

# 비선형 형상 견인 어레이를 위한 빔형성 기법

## A Beamforming Method for a Perturbed Linear Towed Array

김 승 일\*, 도 경 철\*\*, 오 원 천\*\*, 윤 대 희\*, 이 충 용\*  
(Seungil Kim\*, Kyeong Cheol Dho\*\*, Won Tchon Oh\*\*, Dae Hee Youn\*, Chungyong Lee\*)

\*연세대학교 전기전자공학과, \*\*국방과학연구소

(접수일자: 2001년 8월 7일; 수정일자: 2002년 4월 12일; 채택일자: 2002년 4월 23일)

표적 탐지를 위한 선형 견인 어레이는 해수의 움직임이나 견인선의 기동 방향 등에 의해 그 형상이 비선형화된다. 이러한 비선형성의 존재는 입사신호의 파라미터 추정 오차를 유발하므로 본 논문에서는 비선형 형상의 견인 어레이를 위한 빔형성 기법을 제안한다. 제안된 기법은 두 개의 보조센서를 사용하여 수동 견인 어레이의 첫 번째 하이드로폰과 마지막 하이드로폰의 위치를 파악한 후, 두 하이드로폰 사이의 비선형 형상 조향 벡터를 선형화 (Linearization)한다. 실제 수중환경에서의 컴퓨터 모의 실험을 통하여 성능 분석을 행한 결과, 비선형 견인 어레이의 형상에 관계없이 빔패턴은 이상적인 형태를 지님을 확인하였다. 그리고 다양한 입사신호의 신호 대 잡음비 환경하에서 위상 성분 추정의 한계를 보임으로써 제안된 기법의 입사각 추정 성능을 평가하였으며, 이와 더불어 선형 형상을 가정한 바틀렛 빔형성 기법과의 비교 분석 결과, 현격한 성능 차이를 보였음을 확인하였다.

**핵심용어:** 비선형 형상 어레이, 견인 어레이, 어레이 신호처리, 빔형성기, 형상 추정 기법

**투고분야:** 수중음향 분야 (5.6)

Linear towed arrays (LTA) have a nonlinear shape due to tow vessel motion, ocean swells and currents. By reasons of nominally linear shape, various towed array shape estimation techniques have been developed since the perturbed shape cause the error in target detection. In this paper, we propose the beamforming method for the perturbed LTA with simple structure. The proposed method linearizes a nonlinear phase of steering vector with position information measured by two reference sensors. It can be proved using some properties of Markov transition matrix, and iteration number of linearization process is decided by variance of cross phase difference. As a result of computer simulation in the ocean environment, beampattern of the proposed method is almost same with the ideal case in any type of array shape. In the signal-to-noise ratio (SNR) performance simulation, the DOA estimation performance of the proposed beamforming method is evaluated, and the comparison with Bartlett beamformer of the LTA shows that the proposed method can estimate the spatial characteristic of sources more accuracy.

**Keywords:** Perturbed array, Towed array, Array signal processing, Beamformer, Array shape estimation

**ASK subject classification:** Underwater acoustics (5.6)

## I. 서론

표적 탐지를 위해 주로 사용되는 견인형 어레이 소나

책임저자: 김승일 (goodksi@mcs.yonsei.ac.kr)  
120-749 서울특별시 서대문구 신촌동 134  
연세대학교 공과대학 전기전자공학과 미디어·통신 신호처리 연구실  
(전화: 02-2123-4534; 팩스: 02-312-4584)

는 일정한 간격으로 배열된 하이드로폰 어레이를 견인선이 끌고 다니면서 수중음향신호를 수집하여 원하는 정보를 추출하는 시스템이다[2,3]. 이 때의 어레이의 길이는 수십에서 수 백미터에 이르며, 튜브처럼 만들어져 있어 해상에서는 파도 및 견인선의 기동 등으로 인해 그 선형성이 유지되지 못한다. 만일 변화된 센서 위치를 보정하

지 않고 선형의 형태를 가정하여 기존의 빔형성 기법들을 사용한다면, 각 기법들은 상당한 성능 저하를 가져오게 된다. 그러므로 각 하이드로폰 위치의 불확정성이 내재하는 환경에서 시스템 성능 저하를 막기 위해서는 하이드로폰의 위치를 추정해내는 기법들이 필요하게 된다.

각 센서의 위치를 알지 못하는 상황에서 선형 견인 어레이의 형상을 추정하는 기법은 다양하게 연구되어 왔다. 대표적으로 사용되는 방법으로는 어레이의 특정 위치에 보조센서를 두고 전체 형상을 추정하는 기법이 있으며 [4-7], 또 다른 방법으로는 단순히 어레이로부터 받아들인 데이터만을 이용하여 상대적인 견인 어레이의 형상을 추정하는 기법이 있다[8-13]. 각각의 기법들은 모두 다음과 같은 장점과 단점을 가지고 있다. 전자의 경우에는 보조센서로부터 위치정보를 얻어내기 때문에 직접적인 어레이 형상 추정이 가능하지만 보조센서의 가격이 비싸고, 하드웨어적인 결합에 민감하며 또한 측정하는 보조센서의 정확도에 따라 형상 추정의 결과가 결정되는 단점이 있다. 반면 후자의 경우에는 가격이 저렴하다는 장점이 있지만 모델링 오차에 민감하고, 절대적인 좌표를 얻기 위해서는 부가적인 정보가 필요한 단점을 지닌다.

