

수차 모형 배열을 이용한 표적추정 (Focused) 빔형성기 성능분석

Analysis of Performance of Focused Beamformer Using Water Pulley Model Array

최 주 평*, 이 원 철*
(Joo Pyoung Choi*, Won Cheol Lee*)

* 숭실대학교 정보통신전자공학부
(접수일자: 2001년 2월 5일; 채택일자: 2001년 3월 5일)

본 논문은 수중 환경에서 비교적 근거리에 위치해 있는 목표물에서 방사되는 광대역 음원신호를 취득하여 목표물의 위치를 탐지하기 위한 표적추정 (Focused) 빔 형성 기법을 제안한다. 표적추정 (Focused) 빔 형성기 기법은 배열 센서를 사용하여 구면파 형태로 입사되는 방사 신호들의 각 센서로의 상이한 전달 지연 시간 성분들을 고려하여 센서 출력 신호들을 일정 시간 구간 동안 코히어런트하게 합해 줌으로써 목표물의 위치를 판단하게 된다. 이때 견인함의 이동에 의해 배열 센서의 형태가 시간적으로 변화하게 되며, 가상의 셀들로 분리된 이미지 공간상에서 각 셀과 배열 센서간의 기하학적인 구조 분석에 의해 계산된 시간 지연 값들을 이용하여 표적추정 (Focused) 빔 형성 과정을 거친 최종적인 3차원 빔 패턴 출력을 얻게 된다. 본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 N차 다항식 (polynomial) 근사법을 이용한 실제 수차 모형 배열 형태 추정을 하였으며 생성된 가상의 수차 모형 배열을 이용하여 각각의 주파수 대역에 따른 광대역 목표물에 대한 추정 성능을 분석하여 보았다.

핵심용어: 수차 모형, 빔 형성기, 견인 배열 소나, 소나 신호처리

투고분야: 수중음향 분야 (5.6)

This paper proposes the Focused beamforming to estimate the location of target residing near to the observation platform in the underwater environment. The Focused beamforming technique provides the location of target by the coherent summation of a series of incident spherical waveforms considering distinct propagation delay times at the sensor array. But due to the movement of the observation platform and the variation of the underwater environment, the shape of the sensor array is no longer to be linear but it becomes distorted as the platform moves. Thus the Focused beamforming should be performed regarding to the geometric shape variation at each time. To estimate the target location, the artificial image plane comprised of cells is constructed, and the delays are calculated from each cell where the target could be proximity to sensors for the coherent summation. After the coherent combining, the beam pattern can be obtained through the Focused beamforming on the image plane. Furthermore to compensate the variation of the shape of the sensor array, the paper utilizes the Nth-order polynomial approximation to estimate the shape of the sensor array obeying the water pulley modeling. Simulation results show the performance of the Focused beamforming for different frequency bands of the radiated signal.

Keywords: Water pulley model, Beamformer, Towed array sonar, Sonar signal processing

ASK subject classification: Underwater acoustics (5.6)

I. 서론

기계 설계 및 제작 기술과 전자 제어 기술이 크게 발전함에 따라 적의 잠수함 같은 수중 목표물의 검출이 매우 어렵게 되었다. 또한 육상과는 달리 수중 환경은 그 특성이 매우 복잡한 패턴을 갖고 있으며 아울러 시시각각 변화한다. 이러한 수중 목표물은 우리에게 큰 위협이 아닐 수 없으며 매우 낮은 신호 대 잡음비를 갖는 수중 음원을 탐지하기 위해서는 많은 센서를 갖는 견인 배열 시스템을 운용하여야 한다. 그러나 이러한 경우 수백 미터에 이르는 배열을 견인선이 끌고 다닐 때 파도와 같은 해수면의 움직임과 견인선의 기동 형태에 따라 원하는 배열 형태를 항상 유지할 수 없다[4]. 이러한 해류의 흐름과 같은 실제 수중 환경의 영향으로 인해 탐지하려는 목표물의 위치 추정에 있어서 실제 목표물의 위치와 다른 오차가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 목표물 좌표 추정의 오차를 최소한으로 감소시키기 위하여 실제 수중 환경에서 견인되는 배열의 왜곡된 형태를 잘 표현한 "Paidoussis" 방정식을 적용하여 이 방정식의 간단화된 형태인 수차 모형 (water pulley) 배열을 광대역 목표물 탐지에 이용하였다[1,2,8,9].

만약 탐지하려는 목표물과 견인 배열 사이가 비교적 근거리인 경우 목표물에서 방사되는 신호는 평면파가 아닌 구면파의 형태로 배열 센서에 도달하게 되며, 각각의 센서에 도달하는 지연 시간차는 비선형 배열에 의한 특성으로 인해 일정 시간차의 정수배가 되지 않는다. 이 경우 각 센서에 도달 지연 시간 정보를 추정하여 목표물과의 거리를 추정할 수 있다. 본 논문에서는 탐지하려는 목표물의 방향 정보를 알고 있을 때 수차 모형 배열을 구성하여 목표물 방향으로 거리에 따라 빔을 형성하고 그 출력의 파워를 측정하여 최대 파워를 갖는 거리를 찾는다. 그러나 배열의 길이가 긴데다 배열 내에서 주파수 대역에 따라 센서 출력력을 조합하므로 만약 음원의 주파수와 견인 센서 배열의 주파수 대역이 서로 일치하지 않는 경우 빔 특성이 왜곡되는 그레이팅 로브 (grating lobe)가 발생하게 되어 거리를 추정할 때 오차가 발생한다. 따라서 정확한 표적 거리 추정을 위해서는 다양한 환경 하에서 성능 분석이 요구되며, 나아가 연구된 방법은 실측 데이터를 이용하여 검증되어야 할 필요성이 있다.

