

가우시안 가중치에 의한 광대역 단일빔의 지향 특성

Directivity Characteristics of Wide-Band One-Shot Beam Formed with Gaussian Weighting

도 경 철*, 손 경 식**

(Kyeong Cheol Dho*, Kyung Sik Son**)

요 약

본 연구에서는 음향측정 목적의 선형배열에 가우시안 가중치를 적용시킨 광대역 단일 빔형성 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 배열 내의 모든 센서를 동시에 사용하여 1회에 광대역 수신 빔을 형성시킨다. 여기서 주파수 종속 함수의 가우시안 가중치는 각 센서의 수신 주파수 범위를 제어하도록 시간지연 보상 전에 적용된다. 시뮬레이션 결과, 제안 알고리즘에 의해 형성된 광대역 단일빔의 지향지수 및 빔패턴 특성이 광대역 음향신호 측정에 유용함을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a new wide-band beamforming algorithm which has Gaussian weighting at nested linear array for acoustic measurement. The beamforming is performed one-shot by using all sensors simultaneously, not octave-by-octave. Gaussian weighting of frequency-dependent function is applied to each sensor before time-delay compensation so as to control the frequency receiving band of each sensor. As the results of the simulations, it is confirmed that the proposed algorithm can form the one-shot beams having uniform directivity index and also it can be applied to the broad-band acoustic measurement.

I. 서 론

배열신호처리(음향탐지(acoustic detection)) 성능향상을 주요 목표로 연구되어 왔다. 그러나 최근 한국 해역의 수중배경소음이 점진적으로 증가하면서 선박 또는 수중음원의 방사소음(radiated noise) 음원준위(source level)가 상대적으로 낮아짐에 따라, 방사소음을 측정하는 음향측정(acoustic measurement)에서도 지향지수(directivity index, DI) 획득을 위한 배열신호처리 기법이 도입되고 있다.

소나 또는 레이더 등에서 원거리 표적에 대한 탐지성능은 빔 지향지수를 높여 신호대잡음비를 증대시키고, 빔폭을 협소화하여 빔지향 분해능(beam resolution)을 향상시키기 위한 기법들이 지속적으로 연구되어 왔다[1-3]. 빔 지향지수는 센서개수 증가에 의해 증대되지만 센서개수가 많아지면 하드웨어와 소프트웨어 부담이 늘어나므로 옥타브 개수 및 옥타브별 센서개수는 목표성능과의 절충(trade-off)에 의해 적절하게 선정한다. 그리고 빔형성시 가중상수를 사용하여 부엽준위를 억제시키므로써 주엽과 부엽과의 신호대잡음비를 상대적으로 향상시킨다. 이는 가중상수가 빔형성에 영향을 미치므로 빔패턴 제어용으로 작용함을 의미

한다. 상대방위의 신호대잡음비 증대만을 고려한 부엽준위 억제는 빔폭을 확장시키므로 그 만큼 빔 분해능은 저하된다[4-6]. 따라서 신호대잡음비와 빔 분해능을 동시에 향상시키기 위한 여러 기법들이 탐지 관점에서 병행 연구되어 왔으며 최근에는 배열합성에 의한 탐지기법도 연구되고 있다[7]. 그러나 이와 같은 이론적 연구에도 불구하고 실제적으로 구현되고 있는 전형적인 음향탐지용 선형배열에서는 옥타브 대역별로 옥타브 개수 만큼의 빔을 형성한 다음, 옥타브별 각 빔 출력을 선형합산하여 광대역신호를 수신하는 기법을 채택하고 있다. 이 방법에서 적용하는 가중상수는 임의 옥타브 내에서 각 센서에 일정하게 주어지는 상수로서, 주파수와는 무관한 가중상수(frequency-independent weighting)이다[8-10].

탐지와는 달리, 측정(measurement)에서는 음원(source)의 왜곡없는 수신이 일차적인 목적이다. 즉 음향탐지에서는 얼마나 먼 거리의 표적을 어느 정도의 고분해능으로 탐지하느냐가 중요하지만, 음향측정에서는 이미 알고 있는 근거리 표적음원의 방사소음(radiated noise)을 얼마나 깨끗하게 녹음하느냐가 주 관심사이다.

그러므로 탐지용 빔형성에서 중요하게 고려되는 주엽과 부엽준위의 상대적인 비 또는 빔 분해능 증대가 측정용 빔형성에서는 중요하지 않다. 측정하고자 하는 표적음원이 근거리에서 위치하므로 부엽준위는 원음측정을 방해하지

* 국방과학연구소

** 부산대학교 공과대학 전자공학과

접수일자: 1998년 8월 12일

않는 수준으로만 낮추어도 충분하고[11], 일반적으로 센서배열과 수직방향 부근으로 선정되는 측정 지향각에서의 음원의 물리적인 크기를 수용하기 위하여 빙폭은 오히려 적절하게 넓혀줘야 하기 때문이다.

