

일관성 광대역 정합장처리에 의한 수중 이동음원의 위치추적

Underwater Moving Source Tracking Using a Coherent Broad-band Matched Field Processing Technology

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

* 한국해양대학교 대학원 해양개발공학과, ** 한국해양대학교 해양시스템공학부
(접수일자: 2001년 7월 2일; 수정일자: 2001년 8월 27일; 채택일자: 2001년 9월 14일)

최근 수중음향에 대한 관심은 천해와 같은 복잡한 음파의 상호작용과 경계조건이 부정확한 해양환경으로 이동하고 있다. 천해 음향전파에 의해서 발생하는 어려움을 극복하기 위한 방법으로 음원의 광대역 스펙트럼에서 얻어지는 정보를 사용하여 견고성과 신뢰성을 증가시키는 광대역 정합장처리 기법이 사용된다. 본 논문에서는 협대역에서의 음장의 공간 일관성을 확장하여 다중 주파수를 사용한 주파수-공간 일관성 광대역 프로세서를 제안하였고, 이 프로세서를 실제 광대역 이동음원에 적용하여 음원위치추적을 수행하였다. 제안된 일관성 프로세서는 음원의 정위치 추정확률이 높았으며, 특히 정합장출력의 부엽준위에서 비일관성 프로세서와 비교해 일관성 프로세서가 상당히 낮은 준위를 나타내었다.

핵심용어: 정합장처리, 광대역, 추적, 일관성
투고분야: 수중음향 분야 (5.5)

The shallow-water environment presents additional challenges arising from the complex interaction patterns of the sound with the sea bed. In order to overcome the difficulties generated by shallow-water propagation, broad-band matched field processing has been employed in an effort to increase robustness by utilizing multiple frequency information. In this paper, a coherent broad-band matched field processor is introduced that incorporates the spatial coherence of the acoustic field not only over one frequency but across frequencies. The incoherent and coherent processors are applied to the experimental data where it is shown that both processors give a high probability of correct localization. Also it is found that a coherent processor has better performance in the sidelobe pattern of ambiguity surfaces.

Keywords: MFP, Broad-band, Tracking, Coherence
ASK subject classification: Underwater acoustics (5.5)

I. 서론

수중에서 선배열 수신기를 이용한 정합장처리는 실제 수신된 신호와 음향전파모델에서 예측된 음장 사이의 유

사성을 측정하고 평가하는 과정이라 할 수 있다. 최근의 연구결과에서 광대역 정합장처리는 협대역 처리와 비교해 보다 강인하고 정확한 것으로 알려져 있다[1,2]. 몇 가지 형태의 광대역 정합장처리 기법이 문헌에 발표되었으나 대부분은 비일관성 (incoherent) 광대역 정합장처리에 관한 것으로, 단순히 협대역 주파수에서 수신기들 간의 공간 일관성을 이용하여, 정합출력장 (ambiguity

책임저자: 신기철 (kcshin@kmaritime.ac.kr)
606-791 부산광역시 영도구 동삼동
한국해양대학교 대학원 해양개발공학과
(전화: 051-410-4979; 팩스: 051-404-3538)

surface)들을 선형 또는 대수 형태로 비일관성 평균하게 된다[1,3]. 비일관성 광대역 정합장 프로세서들과 대조적인 일관성 (coherent) 광대역처리 기법은 다중 주파수에서의 음장의 공간 일관성을 이용한다. 일관성 방법은 Tolstoy에 의해서 최초로 소개되었으나, 광대역 음원의 특성 스펙트럼이 알려진 경우에 대해 적용 가능하였다 [1]. Westwood는 Tolstoy와 유사한 방법을 사용하였으나 신호의 공분산행렬의 일부분만을 사용하는 방법을 제안하였다[4].

