

# 가중치 폭 변화에 따른 광대역 단일빔 특성 분석

도경철\* 임근희\*\* 손경식\*\*\*

\* 국방과학연구소, \*\* 한국전기연구소 \*\*\* 부산대학교 전자공학과

## Characteristics Analysis of Wide-Band One-Shot Beam as Variation of Weighting Width

Kyeong-Cheol Dho\* Guen-Hie Rim\*\* Kyung-Sik Son\*\*\*

\* Agency for Defense Development \*\* KERI \*\*\* Pusan Nat. Univ. Dept. of Electronics Eng.

### Abstract

This paper analyzes the characteristics of wide-band one-shot beam formed by using all sensors of array at once, as variation of weighting width. Gaussian function is applied to each sensor as a role of weighting. As the results of the simulation for nested linear array having 17 sensors for each octave, as the width goes wider the directivity index(DI) becomes lower but more even and the variation of beamwidth becomes smaller. It is confirmed, therefore, that weighting width is carefully decided in consideration of DI level, DI stability and the beamwidth.

### 1. 서론

음향측정(measurement)은 음원의 방사소음을 깨끗하게 녹음함이 목적이다. 측정용 빔형성에서는 가중상수가 부엽준위 조정 역할을 할 필요가 없으므로 대역별 빔형성이 의미가 없고, 따라서, 배열 내 모든 센서를 동시 사용하여 1회에 광대역 빔을 단일형성시킬 수 있다. 이 때 빔형성기는 단 1개가 소요된다[1].

광대역 단일빔에서 각 센서의 수신주파수 대역은 배열중심으로부터의 거리에 따라 다르다. 센서 마다의 수신대역차단은 가중치가 담당한다. 즉 각 센서의 가중치는 수신주파수 제한의 선필터 역할을 수행한다.

본 논문에서는 측정목적의 광대역 빔형성에서 가중치 폭에 의해 지향지수 및 빔패턴이 변화하는 특성을 시뮬레이션에 의해 분석하고, 음향측정을 위한 가중치 폭 선정요소를 도출하고자 한다.

### II. 선형배열의 광대역 단일빔형성

#### 2.1 선형배열과 옥타브 대역별 빔형성

전형적인 선형배열은 구현이 용이하도록 센서간격을 옥타브 대역별로 일정하게 배치하되, 상위옥타브 센서 사이에 하위옥타브 센서가 삽입된 형태(Nested Linear

Array)로 구성한다. 선형배열은 측정 최대 주파수에 대한 반파장 이하 간격으로 센서가 배열되고, 동일 옥타브 대역을 위한 동일위치 센서들은 중복 이용된다[2,3].

선형배열에서 q 옥타브 대역의 빔  $B_q(t)$ 는 식(1)과 같이 형성된다. 여기서  $s_n(t-\tau_n)$ 는 시간지연  $\tau_n$ 가 보상된 센서 n의 수신신호이고  $A_n$ 는 이 센서의 가중상수이다. N은 각 옥타브의 센서 개수이다. 광대역 탐지를 위하여는 옥타브 대역 수 만큼의 빔형성기가 필요하다[4].

$$B_q(t) = \sum_{n=1}^N A_n s_n(t-\tau_n) \quad (1)$$

선형배열 옥타브별 빔형성에서의 지향지수(directivity index) DI는 옥타브당 센서 수 N과 각 옥타브의 최대 수신주파수  $f_{max}$ 에 의해 계산된다[4]. 예를 들어 그림 1은 옥타브당 17개 센서를 사용하는 선형배열의 주파수 50Hz~12800Hz에서의 지향지수를 보여 준다. 일반적으로 선형배열의 지향지수는 주파수에 따라 임의 옥타브 내에서 3dB 차이가 난다.