이는, 측정용 빙형성에서 가중상수를 이용하여 부엽준위 또는 빙패턴을 조정하지 않아도 됨을 의미한다. 따라서 측정용 빙형성에서는 옥타브 대역별로 빙을 형성시키지 않아도 됨을 상정할 수 있으므로, 선형배열의 모든 센서를 동시에 사용하여 빙을 1회에 단일 형성시킬 수 있다. 이 경우 옥타브대역 개수 만큼의 빙형성 개수가 한 개로 줄어들게 된다. 그러나 이와 같은 단일 빙형성에서 광대역 수신을 위하여는 각 센서가 수신하는 주파수 범위를 센서 위치에 따라 제한하여야 한다. 그러므로 단일 빙형성에서는 수신주파수 제어용의 가중상수가 적용되어야 하며, 이 가중상수는 주파수에 따라 가변되는 주파수 종속 가중치(frequency-dependent weighting)이어야 함을 알 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 음향측정을 목적으로, 모든 센서를 동시에 사용하여 빙을 1회에 단일 형성시키는 알고리즘을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 측정용 빙을 광대역 단일빔(one-shot beam)으로 명명하고, 제안 알고리즘에 의해 형성된 단일빔이 음향측정에 유용한가를 판단하기 위하여 지향지수 및 빙패턴 특성 시뮬레이션 결과를 고찰한다.

II. 지향지수와 옥타브 대역별 빙의 지향성

2.1 지향지수

센서배열에서의 배열이득(array gain, AG)은 단일 센서 출력에 대한 빙형성기 잡음전력 감소의 비로 정의 된다. 식(1)은 이를 나타낸다[12].

$$AG = 10 \log \frac{\int_{4\pi} |N(\phi, \theta)|^2 d\Omega}{\int_{4\pi} |N(\phi, \theta)|^2 |b(\phi, \theta)| d\Omega} \quad (1)$$

식(1)에서 Ω 는 입체각이다. 그리고 $|N(\phi, \theta)|^2$ 는 극좌표에서 각도 ϕ 및 θ 에 따른 잡음(noise)강도 분포이고, $b(\phi, \theta) = |B(\phi, \theta)| / |B_{max}|$ 는 빙형성기의 표준화된 출력이다. 배열이득 식(1)에서, 수중배경소음을 등방향성(isotropic)으로 고려하여 $|N(\phi, \theta)|^2 = 1$ 로 두면, 이는 아래 식(2)의 지향지수 DI로 정의된다[12].

$$DI = 10 \log \frac{4\pi}{\int_{4\pi} |b(\phi, \theta)| d\Omega} \quad (2)$$

2.2 선형배열 옥타브 대역별 빙의 지향지수

전형적인 수동 선형배열은 구현이 용이하도록 센서간격을 옥타브 대역별로 일정하게 배치하되, 상위 옥타브 센서 사이 사이에 하위 옥타브 센서가 삽입된 형태(Nested Linear

Array, NLA)로 그림 1과 같이 구성한다[4-6]. 임의 옥타브에서의 센서간격은 측정하고자 하는 옥타브대역 최대 주파수의 파장 λ 에 대하여 1/2 간격으로 설정되고, 옥타브대역을 위한 동일 위치의 센서들은 중복 이용된다.

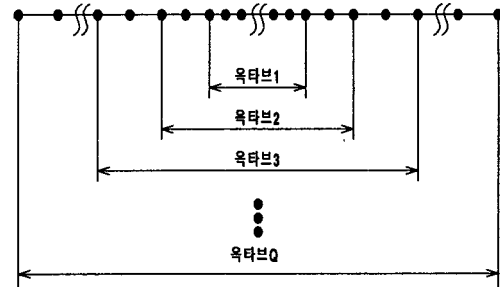


그림 1. 전형적인 수동 선형배열의 센서 구성
Fig. 1. Conventional sensor configuration of passive linear array.

옥타브 당 N개의 센서를 보유한 그림 1의 전형적인 수동 NLA 선형배열에서, 임의 옥타브대역 q에서의 시간영역 빙 $B_q(t)$ 는 그림 2의 개념으로 형성되고, 이를 수식으로 나타내면 식(3)과 같다.