하지만 본 논문에서는 두 개의 보조센서를 사용하여 비선형 견인 어레이의 형상을 추정하지 않고도 빔을 형성할 수 있는 기법을 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안된 기법은 다음과 같은 장점들을 지니고 있다.

- (a) 필요로 하는 보조센서의 개수가 두 개뿐이다.
- (b) 구조가 매우 간단하다.
- (c) 수차모델이 아닌 경우에도 적용 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II에서는 바틀렛 빔형성 기법이 선형 형상 어레이 및 비선형 형상 어레이 각각에 있어서 어떻게 적용되는지를 살펴보고, III에서는 선형화 과정을 통한 비선형 견인 어레이를 위한 새로운 빔형성 기법이 제시되었으며, IV에서 모의 실험을 통하여 제안된 기법의 성능을 평가하였다. 마지막으로 V에서 결론을 맺는다.

## II. 바틀렛 빔형성 기법

### 2.1. 선형 형상 어레이의 경우

바틀렛 빔형성 기법은 푸리에 스펙트럼 해석의 확장된 개념으로서, 임의의 어레이 기하구조에 대하여 주어진

입력 신호의 빔형성 출력을 최대화하는 기법이다[1,14]. 특정 방향  $\theta$ 에 대하여 출력을 최대화하는 경우를 가정하자. 입사각  $\theta$ 를 갖는 신호  $s(t)$ 가 입력으로 들어오면, 어레이의 출력은 부가 잡음 (additive noise)에 의해 영향을 받아 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{a}(\theta)s(t) + \mathbf{n}(t). \tag{1}$$

결국 출력을 최대화하는 문제는 공간적 측면에서의 백색 잡음을 가정하면, 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{w}} E\{\mathbf{w}^H \mathbf{x}(t) \mathbf{x}^H(t) \mathbf{w}\} \\ &= \max_{\mathbf{w}} \mathbf{w}^H E\{\mathbf{x}(t) \mathbf{x}^H(t)\} \mathbf{w} \\ &= \max_{\mathbf{w}} \{E|s(t)|^2 \mathbf{w}^H \mathbf{a}(\theta)|^2 + \sigma^2 |\mathbf{w}|^2\}. \end{aligned} \tag{2}$$

그림 1의 <1>과 같은 선형 어레이를 가정한 경우, 그 조향 벡터 (steering vector)  $\mathbf{a}(\theta)$ 는 입사각만의 함수로 표현할 수 있으며, 이는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\mathbf{a}(\theta) = [1 e^{j\phi} \dots e^{j(N-1)\phi}]^T, \tag{3}$$

여기서  $\phi = -2\pi f d \sin \theta / c$ 로서 전기적인 각 (electrical angle)이라 부른다. 위의 조향 벡터를 구한 후, 어레이의 출력을 최대로 하는 크기가 1인 식 (2)의 해는 다음과 같이 얻어진다.

$$\mathbf{w} = \frac{\mathbf{a}(\theta)}{\sqrt{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{a}(\theta)}} \tag{4}$$

위의 계수벡터는 공간적인 필터로 볼 수 있으며 이는 신

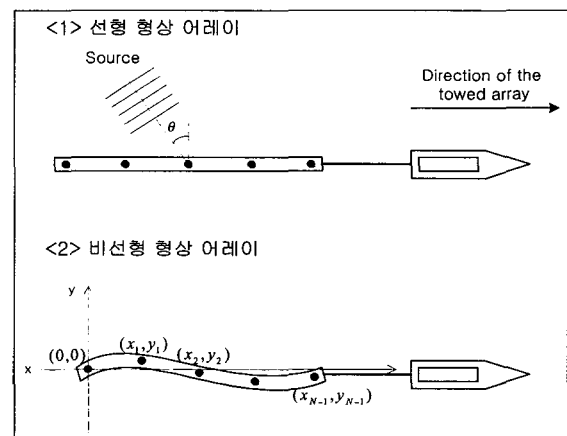


그림 1. 선형 형상 어레이와 비선형 형상 어레이의 구조  
Fig. 1. Structures of linear and perturbed shape array.

호를 정합시키는 역할을 한다. 결국 최종 출력 파워는

$$P(\mathbf{w}) = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M |y(t)|^2 = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M \mathbf{w}^H \mathbf{x}(t) \mathbf{x}^H(t) \mathbf{w} \\ = \mathbf{w}^H \hat{\mathbf{R}} \mathbf{w} = \frac{\mathbf{a}^H(\theta) \hat{\mathbf{R}} \mathbf{a}(\theta)}{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{a}(\theta)} \quad (5)$$

이고, 이것은 공간적인 스펙트럼을 얻었다고 볼 수 있다.