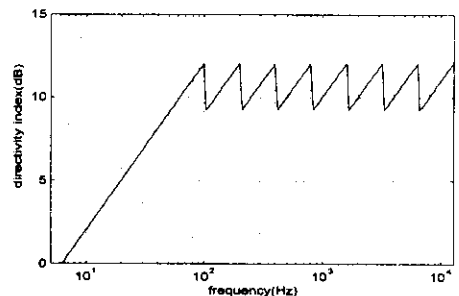


그림 1. 옥타브 대역별 빔의 지향지수 예

#### 3.2 광대역 단일빔형성 알고리즘

음향측정용 빔에서는 대역별로 빔을 형성시키지 않고 배열 내 모든 센서를 동시 사용하여 빔을 한번에 형성시킨다. 식(2) 및 그림 2의 개념으로 수행되는 이와 같은 단일빔형성(one-shot beamforming)에서는 가중치가 각 센서별 수신 주파수대역 조정기능을 수행하도록 주

파수 증속가중치(frequency dependent weighting)  $A(m, f)$  를 사용한다. 식(2)에서  $M$ 은 배열 내의 총 센서수 이고,  $P_m$ 은 센서  $m$ 의 수신전력밀도를 균일화 하기 위한 보정상수로서  $d_m/d_0$ 로 주어진다.  $d_0$ 은 최소 센서간격이고  $d_m$ 은 배열중심을 기준으로한 센서 $m$  사이간격이다.

$$B(t) = \sum_{m=1}^M p_m A(m, f) s_m(t - \tau_m) \quad (2)$$

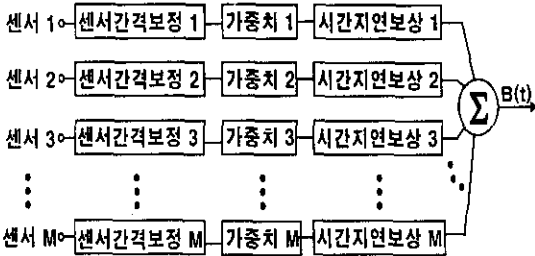


그림 2. 수동 선형배열에서의 광대역 단일 빔형성

### 3.3 단일빔형성에서의 가우시안 가중치

단일빔형성의 가중치  $A(m, f)$ 는 주파수 증속 함수로서 그림 3과 같이 각 센서의 수신주파수 대역 차단기능을 한다. 즉, 좁은 간격 센서는 고주파수대역까지 넓게 수신하게 하고, 넓은 간격 센서는 저주파수 대역만 수신하도록 일종의 선필터(pre-filter) 역할을 수행한다.

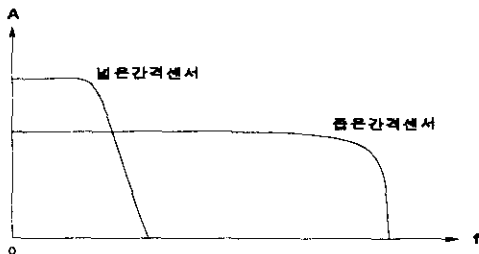


그림 3. 광대역 단일 빔형성에서의 가중치 기능

그림 3의 차단필터 역할을 하는 참함수로 여러 가지를 고려할 수 있으나, 본 논문에서는 시간영역과 주파수영역에서 유사형상을 가지는 가우시안함수(Gaussian function)를 가중치로 이용한다. 일반적으로 주파수영역에서의 가우시안함수는 식(3)으로 주어진다[5]. 여기서  $\omega$ 는 각주파수이고  $\sigma_m$ 는 분산이다.

$$A(m, \omega) = \exp[-(\omega\sigma_m)^2/2] \quad (3)$$

차단주파수에서의 가우시안 가중치를 임의상수  $k_1$ 로

가정하면  $k_1 \leq 1$  이므로 식(3)은 식(4)와 같이 변환되므로, 가중치의 분산 폭을 구할 수 있다.