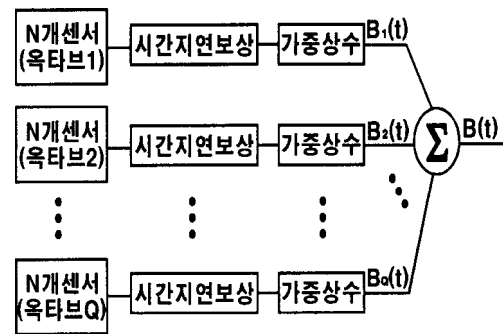


그림 2. 수동 선형배열의 전형적인 빙형성
Fig. 2. Conventional beamforming of passive linear array.

$$B_q(t) = \sum_{i=1}^N A_i s_i(t - \tau_i) \quad (3)$$

식(3)에서 $s_i(t - \tau_i)$ 는 시간지연 τ_i 가 보상된 센서 i의 수신신호이고 A_i 는 이 센서에 적용되는 가중상수이다. 그림 2에서 보듯이, 그림 1의 선형배열에서 원하는 광대역 신호를 탐지하기 위하여는 옥타브 개수 만큼의 빙형성기가 필요하다[12,13].

선형배열에서의 가중치 A_i 는 옥타브대역 내 센서 각각에 대하여 주어진다. 이는, 센서간격이 시간영역의 주파수 또는 공간영역의 파장에 대한 함수임을 의미한다. 전형적인 NLA 선형배열에서 빙패턴은 부엽준위를 낮추고 빙폭을 좁히는데 초점이 맞추어져 있고, 가중상수가 조정 역할을 담당한다. 빙폭 및 부엽준위 제어를 위하여 NLA

선형배열에서는 돌프-체비세프 가중치를 주로 이용한다.

선형배열에서의 지향지수(directionality index) DI는 옥타브 당 센서 개수 N과 각 옥타브의 최대 수신주파수 f_{max} 에 의해 식(4)와 같이 근사적으로 계산된다[9,12].

$$DI = 10 \log [(N-1)f/f_{max}] \quad (4)$$

예를 들어, 그림 3은 옥타브 당 17개 센서를 사용하는 선형배열에서의 주파수에 따른 지향지수를 보여 준다. 그림에서 보는 바와 같이, 선형배열에서의 전형적인 옥타브 대역별 빔이 갖는 지향지수는 각 옥타브 내에서 약 3dB의 차이를 가진다.

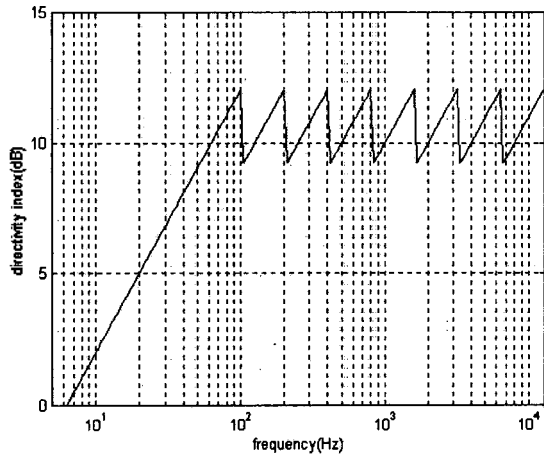


그림 3. 수동 선형배열의 전형적인 지향지수
Fig. 3. Conventional directivity index of passive linear array.

표적신호 유무에만 관심을 갖는 음향탐지(detection) 신호처리에서는 지향지수가 주파수에 따라 변하더라도 탐지 성능에 크게 영향을 주지 않는다. 그러나 표적신호를 왜곡 없이 깨끗이 수신해야 하는 음향측정(measurement)의 경우에는, 주파수와 독립적으로 그림 3의 지향지수를 균일하게 유지시킬 필요가 있다. 따라서 만약 식(2)의 지향지수 계산식에서 지향지수를 일정하게 유지하려면 빔의 적분치가 일정 상수가 되어야 하므로, 각 센서에 적용되는 가중상수 A_i 가 주파수 종속 함수로 주어져야 함을 알 수 있다. 그러나 옥타브 대역별로 빔을 형성시키면서 주파수 종속 가중치를 적용하면, 많은 센서들이 여러 옥타브대역에 중복 사용되므로 동일 센서라 하더라도 소속 옥타브 대역에 따라 여러 가지의 주파수 종속 가중치를 가지게 된다. 이는 현실적으로 구현이 불가능하다. 그러나 각 센서가 옥타브대역에 관계없이 하나의 주파수 종속 가중치를 가진다면 이는 구현이 가능하다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 옥타브대역 내 각 센서에 일정하게 적용되는 시간영역 창함수(window function)를 주파수 독립 가중상수(frequency-independent weighting), 주파수에 따라 변화하는 창함수를 주파수 종속 가중치(frequency-dependent