수중 환경에서는 일반적으로 신호 대 잡음비가 높지 않고 이 경우 시간 지연 값을 추정하기 위해 사용되는 상호 상관을 구할 때 오차가 매우 크게 되어 정확한 값을 구하기 어렵다. 또한 선형 배열 센서의 구조가 견인함의 움직임에 의하여 변화할 경우 이의 형태를 순시적으로 추정하여 시간 지연 값을 계산해야 한다는 문제점이 발생한다. 이에 본 논문에서는 수차 모형의 구조를 가지는 견인 배열을 구성하고 각 센서에 입사하는 목표물의 방사 신호에 대한 가상의 목표물 위치와 배열 센서간의 거리를 기하학적인 분석에 의해 사전에 계산하고 이에 의해 얻게 되는 시간 지연차 값들을 사용하여 취득된 센서들의 출력 신호들을 지연 및 합을 통하여 표적과의 거리를 추정하는 방법에 대해 연구한다. 이때 탐지하려는 목표물의 방사 신호는 사전에 정의되어진 LF (low frequency) 영역, MF (middle frequency) 영역, HF (high frequency) 영역에 따라 개별적으로 처리된다. 본 논문에서는 표적추정 (Focused) 빔 형성기를 이용하여 각각의 주파수 대역에 대해 방사 신호를 가지는 목표물의 추정 성능 분석을 수행하였으며 최종적으로는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 표적추정 (Focused) 빔 형성 과정을 거친 빔 패턴 출력을 파악함으로써 탐지하려는 목표물의 위치를 찾아내는데 본 논문의 목표를 두고 있다. 본 연구를 바탕으로 향후 향상된 성능을 갖는 거리 추정 방법을 연구 개발해야 하며 실측 데이터를 이용하여 그 성능을 검증할 필요성이 요구된다.

II. 왜곡된 배열 센서의 입사신호 모델링

실제 수중환경에서는 기존에 사용되어진 견인 선형 배열이 외부 해양 환경 영향 또는 함정의 항로 변경 등 여러 가지 요인에 의해 왜곡된 배열 형태로 변형되어질 수 있다. 이러한 견인 배열의 유동적인 움직임으로 인해 실제 목표물이 존재하는 위치에서 이탈된 추정 오차가 발생한다. 본 논문은 이러한 배열의 왜곡된 특성을 시간적으로 뿐만 아니라 공간적으로 통합된 센서의 움직임을 근거로 한 상관 형태를 잘 표현한 Paidoussis 방정식을 이용하였다. 이러한 Paidoussis 방정식의 간단화된 형태인 수차 모형 (water pulley model)을 이용하여 근

거리에 존재하는 목표물의 위치 추정을 수행하였다[1, 2].

기존의 견인 선형 배열과는 다르게 수차 모형 구조를 이용했을 경우 z축에 따른 변위가 발생하므로 각각의 배열 센서 입사 신호에 대해 기하학적인 방법을 이용하여 시간 지연 차를 구할 수 있다.

견인함이 일정한 센서의 개수를 지니는 수차 모형 배열을 견인하면서 임의로 정해진 가상의 이미지 공간상에 사전에 정해진 좌표를 지니는 목표물이 존재한다고 가정하면, 그림 1과 같이 각 센서마다 일정한 시간 지연 차를 가지고 입사하는 목표물의 방사 신호에 대한 거리 추정 범 형성 기법을 생각할 수 있다.

그림 1에서 탐지하려는 목표물이 존재하는 가상의 이미지 공간은 순차적으로 주어진 좌표가 정해져 있는 동등한 크기의 셀로 구성되어 있으며, 세로축은 Cross-Range, 가로축은 Range라고 말하여진다. 그림 1에서 z축은 기존의 선형 배열과는 다르게 수차 모형의 특성으로 인한 배열의 상하운동을 나타내는 변위를 의미한다. 만약 견인 선형 배열을 견인한다고 가정하면 식 (1)과 같은 각 센서에 대한 입사 신호의 시간 지연 값을 구할 수 있다.

$$\tau_m(x_k, y_k) = \sqrt{(x_k \Delta x - m \Delta s - x_o)^2 + (y_k \Delta y + y_o)^2} \quad (1)$$

식 (1)에서 $\tau_m(x_k, y_k)$ 는 (x_k, y_k) 로 주어진 좌표의 위치에 있는 목표물로부터 선형 배열 센서까지의 시간 지연 값을 의미한다. Δs 는 배열에 존재하는 근접한 센서 간 간격을 나타내며 본 논문에서 센서들 간의 간격은 동일하다고 가정하였다. Δx 와 Δy 는 추정하려는 목표물이 존재하는 가상의 이미지 공간에서의 셀의 간격을 의미한다. 또한 m 은 견인 선형 배열 상에서 개별적인 센서의 위치를 의미하며 x_o 는 Cross-Range 구간의 기준이 되는 시작점부터 견인 선형 배열의 첫 번째 센서까지의 거리를 나타낸다. y_o 는 목표물이 존재하는 가상의 이미지 공간의 탐색 Range 구간 시작 지점에서 견인 선형 배열까지의 거리를 나타내고 있다. 즉, 좌표값 (x_o, y_o) 는 견인 센서 배열 상에서 기준 센서의 위치를 나타낸다.

본 논문에서 사용되어지는 수차 모형 구조를 이용한 견인 센서 배열을 적용하면 수차 모형의 구조적인 특성으로 인해 z축에 대한 견인 배열의 변위가 발생한다. 이때 m 번째 센서의 z축의 변위를 Δz_m 이라고 놓고 그림 1을 참고하여 목표물에서 센서까지의 시간 지연은 식 (2)와 같이 표현되어질 수 있다.

