

# 센서 결함이 있는 경우 Generalized Sidelobe Canceller의 보정 알고리즘

正會員 洪宇永\*, 金炳哲\*\*

## A Compensation Algorithm for Generalized Sidelobe Canceller in the Presence of Faulty Elements

Woo Young Hong\*, Byung Chul Kim\*\* Regular Members

### 要 約

본 논문에서는 GSC(Generalized Sidelobe Canceller)의 결함 소자 보정을 위한 알고리즘을 제안한다. GSC에 대해서는 이론적으로 잘 정립되어 있으나 결함 소자가 있는 경우에 대한 보정 알고리즘의 연구는 많지 않았다. 결함 소자로 인하여 균일한 선배열 문제가 비균일한 선배열 문제로 변환되며, 이를 보정하기 위해 과거 대부분의 방법들은 비균일한 선배열 상에서 최적화 기법을 이용하여 처리하였다. 제안된 방법은 선형 제한 조건과 일반적인 빔패턴의 형태를 만족하며 GSC의 결함소자를 보정한다. 여러 상황에 대한 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘의 결함 소자 보정 능력을 확인한다.

### ABSTRACT

In this paper, we present a new effective algorithm for element failure compensation of Generalized Sidelobe Canceller (GSC). While the GSC is well formulated, little works have been done on array element compensation in the presence of faulty elements. Element failure changes the problem of a linearly equally spaced array into that of an unequally spaced array. Typical research approaches have been directed at using search techniques to optimize unequally spaced arrays. The proposed algorithm matches the linear constraint conditions and the general shape of the desired beam pattern at the expense of an increase of beam-width in the overall main lobe. Numerical results are included to demonstrate the capability of compensation for various situations.

\*해군사관학교 전자공학과

\*\*국방과학연구소 제2개발본부

論文番號 : 95108-0316

接受日字 : 1995年 3月 16日

## I. 서 론

적용배열 신호처리( Adaptive Array Signal Processing )기법은 많은 분야에 적용되어 왔으며, 이 중에서 특정 방향으로 입사되는 강한 간섭신호를 제거하는 부엽제거기(sidelobe canceller)(1,2)의 연구는 소나 및 레이더에 적용되어 많은 발전이 되어져 왔다. 특히 표적 신호(target signal)에 대해 난위 이득을 유지하거나 일정한 응답을 갖도록 하는 선형 제한 조건(linear constraints) 신호 처리 기법이 Frost<sup>3)</sup>에 의해 제안되었으며 Griffith와 Jim은 적응 잡음 제거 기법을 이용하여 선형 제한 조건을 갖는 최소 분산(minimum variance) 알고리즘을 제한조건을 갖지 않는 GSC(Generalized Sidelobe Canceller)의 문제로 구현하기도 하였다<sup>4, 5, 6, 7, 8)</sup>.

위에서 언급한 부엽 제거기를 실제의 응용 환경에서 적용할 시 센서 소자들(sensor elements)의 결합에 따른 어려운 상황을 경험할 수도 있을 것이다. 한편 선형 제한 조건을 갖는 배열 신호처리 문제는 많은 연구 결과에 힘입어 이론적으로 잘 정립이 되어져 있으나 배열 센서(array elements) 고장으로 인하여 센서 출력이 없는 결합의 경우에 대한 배열 신호처리 문제의 연구는 그리 많지 않았다<sup>9, 10)</sup>.

본 연구에서는 결합소자가 있는 경우에 대한 GSC의 문제점을 살펴본 후 보정 알고리즘을 제안하고 수치 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘을 검증하였다.