weighting)로 구분하여 사용한다

III. 광대역 단일 빔형성

3.1 단일 빔형성 알고리즘 제안

서론과 제2장에서 언급한 바와 같이 전형적인 선형배열에서는 빔폭 및 부엽준위 제어용 가중상수의 적용을 위하여 옥타브대역 개수 만큼의 빔형성기가 사용된다. 그러나 음향측정을 목적으로 하는 배열신호처리에서는 가중상수를 빔패턴 조정 목적으로 사용할 필요가 없다. 이는 반듯이 빔을 대역별로 형성시키지 않아도 빔을 의미하며, 모든 센서를 동시에 사용하여 1회에 광대역 빔을 형성시킬 수 있음을 의미한다. 본 연구에서는 이와 같이 1회 빔형성에 의해 광대역 빔을 형성시키는 기법을 제안한다. 제안 기법(one-shot beamforming)에 의해 형성되는 빔을 단일빔으로 명명함은 서론에서 언급한 바 있다.

본 연구에서 제안하는 단일 빔형성 기법의 기본 알고리즘은 식(5) 및 그림 4와 같다.

$$B(t, \theta) = \sum_{i=1}^M p_i A_i s_i(t - \tau_i) \quad (5)$$

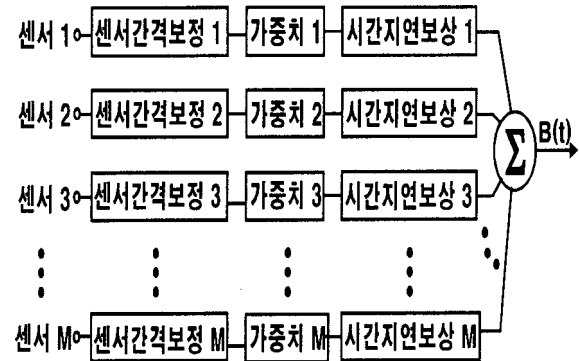


그림 4. 수동 선형배열에서의 광대역 단일 빔형성
Fig. 4. Wide-band one-shot beamforming for passive linear array.

식(5)에서 M은 선형배열의 총 센서개수이고, p_i 는 센서 간격에 대한 보정상수이다. p_i 의 물리적 의미를 비롯하여 제안식 식(5)의 유도 배경과 상세한 기술적 접근은 다음 항에서 설명한다. 한편, 센서배열이 좌우대칭형인 경우에 식(5)의 단일 빔형성은 식(6)과 같이 표현된다.

$$B(t, \theta) = 1 + \sum_{i=1}^{(M-1)/2} p_i A_i s_i(t - \tau_i) \quad (6)$$

3.2 단일 빔형성에서의 센서간격 보정

일반적으로 배열에서의 최소 센서간격 d_0 는 설계된 센서배열이 수신하고자 하는 최대 주파수의 반파장 또는 이 보다 좁은 간격으로 설정된다. 센서 간격이 전 배열에 걸쳐 동일하다면 각 센서는 공간상 동일한 샘플링을 수

행하여 동일 전력을 수신하게 된다. 그러나 센서 간격이 상이하다면 공간상 샘플링이 달라져 각 센서의 공간상 전력밀도가 달라지게 된다. 그러므로 센서간격이 다르더라도 각 센서의 공간상 전력밀도를 동일하게 유지시켜 주기 위하여는, 최소 센서간격으로 모든 센서간격을 표준화시켜 보정에 주어야 한다[13].

센서 i 의 센서간격 보정치 p_i 를 수식으로 표현하면 식(7)과 같다. 여기서 d_0 는 최소 센서간격이고, d_i 는 센서 i 와 센서 $i-1$ 과의 간격을 나타낸다.

$$p_i = d_i / d_0 \tag{7}$$

3.3 단일 빔형성에서의 주파수 종속 가중치

센서배열에서의 각 센서 간격은 수신하고자 하는 최대 주파수의 반파장 또는 이 보다 좁은 간격으로 설정된다 [13]. 그러므로 식(5)의 각 센서는 배열중심을 기준으로 좌우대칭 되는 센서 간의 간격에 해당하는 1/2파장, 식(6)의 각 센서는 배열중심센서와의 간격에 해당하는 1/4파장의 주파수까지 신호를 수신하도록 해야 한다. 이를 위해 본 연구에서 제안한 단일 빔형성 기법에서는 시간지연 보상 전 단계에서 각 센서에 대한 수신 주파수 제한 기능이 추가되어야 한다.

