림 5. 배열 경사 오정합에 의한 정합장거리 결과: (a) 음원 수심에서의 모호표면 (b) 음원 거리에서의 모호표면 (c) 추정된 음원 거리 (d) 추정된 음원 수심 (e) 추정된 음원 위치에서의 상관파워
 Fig. 5. Results of MFP for the array tilt mismatch: (a) Ambiguity surface as function of the array tilt mismatch at true source depth, (b) Ambiguity surface as function of the array tilt mismatch at true source range, (c) Estimated source range, (d) Estimated source depth, and (e) Correlated power at estimated source location.

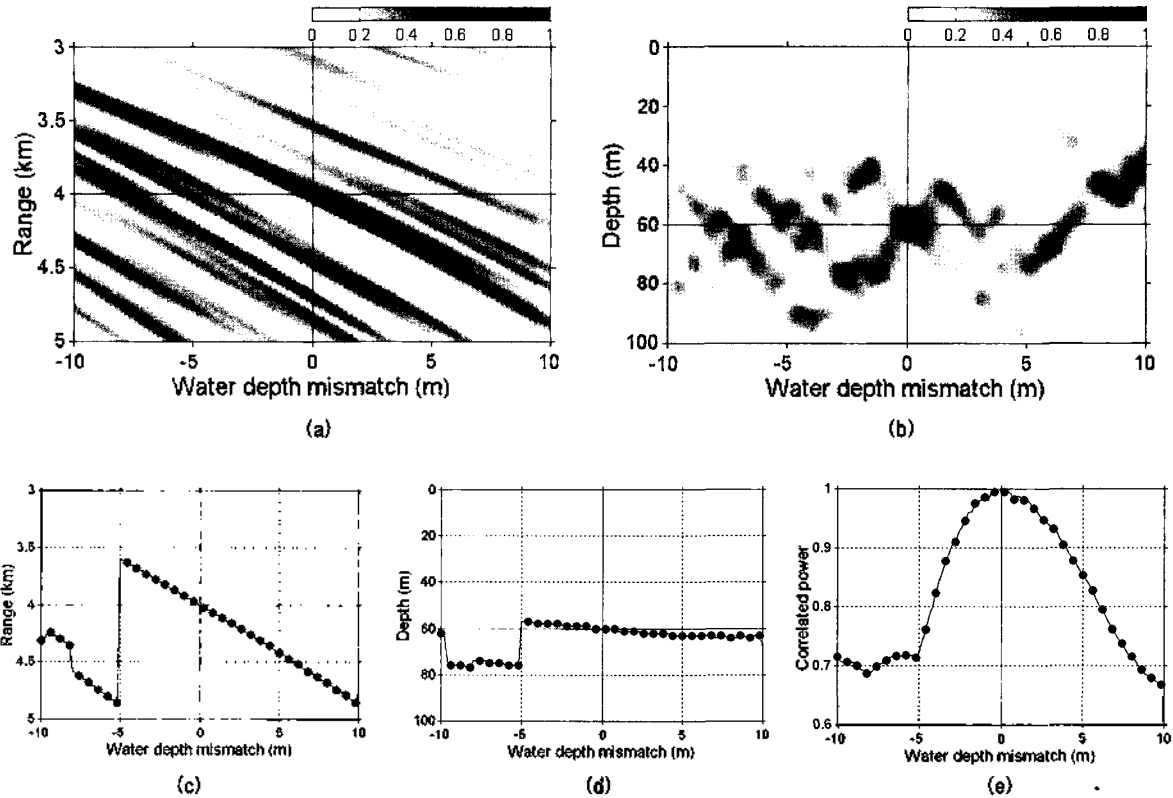


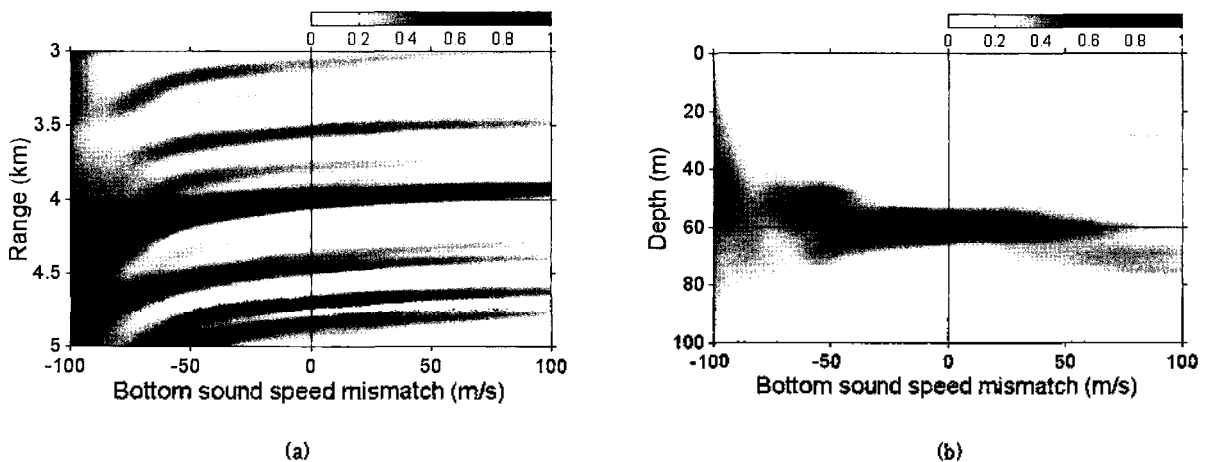
그림 6. 해저면 수심 오정합에 의한 정합정처리 결과: (a) 음원 수심에서의 모호표면 (b) 음원 거리에서의 모호표면 (c) 추정된 음원 거리 (d) 추정된 음원 수심 (e) 추정된 음원 위치에서의 상관파워

Fig. 6. Results of MFP for the water depth mismatch: (a) Ambiguity surface as function of the water depth mismatch at true source depth, (b) Ambiguity