## II. 선형 제한 조건을 갖는 빔형성기

### 1. 선형 제한 조건을 갖는 최소 분산 알고리즘

그림 1과 같이 M개의 센서로 이루어진 등간격 선형 위상 어레이를 고려하자. 이 때 임의의 시간 k에서 표본화된 입사 신호 벡터  $x(k)$ 는 표적 신호 벡터  $s(k)$ , 간섭 신호 벡터  $i(k)$ 와 잡음 신호 벡터  $n(k)$ 의 합으로 표현하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(k) = s(k) + i(k) + n(k) \quad (1)$$

그림 1에서 빔형성기의 계수 벡터를 다음과 같이 정의하자.

$$w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_M]^T \quad (2)$$

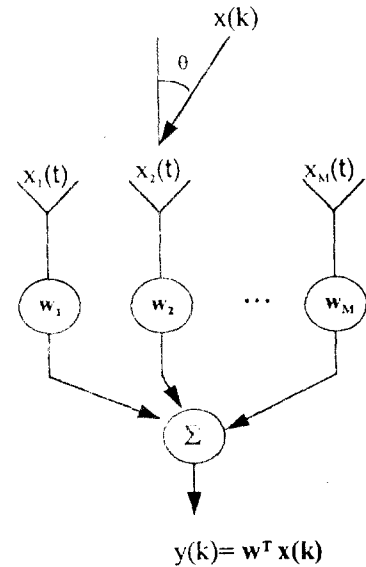


그림 1. 선배열 빔형성기

Fig. 1. Beamformer using Linear Array

이러한 빔형성기의 출력은 다음과 같다.

$$y(k) = \sum_{m=1}^M w_m^* x_m(k) = \mathbf{w}^H \mathbf{x}(k) \quad (3)$$

여기서 윗첨자 H는 complex conjugate transpose를 나타낸다.

선형 제한 조건을 갖는 최소 분산 알고리즘의 기본 원리는 관심 있는 신호와 특정한 방향의 신호 성분에는 원하는 응답을 유지시키면서 시스템의 출력 파워 또는 분산을 최소화하도록 하는 것이다. 이 문제를 수식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Minimize } \mathbf{w}^H \mathbf{R}_{xx} \mathbf{w} \quad (4a)$$

$$\text{subject to } \mathbf{C}^H \mathbf{w} = \mathbf{f} \quad (4b)$$

여기서  $\mathbf{R}_{xx}$ 는 공분산 행렬  $E[\mathbf{x}\mathbf{x}^H]$ 이고,  $\mathbf{C}$ 는 제한 조건 행렬로서 지향 방향의 신호 성분에 대하여 단위 이득을 가지고 N개의 간섭 신호를 차단하는 제한 조건일 경우 즉 표적 신호 방향에는 0 dB의 이득과 간섭 신호 방향에는 Null을 갖도록 할 경우 행렬의 크기는  $M \times (N+1)$ 이며 다음의 형태를 가진다.

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & e^{j\omega\tau_1} & \dots & e^{j\omega\tau_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & e^{j\omega(M-1)\tau_1} & \dots & e^{j\omega(M-1)\tau_N} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서  $\tau_n = 2\pi d \sin\theta_n / c$ 이며  $\theta_n$ 는 어레이의 수직면을 기준으로 한  $n$ 번째 간섭 신호의 입사각을 나타내며 응답 벡터  $f$ 는 다음과 같다.

$$f = [1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]^T \quad (6)$$

제한 조건을 갖는 최적 계수 벡터  $w$ 는 Lagrange Multiplier 방법을 이용하는 일반적인 최적화 기법을 이용하여 구할 수 있으며 다음과 같이 표시할 수 있다<sup>(11,12)</sup>.

$$w_{opt} = R_{xx}^{-1} C (C^H R_{xx}^{-1} C)^{-1} f \quad (7)$$

### 2. Generalized Sidelobe Canceller (GSC)

선형 제한 조건을 갖는 최소 분산 알고리즘은 두 가지 형태로 구현할 수 있는데, 하나는 Frost[3]가 제안한 형태로서 신호 자체를 직접 처리하는 직접적 형태(Direct form)로서 그림 2(a)의 구조를 갖고, 다른 하나는 선형 제한 조건을 갖지 않는 GSC의 형태로서 그림 2(b)의 구조를 갖는다.