이와 같은 주파수 차단 기능을 단일 빔형성에서는 가중치 A_i 가 담당한다. 즉 식(5)의 가중치 A_i 는 센서별 수신 주파수 대역 제한의 역할을 수행해야 한다. 이를 도식화하여 표현하면 그림 5와 같다. 여기서, 좁은 간격 센서는 고주파수 대역까지 넓게 수신하게 하고, 넓은 간격 센서는 저주파수 대역만 수신하도록 가중치가 일종의 선필터(pre-filter) 역할을 수행한다. 식(3) 및 그림 2의 가중상수가 빔패턴을 제어함과 비교하여 기능적으로 상당한 차이를 가진다.

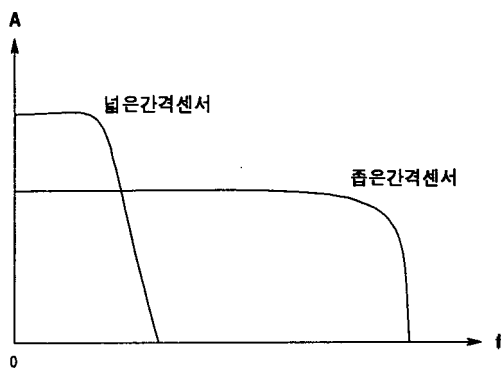


그림 5. 광대역 단일 빔형성에서의 가중치 기능
Fig. 5. Function of weighting at wide-band one-shot beamforming.

한편, 수신신호를 왜곡없이 보존해야 하는 음향측정(measurement)의 경우에 그림 3의 지향지수를 주파수와 독립적으로 균일하게 유지시킬 필요가 있음은 제2장에서 언급한 바 있다. 식(2)의 지향지수를 일정하게 유지하려면

각 센서에 적용되는 가중상수 A_i 가 주파수 종속 함수이어야 하므로, 식(6)의 가중치는 주파수 종속 가중치이어야 한다.

3.4 단일 빔형성에서의 가우시안 가중치

주파수영역에서 그림 5의 차단필터 역할을 하는 가중치로는 여러 가지 장함수를 고려할 수 있다. 본 논문에서는 가우시안 함수(Gaussian function)를 가중치로 이용한다. 이는 가우시안 함수가 시간영역과 주파수영역에서 유사 형상을 가지므로 다른 함수와 비교하여 상대적으로 구현이 용이하다는 점에 착안하여 선정하였다.

일반적으로 주파수영역에서의 가우시안 함수는 식(8)로 주어진다. 여기서 ω 는 각주파수 $2\pi f$ 이고 σ 는 분산이다. 본 연구에서는 배열중심을 기준으로 빔을 형성시키므로, 가우시안 함수의 평균은 식(8)에서 0으로 가정하였다.

$$A(\omega) = \exp[-(\omega\sigma)^2/2] \tag{8}$$

가우시안 함수를 빔형성의 가중치로 활용하기 위해서는 가중치가 갖는 분산의 폭 σ 을 결정해야 한다. 각 센서에 적용될 가우시안 가중치가 그림 5에서와 같이 임의의 차단주파수를 가지는 경우, σ 에 대한 차단주파수를 f 라 하고 차단주파수에서의 가우시안 가중치 크기 $A(\omega)$ 가 임의 상수 k_1 이 된다고 가정하면 $k_1 \leq 1$ 이므로 식(8)은 식(9)와 같이 변환된다.

$$\sigma = (-2 \ln k_1)^{1/2} / (2\pi f) \tag{9}$$

선형배열 중심으로부터 센서 i 까지의 거리를 Li 로 두면 $Li \leq \lambda/4$ 이므로, 임계치 $Li = \lambda/4$ 를 적용하면 식(9)는 식(10)과 같이 표현 가능하다. 식(10)에서 k 는 $2(-2 \ln k_1)^{1/2} / \pi$ 를 의미하는 임의 상수로서, 가우시안 가중치의 폭을 결정한다.

$$\sigma = 4Li(-2 \ln k_1)^{1/2} / (2\pi c) \tag{10}$$

$$= k Li / c$$

결과적으로 단일 빔형성 식(5) 또는 식(6)의 가중치 A_i 에는 식(10)을 식(8)에 적용시킨 식(11)의 가우시안 가중치 $A(i, f, k)$ 가 적용된다. 식(11)은 가우시안 가중치가 주파수 종속 함수임을 나타내고, 센서간격과 각 센서의 수신 주파수에 따라 센서마다 상이하게 적용됨을 알 수 있다.

$$A(i, f, k) = \exp[-(f k Li/c)^2/2] \tag{11}$$

IV. 가우시안 가중치에 의한 빔 시뮬레이션 및 특성 고찰

4.1 시뮬레이션 사양

가우시안 가중치가 적용되는 식(5)의 단일 빔형성 특

성을 고찰하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 100Hz ~ 12800Hz의 광대역 수신주파수 범위에 걸쳐 7개 옥타브를 가진 전형적인 NLA 선형배열이 옥타브 당 17개 센서를 갖는다고 가정하면 본 선형배열은 길이 120m로서 모두 73개 센서를 운용한다. 전형적인 옥타브 대역별 빔형성의 경우 주파수에 따라 지향지수가 다르지만, 그림 3에서와 같이 최대 12.3dB의 지향지수를 갖는다.