surface as function of the water depth mismatch at true source range, (c) Estimated source range, (d) Estimated source depth, and (e) Correlated power at estimated source location.

해저층 음속 오정합은 음속 1600m/sec을 기준으로 오정합의 범위를 $\pm 100\text{m/sec}$ 로 하여 수치실험을 수행하였다. 그림 7에서와 같이 해저층 기준 음속에서 음속 오정합의 값이 증가될수록 음원을 근거리로 추정하였으며, 예측된 해저층 음속이 기준 음속보다 적을 경우에는 실제 수심보다 더 깊고 원거리에 음원이 위치한 것으로 추정하였다. 그리고 상관값은 대략 0.3의 감소를 보이고

있다.

해저층의 기준 밀도를 2.0g/cm^3 으로 하여, 오정합 밀도의 범위를 $\pm 1.0\text{g/cm}^3$ 변화시켜 해저층 밀도 오정합에 대한 분석을 수행하였다. 그림 8에서와 같이 밀도가 실제 값보다 감소할수록 음원 수심을 알게 추정하고, 음원 거리는 근거리로 추정하고 있으나 밀도 오정합에 대해서는 음원 위치추정에 있어 매우 둔감한 결과를 보였다.



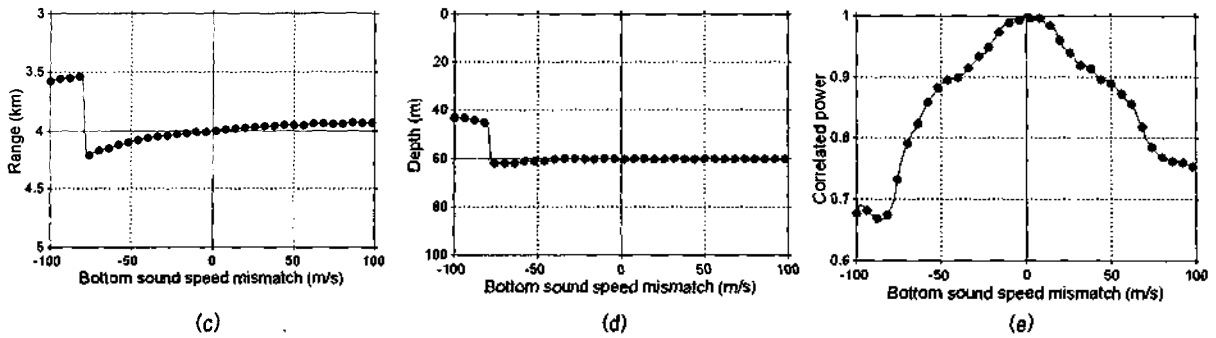


그림 7. 해저층 음속 오정합에 의한 정합장처리 결과: (a) 음원 수심에서의 모호표면 (b) 음원 거리에서의 모호표면 (c) 추정된 음원 거리 (d) 추정된 음원 수심 (e) 추정된 음원 위치에서의 상관피워