이는 선형 제한 조건을 갖는 최소 분산 빔형성기의 계수 벡터  $w$ 가  $C$ 행렬의 range space와 null space의 직교성을 갖는 두개의 공간 나누어 질 수 있다는 것을 이용하여 등가로 나타낸 것이다<sup>(4)</sup>.

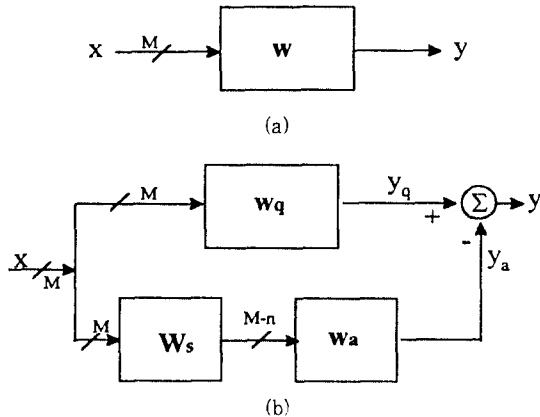


그림 2. 선형 제한 조건을 갖는 최소 분산 빔형성기  
Fig. 2. Linearly Constrained Minimum Variance Beamformer

그림 2(b)의 등가 구조는 적응 잡음 제거기의 형태를 취하고 있는데, 등가 계수 벡터는 다음과 같다.

$$w = w_q - W_s w_a \quad (8)$$

여기서 상단에 있는  $w_q$ 는 Quiescent 빔 형성기의 계수 벡터를 나타내며, 입력 신호가 상관관계가 없는 백색 잡음만으로 이루어져 있을 시의 계수 벡터로서<sup>(12)</sup>,  $R_{xx}$ 가  $M \times M$ 의 Identity matrix 로 표시되어 다음과 같이 나타낸다.

$$w_q = C(C^H C)^{-1} f \quad (9)$$

하단에 있는  $W_s$ 는  $(M-(N+1)) \times M$  차원을 가지는 신호 차단 행렬 (signal blocking matrix)로서 표적 신호를 차단하고, 데이터 벡터의 차원을 감소시키는 역할로서 다음의 두 가지 조건을 만족시켜야 한다<sup>(4, 13)</sup>.

1). 행렬의 각 행 벡터는 선형 독립 (linearly independent)이어야 한다.

2).  $W_s$ 는 제한 조건 행렬  $C$ 와 직교해야 한다.

그리고  $w_a$ 는 입력 데이터에 의해 결정되는  $(M-(N+1)) \times 1$  차원을 가지는 적응 계수 벡터로서, 상단의 Quiescent 빔형성기 출력  $y_q$ 와 하단의 출력  $y_n$ 과의 차인 출력  $y$ 의 분산을 최소화하도록 동작하는데, 제한 조건이 만족된 후 남아있는  $(M-(N+1))$ 의 자유도 (degree of freedom)를 가지고 결정된다.

한편, Quiescent 계수 벡터  $w_q = C(C^H C)^{-1} f$ 로부터의 빔패턴이 높은 부엽 이득으로 인하여 Chebychev 패턴 형태가 요구될 경우가 있는데 이 경우  $w_q$ 가 다음과 같이 수정할 수 있다<sup>(12)</sup>.

$$\text{Minimize } \{ (w_q - w_{cheb})^H (w_q - w_{cheb}) \} \quad (10a)$$

$$\text{Subject to } C^H w_q = f \quad (10b)$$

윗 식 (10)의 해는 다음과 같이 주어진다<sup>(12)</sup>.

$$w_q = (I - C(C^H C)^{-1} C^H) w_{cheb} + w_q \quad (11)$$

한편,

$$w_o = w_q - w_a \quad (12)$$

라 할 시 제한 조건 행렬 및 응답 벡터를 다음과 같이 변형하여

$$\underline{\mathbf{C}} = [\mathbf{C}, \mathbf{w}_o] \quad (13)$$

$$\underline{\mathbf{f}}^H = [\mathbf{f}^H, \mathbf{w}_o^H (\mathbf{w}_q + \mathbf{w}_o)] \quad (14)$$

라 하자.