4.2 지향지수

일반적으로 빔형성에 대한 특성 고찰은 빔패턴에서부터 시작한다. 그러나, 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 최적 지향지수를 획득하기 위한 변수 k 가 선정되어야 하므로, k 를 먼저 선정한 다음 채택된 k 값을 이용하여 빔패턴을 사후에 고찰한다.

그림 6은 센서배열과의 수직방향에 대한 광대역 단일빔 지향지수이다. 전형적인 옥타브 대역별 빔형성과는 달리, 본 연구에서 제안한 알고리즘에 의해 형성된 광대역 단일빔은 센서배열 수신주파수 100Hz이상에서 지향지수가 균일하다. $k = 0.530020726$ 은 가우시안 가중치의 분산폭을 -3dB로 선정한 값으로서, 비교적 높은 균일 지향지수를 실현시키고 있다. k 값이 적어지면 지향지수는 증가하지만 주파수에 대하여 균일하지 못하다. 특히 수신주파수 100Hz 부근에서 지향지수 변화가 크다. 그러므로 수신주파수 전 범위에 걸쳐 균일 지향지수를 확보하고자 하는 음향측정의 경우에는 $k = 0.530020726$ 를 선정함이 바람직하다. 그러나 $k = 0.397515544$ 를 선정하더라도 150Hz 이상의 주파수대역에서 0.1dB 이하 오차의 상당히 균일한 지향지수를 나타내므로 음향측정용으로 선정가능하다.

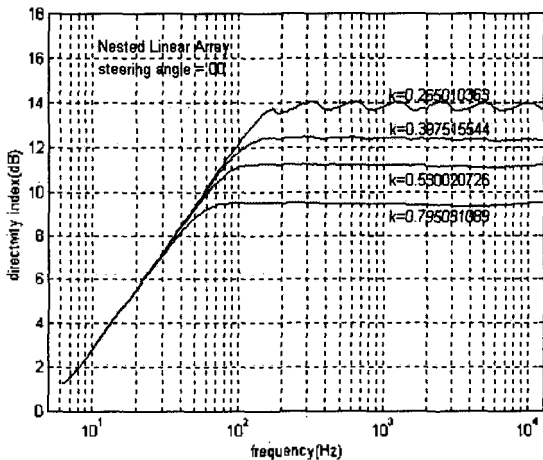


그림 6. 광대역 단일빔 지향지수(지향각 0도)
Fig. 6. Directivity index of wide-band one-shot beam. (steering angle 0 degree)

그림 3의 전형적인 옥타브별 빔과 그림 6의 광대역 단일빔의 지향지수를 비교하면, 100Hz이상의 수신주파수 대역에서 $k = 0.530020726$ 인 광대역 단일빔 지향지수는 전형적인 옥타브별 빔의 중간 정도의 값을 가진다. 그러나

$k = 0.397515544$ 의 경우에는 단일빔이 전형적인 옥타브별 빔의 최대 값을 갖는다. 따라서 본 연구에서 제안한 알고리즘의 단일빔 지향특성이 전형적인 옥타브별 빔 보다 지향지수 측면에서 우수함을 알 수 있다.

배열 양 끝(end-fire)으로 빔을 지향하는 경우 광대역 단일빔 지향지수는 그림 7에서 보는 바와 같이 그림 6의 수직방향 빔 보다 높은 지향지수를 가지지만 균일정도가 저하된다. 그러므로 지향각에 따른 광대역 단일빔의 지향지수를 시뮬레이션하면 그림 8과 같다. 그림 8에서 $k = 0.530020726$ 이다.

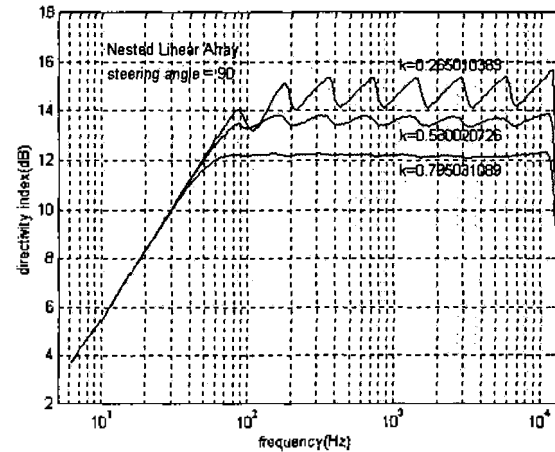


그림 7. 광대역 단일빔 지향지수(지향각 90도)
Fig. 7. Directivity index of wide-band one-shot beam. (steering angle 90 degree)