본 논문에서는 단일 주파수에서의 음장의 공간 일관성을 확장하여 음원의 미지 특성 스펙트럼에 대한 다중 주파수-공간 일관성 광대역 프로세서를 제안하고, 기존의 비일관성 광대역 정합장 프로세서와 제안된 일관성 광대역 프로세서를 실제 광대역 이동음원의 실험인 Hudson Canyon 실험자료[5]에 적용하여 연속적인 음원위치추적을 수행하였다. 음원위치추적은 광대역 음원에 대한 선배열 신호의 공분산행렬을 사용하여 Bartlett 선형프로세서에 대해서만 적용하였으나, 다른 협대역 MFP 체계들 예를 들어, 최소분산 (Minimum Variance) 프로세서에서도 사용될 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 광대역 정합장 처리와 관련된 선배열 수신기에서의 음장 형성을 다루고, 3장은 광대역 프로세서 즉, 기존의 비일관성 프로세서와 개선되거나 새로 제시된 일관성 프로세서의 이론적 배경에 대해 설명한다. 4장에서는 광대역 이동음원에 관한 Hudson Canyon 실험자료를 대상으로 각 정합장 프로세서들을 적용하여 음원위치추적을 수행한 결과를 토대로 프로세서의 성능을 비교하고, 장단점에 대해서 고찰하였다.

II. 선배열 수신기의 음장과 정합장처리

선배열 수신기에서 신호와 소음의 합으로 표현되는 주파수영역 수신 음장을 $F_l(\omega) = S_l(\omega) + N_l(\omega)$ 로 표시한다면, 신호성분 $S_l(\omega)$ 는 음원과 특정 l 번째 수신기 사이의 전달경로에 상응하는 전달함수인 Green 함수 $G_l(\omega)$ 와 음원 자체의 특성 스펙트럼 $D(\omega)$ 로 분리할 수 있으며, 시간영역에서는 콘볼루션 관계가 된다.

$$S_l(\omega) = G_l(\omega) D(\omega) \Leftrightarrow s_l(t) = g_l(t) \otimes d(t) \quad (1)$$

정합장처리에서 전달함수 $G_l(\omega)$ 는 음향전파모델에

의해서 추정된다. 신호대역에서 수신 음장을 위상요소로 표현하면 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\theta_{r, lkm} = \varphi_{0, k} + \varphi_{lk} + \varphi_{n, lkm} + 2\pi f_k t_m \quad (2)$$

여기에서 k 는 주파수 그리고 m 은 신호단편 (snapshot)을 지시한다 ($l=1, \dots, L, k=1, \dots, K, m=1, \dots, M$). 위상요소 $\varphi_{0, k}$ 는 k 번째 주파수에서 음원의 초기 위상이고, φ_{lk} 와 $\varphi_{n, lkm}$ 은 각각 k 번째 주파수에서 음원과 l 번째 수신기 사이의 전달함수의 위상요소와 소음에 의한 위상요소이다. 네 번째 위상요소 $2\pi f_k t_m$ 은 신호단편의 시점에 대한 위상이다.

정합장처리는 음향전파모델에 의해 예측된 복제 음장과 실제 음장과의 상관관계에 의해서 결정된다. 음향전파모델은 전달함수의 위상요소 φ_{lk} 를 재현하는 것이므로, 실제 음장에서 소음의 위상을 무시한다 하더라도 미지 음원의 위상 $\varphi_{0, k}$ 로 인해 수신 음장의 위상과 복제 음장의 위상 사이에서는 오정합이 발생한다. 협대역 음원의 경우 공분산행렬을 이용하면 수신기간 상대적인 신호의 크기와 위상 정보를 사용할 수 있으나, 광대역 음원에서는 각 주파수간 음원의 초기 위상이 다르기 때문에 협대역과 같이 간단히 공분산행렬을 구할 수 없다.

III. 일관성 광대역 정합장 프로세서

협대역 선형 (Bartlett) 정합장 처리는 정규화된 (normalized) 신호벡터와 복제벡터간의 내적 (dot-product)을 계산하여, 그 결과를 정합출력장으로 표시한다. 광대역 음원의 주파수간 신호벡터가 상관관계가 없는 것으로 가정하면, 각 주파수에서 계산된 정합출력장들을 산술 또는 기하평균함으로써 광대역 정합장처리가 가능하며, 이러한 방법을 비일관성 광대역 정합장처리라 한다[1,3].

비일관성 선형 광대역 정합장 프로세서는 식 (3)의 형태로 쓸 수 있다.

$$P_{inc}(\hat{a}) = \frac{1}{N_j} \sum_{k=1}^{N_j} [w^+(f_k; \hat{a}) \hat{R}(f_k) w(f_k; \hat{a})] \quad (3)$$

$$\hat{R}(f_k) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M d(f_k)_m d(f_k)_m^+$$

여기에서 \hat{a} 은 추정할 인자를 나타내며, w 는 가중벡터로 선형 프로세서의 경우 음향전파모델에서 예측된 복제 벡터이다. d 는 신호벡터, M 은 신호단편의 개수, N_j 는

사용된 주파수의 개수이며, $\hat{R}(f_k)$ 는 특정 주파수에서의 표본 공분산행렬이고, $(\cdot)^+$ 는 공액전치 (Hermitian transpose)를 나타낸다.