식 (13) 및 식 (14)를 이용하여 식 (4)를 만족시키는 Quiescent 계수 벡터는 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다. 즉

$$\underline{\mathbf{w}}_q = \underline{\mathbf{C}} (\underline{\mathbf{C}}^H \underline{\mathbf{C}})^{-1} \underline{\mathbf{f}} \quad (15)$$

로 나타낼 수 있으며, 이는 식 (11)에서 구한 것과 같음을 증명할 수 있다.<sup>12)</sup>

### Ⅲ. 결함 소자가 있는 GSC의 보정 알고리즘

그림 3은 결함 소자가 있는 경우에 대한 GSC의 빔패턴을 나타낸다. 33개의 센서중 2, 4, 8번째 센서소자가 결함이 있으며 결함 센서로부터 입력되는 신호는 영이다. 또한 0°에서 단위 응답을 갖고 20°, 22°, 24°, 26°에서 null이 형성되도록 제한 조건을 주었으며 사용된 신호의 SNR은 0 dB, INR은 20 dB로 하였고 간섭신호는 60°로 입사된다고 가정하였다. -30dB부엽 레벨을 갖는 chebychev 계수 벡터를 이용하여 부엽의 레

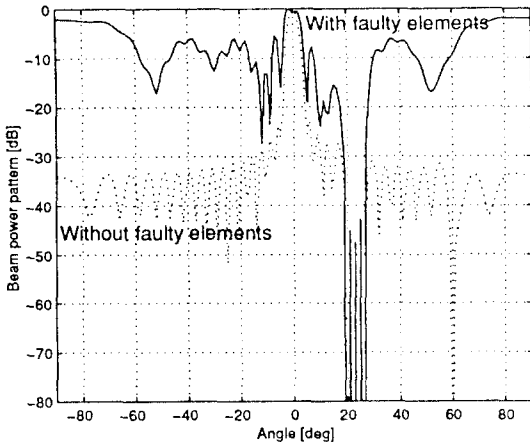


그림 3. 결함 소자가 있는 경우의 빔패턴 (센서수 : 33, 결함소자 : 2, 4, 8 번째 소자, 제한조건 : 0°에서 단위 응답, 20°, 22°, 24°, 26°에서 null, SNR = 0dB, INR = 20dB, 간섭신호 : 60°)

Fig. 3. Beam pattern in the presence of faulty elements ( number of sensor : 33, constraints : unit response at 0°, null at 20°, 22°, 24°, 26°, SNR = 0dB, INR = 20dB, angle of arrival of interference : 60°)

벨을 낮추었다. 그림 3에서와 같이 결함소자로 인한 빔패턴의 변형은 심각하여 보정 알고리즘이 필요성이 대두되게 된다.

#### 3.1 Quiescent 계수벡터

n개의 결함소자를 가진 어레이의 빔패턴의 변형을 보정하기 위하여 어레이의 계수 벡터중 결함소자와 일치하는 계수 벡터를  $\mathbf{w}_F$ 라하고 정상적으로 동작하는 센서소자와 일치하는 계수 벡터를  $\mathbf{w}_N$ 이라 하자.