## 2.2. 비선형 항상 어레이의 경우

일반적으로 바틀렛 빔형성 기법은 임의의 기하구조를 갖는 어레이에 대해 적용이 가능하다고 알려져 있다. 하지만 그 경우 어레이의 기하구조에 대한 사전지식을 알고 있어야만 바틀렛 빔형성 기법을 사용할 수 있다. 그림 1의 <2>의 비선형 어레이는 2차원의 형상을 가정하고 있다. 견인 어레이는 z축상으로의 변이는 그리 크지 않으므로 2차원의 가정은 유효하다. 비선형 항상 견인 어레이의 n번째 하이드로폰에서 입력받은 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$x(t) = s(t) e^{-j \frac{2\pi f}{c} (x_n \sin \theta + y_n \cos \theta)} \quad (6)$$

이 대의 조향 벡터는 선형가정의 식 (3)과는 다른 형태를 지니게 되며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{a}(x_n, y_n, \theta) = [ 1 e^{j p_n} \dots e^{j p_n} ]^T \quad (7)$$

여기서  $p_n = -2\pi f(x_n \sin \theta + y_n \cos \theta)/c$ 이다. 이 조향 벡터의 위치 파라미터  $x_n$ 과  $y_n$ 을 알고 있다면, 2.1에서 제시하였던 바틀렛 빔형성 기법과 같은 방식으로 빔을 형성할 수 있다.

그러나 실제 천해 환경에서 해수의 영향이나 배의 견인 방향 등으로 인해 임의의 비선형 형상을 갖는 견인 어레이의 하이드로폰 위치는 알 수 없으므로 일반적으로 선형 형상을 가정하게 된다. 하지만 이러한 가정은 식 (3)과 식 (7)이 다른 값을 나타내는 것만큼 빔패턴에 영향을 미치지 하여 원하는 성능의 빔형성기 구현을 제한한다. 그림 5, 5, 7은 선형 형상으로의 가정이 유발하는 빔패턴에서의 오차를 보여준다.

## II. 선형화 과정을 통한 비선형 항상 견인 어레이의 빔형성 기법

그림 1의 <2>에서와 같은 비선형 견인 어레이를 고려해 보자. 기준 센서의 위치를 원점이라 생각하고 그에 대한

상대적인 위치를 각 하이드로폰의  $x, y$ 좌표로 삼는다. 배의 z축상의 비선형성은 실제 환경에서 그리 크지 않으므로 무시하도록 한다. 그리고 정해진 주파수 대역 내에는 신호원이 하나만 존재한다고 가정하자. 위와 같은 환경에서 제안된 기법은 다음의 과정을 통해 얻어진다. 먼저 어레이에서 받아들인 데이터들의 출력 공분산 행렬을 구하고, 그 행렬을 고유치 분해한다.

$$\mathbf{R}_{\mathbf{X}\mathbf{X}} = E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^H\} = \sum_{n=1}^N \lambda_n \mathbf{e}_n \mathbf{e}_n^H = \mathbf{E} \mathbf{A} \mathbf{E}^H \quad (8)$$

여기서  $\lambda_n$ 은 n번째 고유치이며,  $\mathbf{e}_n$ 은 그에 대응하는 고유벡터를 의미한다. 이 때,

$$\mathbf{E} = [ \mathbf{e}_1 \mathbf{e}_2 \dots \mathbf{e}_N ], \quad (9)$$

$$\mathbf{A} = \text{diag}\{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_N\}, (\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N), \quad (10)$$

가 된다.  $\text{diag}\{\}$ 는 괄호안의 각 원소들을 대각성분으로 갖는 대각행렬 (diagonal matrix)을 의미한다. 정해진 주파수 대역 내에는 하나의 신호원만이 있다고 가정하였으므로, 고유치 분해를 통해서 얻어진 고유치와 고유벡터들 중에서 가장 큰 값을 갖는 고유치  $\lambda_1$ 에 해당하는 고유벡터  $\mathbf{e}_1$ 을 뽑는다. 이 고유벡터는 신호원이 각 하이드로폰에 입사된 시간지연 성분을 포함한 위상 정보를 지니게 된다. 즉, 최대 고유치에 해당하는 고유벡터는 비선형 항상 어레이의 조향 벡터라고 볼 수 있다[9].