Fig. 7. Results of MFP for the sediment sound speed mismatch: (a) Ambiguity surface as function of the sediment sound speed mismatch at true source depth, (b) Ambiguity surface as function of the water sediment sound speed at true source range, (c) Estimated source range, (d) Estimated source depth, and (e) Correlated power at estimated source location.

그러나 상관값에서는 밀도 오정합의 양에 따라 최대 0.35의 감소를 보여 상관값의 바이어스는 음원 위치추정의 결과와 비교할 때 상대적으로 민감하였다.

해저층의 감쇠계수에 대한 오정합의 영향을 고찰하기 위해 기준 감쇠계수를 $0.15 \text{ dB}/\lambda$, 오정합의 범위를 $-0.15 \sim +0.85 \text{ dB}/\lambda$ 로 설정하였다. 실제 해양에서

감쇠계수의 범위는 $0.1 \sim 1.0 \text{ dB}/\lambda$ 임으로 실 해양에서 발생할 수 있는 감쇠계수 오정합 상황을 일정부분 반영하였다[1]. 그림 9는 감쇠계수 오정합에 의한 결과이다. 감쇠계수 오정합은 음원의 위치추정에 영향을 주지 못하고 있으나, 상관값은 약간의 감소를 보이고 있다. 상관값의 저하는 특히 높은 감쇠계수에서 상대적으로 많은