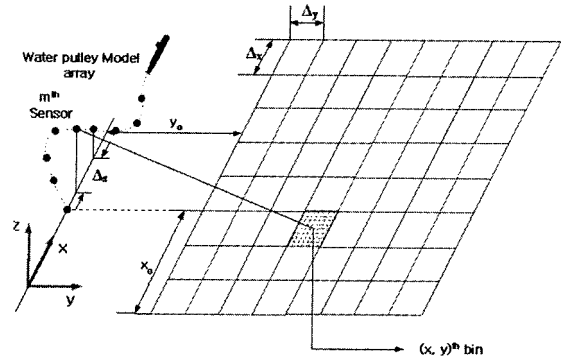


그림 1. 광대역 목표물 시간 지연 측정
Fig. 1. Time delay calculation for wide band target.

$$\tau_m(x_k, y_k) = \sqrt{(x_k \Delta x - m \Delta s - x_o)^2 + (y_k \Delta y + y_o)^2 + (\Delta z_m)^2} \quad (2)$$

수차 모형 구조를 적용한 견인 센서 배열을 어용했을 경우 생성되는 시간 지연 값 식 (2)는 기존의 견인 선형 배열을 이용했을 때의 시간 지연 값에 수차 모형의 높이를 의미하는 z축에 대한 변위를 추가함으로써 계산되어질 수 있다. 그림 1을 토대로 (x_k, y_k) 의 좌표상에 존재하는 단일 목표물에서 방사된 신호 $s(t)$ 가 식 (2)에서 나타난 각 센서에 도달하는 시간 지연차를 고려하여 입사 신호를 나타내면 다음 식 (3)과 같다. 시간 지연차를 나타내는 식 (2)를 이용하면 식 (3)과 같이 센서에 입사하는 신호에 시간 지연 차가 포함된 센서 출력 신호를 얻을 수 있다.

$$x_m(t) = \alpha_{x_k, y_k} s(t - \tau_m(x_k, y_k)) + n_m(t) \quad (3)$$

식 (3)에서 m 은 견인 배열 상에 존재하는 센서의 개별적인 위치를 의미하며, α_{x_k, y_k} 는 목표물의 위치한 셀에서 배열 센서까지의 신호 전달 과정에서의 경로 이득 손실을 나타낸다. 또한 $\tau_m(x_k, y_k)$ 은 각 셀의 중심점으로부터 m번째 센서까지의 시간 지연차를 의미하며, $n_m(t)$ 는 m 번째 센서에서 첨가되는 배경 소음을 나타낸다.

탐지하려는 목표물의 방사 신호가 배열 센서에 전달될 시에 첨가되는 배경 소음에 의한 신호 대 잡음비는 다음과 같이 정의된다. 만약 잡음에 대한 분산 값을 σ^2 이라 하고, 센서 출력 신호를 f_s 의 표본화 주파수로 표본화된 신호 $s(n)$ 의 샘플수가 D개인 경우 Tonal SNR은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Tonal SNR} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\text{Averaged Signal Power}}{(\sigma^2 \cdot \Delta B / f_s)} \quad (4)$$

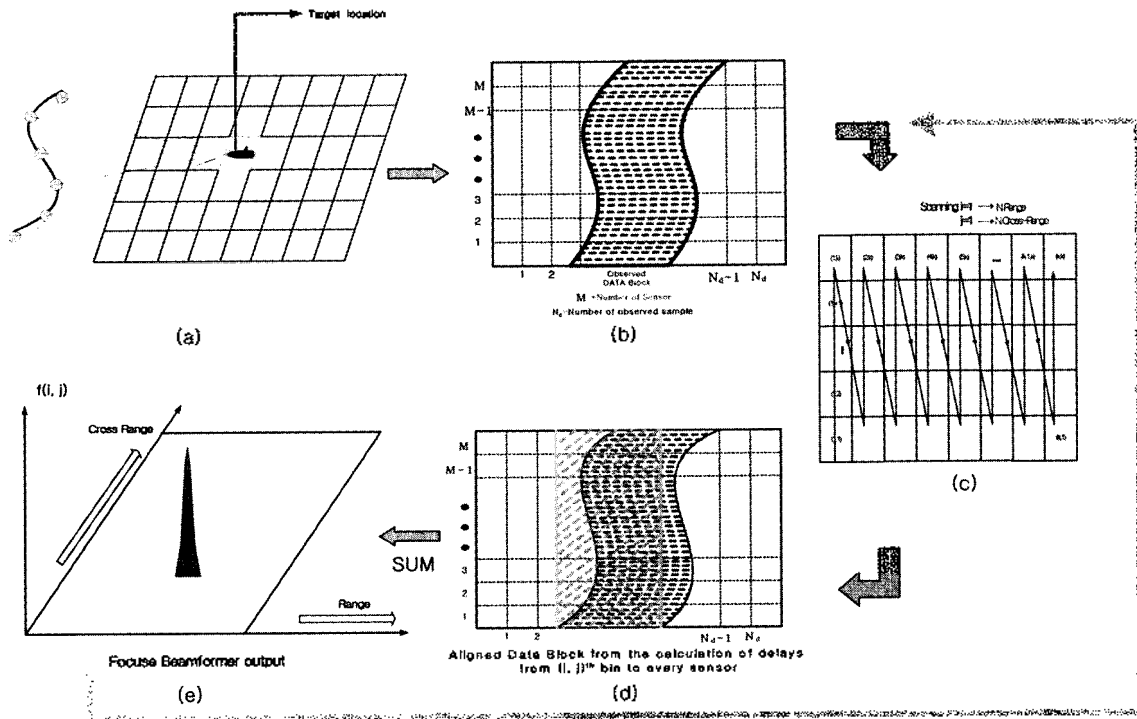


그림 2. 표적추정 (Focused) 빔 형성기 시스템 흐름도
Fig. 2. System flow chart of Focused beam format.