비일관성 광대역 프로세서는 단일 주파수에서 공간의 일관성을 이용하지만, 주파수간의 일관성을 무시한다는 점에서 비일관성 공간 프로세서라 할 수 있다. 비일관성 프로세서들은 존재할 수 있는 공간(수신기들)-주파수의 유용한 정보들을 사용하지 않음으로 단점을 가지고 있다 할 수 있다.

일관성 광대역 프로세서는 서로 다른 주파수에서 음장들간의 상관관계를 이용하는 공간-주파수 프로세서이며, 공분산행렬의 구성을 위해 각 주파수의 신호벡터를 연결하여 super-vector를 구성하게 된다. m 번째 신호단편의 k 번째 주파수에 대한 신호벡터를 열벡터 $\hat{d}_m(f_k)$ 라 표시한다면 신호 super-vector는 다음과 같이 표현된다.

$$D_m = [\hat{d}_m(f_1); \hat{d}_m(f_2); \dots; \hat{d}_m(f_K)] \quad (4)$$

만약 L 개의 수신기와 K 개의 주파수를 사용한다면, 한 개의 신호단편에서의 super-vector는 $(K \times L)$ 개의 요소를 가지는 열벡터가 된다. 이 신호 super-vector를 통해 확장된 공분산행렬이 구해진다. 식 (5)는 일관성 선형 광대역 프로세서에 대한 일반식을 표현한 것이다.

$$P_{coh}(\hat{a}) = W^+(\hat{a}) \hat{R} W(\hat{a}) \quad (5)$$

$$\hat{R} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M D_m D_m^+$$

$$W(\hat{a}) = [w(f_1, \hat{a}); w(f_2, \hat{a}); \dots; w(f_K, \hat{a})]$$

여기에서 \hat{R} 은 m 개의 super-vector들에 의해 추정된 표본 공분산행렬이며, W 는 각 주파수에서의 복제벡터를 연결한 복제 super-vector이다.

음향전파모델에서 계산된 각 주파수에서의 복제벡터는 전달함수의 위상을 예측할 뿐 실제 신호에 포함된 음원의 초기 위상과 크기는 포함되어 있지 않다. 음원신호의 크기는 복제벡터와 신호벡터 모두를 정규화시킴으로써 보상해 줄 수 있으나, 위상은 복제벡터와 신호벡터의 상관관계를 유지시켜 주기 위해 보정해 주어야 한다.

3.1. 신호벡터와 복제벡터의 위상 정규화 (COH-FC)

각 주파수의 신호벡터들을 사용하여 신호 super-vector를 구성하기 전에, 모든 신호벡터들을 첫 번째 수신기의 위상으로 정규화시키는 방법이다. 식 (2)에서와 같이 음

원의 초기 위상 $\varphi_{0,k}$ 와 신호단편의 시점에 대한 위상 $2\pi f_k t_m$ 은 모든 수신기의 위상에 동일하게 포함된다. 각 신호단편에 대해 첫 번째 수신기에서의 위상 즉, $\theta_{r,1km}$ 에 관하여 다른 수신기들의 위상을 정규화하면 위상요소 $\varphi_{0,k}$ 와 $2\pi f_k t_m$ 는 제거된다. 이러한 처리에 의해 신호 벡터의 위상은 전달함수간의 위상차와 소음의 위상차만이 남게 되어, 식 (6)과 같은 형태의 단일 주파수 신호벡터 $\hat{d}_m(f_k)$ 와 새로운 super-vector \hat{D}_m 를 얻을 수 있다.

$$\hat{d}_m(f_k) = \begin{bmatrix} e^{j(\varphi_{2k} - \varphi_{1k} + \varphi_{n,2km} - \varphi_{n,1km})} \\ \vdots \\ e^{j(\varphi_{(L-1)k} - \varphi_{1k} + \varphi_{n,(L-1)km} - \varphi_{n,1km})} \\ e^{j(\varphi_{Lk} - \varphi_{1k} + \varphi_{n,Lkm} - \varphi_{n,1km})} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\hat{D}_m = [\hat{d}_m(f_1); \hat{d}_m(f_2); \dots; \hat{d}_m(f_K)]$$