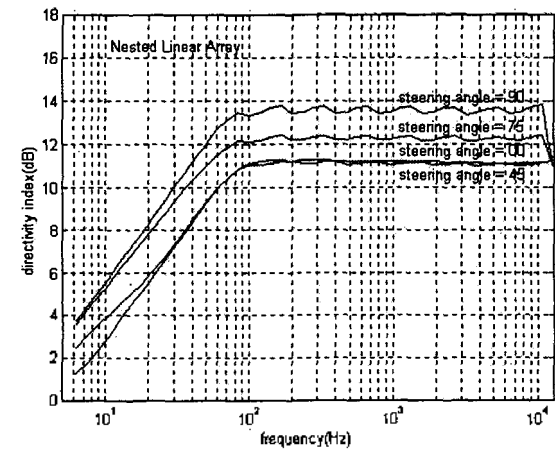


그림 8. 지향각에 따른 광대역 단일빔 지향지수
Fig. 8. Directivity index of wide-band one-shot beam as variation of steering angle.

그림 8의 광대역 단일빔은 배열 끝으로 지향할수록 저주파수 대역에서 지향지수가 높아지면서 불균일해진다. 수직방향과 수평방향의 지향지수는 그림에서 최대 2.5dB의 차이를 나타낸다. 그림 8에서 주파수대역 끝단에서는 지향지수가 동일값으로 모인다. 이는 높은 주파수대역으로

센서가 많이 배열되어 있음을 의미하며, 선형배열에 의한 고주파수대역 측정에 다소의 제한이 있음을 시사한다. 시뮬레이션 사양이 12800Hz임에도 불구하고 그림 8에서는 약 11000Hz까지만 측정 가능함을 알 수 있다. 만약 고주파수대역으로 배열된 센서간격을 조정한다면 이와 같은 현상은 해소가능하다고 판단된다.

광대역 단일빔의 지향각에 대한 특성을 세부적으로 고찰하기 위하여 45도 이상 지향하는 경우의 치향지수를 그림 9에 나타내었다. 지향각이 60도까지 넓혀지더라도 지향지수는 0.2dB 내에서 불균일하고, 이 후 지향각이 증가하더라도 0.4dB 이내에서 불균일하다. 본 연구에서 목적하는 음향측정은 주로 60도 이내 지향각으로 수행하므로 광대역 단일빔의 경우 최대 0.2dB의 오차가 유지된다. 이는 무시할 수 있는 오차이며[11], 지향성 관점에서 광대역 단일빔이 배열신호처리에 적용가능함을 의미한다.

4.3 빔패턴

본 연구에서 제안한 광대역 단일빔의 빔패턴은 그림 10

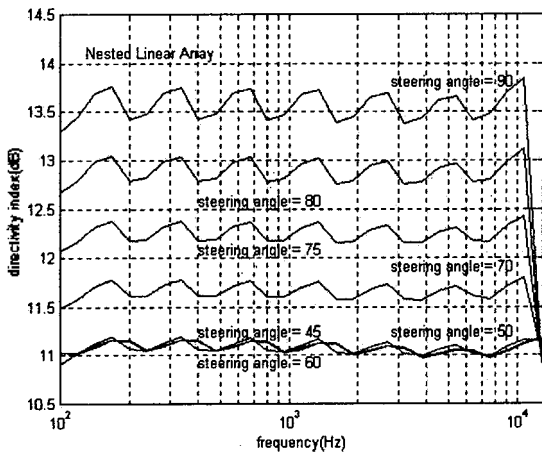


그림 9. 빔지향각 45도 이상에서의 광대역 단일빔 지향지수
Fig. 9. Directivity index of wide-band one-shot beam steered to 45 degree or above.

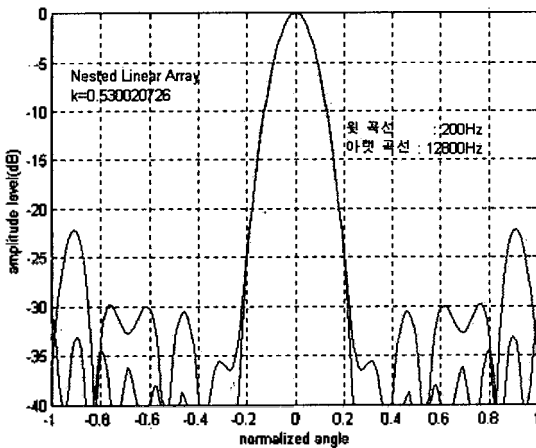


그림 10. 광대역 단일빔 빔패턴
Fig. 10. Beam pattern of wide-band one-shot beam.