식 (4)는 본 논문에서 사용되는 각각의 주파수 대역에 따른 신호 전력 및 전체 주파수 대역에 걸친 배경 소음 전력으로 구성되어진다.

식 (4)에서 목표물에서 방사되는 광대역 신호 $s(n)$ 에 대한 평균전력은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Averaged signal power} \cong \frac{1}{D} \cdot \sum_{n=1}^D |s(n)|^2 \quad (5)$$

식 (4)에서 ΔB 는 광대역 방사 신호의 대역폭을 의미한다.

III. 동적 어레이 모델을 이용한 빔 형성 기법

그림 2는 표적추정 (Focused) 빔 형성 기법에 대한 전체적인 흐름도를 나타내고 있다. 일정한 값의 Cross-Range 및 Range 범위를 가지는 탐색 이미지 공간에서 각각의 셀로부터 수차 모형 (water pulley model) 구조를 이용한 추정된 배열 센서들까지의 전달 시간 지연차를 구한다. 이때 신호가 취득되는 동안은 배열 센서의 구조가 일정하게 유지되며 목표물로부터 방사되는 신호의 송출 시점은 사전에 알고 있다고 가정한다. 일단 배열 센서

상에 N_c 개의 표본화된 센서 출력 신호가 수신되면, 전체 $M \times N_c$ 사이즈의 데이터 블록이 구성된다. 여기서 N_c 는 총 센서의 개수이다. 앞서서 각각의 탐색 이미지 공간내의 셀과 추정된 배열 센서의 기하학적인 구조를 고려하여 계산된 지연 시간들을 사용하여 데이터 블록을 구성하는 센서열 신호 샘플들을 임의로 지연하여 일정 구간 동안의 센서별 샘플들을 모두 더하게 된다. 이러한 주사과정은 사전에 정해진 탐색 이미지 공간내의 해당하는 모든 셀에 대하여 행하여진다. 이때 탐색 이미지 공간상의 셀의 위치에 따라서 지연 시간들이 서로 다르게 되며 목표물이 위치한 셀에 대한 지연과 합 의 결과 값이 최대 값을 갖게 된다. 그림 2에서 견인 센서 배열에 입사되는 신호의 데이터 블록을 나타내는 그림 2(b)와 (d)에서 가로축은 신호에 대한 데이터 샘플 수를 의미하며 세로축은 견인 배열 상에 존재하는 센서의 개수를 나타낸다. 서로 다른 시간차를 지니는 목표물 방사 신호의 데이터 값에 대해 가상의 이미지 공간상에 일정한 크기로 존재하는 각각의 셀에 대한 주사작업을 거쳐 목표물이 존재하는 좌표의 위치를 파악할 수 있다. 그림 2에서 그림자 구간은 각 센서 출력 표본이 더해지는 블록을 나타내며, 임의로 지연된 출력 표본들이 정확히 정렬되지 않으면 전체 합의 값은 그다지 크지 않게 된다. 만약 정확한 시간 지연 값들로 출력 샘플들이 정렬되면 그림자 구간에 모든 샘플들이 정렬이 되어

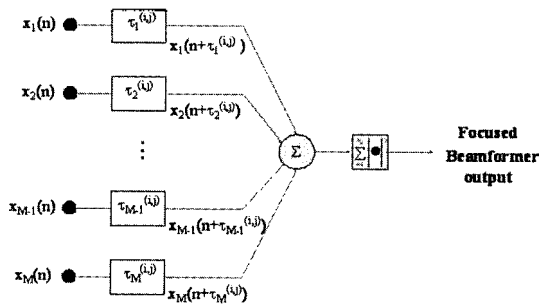


그림 3. 표적추정 (Focused) 빔 형성기 처리 과정도
Fig. 3. Processing block diagram of Focused beam formal.

이에 대한 절대치 제곱을 취한 후 코히어런트 합의 결과가 큰 값을 갖게 된다. 모든 셀에 대하여 주사과정이 끝난 뒤 그림 2(e)의 마지막 단계에 나타나듯이 가상의 이미지 공간에서 추정하려는 목표물이 있는 위치를 추정하기 위한 3차원적인 최종적 표적추정 (Focused) 빔 패턴 출력 결과를 얻을 수 있다.

그림 3은 이러한 표적추정 (Focused) 빔 형성 과정을 간단하게 표현한 그림이다. 그림 3에서 표본화된 각 센서 출력 $x_m(n)$, $m=1 \rightarrow M$, 에 적용되는 시간 지연 값들, 즉 $\tau_m^{(i,j)}$ 는 사전에 계산된다.

그림 3에서 $(i,j)^{th}$ 는 탐색 셀의 좌표를 의미하며, 목표물 방사 신호가 센서에 입사함으로써 발생하는 시간 지연 차를 다시 합성하는 과정을 통해 (i,j) 번째 셀에서의 빔 패턴 출력을 얻게 된다. 식 (6)은 그림 3의 표적추정 (Focused) 빔 형성기 최종 빔 패턴 출력을 나타내고 있다.

$$f(i,j) = \sum_{n=1}^{N_s} \left| \sum_{m=1}^M x_m(n + \tau_m^{(i,j)}) \right|^2 \quad (6)$$

식 (6)에서 N_s 는 신호에 대한 데이터 샘플의 개수를 의미하며 M 은 센서 개수를 나타낸다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 고찰

수중 환경에서 견인 센서 배열의 근거리 위치하는 목표물을 탐지하기 위해 표적추정 (Focused) 빔 형성기에

표 1. 주파수 대역에 따른 설계 주파수 구간
Table 1. Design frequency section on frequency band.