식 (6)의 위상 정규화된 신호벡터들을 통해 super-vector를 구성하여 공분산행렬을 구성하게 되며, 마찬가지로 각 주파수에서의 복제벡터도 상관관계를 유지시켜 주기 위해 첫 번째 수신기의 위상에 대해서 위상 정규화하면 식 (7)의 새로운 복제벡터 $\hat{w}(f_k; \hat{a})$ 와 복제 super-vector $\hat{W}(\hat{a})$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{w}(f_k; \hat{a}) = \begin{bmatrix} e^{j(\varphi_{2k} - \varphi_{1k})} \\ \vdots \\ e^{j(\varphi_{(L-1)k} - \varphi_{1k})} \\ e^{j(\varphi_{Lk} - \varphi_{1k})} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\hat{W}(\hat{a}) = [\hat{w}(f_1, \hat{a}); \hat{w}(f_2, \hat{a}); \dots; \hat{w}(f_K, \hat{a})]$$

이 방법은 첫 번째 수신기의 신호 위상으로 정규화되기 때문에 첫 수신기에서의 신호의 질에 따라 자료의 신뢰성이 결정된다. 첫 수신기의 소음의 준위가 클 경우, 정규화 처리시 신호벡터는 소음의 위상요소 $\varphi_{n,1km}$ 향으로 인해 자료의 질이 저하될 수 있다.

3.2. 신호벡터와 복제벡터의 비에 의한 복제벡터의 보정 (COH-MC)

음향전파모델에 의한 복제벡터는 전달함수의 위상 φ_{1k} 를 예측한다. 단일 신호단편을 사용하여 공분산행렬을 구성한다면, 신호벡터의 위상은 보정하지 않고, 복제벡터의 위상을 식 (8)과 같이 신호벡터와 복제벡터의 복소수 비에 대한 평균을 곱해서 보정해 줌으로써 상관관계를 유지시킬 수 있다.

$$\hat{w}(f_k; \hat{a}) = w(f_k; \hat{a}) \cdot \left(\frac{d_m(f_k)}{w(f_k; \hat{a})} \right) \quad (8)$$

$$= w(f_k; \hat{a}) \cdot \begin{bmatrix} e^{j(\varphi_{0,1} + 2\pi f_k t_m + \varphi_{n,1km})} \\ e^{j(\varphi_{0,2} + 2\pi f_k t_m + \varphi_{n,2km})} \\ \vdots \\ e^{j(\varphi_{0,L} + 2\pi f_k t_m + \varphi_{n,(L-1)km})} \\ e^{j(\varphi_{0,L} + 2\pi f_k t_m + \varphi_{n,Lkm})} \end{bmatrix}$$

이 방법은 공분산행렬을 한 개의 신호 super-vector를 사용하여 구성하여, 위상 보정된 복제 super-vector와의 상관성을 구하게 된다. 이동음원의 경우 음원의 움직임으로 인해 각 신호벡터의 위상과 크기가 연속적으로 변화하게 되므로 신호단편 부족의 문제가 발생하게 된다[6]. COH-MC에 의한 방법은 단일 신호단편으로 정합출력장을 계산하게 되므로 이동음원에 적합한 방법이라 할 수 있다.

IV. 광대역 이동 음원에 대한 음원위치추적

4.1. Hudson Canyon 실험

수중 광대역 이동음원의 추적을 위해 사용된 자료는 Hudson Canyon 실험[5]에 의해 24개의 수직 선배열 수신기에서 획득된 자료(를 사용하였다. 실험의 환경구성은 그림 1과 같으며, 해저면의 수심은 대략 73 m로 일정하다. 실험은 두 가지 경로 즉, 수직 선배열 수신기에서 거리 500 m부터 4.5 km까지 멀어지는 경로 (outgoing case)와 반대로 거리 4.5 km부터 수신기에 접근해 오는 경로 (incoming case)로 구성된다.