$$\sigma_m = (-2 \ln k_1)^{1/2} / (2\pi f) \quad (4)$$

선형배열 중심으로부터 센서  $m$ 까지의 거리를  $L_m$ 로 두면  $L_m = \lambda/4$ 이므로 식(4)는 식(5)와 같이 표현된다. 식(5)에서  $k$ 는  $2(-2 \ln k_1)^{1/2} / \pi$ 를 의미하는 임의 상수로서, 가우시안 가중치의 폭을 결정짓는다.  $c$ 는 음속이다.

$$\sigma_m = k L_m / c \quad (5)$$

## III. 가중치 폭에 따른 광대역 단일빔 특성 시뮬레이션 및 결과 고찰

### 3.1 시뮬레이션 사양

가우시안 가중치가 적용되는 식(2)의 단일빔형성 특성을 고찰하기 위하여 시뮬레이션을 수행한다. 50Hz ~ 12800Hz의 광대역 수신주파수 범위에 걸쳐 8개 옥타브를 가진 선형배열이 옥타브 당 17개 센서를 갖는다고 가정하면 본 선형배열은 길이 120m로서 모두 73개 센서를 운용한다.

### 3.2 주파수에 따른 지향지수

배열 수직방향에서의 주파수에 따른 광대역 단일빔 지향지수는 그림 4와 같다. 그림에서 보듯이 광대역 단일빔은 일정 주파수 이상에서 지향지수가 균일하다.

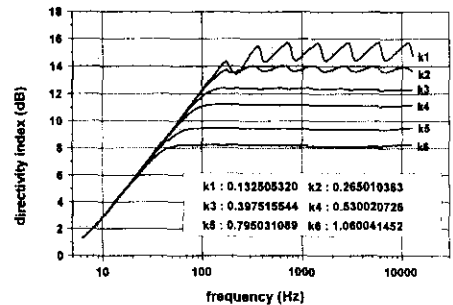


그림 4. 단일 빔형성 지향지수(지향각 0도)

가중치의 폭이 -3dB점인  $k=0.53$ 인 경우에 지향지수가 비교적 균일하지만, 이 절반인  $k=0.265$ 인 경우에는 0.4dB 정도 불균일하다. 이 점의 중간인  $k=0.3975$ 를 설정하면 지향지수는 0.2dB 이내의 균일성을 유지한다.

그러나  $k$ 가 적을수록 지향지수가 균일해지는 주파수 시작점이 늦어진다.

### 3.3 지향각에 따른 지향지수

지향각에 따른 단일빔형성 지향지수는 그림 5와 같다. 배열 끝으로 지향할수록 높은 지향지수를 나타내고 주파수 끝단에서 지향지수가 한 값으로 모인다. 이는 높은 주파수대역으로 센서가 많이 배열되었음을 의미한다. 그림 5에서  $k$ 가 적을수록 지향각에 따른 지향지수 변화폭이 적은 반면 지향지수 불균일성은 크진다

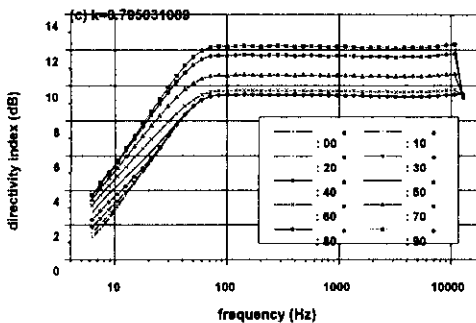
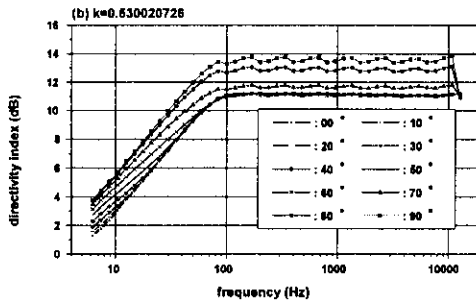
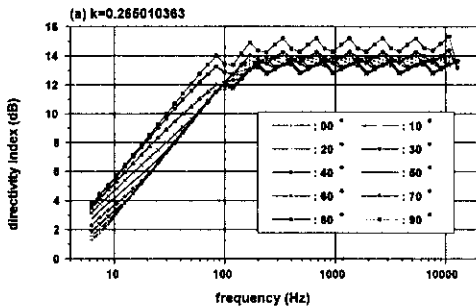


그림 5. 지향각에 따른 단일빔 지향지수

그러므로 균일 지향지수가 최우선인 경우에는  $k$ 를 가능한 크게 설정하여 가중치 분산 폭을 넓혀야 한다.