과 같다. 여기서 $k = 0.530020726$ 이다. 주파수가 낮을수록 부엽의 크기가 높아지지만 20dB 이상의 상대적인 준위차를 가진다. 돌프-체비세프 가중상수를 적용한 전형적인 빔형성에서 30dB 이상 준위차를 나타냄과 비교하여 낮은 값이지만, 음향측정에는 5dB 정도 이상이면 유용하므로[11] 음향측정에 영향을 주지 않는다. 음향측정에서 빔폭은 측정하고자 하는 음원의 크기에 맞도록 적절하게 넓혀져야 함을 함께 고려하면, 그림 10의 빔패턴은 본 연구에서 제안한 빔형성 알고리즘이 음향측정에 가용함을 보여준다.

V. 결론

본 연구에서는 음향측정을 목적으로, 선형배열에서의 옥타브 대역별 빔형성 개수를 줄이고 균일 지향지수를 확보하고자 모든 센서를 동시에 사용하여 광대역 빔을 형성시키는 단일 빔형성 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 각 센서의 수신주파수 제어용으로 주파수 중속가중치를 사용하고 구현의 용이성을 고려하여 가우시안 함수를 가중치로 채택하였다.

전형적인 선형배열에 제안 알고리즘을 적용시킨 광대역 단일빔의 특성을 고찰한 결과, 주엽과 부엽준위 차이가 20dB 이상으로서 음향측정에 유용함을 확인하였다. 광대역 단일빔은 전형적인 옥타브별 빔과 비교하여 유사한 지향지수 값을 가지지만, 센서배열 수신주파수 전 범위에 걸쳐 광대역 단일빔의 수직방향성은 균일 지향지수를 가진다. 또한 광대역 단일빔은 60도 이내 지향각에서 0.2dB 이내의 균일 지향지수를 나타냄으로써 음향측정용 광대역 빔의 역할 수행이 가능함을 확인하였다.

참고 문헌

1. D. H. Johnson, "The Application of Spectral Estimation Methods to Bearing Estimation Problems," *Proc. IEEE*, Vol.70, No.9, pp.1018-1028, Sept. 1982.
2. 박영철, 차일환, 윤대회, "Adaptive Beamforming and Detection Algorithms Based on the Cholesky Decomposition of the Inverse Covariance Matrix," *한국음향학회지*, Vol.12, No.2E, pp.47-62, 1993.
3. C. R. Wan, "Continuous Performance Adjustment between Conventional and Adaptive Beamforming," 1997 UDT, pp. 142-146, 1997.
4. R. A. Mucci, "A Comparison of Efficient Beamforming Algorithms," *IEEE Trans. on Acoust. Speech and Signal Proc.*, Vol.ASSP-32, No.3, pp.548-558, June 1984.
5. 오원천, "보간기법 디지털 빔형성기 설계," 기술보고서 No. SENP-717-86028, 국방과학연구소, 1986.
6. 도경철, 노경호, "광대역신호를 위한 DFT 빔형성 기법," 1989년도 한국음향학회 학술발표회 논문집, pp.202-205, 1989.
7. 강정원, 이원철, "수동형 비균일 선형 경인 배열센서를 이용한 입사가 및 도플러 주파수 동시 추정기법," *한국음향학회지*, Vol.17, No.2, pp.32-42, 1998.
8. A.D.Waite, *Sonar for Practicing Engineers*, Ferranti Thomson Sonar Systems, 1996.

9. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House Inc., 1991.
10. D. H. Johnson, D. E. Dudgeon, *Array Signal Processing : Concepts and techniques*, PTR Prentice Hall Inc., 1993.
11. 도경철, 손경식, "수중음향측정 성능예측기준 설정을 위한 제안," 1997년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집, Vol.16, No.2(s), pp.371-374, 1997.
12. W. S. Burdic, *Underwater Acoustic System Analysis*, 2nd ed., Prentice-Hall Inc., 1991.
13. B. D. Steinberg, *Principles of Aperature and Array System Design*, A Wiley-Interscience Publication, 1976.

▲도 경 철(Kyeong-Cheol Dho)

한국음향학회지 제12권 3호 참조

1984년 2월 : 부산대학교 전기기계공학과(공학사)

1986년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1995년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1986년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

※ 주관심분야 : 수중음향신호처리 및 수중추적신호처리

▲손 경 식(Kyung-Sik Son)

한국음향학회지 제16권 7호 참조

현재 : 부산대학교 전자공학과 교수