각 경로에 대해서 서로 다른 음원의 송신 주파수 집합이 사용되었는데, 멀어지는 경로에서는 50, 175, 375와 425 Hz, 접근해 오는 경로에서는 75, 275, 525와 600 Hz가 사용되었으며, 음원의 깊이는 36 m로 일정하게 유지한 상태에서 2 knots의 속도로 이동하였다.

신호자료는 각 경우 (outgoing, incoming)에 대해 10개의 거리 (frame)로 나누어 각 거리에 대해 10개의 신호벡터를 사용할 수 있으며, 하나의 신호벡터는 각 수신기에서의 음장을 진폭과 위상으로 나타낸 24개의 복소수로 주어졌다. 각 거리에서의 음원위치 추정은 10개의 신호벡터 d 와 음향전파모델에 환경변수를 입력변수로 하여 계산된 복제벡터 w 들의 상관관계를 계산함으로써 수행된다. 본 연구에서의 복제벡터는 정상 모드 음향전파모델인 KRAKENC에 의해서 계산하였다[7].

1) 인터넷 "ftp://oalib.saic.com/pub/oalib/Hudson/"에서 실험자료를 공개적으로 내려 받을 수 있음.

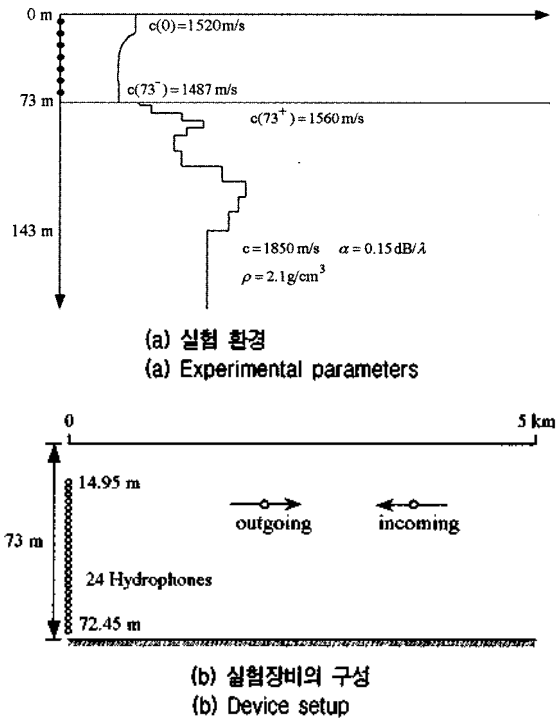


그림 1. Hudson Canyon 실험
Fig. 1. The Hudson Canyon experiment.

4.2. 음원위치추적

Hudson Caynon 실험의 경우 주어진 환경에 대한 음원의 위치 추정이므로 추정 인자 \hat{a} 는 거리 r 과 수심 z 이다. 좌표시스템 (r, z) 에서 탐색 영역을 따라 두 음장 (신호벡터와 복제벡터)의 상관성을 측정하여, 탐색 영역의

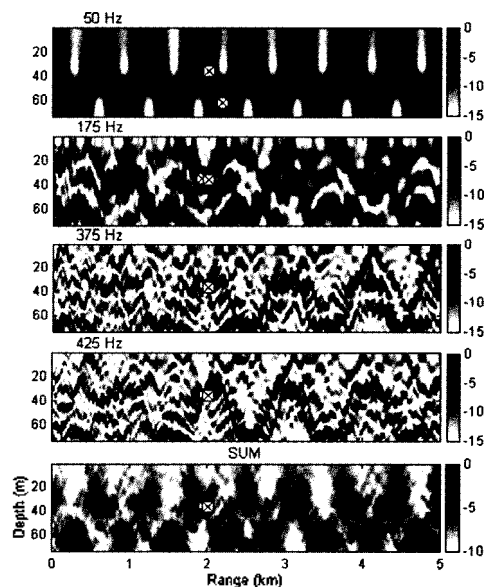


그림 2. 네 개의 주파수에 대한 정합출력장과 비일관성 합
Fig. 2. Ambiguity surfaces for four frequencies and their incoherent sum.