### 3.1. 비선형 항상 견인 어레이를 위한 선형화 기법

새로이 제안하는 기법은 비선형 항상 어레이의 조향 벡터로부터 선형 형상의 조향 벡터를 추출해 내는 것이라 할 수 있다. 비선형 형상의 조향 벡터의 위상 성분을 다음 식 (11)과 같이 표현하자.

$$\mathbf{p}_1^{(1)} = [ p_{11}^{(1)} p_{21}^{(1)} \dots p_{M1}^{(1)} ]^T, \quad (11)$$

선형 형상의 조향 벡터는 반복적인 계산에 의해 얻어지게 되므로, 괄호 윗첨자는 반복횟수를 나타내도록 정의한다. 그러면 식 (11)로부터 k번의 반복에 의한 선형 항상 조향 벡터의 위상 성분  $\mathbf{p}_1^{(k)}$ 를 계산할 수 있다. 그 과정은 다음과 같다.

$$\mathbf{p}_1^{(k)} = [ p_{11}^{(k)} p_{21}^{(k)} \dots p_{M1}^{(k)} ]^T, \quad (12)$$

여기서,

$$p_{11}^{(k)} = p_{11}^{(1)}, \quad (13)$$

$$p_n^{(k)} = \frac{1}{2} [p_{(n-1)}^{(k-1)} + p_{(n+1)}^{(k-1)}], 2 \leq n \leq N-1, 2 \leq k \leq K \quad (14)$$

$$p_M^{(k)} = p_M^{(1)}. \quad (15)$$

그리고 우리가 원하는 선형 형상의 조향 벡터를

$$e_1^{(K)} = \exp(jp_1^{(K)}) \quad (16)$$

이다. 위의  $K$ 만큼의 반복횟수를 거친 후의 위상 성분 벡터는 시간 지연 성분의 평균을 통하여 선형의 형태를 지니게 된다. 이와 같은 선형화 과정을 거친 선형 형태의 고유 벡터는 기준 하이드로폰과 어레이의 마지막 하이드로폰을 연결하는 선형 어레이가 지나는 조향 벡터가 된다. 그러므로 두 개의 보조센서를 이용하여 기준 하이드로폰과 마지막 하이드로폰의 위치를 알고 있다면, 두 하이드로폰을 지나는 선형 형상 어레이에 해당하는 계수벡터  $w(\theta)$ 는 입사각의 함수만으로 표현할 수 있으며, 구해진 조향 벡터  $e_1^{(k)}$ 로부터 다음의 빔패턴의 방정식을 얻을 수 있다.

$$P(\theta) = w^H(\theta) \cdot e_1^{(K)}. \quad (17)$$

#### IV. 모의 실험

모의 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 비선형 형상 견인 어레이를 위한 빔형성기의 성능을 평가하고자 한다.

표 1. 모의 실험에 사용된 파라미터와 값

Table 1. Parameters for computer simulations.

모의 실험 파라미터	값
신호원의 주파수 ( $f$ )	100 Hz
샘플링 주파수 ( $f_s$ )	250 Hz
수중에서의 전파의 속도 ( $v$ )	1500 m/s
하이드로폰 간의 간격 ( $d$ )	3.75 m ( $\lambda/4$ , $\lambda$ 는 신호원의 파장)
신호원의 입사각 ( $\theta$ )	25°
사용된 샘플 수 ( $M$ )	512

먼저 다양한 어레이의 비선형 형상에 대하여 선형 형상을 가정한 바틀렛 빔형성 기법과 제안된 비선형 형상 견인 어레이를 위한 빔형성 기법을 비교한다. 모의 실험에 사용된 공통된 파라미터들과 그 실험 값을 표 1에 정리하였다. 그 외의 파라미터들은 모의 실험 환경에 따라 다르게 나타나고, 각각은 실험 결과의 앞부분에 기술하도록 한다.

#### 4.1. 견인 어레이의 형상에 따른 빔패턴 비교

제안된 기법의 성능 분석을 위해 본 절에서는 견인 어레이의 형상에 따라서 기존의 바틀렛 빔형성 기법과의 비교를 하였다. 그림 2는 모의 실험에 사용된 견인 어레이의 형상을 보여준다. 그림 2(a)는 활모양 (arc)의 어레이 형상을 나타낸다. 활모양의 어레이 형상은 견인선 (tow ship)이 항로를 변경하는 경우 주로 발생하며, 항로 수정 각도에 따라 그 휘어짐의 정도가 다르게 나타난다. 그림