(예 : 10의 센서중 2번째 4번째 센서가 결함이 있을 경우

$$\mathbf{w}_N = [w_1 \ w_3 \ w_5 \ w_6 \ \dots \ w_{10}]^T, \quad \mathbf{w}_F = [w_2 \ w_4]^T$$

위의 예에서와 같이 계수 벡터를 순차적인 두개의 군으로 나누는 변환 행렬이 필요하게 된다. 이 변환 행렬을 구성하기 위해  $M \times M$ 의 Identity matrix의 행벡터(row vector)를  $\mathbf{w}_T = [\mathbf{w}_N \ \mathbf{w}_F]^T$  벡터의 첨자 순서로 바꾸어 변환 행렬을 구성할 수 있다. 즉, 위의 예에서 Identity matrix의 행의 순서를 1, 3, 5, 6, ..., 10, 2, 4로 교환하여 구성한 것이 변환 행렬로서  $\mathbf{T}$ 로 표시하기로 한다. 따라서,

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_T &= \mathbf{T} \mathbf{w} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{w}_N \\ \mathbf{w}_F \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (16)$$

여기서  $\mathbf{T}$ 는  $M \times M$ ,  $\mathbf{w}_N$ 은  $(M-n) \times 1$ ,  $\mathbf{w}_F$ 는  $n \times 1$  행렬을 나타낸다.

Quiescent 계수 벡터  $\mathbf{w}_q$ , 제한 조건 행렬  $\mathbf{C}$ 와 차단 행렬  $\mathbf{W}_S$ 를 변환 행렬  $\mathbf{T}$ 를 이용하여 재구성하면 다음과 같다.

$$\mathbf{w}_{qT} = \mathbf{T} \mathbf{w}_q \quad (17a)$$

$$\mathbf{C}_T = \mathbf{T} \mathbf{C} \quad (17b)$$

$$\mathbf{W}_{sT} = \mathbf{T} \mathbf{W}_S \quad (17c)$$

변환된 행렬은 다음과 같이 분할되어 나타낸다.

$$\mathbf{w}_{qT} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{qN} \\ \mathbf{w}_{qF} \end{bmatrix} \quad (18a)$$

$$\mathbf{w}_{sT} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{sN} \\ \mathbf{w}_{sF} \end{bmatrix} \quad (18b)$$

$$\mathbf{C}_T = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_N \\ \mathbf{C}_F \end{bmatrix} \quad (18c)$$

입력 신호가 상관 관계가 없는 백색 잡음만으로 이루어졌을 경우 식 (4)에서 계수 벡터  $\mathbf{w}$ 를  $\mathbf{w}_q$ 로 표시할 수 있으므로 제한 조건 방정식  $\mathbf{C}^H \mathbf{w} = \mathbf{f}$ 에서 변환된 행렬을 적용하면

$$\mathbf{C}_T^H \mathbf{w}_{qT} = \mathbf{f} \quad (19a)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{C}_N^H & \mathbf{C}_F^H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{qN} \\ \mathbf{w}_{qF} \end{bmatrix} = \mathbf{f} \quad (19b)$$

$$\mathbf{C}_N^H \mathbf{w}_{qN} + \mathbf{C}_F^H \mathbf{w}_{qF} = \mathbf{f} \quad (19c)$$

이 된다.  $\mathbf{w}_{qF}$ 가 결손된 소자와 일치하는 벡터이기 때문에  $\mathbf{C}_F$ 를 영행렬(zero matrix)로 하여도 제한 조건 방정식에는 아무런 영향이 없다. 따라서

$$\mathbf{C}_N^H \mathbf{w}_{qN} = \mathbf{f} \quad (20)$$

이 되며, 식 (9)의 제한 조건 방정식에서 정상 동작하는 센서 소자와 일치하는 Quiescent 계수 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{w}_{qN} = \mathbf{C}_N (\mathbf{C}_N^H \mathbf{C}_N)^{-1} \mathbf{f} \quad (21)$$

낮은 부엽 조건을 고려하여 Chebychev 형태의 계수가 필요할 때는 식 (10)에서와 같이 수정이 되어야 한다. 즉,

$$\underset{\mathbf{w}_{qT}}{\text{Minimize}} \{ (\mathbf{w}_{qT} - \mathbf{w}_{\text{chebT}})^H (\mathbf{w}_{qT} - \mathbf{w}_{\text{chebT}}) \} \quad (22a)$$

$$\text{Subject to } \mathbf{C}_T^H \mathbf{w}_{qT} = \mathbf{f} \quad (22b)$$

여기서

$$\mathbf{w}_{\text{chebT}} = \mathbf{T}_{\text{wcheb}} = [\mathbf{w}_{cN} \ \mathbf{w}_{cF}]^T \quad (23)$$