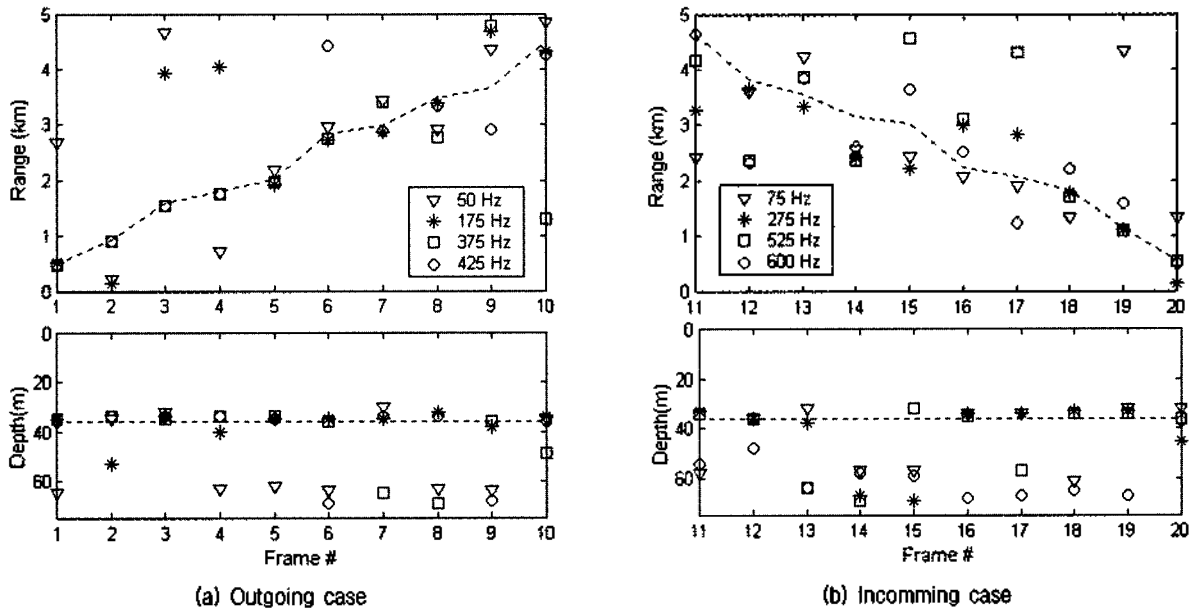


그림 3. 단일 주파수에 의한 이동음원의 위치추적
Fig. 3. Moving source tracking using a single frequency.

표면에 유사성의 척도를 나타내게 되며, 이러한 결과로 얻어지는 것을 정합출력장이라 한다.

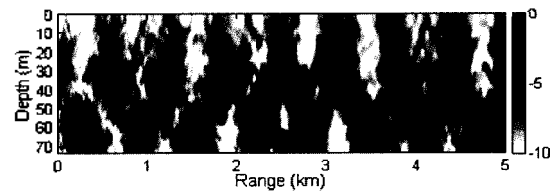
그림 2는 멀어지는 경로의 주파수 집합에 대한 협대역 정합출력장을 나타낸 것이고, 제일 하단의 그림은 이들의 정합출력장을 비일관성으로 더한 결과이다. 실제 음원의 위치는 대략 거리 2 km, 수심 36 m에 위치하였다. 협대역 정합출력장은 10개의 신호단편 ($M = 10$)을 사용하여 표본 공분산행렬을 구성하였으며, 비일관성 광대역 정합장치에는 이 네 개 주파수에서의 정합출력장들을 더함으로써 음원의 위치를 추정하게 된다.

두 가지 음원 경로에 대해서 주파수별 협대역 정합장치에 의해 음원위치추적을 연속적으로 수행한 결과를 그림 3에 도시하였다. 표 1에 보듯이 협대역 정합장치에 의한 음원위치 추정 결과 정위치 추정확률은 10~70%로 대체적으로 정위치 추정확률이 낮다.

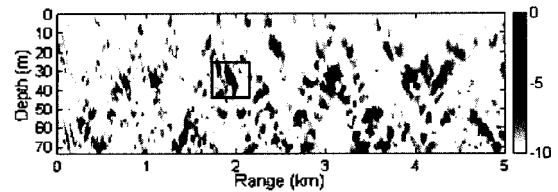
그림 2와 동일한 음원의 위치에서 그림 4는 멀어지는

경로의 주파수 집합에 대한 비일관성 광대역 프로세서 (INC)와 일관성 광대역 프로세서 COH-FC와 COH-MC를

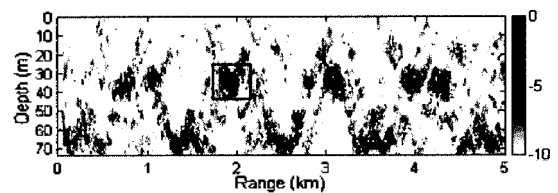
□ estimated source position



(a) 비일관성 방법
(a) Incoherent



(b) 일관성 COH-FC 방법
(b) Coherent COH-FC



(c) 일관성 COH-MC 방법
(c) Coherent COH-MC

표 1. 단일 주파수에 의한 정위치 추정확률
Table 1. Probability of correct localization using a single frequency.