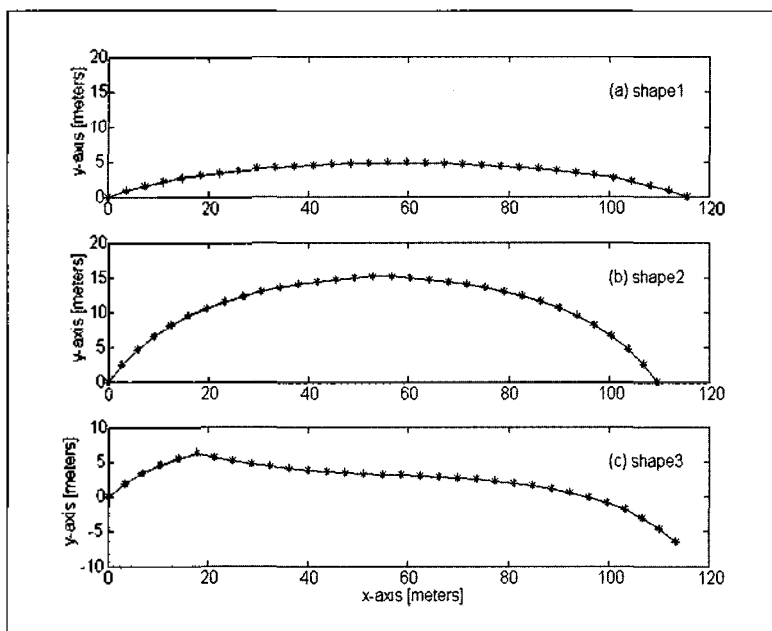


그림 2. 여러 가지 견인 어레이의 형상  
Fig. 2. A various shape of the towed array.

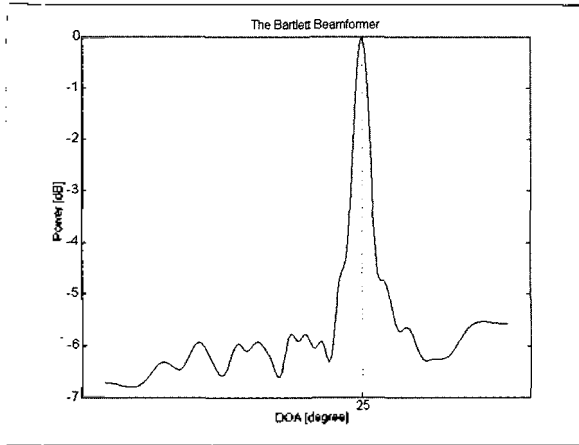


그림 3. 어레이 형상 (a)에 대한 바틀렛 빔형성 기법의 빔패턴  
Fig. 3. A beam pattern of Bartlett beamformer for array shape (a).

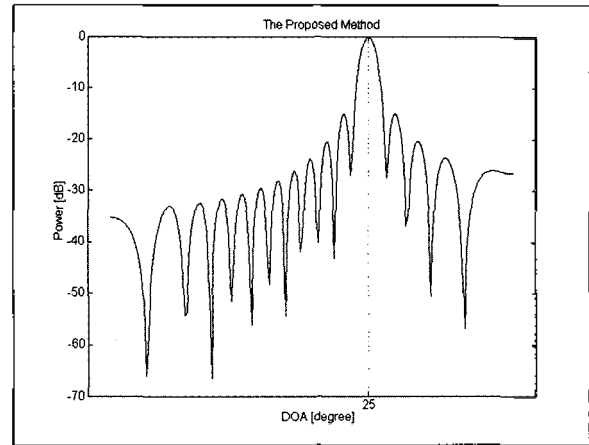


그림 4. 어레이 형상 (a)에 대한 제안된 기법의 빔패턴  
Fig. 4. A beam pattern of the proposed method for array shape (a).

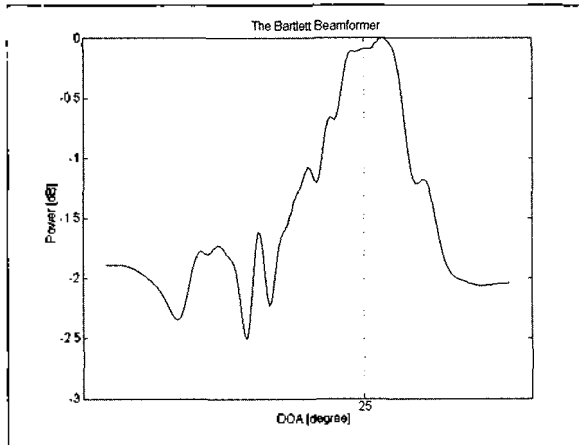


그림 5. 어레이 형상 (b)에 대한 바틀렛 빔형성 기법의 빔패턴  
Fig. 5. A beam pattern of Bartlett beamformer for array shape (b).

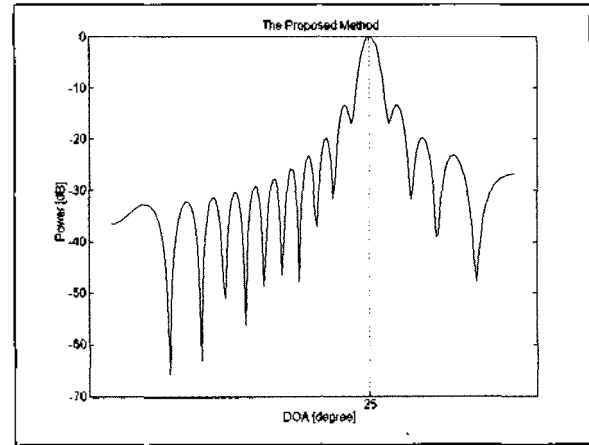


그림 6. 어레이 형상 (b)에 대한 제안된 기법의 빔패턴  
Fig. 6. A beam pattern of the proposed method for array shape (b).