Band	설계 주파수 구간
Low Frequency	$10\text{Hz} \leq f \leq f_d/4\text{Hz}$
Middle Frequency	$f_d/4\text{Hz} \leq f \leq f_d/2\text{Hz}$
High Frequency	$f_d/2\text{Hz} \leq f \leq f_d\text{Hz}$

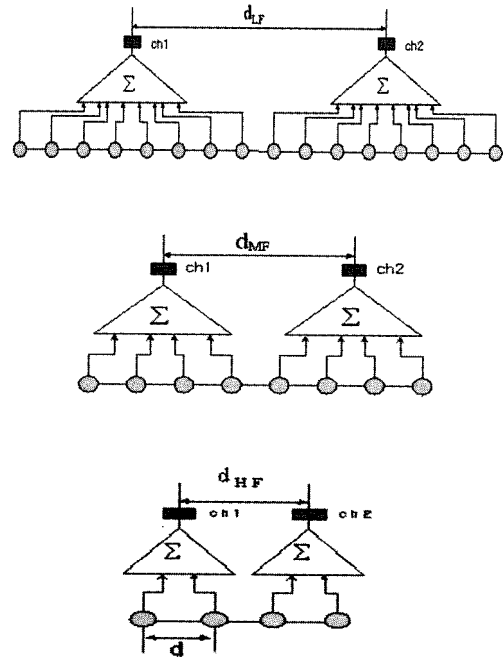


그림 4. (a) LF 대역 (b) MF 대역 (c) HF 대역에서의 배열 구조
Fig. 4. Array structure with:
(a) low frequency band, (b) middle frequency band, (c) high frequency band.

이용되어지는 광대역 입사 신호 모델링은 표 1에 언급한 것과 같이 3종류의 주파수 대역에 따라 다르게 계산되어진다. 즉, LF, MF, HF로 주파수 대역을 분리하여 견인 배열 센서에 대한 입사 신호를 모델링한다. 표 1에서 f_d 는 각 주파수 대역을 분리하는데 기준이 되는 설계 주파수를 의미하며 설계 주파수 f_d 에 의해 LF대역은 10 Hz 에서 $f_d/4\text{ Hz}$, MF대역은 $f_d/4\text{ Hz}$ 에서 $f_d/2\text{ Hz}$, HF대역은 $f_d/2\text{ Hz}$ 에서 $f_d\text{ Hz}$ 까지의 구간으로 구분할 수 있다.

이러한 설계 주파수 f_d 를 이용하여 2.56배의 과표본을 수행한 다음 각각의 주파수 대역에 대한 주파수 경계치를 정규화 하였다.

그림 4 (a), (b), (c)는 각각의 주파수 대역에 대한 견인 배열 구조를 나타내고 있다.

그림 4에서 d 는 근접한 센서간 거리를 의미하며 LF에서 HF로 갈수록 상대적으로 배열 센서의 개수가 줄어들고 있음을 파악할 수 있다. 그림 4에서 배열 센서를 반파장 간격에서 다중의 센서를 배열하여 단순히 합성하는 방식인 그룹화 작업 (grouping)을 하는 이유는 견인함의 자체잡음을 감소시키기 위해 수행하는 것이다. 표 2는 각 주파수 대역에 대한 설계 주파수 및 채널 당 센서 개수 및 채널간 거리를 나타내고 있으며, c 는 수중 음파 전달 속도를 나타낸다. 계산된 채널간 거리를 이용하여 각 주

표 2. 주파수 대역에 따른 설계 주파수 및 하이드로폰 간격
Table 2. Design frequencies for each frequency band and distances between adjacent hydrophones.

Band	Design Frequency	Number of Hydrophone per Channel	Distance between Channel	Distance between Hydrophone
Low Frequency	$f_{d, LF} = f_d/4$	8	$d_{LF} : \lambda_{LF}/2$ $\lambda_{LF} = (2 \cdot c)/f_d$	$d_{LF}/8$
Middle Frequency	$f_{d, MF} = f_d/2$	4	$d_{MF} : \lambda_{MF}/2$ $\lambda_{MF} = c/f_d$	$d_{MF}/4$
High Frequency	$f_{d, HF} = f_d$	2	$d_{HF} : \lambda_{HF}/2$ $\lambda_{HF} = c/(2 \cdot f_d)$	$d_{HF}/2$

파수 밴드에 따른 센서간 간격을 구할 수 있다. 단, 채널간 간격은 각 주파수 밴드에 대해 반파장 간격으로 배열되었다.

표 2에서 주어진 각 주파수 대역의 센서간 거리를 등간격의 센서간 거리 d 를 기준으로 나타내면 식 (7)과 같은 동등한 거리로 표현될 수 있다.

$$d = \frac{1}{2} d_{HF} = \frac{1}{4} d_{MF} = \frac{1}{8} d_{LF} \quad (7)$$

다음은 가상의 이미지 공간상에서 일정한 좌표 값을 가지는 추정하려는 목표물이 있다고 가정했을 때 수차 모형 (water pulley model)구조의 배열을 이용하여 표적 추정 (Focused) 빔 형성 기법에 대한 모의 실험을 수행하였다. 추정하려는 목표물에서 방사되는 저주파 신호는 각각의 주파수 대역에 대해 분할하여 각각의 주파수 대역에 대한 표적추정 (Focused) 빔 형성기의 성능 분석을 수행하였다.