이며 식(10a)를 전개하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } \{ & |\underline{\mathbf{w}}_{qN:1} - \underline{\mathbf{w}}_{cN:1}|^2 + |\underline{\mathbf{w}}_{qN:2} - \underline{\mathbf{w}}_{cN:2}|^2 + \dots + \\ & |\underline{\mathbf{w}}_{qN:(M-n)} - \underline{\mathbf{w}}_{cN:(M-n)}|^2 + |\underline{\mathbf{w}}_{qF:1} - \underline{\mathbf{w}}_{cF:1}|^2 \\ & + \dots + |\underline{\mathbf{w}}_{qF:n} - \underline{\mathbf{w}}_{cF:n}|^2 \} \end{aligned} \quad (24)$$

여기서  $\mathbf{w}_{cN}$ 는 정상 동작하는 센서 소자와 일치하는 계수를 나타낸다. 위 식에서 최소화할 만족시키는 계수 벡터의 빔패턴은 제한 조건을 만족시키고 Chebychev 계수 벡터의 빔패턴 형태와 같이 낮은 부엽 이득을 보일 것이다. 이를 만족시키는 계수 벡터는 다음과 같이 얻을

수 있다.

$$\underline{\mathbf{w}}_{qN} = (\mathbf{I} - \mathbf{C}_N (\mathbf{C}_N^H \mathbf{C}_N)^{-1} \mathbf{C}_N^H) \mathbf{w}_{cN} + \mathbf{w}_{qN} \quad (25a)$$

$$\underline{\mathbf{w}}_{qF} = 0 \quad (25b)$$

### 3.2 신호 차단 행렬(Signal Blocking Matrix)

신호 차단 행렬,  $\mathbf{W}_{ST}$ ,은 II장에서 설명한 차단행렬 조건을 만족시켜야 함으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{C}_N^H & \mathbf{C}_F^H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{SN} \\ \mathbf{W}_{SF} \end{bmatrix} = \mathbf{0} \quad (26)$$

여기서  $\mathbf{C}_F$ 은 영행렬이기 때문에

$$\mathbf{C}_N^H \mathbf{W}_{SN} = 0 \quad (27)$$

이 된다. 한편  $\mathbf{C}$ 를 식(18)과 같이 정상 동작군(group)과 결합 소자 군으로 구분하여 표시하면 다음과 같다.

$$\mathbf{T} \mathbf{C} = \mathbf{C}_T = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_N \\ \mathbf{C}_F \end{bmatrix} \quad (28)$$

Chebychev type을 고려한 제한 조건 행렬  $\mathbf{C}$ 에 대하여 차단 행렬의 조건을 만족시키는 행렬은 다음에 의해 구할 수 있다.

$$\underline{\mathbf{W}}_{SN} = \text{null}(\mathbf{C}_N^H) \quad (29)$$

식 (26)에 의해

$$\begin{bmatrix} \mathbf{C}_N^H & \mathbf{C}_F^H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{SN} \\ \mathbf{W}_{SF} \end{bmatrix} = \mathbf{0} \quad (30)$$

이 되며,  $\mathbf{W}_{SF}$ 는 결합소자와 관련된 Block matrix 임으로 영행렬로 간주할 수 있다.