outgoing case		incoming case	
frequency	correct localization (%)	frequency	correct localization (%)
50 Hz	10	75 Hz	30
175 Hz	60	275 Hz	40
375 Hz	60	525 Hz	30
425 Hz	70	600 Hz	10

그림 4. 광대역 정합장 프로세서에 대한 정합출력장
Fig. 4. Ambiguity surfaces for broadband MFP.

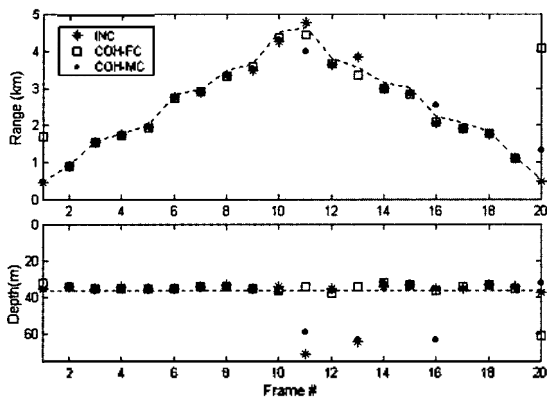
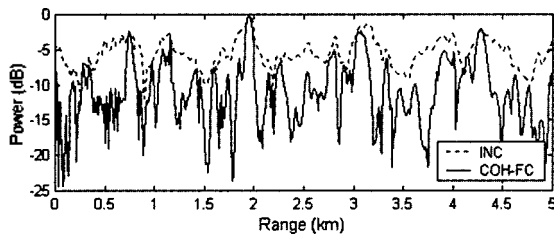
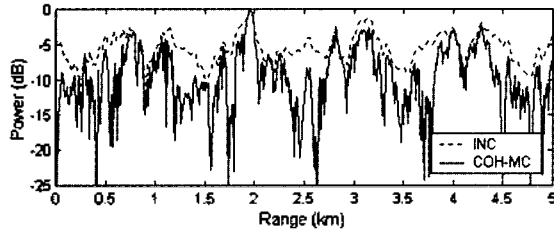


그림 5. 광대역 정합장 프로세서를 이용한 음원위치추적 결과
(... : 실제 음원의 경로)

Fig. 5. Source tracking using broad-band processors
(... : true source position).



(a) 거리 단면
(a) Range slice



(b) 수심 단면
(b) Depth slice

그림 6. 광대역 정합출력장의 비교
Fig. 6. A comparison of the ambiguity surfaces for broad-band MFP.

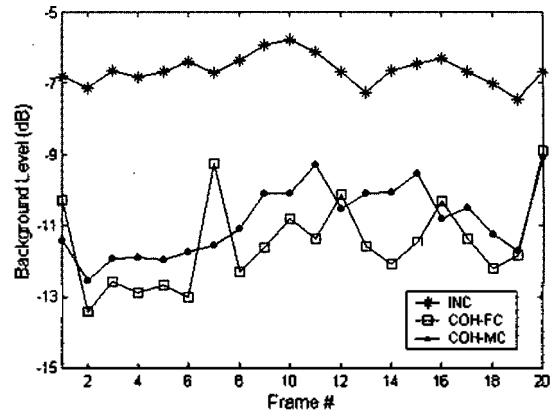


그림 7. 광대역 정합출력장의 배경준위 비교
Fig. 7. A comparison of background level at ambiguity surfaces for broad-band MFP.

사용한 정합출력장이다. 세 프로세서 모두 정위치를 추정하고 있으나, 부엽준위에서 일관성 프로세서가 비일관성 프로세서와 비교해 성능이 우수하였다.

광대역 이동 음원의 대해서 광대역 정합장 프로세서를 사용하여 음원위치추적을 연속적으로 수행한 결과는 그림 5와 같다. 협대역 프로세서보다 정위치 추정확률이 90% 이상으로 상당히 개선되었다.