표 3은 모의 실험을 위해 사전에 주어지는 여러 가지 파라미터들의 수치를 나타내고 있다.

표 3에서 나타냈듯이 주어진 주파수 대역에 따라 근접하는 센서간 거리, 전체 배열 길이, 채널수 값이 다르게 정해진다. 표본화 주파수는 최대 주파수의 2.56배로 정하여 과표본을 수행하였다. 가상의 이미지 공간에 대한 Cross-Range 및 Range 에 대한 전체 길이는 2km로 설정하였으며, 총 100×100의 셀들로 구성하였다. 이때 각

표 3. 모의실험 파라미터
Table 3. Parameters for simulations.

Band	Frequency Bandwidth (Hz)	Sensor Distance (m)	Aperture Size (m)	Number of Channel	Sampling Frequency (Hz)
LF	$10 \leq f \leq 400$	1.87	240	128	4096
MF	$400 \leq f \leq 800$	0.94	60	64	4096
HF	$800 \leq f \leq 1600$	0.47	30	64	4096

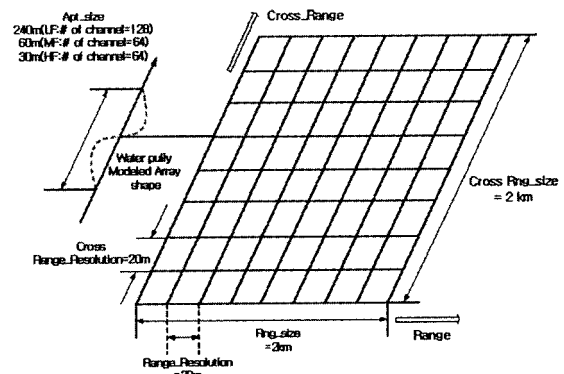


그림 5. 표적추정 (Focused) 빔 형성기법 적용을 위한 탐색 이미지 공간 구성도
Fig. 5. Space schematic diagram of observation image for Focused beam formal method.

셀 당 x축 및 y축 거리가 20m로 산출되어진다.

그림 5는 표 3에 주어진 파라미터를 기준으로 수행되어질 모의 실험에 대한 전체적인 가상 이미지 공간의 구성도를 나타내고 있다.

그림 5에서도 보여지듯이 모의 실험에 사용되어진 배열은 수차 모형 구조를 이용하였으며 각각의 주파수 대역에 대한 배열 길이, 센서 개수, 이미지 공간상의 셀의 간격과 Cross-Range 및 Range의 길이를 나타내고 있다. 전인 배열 센서의 길이는 LF 영역에서 240m이며 MF 영역에서는 60m, HF 영역에서는 30m로 계산되어진다. 또한 배열 길이에 따른 센서의 개수는 LF 영역에서 128개, MF 영역에서 64개, HF 영역에서는 64개로 산출되어진다. 이미지 공간상에 존재하는 등간격으로 지정되어진 셀의 길이는 가로 세로 동등하게 20m로 정하였다. 수차 모형 구조의 배열을 견인하는 견인함의 속도는 8 knot로 지정하였다.

그림 6은 실제 수차 모형 전인 배열을 N차의 다항식 (polynomial) 근사법으로 추정한 가상의 견인 배열을 이용했을 경우 단일 목표물이 존재할 때 각각의 주파수 대역에 대한 표적추정 (Focused) 빔 형성기 성능을 나타내고 있다. 그림 6에서 x축은 x좌표를 의미하며 y축은 y좌표, z축은 최종적으로 생성된 선형 스케일 된 빔 패턴 출력의 크기를 나타낸다. 모의 실험을 위해 사용되어진 Tonal 신호 대 잡음비는 사전에 0dB로 지정하였으며 가상의 이미지 공간상에 존재하는 목표물의 좌표를 [20, 50]으로 지정하였다.

그림 6에서 표적추정 (Focused) 빔 형성기는 주어진 목표물의 좌표를 비교적 정확히 추정하고 있음을 모의 실험 결과를 통해 확인할 수 있다. 즉, 탐지하려는 목표물의 좌표가 [20, 50]일 경우 각각의 주파수 대역에 따른 빔

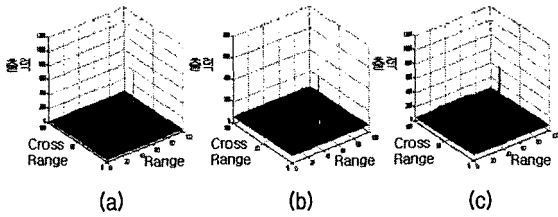


그림 6. 단일 목표물에서 추정된 수차 모형 배열을 이용한 LF 영역, MF 영역, HF 영역에서의 빔 패턴 출력 (Tonal SNR=0dB)
 Fig. 6. 표적추정 (Focused) beam pattern output for location of single target whose radiated signal has (a)low-Frequency band, (b)middle-Frequency band and (c)high-Frequency band using estimated water pulley model array. (Tonal SNR=0dB)

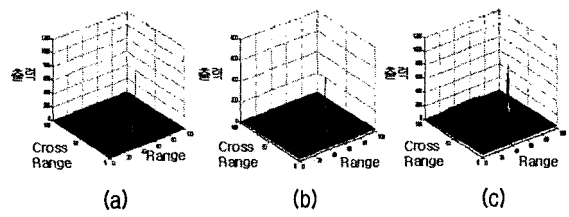


그림 7. 단일 목표물에서 추정된 수차 모형 배열을 이용한 LF 영역, MF 영역, HF 영역에서의 빔 패턴 출력 (Tonal SNR=10dB)
 Fig. 7. 표적추정 (Focused) beam pattern output for location of single target whose radiated signal has (a)low-Frequency band, (b)middle-Frequency band and (c)high-Frequency band using estimated water pulley model array. (Tonal SNR=10dB)