2(b)는 보다 큰 활모양의 휘어짐을 가지는 어레이 형상이다. 그림 2(c)는 임의의 모양대로 교란된 어레이의 형상이며, 이는 주로 해수의 움직임이나 하이드로폰 센서의 자기 오차 등에 의해 발생한다. 본 절에서는 이상의 세 가지 다른 형상에 대해 모의 실험을 수행하였다. 특히 본 실험은 전대역에서의 신호 대 잡음비가 -10 dB이고, 하이드로폰의 개수는 32개인 경우를 가정하였다. 그리고 제안된 기법을 위해 반복횟수  $K$ 는 400으로 하였다.

그림 3과 그림 4는 그림 2(a)의 어레이 형상에 대한 입사각 추정 빔패턴의 결과이다. 각각은 기존의 바틀렛 빔형성 기법에 의한 빔패턴과 제안된 기법을 적용한 후의 빔패턴이다. 기존의 바틀렛 빔형성 기법은 주엽 대 부엽 비율이 현저하게 떨어져 있음을 볼 수 있다.

그림 5와 그림 6은 그림 2(b)의 형상에 대한 입사각 추정 빔패턴의 결과이며, 마찬가지로 각각은 바틀렛 빔형성 기법과 제안된 기법의 빔패턴을 나타낸다. 실험환경

은 위의 것과 동일하며 단지 어레이의 형상만이 다르다. 그림 5는 같은 활모양을 하고 있지만 그 휘어진 정도가 더 큰 어레이의 형상으로 인하여 신호원의 입사각 추정이 불가능할 뿐 아니라, 빔패턴이 매우 교란되어 있다. 반면에 제안된 기법을 적용한 그림 6의 경우에는 빔패턴이 여전히 이상적인 형태에 가까우며 바틀렛 빔형성 기법에 비해 매우 향상된 성능을 보인다.

그림 7과 그림 8은 그림 2의 (c)와 같이 임의의 형상을 지니는 어레이에 대하여 각 기법들을 적용시킨 결과이다. 그림 7의 바틀렛 빔형성 기법의 경우 약 3도 가량의 추정 오차가 생긴 반면, 그림 8의 제안된 기법은 만족스러운 성능을 보인다. 위의 세 가지 어레이 형상 모델에 대한 모의 실험 결과로부터 제안된 기법은 다양한 비선형 형상의 어레이에 대해서도 신호원의 입사각을 보다 정확하게 찾아낼 수 있음을 알 수 있다.

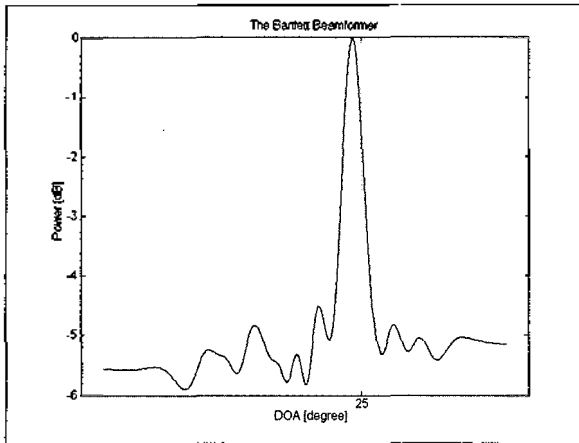


그림 7. 어레이 형상 (c)에 대한 바틀렛 빔형성 기법의 빔패턴  
Fig. 7. A beampattern of Bartlett beamformer for array shape (c).

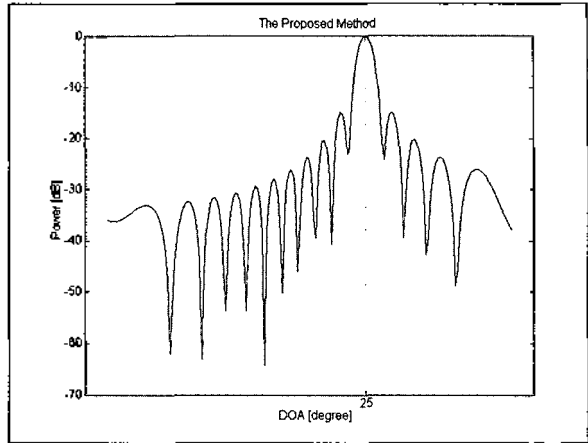


그림 8. 어레이 형상 (c)에 대한 제안된 기법의 빔패턴  
Fig. 8. A beampattern of the proposed method for array shape (c).