4.3. 광대역 정합장 프로세서의 비교

광대역 정합장 프로세서의 성능을 비교하기 위해 각 프로세서의 정합출력장의 부엽준위를 비교하였다. 그림 6은 음원 위치 (2 km, 36 m)에서 거리 방향과 깊이 방향의 정합출력장 단면을 비교한 것이다. 거리 및 깊이 방향의 부엽패턴과 준위에서 일반적으로 비일관성 INC에 비해 일관성 COH-FC와 COH-MC가 우수하였다.

각 프로세서 정합출력장의 보다 정량적인 상호 비교를 위해 탐색 영역에 대해 평균 배경준위 (mean background level)를 계산하였다. 평균 배경준위는 추정된 음원 위치를 중심으로 거리 300 m, 수심 10 m의 범위를 제외한 부엽준위들의 평균으로 정의하였다. 각 음원 거리별 평균 배경준위는 그림 7과 같다. 일관성 프로세서는 비일관성 프로세서보다 대략 5 dB 정도 낮은 평균 배경준위를 보였다.

V. 요약 및 결론

천해의 음향환경은 일반적으로 심해와 비교해 복잡한 경계면과 음향환경으로 인해 음원 위치추정이 어려우나,

광대역 음원의 경우는 다수의 토널 주파수를 광대역 정합 장치 기법에 사용함으로써 음원 추정 신뢰성을 높일 수 있다.

본 논문에서는 광대역 정합장치 방법 중 공간-주파수 프로세서인 일관성 기법을 두 가지 방법으로 제안하고, 제안된 프로세서를 Hudson Canyon 이동음원 실험자료의 위치추적에 적용하였다. 이동음원의 위치추적 결과, 광대역 정합장 프로세서가 협대역 정합장 프로세서와 비교해 정위치 추정확률이 매우 높았으며, 특히 일관성 광대역 프로세서는 협대역 및 비일관성 광대역 프로세서와 비교해 음원 정위치 추정확률이 높았다. 그리고 정합출력장의 부엽의 배경준위에서 제안된 일관성 프로세서는 비일관성 프로세서보다 대략 5dB 이상 개선하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 수중음향특화센터의 연구 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. A. Tolstoy, *Matched-field Processing for Underwater Acoustics*, World Scientific, Singapore, 1993
2. Z. H. Michalopoulou and M. B. Porter, "Matched-field processing for broadband source localization," *IEEE J. Ocean Eng.*, vol. 21, pp. 384-392, 1996.

3. A. B. Baggeroer, W. A. Kuperman and H. Schmidt, "Matched field processing: Source localization in correlated noise as an optimum parameter estimation problem," *J. Acoust. Soc. Am.*, 83(2), pp. 571-587, 1988.
4. E. K. Westwood, "Broadband matched-field source localization," *J. Acoust. Soc. Am.*, 91, pp. 2777-2789, 1992.
5. W. Carey, J. Douth, R. B. Evars, and L. M. Dillman, "Shallow water sound transmission measurement taken on the New Jersey Continental Shelf," *IEEE J. Oceanic Eng.*, 20, pp. 321-336, 1995.
6. 박재은, 신기철, 김재수 "최소분산 프로세서를 사용한 정합장치에서 신호단편 수에 따른 바이어스의 영향," *한국음향학회지*, 제20권, 제7호, pp. 94-100, 10, 2001.

저자 약력

● 신 기 철 (Kee-Cheol Shin)



1996년 2월: 한국해양대학교 해양공학과 공학사
 1998년 2월: 한국해양대학교 대학원 해양공학과 공학석사
 2001년 8월: 한국해양대학교 대학원 해양공학과 박사 수료
 * 주관심분야: 소나신호처리, 정합장치, 수중음향 모델링

● 박 재 은 (Jae-Eun Park)



1987년 3월: 해군사관학교 해양학과 이화사
 1994년 2월: 한국해양대학교 대학원 해양공학과 공학석사
 2001년 8월: 한국해양대학교 대학원 해양공학과 박사 수료
 * 주관심분야: 소나신호처리, 정합장치, 수중음향 모델링

● 김 재 수 (Jea-Soo Kim)

현재: 한국해양대학교 해양시스템공학부 교수
 한국음향학회지 제19권 제2호 참조