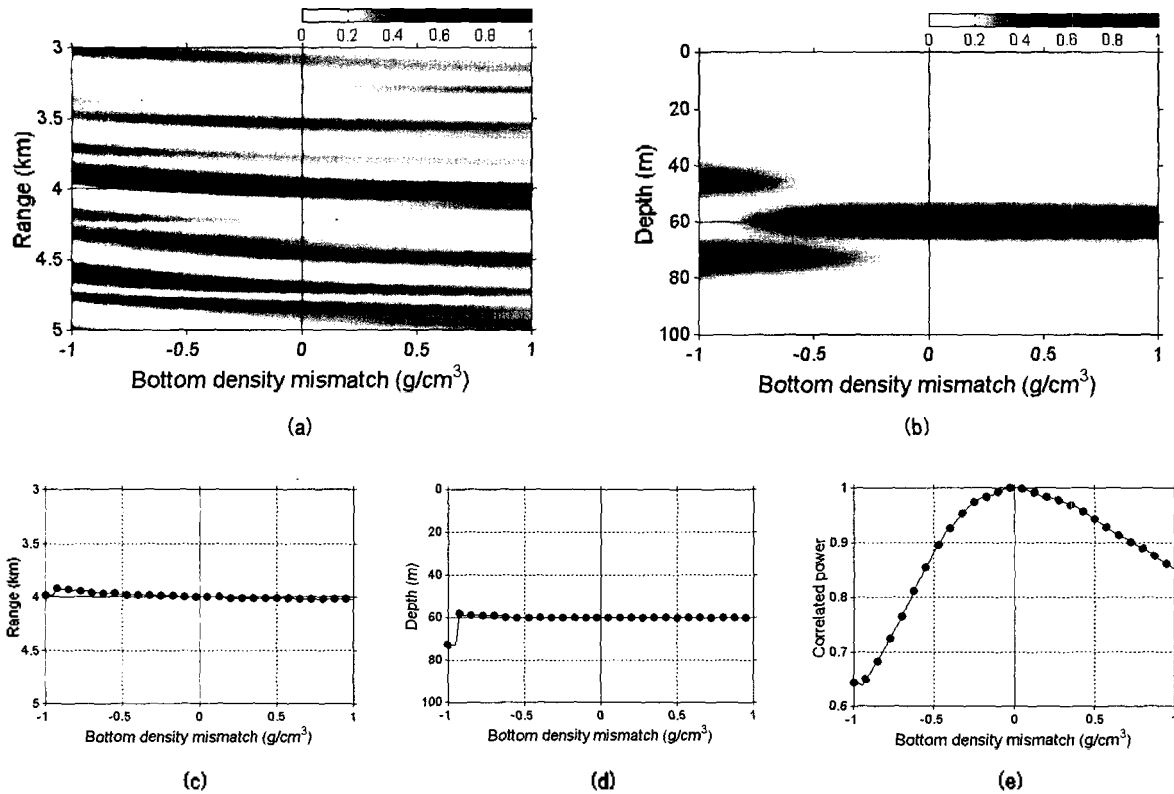


그림 8. 해저층 밀도 오정합에 의한 정합장처리 결과: (a) 음원 수심에서의 모호표면 (b) 음원 거리에서의 모호표면 (c) 추정된 음원 거리 (d) 추정된 음원 수심 (e) 추정된 음원 위치에서의 상관피워

Fig. 8. Results of MFP for the sediment density mismatch: (a) Ambiguity surface as function of the sediment density mismatch at true source depth, (b) Ambiguity surface as function of the sediment density at true source range, (c) Estimated source range, (d) Estimated source depth, and (e) Correlated power at estimated source location.