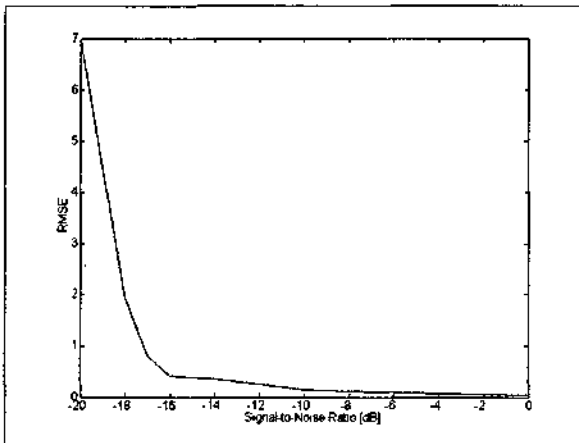


그림 9. 신호 대 잡음비에 따른 조향벡터의 위상 성분 추정 성능  
Fig. 9. The performance of phase estimation as a function of signal to noise ratio.

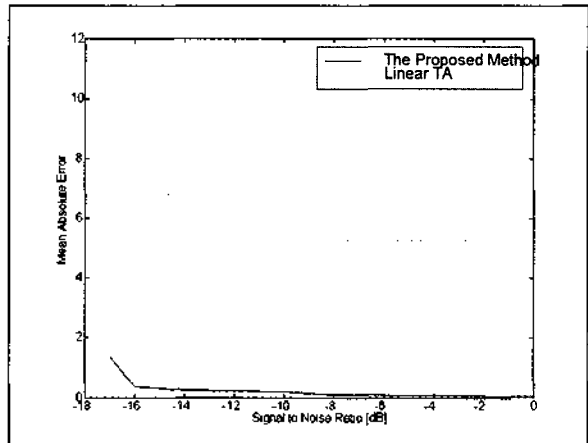


그림 10. 신호 대 잡음비에 따른 제안된 기법의 입사각 추정 성능  
Fig. 10. The performance of bearing estimation as a function of signal to noise ratio.

#### 4.2. 신호 대 잡음비에 대한 성능분석

제안된 기법을 적용하기 위해서는 먼저 신호의 출력 공분산 행렬의 최대 고유치에 대응하는 고유벡터가 비선형 형상 어레이의 조향벡터를 잘 추정해 내야 한다. 신호 대 잡음비가 높은 경우에는 고유벡터가 조향벡터를 추정하는 데에 있어서 문제가 없지만, 신호 대 잡음비가 낮은 경우에는 심각한 문제를 야기하게 된다. 조향벡터를 정확하게 찾지 못할 때는 제안된 기법에 의해 선형 형상의 어레이에 대한 조향벡터를 계산할 지라도 큰 바이어스를 만들어 낸다. 그림 9는 신호 대 잡음비에 따라 조향벡터를 추정할 수 있는 한계를 보여준다. 그림에서 y축은 RMSE (Root Mean Square Error)를 나타내며,

$$RMSE = \sqrt{\sum_{n=1}^N \{unwrapt[\phi_{n1}] - unwrapt[\phi_{n1} + \xi_n]\}^2} \quad (18)$$

와 같이 표현된다. 여기서  $\phi_{n1}$ 은 이상적인 경우 비선형

형상 어레이의 조향벡터의 위상 성분이고,  $\xi_n$ 은 잡음이 부가되었을 경우의 조향벡터 위상 성분이다.

그림 9를 보면, 전대역 기준으로 -16dB 이하에서는 RMSE가 급격히 증가하게 된다. 이것은 -16dB보다 낮은 신호 대 잡음비에서는 제안된 기법이 적용 불가능함을 나타낸다.

이 실험 결과를 바탕으로 실제 제안된 기법의 신호 대 잡음비에 따른 성능을 평가해 보았다. 그림 10에 보여지는 바와 같이, 예상대로 -16 dB 이하의 신호 대 잡음비에서는 그 평균 절대 오차가 급격하게 증가했다. 하지만 -16 dB 이상의 신호 대 잡음비 환경에서는 선형 가정의 바틀렛 빔형성 기법과는 현격한 차이를 보인다.

#### 4.3. 보조센서 위치 오차에 따른 성능분석

제안된 기법은 기본적으로 양 끝에 위치한 보조센서로부터 그 위치를 파악해야 한다. 그러므로 보조센서에서의 오차나 오동작에 의해 제안된 기법의 성능은 크게 영향을

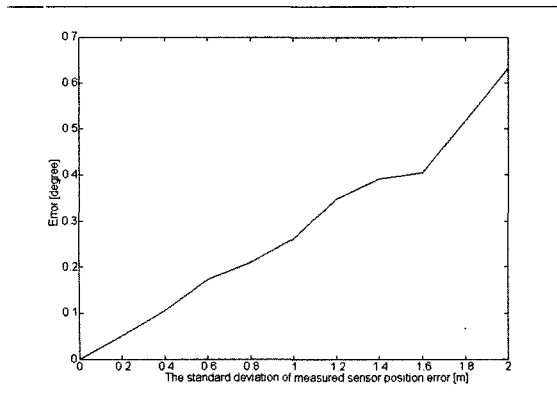


그림 11. 보조센서의 위치 추정오차에 따른 입사각 추정 성능  
Fig. 11. DOA estimation performance as a function of measured sensor position error.