일반적으로 음향은 지향각 60도 이내에서 측정된다. 이 경우의 지향지수는 그림 6과 같다.  $k=0.53$  미만 선정시 지향지수가 불균해짐을 그림에서 알 수 있다.

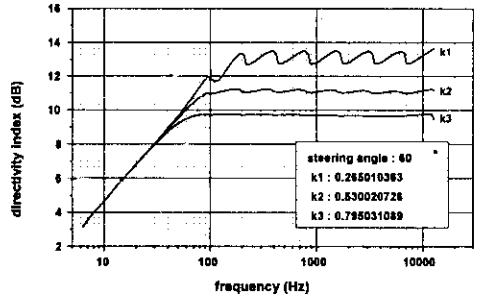


그림 6. 지향각 60도에서의 지향지수

### 3.4 주파수에 따른 빔패턴

단일빔형성의 빔패턴은 그림 7과 같다. 주파수가 낮을수록 빔폭이 넓어짐은 탐지용 대역별 빔의 경우와 같다. 일반적으로 빔에서 빔폭이 좁아지면 부엽준위가 증가하지만, 단일빔에서는 주파수가 낮을수록 빔폭이 넓어지고 동시에 부엽준위도 증가하고 있다. 또한  $k$ 가 적을수록 주파수에 따른 빔폭 변화가 크고 부엽준위가 높아진다. 따라서 부엽준위 및 빔폭변화 측면에서는  $k$ 가 클수록 측정에 적합하다.  $k=0.53$ 인 경우 최대 부엽준위는  $-17.5\text{dB}$ 로서, 일반 옥타브별 빔에 비해 상대적으로 높다. 그러나 측정을 위한 빔형성에서 이 값은 측정정확도를 저해하지 않을 만큼 충분한 값이므로 그림 7의 단일빔 빔패턴은 측정에 유용하다.

$k=0.53$ 인 경우 빔폭은  $-2\text{dB}$ 점에서  $6.8^\circ \sim 10.3^\circ$ 이다. 음원의 물리적인 크기를 고려하여 빔폭이  $6.8^\circ$  이상이면 음향측정에 유효하므로, 빔폭을  $-2\text{dB}$ 로 하더라도 그림 7의 광대역 단일빔은 음향측정에 유용하다.

### 3.5 지향각에 따른 빔패턴

$k=0.53$ 인 경우 지향각에 따른 단일빔 빔패턴은 그림 8과 같다. 지향각이 60도까지 변하더라도 부엽준위가 특별하게 증대하지 않으며, 측정 최대 주파수에서 일관되게 부엽준위가 낮다. 결과적으로 그림 7 및 그림 8의 단일빔 빔패턴은 가중치 분산 폭을 적절하게 선정하므로서 측정용으로 사용할 수 있음을 의미한다.