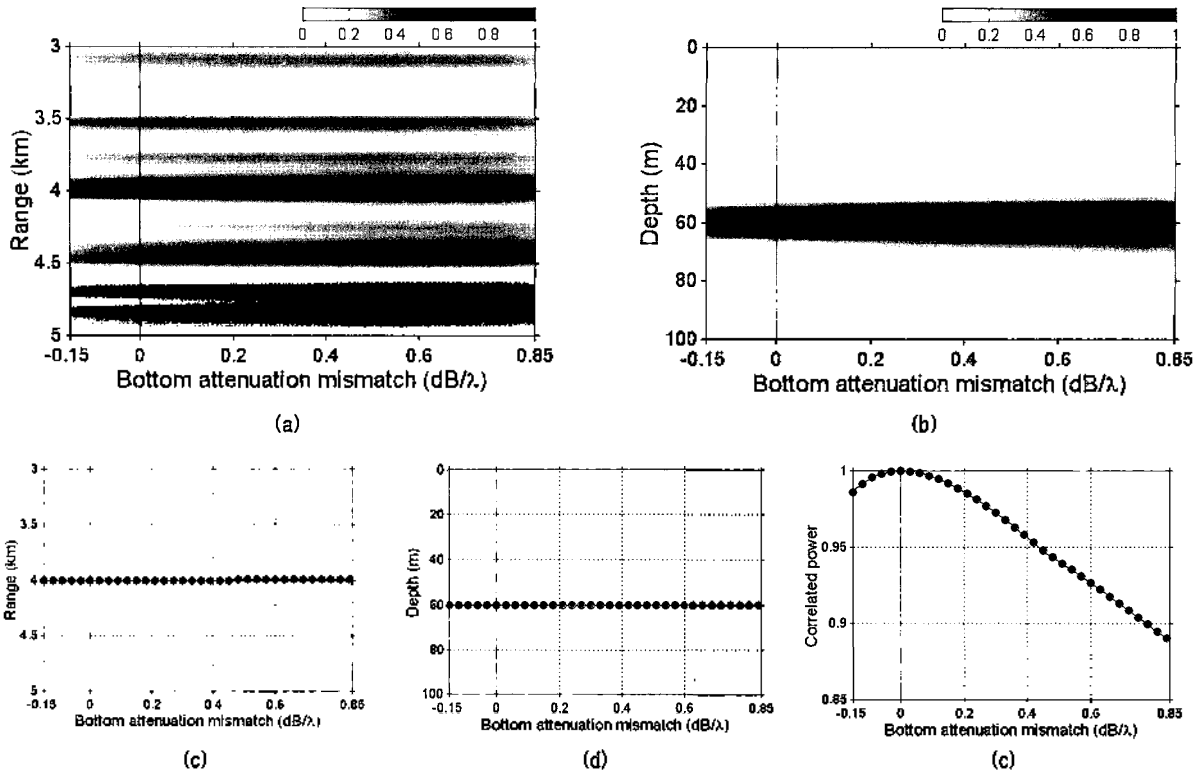


그림 9. 해저층 감쇠계수 오정합에 의한 정합장처리 결과: (a) 음원 수심에서의 모호표면 (b) 음원 거리에서의 모호표면 (c) 추정된 음원 거리 (d) 추정된 음원 수심 (e) 추정된 음원 위치에서의 상관파워
 Fig. 9. Results of MFP for the sediment attenuation mismatch: (a) Ambiguity surface as function of the sediment attenuation mismatch at true source depth, (b) Ambiguity surface as function of the sediment attenuation at true source range, (c) Estimated source range, (d) Estimated source depth, and (e) Correlated power at estimated source location.

발생되며, 이것은 전파하는 모드들 중 고차의 모드들이 감쇠에 의해서 사라지기 때문이다.

3.3. 오정합의 민감도 분석

매개변수 오정합에 대한 민감도를 계산하기 위해 각 매개변수에 대한 음원의 거리와 수심 및 상관값에 대한 민감도 계수 (sensitivity coefficient)를 식(5)과 같이 정의하여 사용하였다[11].

$$SC_i = \sqrt{12} s_i / w_i \tag{5}$$

여기에서 i 는 각 매개변수의 종류를 나타내며, s_i 는 각 매개변수의 오정합의 범위에서 추정된 음원 거리, 수심 및 상관값에 대한 표준편차이다. w_i 는 탐색영역의 범위로 Fig. 1.에서와 같이 음원의 거리와 수심에 대한 탐색영역의 범위는 각각 2km와 100m이고, 상관값의 탐색영역의 범위는 최대 상관값인 1로 설정하였다. 따라서 민감도 계수의 값이 0에 가까울수록 매개변수에 대한 민감도가 떨어진다. 음원 추정위치에 대한 표준편차를 계

산하기 위해 거리 탐색은 3km에서 5km, 수심 탐색은 0m에서 100m까지로 하였다.

매개변수 오정합에 대한 수치실험의 결과를 토대로 각 매개변수에 대한 오정합의 민감도 계수는 표 1과 같다. 추정된 음원 거리에 대한 민감도 계수는 배열 경사가 가장 크며, 수층의 수심 또한 비교적 높았다. 음원 수심에 대한 민감도 계수는 배열 경사가 제일 높았고, 다음으로 는 배열 수심, 수층의 수심의 순서로 높았다. 상관값에 있어서는 주파수와 해저층 감쇠계수를 제외하고는 일정 수준의 민감도를 갖는 것으로 평가되었다. 또한 해저층을 구성하는 매개변수 중 해저층 음속이 가장 민감도가 높았으며, 해저층 밀도 그리고 해저층 감쇠계수 순으로 민감도가 높은 것으로 평가되었다.

정합장처리에서 시스템 및 해양환경 매개변수는 음원의 거리와 수심, 상관값에 있어 사용되는 매개변수의 종류에 따라 바이어스와 민감도가 다르게 평가된다. 따라서 매개변수의 민감도 평가는 입력 매개변수의 중요도를 판단하거나 또는 선택 우위를 선정할 시 중요한 지표가 될 수 있다.

표 1. 각 매개변수 오정합에 대한 민감도 계수
Table 1. Sensitivity coefficient for each parameter mismatch.

Mismatched parameters		Sensitivity coefficient		
		Range	Depth	Correlated power
Frequency		0.1590	0.0	0.0045
Array	Depth	0.3953	0.4426	0.3999
	Tilt	1.1034	1.0005	0.4164
Water depth		0.6370	0.2198	0.4031
Bottom	Sound speed	0.2770	0.1804	0.3496
	Density	0.0444	0.0878	0.3631
	Attenuation	0.0085	0.0	0.1252