받게 된다. 그림 11은 보조센서로부터 측정된 하이드로폰 위치 추정오차의 표준편차에 따른 입사각 추정 성능을 나타낸다. 그림 11에 의하면 위치 추정오차의 표준편차와 입사각 추정 오차는 거의 비례하게 나타난다. 이는 제안된 기법을 임의의 어레이에 적용하기 위해서는 보조센서의 위치추정에서의 오차를 최소화해야 함을 보여준다.

### V. 결론

본 논문에서는 기존의 기법과는 전혀 다른 어레이 형상 추정의 과정이 없는 비선형 형상의 견인 어레이를 위한 빔형성 기법을 제안하고, 모의 실험을 통해 그 성능을 분석하였다. 이를 위해서 입사 신호의 출력 공분산 행렬의 최대 고유치에 대응하는 고유벡터가 어레이로 입력되는 신호의 시간 지연 성분의 정보가 포함되어 있음을 이용하였다. 이 고유벡터를 선형화 과정을 통해 새로운 조향벡터를 얻어내어 빔형성 기법에 적용하였다.

정해진 주파수 대역내에 하나의 신호원이 존재하며, 그 신호원은 -15 dB의 낮은 신호 대 잡음비를 지니는 환경에서 임의의 형상을 지니는 어레이를 위한 간단한 구조의 빔형성 기법을 제안하여 모의 실험을 통하여 그 타당함을 증명하였다.

### 참고 문헌

1. S. U. Pillai, *Array Signal Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
2. S.-G. Kim, C.-Y. Lee, W.-C. Lee, K.-M. Kim and D.-H. Youn, "An array aperture synthesis technique for noisy environment," *MTS/IEEE Oceans '99*, 315-318, Sept. 1999.

3. 박민수, 김승일, 성하중, 이충용, 윤대회, "수중환경에서 향상된 각 분해능을 갖는 어레이 합성기법," *한국음향학회지* 18 (2), 25-31, 1999년 2월.
4. N. L. Owsley, "Shape estimation for a flexible underwater cable," *proceedings IEEE EASCON*, 20-23, 1981.
5. D. A. Gray, B. D. O. Anderson and R. R. Bitmead, "Towed array shape estimation using Kalman filters - theoretical models," *IEEE J. of Oceanic Eng.*, 18 (4), 543-556, Oct. 1993.
6. J. L. Riley and D. A. Gray, "Towed array shape estimation using Kalman filters - experimental investigations," *IEEE J. of Oceanic Eng.*, 18 (4), 571-581, Oct. 1993.
7. B. E. Howard and J. M. Syck, "Calculation of the shape of a towed underwater acoustic array," *IEEE J. of Oceanic Eng.*, 17 (2), 193-203, Apr. 1992.
8. H. P. Bucker, "Beamforming a towed line array of unknown shape," *J. Acoust. Soc. Am.*, 63 (5), 1451-1454, May 1978.
9. B. G. Ferguson, "Remedying the effects of array shape distortion on the spatial filtering of acoustic data from a line array of hydrophones," *IEEE J. of Oceanic Eng.*, 18 (4), 565-571, Oct. 1993.
10. A. J. Weiss and B. Friedlander, "Array shape calibration using sources in unknown locations - a maximum likelihood approach," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 37 (12), 1958-1966, Dec. 1989.
11. D. E. Wahl, "Towed array shape estimation using frequency - wavenumber data," *IEEE J. of Oceanic Eng.*, 18 (4), 582-590, Oct. 1993.
12. N. L. Owsley and G. R. Swope, "Array shape determination using time delay estimation procedures," *proceedings IEEE EASCON*, 158-165, Sept. 1980.
13. B. G. Quinn, R. F. Barrett, J. Kootsookos and S. J. Searle, "The estimation of the shape of an array using a hidden Markov model," *IEEE J. of Oceanic Eng.*, 18 (4), 557-564, Oct. 1993.
14. H. Krim and M. Viberg, "Two decades of array signal processing research," *IEEE Signal Processing Magazine*, 67-94, July 1996.

### 저자 약력

● 김 승 일 (Seungil Kim)



1988년 2월 연세대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)  
2000년 2월: 연세대학교 공과대학 전기·컴퓨터 공학과 (공학석사)  
2000년 3월~ 현재 연세대학교 공과대학 전기전자공학과 박사과정  
※ 주관심분야: 음성 전처리, 어레이 신호처리, 소나 신호처리, 입체음향

● 도 경 철 (Kyeong Cheol Dho)

한국음향학회지 제20권 제6호 참조

● 오 원 천 (Won Tchun Oh)

한국음향학회지 제20권 제6호 참조

● 윤 대 회 (Dae Hee Youn)

한국음향학회지 제20권 제4호 참조

● 이 충 용 (Chungyong Lee)

한국음향학회지 제20권 제4호 참조