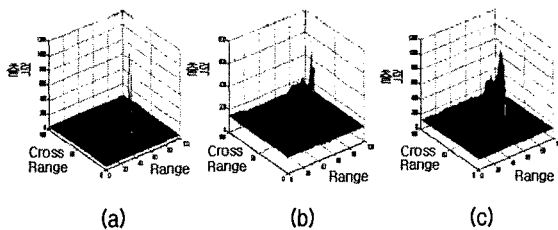


그림 8. 다중 목표물에서 추정된 수차 모형 배열을 이용한 LF 영역, MF 영역, HF 영역에서의 빔 패턴 출력 (Tonal SNR=0dB)
 Fig. 8. Multi target beam pattern output for location of multi target whose radiated signal has (a)low-Frequency band, (b)middle-Frequency band and (c)high-Frequency band using estimated water pulley model array. (Tonal SNR=0dB)

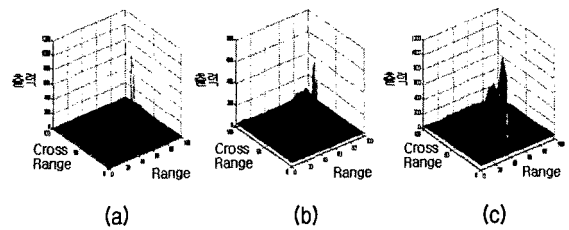


그림 9. 다중 목표물에서 추정된 수차 모형 배열을 이용한 LF 영역, MF 영역, HF 영역에서의 빔 패턴 출력 (Tonal SNR=10dB)
 Fig. 9. Multi target beam pattern output for location of multi target whose radiated signal has (a)low-Frequency band, (b)middle-Frequency band and (c)high-Frequency band using estimated water pulley model array. (Tonal SNR=10dB)

패턴 출력의 최대값이 존재하는 가상 이미지 공간상의 셀의 좌표점과 동일함을 보여준다.

그림 7은 그림 6의 모의 실험과 동등한 가상의 견인 배열을 이용했을 경우 하나의 목표물에 대한 표적추정 (Focused) 빔 형성기 성능을 나타내고 있다. 모의 실험을 위해 사용되어진 신호 대 잡음비는 10dB로 하였으며 가상의 이미지 공간상에 존재하는 목표물의 좌표를 [20, 50]으로 지정하였다.

그림 6 및 그림 7의 모의 실험 결과에서 알 수 있듯이 가상의 견인 수차 모형 배열을 이용하여 목표물을 추정함에 있어 신호 대 잡음비의 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 즉, 표적추정 (Focused) 빔 형성기는 신호 대 잡음비의 변화에 강한 특성을 지님을 확인할 수 있다.

그림 8은 실제 수차 모형 견인 배열의 형태를 추정한 가상의 견인 배열을 이용했을 경우 다중 목표물이 존재할 때 각각의 주파수 대역에 대한 표적추정 (Focused) 빔 형성기 성능을 나타내고 있다. 모의 실험을 위해 사용되어진 신호 대 잡음비는 0dB로 하였으며 가상의 이미지 공간상에 존재하는 목표물의 좌표를 [20, 50], [50, 70]으로 지정하였다.

그림 8의 모의 실험 결과에서 알 수 있듯이 탐지하려는 근거리 목표물이 여러 개일 경우 표적추정 (Focused) 빔 형성기 추정 성능은 목표물이 존재하는 빔 패턴 출력에 대해 부엽 (side lobe)의 크기가 증가함을 알 수 있다. 즉, 그림 8에서 LF 영역에서의 다중 목표물에 대한 추정 성능은 단일 목표물 추정 때의 모의 실험 결과와 거의 차이가 없으나 주파수 대역이 커질수록 부엽의 크기가 증가함으로 인해 다중 목표물에 대한 주엽 (main lobe)이 겹쳐지는 현상이 발생한다. 이와 같은 모의 실험 결과는 목표물의 주파수 대역이 커질수록 견인 배열의 센서 개수가 감소함으로서 발생하는 현상이라 예상될 수 있다.

그림 9는 추정된 가상의 견인 배열을 이용했을 경우 다중 목표물이 존재할 때 각각의 주파수 대역에 대한 표적추정 (Focused) 빔 형성기 성능을 나타내고 있다. 그림 8의 모의 실험과는 다르게 신호 대 잡음비를 10dB로 하였으며 목표물의 좌표를 [20, 50], [50, 70]으로 지정하였다.

그림 9의 모의 실험 결과에서도 알 수 있듯이 실제 수차 모형 배열의 형태를 추정한 가상의 견인 배열을 이용했을 경우 신호 대 잡음비에 따른 목표물의 추정 성능 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다. 즉, 가상의 이미지 공간상에

존재하는 다중 목표물 추정에 있어서 신호 대 잡음비의 변화 요인에 추정 성능의 강인함을 파악할 수 있다.