IV. 결론

정합장치에서 매개변수 오정합은 프로세서 출력에서 신호벡터와 복제벡터간의 상관값의 저하와 함께 추정된 음원 위치에 대한 바이어스를 유발시킨다. 본 논문에서는 Pekeris 해양환경에서 수치실험을 통하여 개별 매개변수 오정합에 의한 바이어스와 민감도를 해석적 그리고 수치적으로 고찰하였다. 결과에 의하면 음원 수심에 일정한 바이어스를 발생시키는 매개변수는 해저수심이었으며, 나머지 매개변수는 음원 거리 추정에 바이어스를 발생시켰다. 또한 오정합이 증가될수록 추정된 음원 거리가 증가된 매개변수는 주파수와 해저수심이었으며, 해저층 감쇠계수 오정합은 음원위치 추정에 영향을 주지 않았다. 오정합에 따른 매개변수의 민감도는 배열 경사와 수층의 수심, 배열 수심 등이 비교적 높게 나타났으며, 해저층 매개변수 중 해저층 음속이 상대적으로 높은 민감도를 보였다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 Brain Busan 21 사업의 일부분 지원에 의해서 연구되었음.

참고 문헌

1. F.B. Jensen and W.A. Kuperman, M.B. Porter, and H. Schmidt, *Computational Ocean Acoustics*, American Institute of Physics, New York, 1994.
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, 401-424, 1993.
3. G.L. D'Spain, J.J. Murry, W.S. Hodgkiss, N.O. Booth, and P.W. Schey, "Mirages in shallow water matched field processing," *J. Acoust. Soc. Am.*, 105 (6), 3245-3265, 1999.
4. H.P. Bucker, "Use of calculated sound fields and matched-field detection to locate sound sources in shallow water," *J. Acoust. Soc. Am.*, 59, 368-373, 1976.
5. M.B. Porter, R.L. Dicus, and R.G. Fizzell, "Simulations of Matched field processing in a deep-water Pacific environment," *IEEE J. Oceanic Eng.*, 12, 173-181, 1987.
6. A. Tolstoy, "Sensitivity of matched field processing to sound-speed profile mismatch for vertical array in a deep water Pacific environment," *J. Acoust. Soc. Am.*, 85, 2394-2404, 1989.
7. C. Feuillade, D.R. DelBalzo, and M.M. Rowe, "Environmental mis-match in shallow-water matched field processing: Geoacoustic parameter variability," *J. Acoust. Soc. Am.*, 85, 2354-2364, 1989.
8. D.R. DelBalzo, C. Feuillade, and M.M. Rowe, "Effects of water-depth mismatch on matched-field localization in shallow water," *J. Acoust. Soc. Am.*, 83, 2180-2185, 1988.
9. E.C. Shang and Y.Y. Wang, "Environmental mismatching effects on source localization processing in mode space," *J. Acoust. Soc. Am.*, 89, 2285-2290, 1991.
10. D.F. Gingras, "Methods for predicting the sensitivity of matched-field processors to mismatch," *J. Acoust. Soc. Am.*, 86, 1940-1949, 1989.
11. M. Musil, N.R. Chapman, and M.J. Wilmut, "Range-dependent matched-field inversion of SWellEX-96 data using the downhill simplex algorithm," *J. Acoust. Soc. Am.*, 106, 3270-3281, 1999.
12. M.B. Porter, *The KRAKEN Normal Mode Program*, SACLANT Undersea Research Center, 1994.
13. G.L. D'Spain and W.A. Kuperman, "Application of waveguide invariants to analysis of spectrograms from shallow water environments that vary in range and azimuth," *J. Acoust. Soc. Am.*, 106, 2454-2468, 1999.

저자 이력

• 박재은 (Jae-Eun Park)



1987년 3월: 해군사관학교 해양학과 (이학사)
1994년 2월: 한국해양대학교 대학원 해양공학과 (공학석사)
2002년 2월: 한국해양대학교 해양개발공학과 (공학박사)
2003년-현재: 해군해양전술정보단 예보처장
※ 주관심분야: 소나신호처리, 정합장처리, 수중음향모델링

• 신기철 (Kee-Cheol Shin)



1996년 2월: 한국해양대학교 해양공학과 (공학사)
1998년 2월: 한국해양대학교 해양공학과 (공학석사)
2003년 8월: 한국해양대학교 해양개발공학과 (공학박사)
2003년-2004년: 한국과학재단 신진연구원, BB21
박사후과정
2005년-현재: 넥스원퓨처(주) 수중연구소 선임연구원
※ 주관심분야: 소나신호처리, 정합장처리, 수중음향모델링, 시계열반전전율량학

• 김재수 (Jea-Soo Kim)

한국음향학회 제23권 제4호 참조