## IV. 결론

본 연구에서는 선형배열에서의 옥타브 대역별 빔형

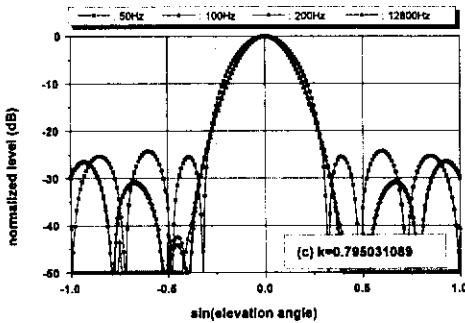
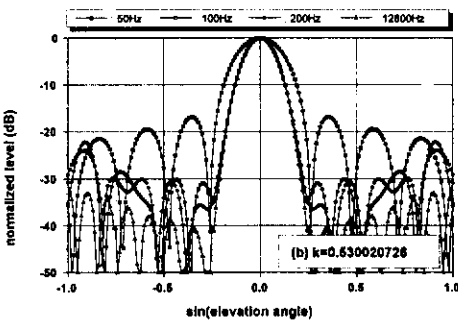
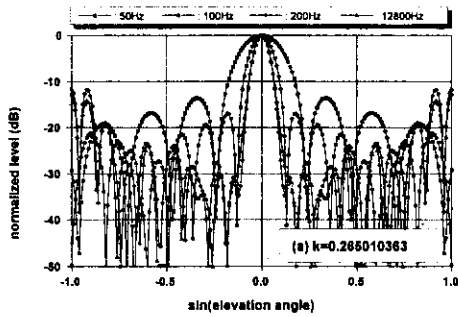


그림 7. 단일빔형성에서의 빔패턴

성 개수를 줄이고자 모든 센서에 대하여 동시에 빔을 형성하는 광대역 단일빔형성 알고리즘에, 가우시안함수를 주파수 증속 가중치로 적용시켜 단일빔을 형성시켰다. 가중치의 폭을 결정하기 위한 시뮬레이션 결과,  $k$ 를 적게하여 가중치 폭을 좁힐수록 지향지수는 증가하지만 수신대역에서 지향지수가 불균일해지고 빔폭의 변화가 심하였다. 가중치 폭을 넓히면 지향지수는 낮아지는 반면 수신대역에서 상당히 균일한 값을 가지고

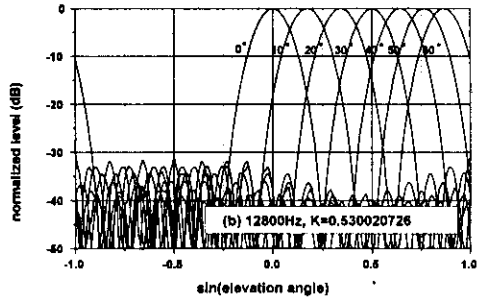
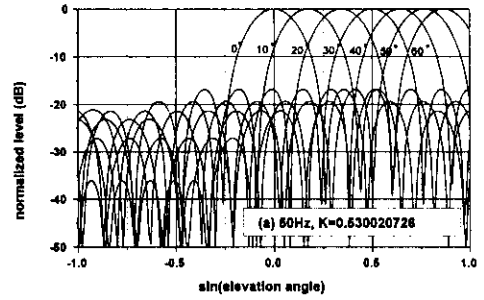


그림 8. 지향각에 따른단일빔 빔패턴

빔폭의 변화가 매우 적었다. 그러나  $K$ 가 크면 지향각에 따른 지향지수 변화가 크다. 결과적으로 음향측정을 위한 단일빔형성에서 가중치 폭을 선정하는 고려 요소는 지향지수 주위, 지향지수 균일성 및 빔폭 변화가 된다. 그러므로 이들을 고려하여 측정사양에 적합하도록 가중치 폭을 선정하여야 함을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 도경철, 손경식 "가우시안 가중치에 의한 광대역 빔형성 특성" 대한전자공학회 1998년 하계 종합학술대회 논문집 제21권 1호, pp.639-642, 1998
- [2] R.A.Mucci, "A Comparison of Efficient Beamforming Algorithms", IEEE. Trans. on Acoust. Speech and Signal Proc., Vol.ASSP-32, No3, pp548-558, 1984
- [3] 도경철, 노정호, "DFT에 의한 위상천이 빔형성 기법" 제2회 신호처리합동학술대회 논문집, pp 101-105, 1989
- [4] A.D.Waite, "Sonar for Practicing Engineers", FTSS, 1996
- [5] B.D.Steinberg, "Principles of Aperature and Array System Design", 1976, A Wiley-Interscience Public.