다중 목표물 추정 성능은 그림 8과 그림 9의 모의 실험 결과에서 알 수 있듯이 LF 주파수 영역을 제외한 나머지 MF, HF 주파수 영역에서는 추정 성능이 저하됨을 파악할 수 있다. 즉, 2개의 추정하려는 목표물에 대해 나머지 하나의 목표물에 대한 빔 패턴 결과가 부엽 (side lobe) 방향으로 퍼져 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 앞에서 언급했듯이 주어진 주파수 대역이 HF 영역으로 갈수록 비례적으로 견인 배열 길이 및 센서 개수가 적어짐으로서 발생하는 결과로 예상될 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 저주파 예인 음탐기 기법의 일종인 표적 추정 (Focused) 빔 형성기를 이용하여 탐지하려는 목표물에 대한 위치 추정 성능 분석을 모의 실험을 통해 확인하였다. 기존에 사용되었던 견인 선형 배열 및 반전 형태 (conformal) 배열 구조를 이용했을 경우 실제 목표물 탐지에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하고자 실제 수중 환경의 역학적 특성을 잘 표현한 수차 모형을 이용하여 빔 형성을 통한 3차원 환경에서의 빔 패턴 출력을 수행하였으며 모의 실험을 통해 목표물 탐지 성능 분석을 수행하였다. 수차 모형을 가지는 견인 배열 구조를 이용하기 위해 목표물이 존재하는 가상의 이미지 공간에서 견인 배열 센서까지의 시간 지연 차를 구하기 위해 기하학적인 방법을 수행하였으며 탐지하려는 목표물이 견인 센서 배열에 근접하는 경우 광대역 방식의 신호 생성을 통하여 LF, MF, HF 주파수 대역에 대한 추정 성능 변화를 고찰하였다. 또한 N차 다항식 (polynomial) 근사법을 이용한 가상의 견인 배열을 이용하여 추정 성능을 분석하여 보았으며, 신호 대 잡음비에 따른 추정 성능의 변화, 탐지하려는 목표물이 여러 개일 경우에 대한 추정 성능의 변화를 빔 패턴 출력을 모의 실험을 통해 확인하였다. 신호 대 잡음비의 크기 변화 및 실제 견인 배열의 형태를 추정한 가상의 견인 배열 구조를 이용했을 경우 본 논문에서 소개한 표적추정 (Focused) 빔 형성기 시스템의 구동 목적인 목표물의 위치 추적에 대한 오차는 거의 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 단, 목표물이 존재하는 주파수 대역이 MF 영역 및 HF 영역일 경우 주파수에 비례하여 견인 센서 배열의 센서 개수 및 배열 길이가 짧아짐으로 해서 발생하는 다중 목표물 빔 패턴 출력의 부엽 증가 현상은 더

욱 정확한 추정 과정의 분석을 통해 보완되어야 할 점으로 지적되어진다. 실제 수중 환경 하에서 견인 배열의 유동적인 움직임을 연속적인 함수로 표현되는 정밀한 기하학적 모델이 요구되며, 실제 해양 환경에서의 견인 배열의 형태 추적이라든지 시간 및 공간적 코히어런스 등의 환경적인 변화를 고려한 목표물 추정에 대한 연구의 필요성이 요구되어진다.

감사의 글

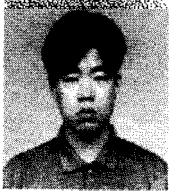
본 연구는 국방 과학 연구소에서 지원한 저주파 예인 음탐기 거리 산출 빔 형성 기법 연구의 일환으로 수행된 것입니다.

참고 문헌

1. Douglas A. Gray, Brian D. O. Anderson and Robert R. Bitmead, "Towed Array Shape Estimation Using Kalman Filters—Theoretical Model," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 18, no. 4, pp. 543-556, Oct. 1993.
2. J. L. Riley and D. A. Gray, "Towed Array Shape Estimation Using Kalman Filters—experimental investigation," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 18, pp. 572-581, Oct. 1993.
3. N. C. Yen and Carey, "Application of synthetic-aperture processing towed-array data" *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 86, pp. 754-765, 1989.
4. S. W. Autrey, "Passive synthetic array" *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 84, pp. 593-598, 1988.
5. S. Stergiopoulos and E. J. Sullivan, "Extended towed array processing by an overlap correlator" *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 86, pp. 158-171, 1989.
6. S. Stergiopoulos, "Optimum bearing resolution for a moving towed array and extension of its physical aperture" *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 87, pp. 2128-2140, 1990.
7. G. S. Edlson and E. J. Sullivan, "Performance bounds for the overlap-correlator synthetic aperture processor" *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 88, suppl. 1, 2UW19, 1990.
8. 김준환, 양인식, 김기만, 오원천, 도경철, "왜곡된 형상을 갖는 어레이를 위한 합성 처리 기법" *한국음향학회지*, vol. 19, no. 4, May, 2000.
9. 박민수, 도경철, 오원천, 윤대희, 이충용, "보간법을 이용한 견인 어레이 형상 추정 기법의 성능 개선" *한국음향학회지*, vol. 19, no. 3, April, 2000.

저자 약력

● 최 주 평 (Joo Pyoung Choi)



1999년 2월: 안양대학교 정보통신공학과 공학사
2001년 2월: 송실대학교 전자공학과 공학석사
2001년 3월~현재: 송실대학교 정보통신공학과 박사
과정
* 주관심분야: 소나, 레이더 신호 처리, 이동통신 시
스템

● 이 원 철 (Won Chul Lee)

1986년: 서강대학교 이공대학 전자공학과 학사
1988년: 연세대학교 대학원 전자공학과 석사
1994년: New York Polytechnic University 박사
1994년 7월~1995년 7월: Postdoctoral Fellow (Polytechnic University)
1994년 1월~1994년 12월: IEEE Trans. on Signal Processing 논문 심사 위원
1995년 9월~현재: 송실대학교 공과대학 정보통신공학과 조교수
1995년 9월~현재: 연세대학교 신호처리 연구센터 연구원
1995년 9월~현재: 대한음향학회 편집위원
1998년 1월~현재: 대한음향학회 이사
1995년 1월~현재: 한국통신학회 편집위원
* 주관심분야: 디지털 시스템 인지, 이동통신 시스템, 음성 신호 부호화 및 레이
더 신호처리