### 3.3 적응 계수 벡터 ( $\mathbf{w}_a$ )

GSC의 구조중 유일하게 입력 데이터에 의해 결정되는 적응 계수로서, Quiescent 빔형성기 출력  $y_q$ 와 자신의 출력  $y_a$ 와의 차로 표현되는 전체 출력  $y$ 의 분산을 최소화하도록 동작한다. 이를 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \underset{\mathbf{w}_aT}{\text{Minimize}} \{ & (\mathbf{w}_{qT} - \mathbf{W}_{ST} \mathbf{w}_aT)^H \mathbf{R}_{xxT} (\mathbf{w}_{qT} - \mathbf{W}_{ST} \mathbf{w}_aT) \} \quad (31) \\ = & \left\{ \left( \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{qN} \\ \mathbf{W}_{qF} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{sN} \\ \mathbf{W}_{sF} \end{bmatrix} \mathbf{w}_aT \right)^H \mathbf{R}_{xxT} \left( \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{qN} \\ \mathbf{W}_{qF} \end{bmatrix} \right. \right. \\ & \left. \left. - \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{sN} \\ \mathbf{W}_{sF} \end{bmatrix} \mathbf{w}_aT \right) \right\} \end{aligned}$$

여기서

$$\mathbf{R}_{xxT} = \mathbf{T}^H \mathbf{R}_{xx} \mathbf{T} \quad (32)$$

이다.

$\mathbf{W}_{sF} = 0$  이기 때문에 정상 동작하는 Block matrices에 의해 다음과 같이  $\mathbf{w}_a$ 를 구할 수 있다.

$$\mathbf{w}_{aT} = [\mathbf{W}_{sN}^H \mathbf{R}_{xxT} \mathbf{W}_{sN}]^{-1} \mathbf{W}_{sN}^H \mathbf{R}_{xxN} \mathbf{w}_{qN} \quad (33)$$

여기서,  $\mathbf{R}_{xxN}$ 는 정상 동작되는 센서로부터 입력되는 신호의 들의 상관 행렬로서  $\mathbf{R}_{xxT}$ 에서 좌측 상단의  $(M-n) \times (M-n)$  Block matrix이다.

### 3.4 보정된 GSC 계수 벡터 ( $\mathbf{w}$ )

위에서 구한  $\mathbf{w}_q$ ,  $\mathbf{W}_s$  및  $\mathbf{w}_a$ 로부터 보정된 GSC의 계수 벡터는

$$\mathbf{w}_T = \mathbf{w}_{qT} - \mathbf{W}_{sT} \mathbf{w}_{aT} \quad (34)$$

으로 나타낼 수 있다. 계수벡터는 정상 동작군(group)과 결함 소자 군으로 나뉘어져 있으므로 최종적인 계수 벡터는 센서 소자의 순서로 원위치 하여 재배열 해야한다. 한편  $\mathbf{T}^1 = \mathbf{T}^H$  임으로 계수 벡터의 원위치는 다음에 의하여 재배열될 수 있으며 보정된 GSC의 계수 벡터,  $\mathbf{w}$ 를 얻을 수 있다.

$$\mathbf{w} = \mathbf{T}^H \mathbf{w}_T \quad (35)$$

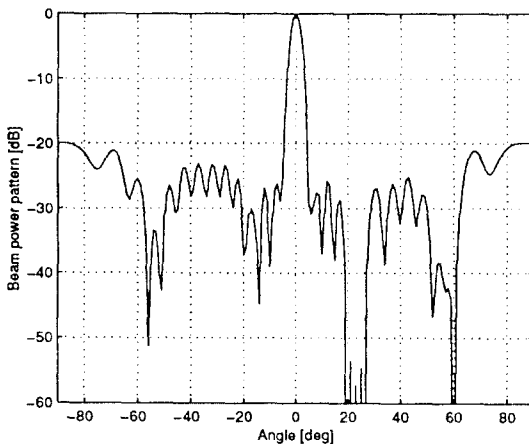


그림 4. 그림 3의 경우 보정 알고리즘을 적용하였을 경우의 빔패턴  
Fig. 4. Compensated beam pattern under the same condition as in Fig. 3.

## IV. 모의 실험 및 결과

그림 4는 그림 3에서와 같은 조건으로서 결함 소자가 있는 경우 보정 알고리즘을 사용한 후의 빔패턴을 나타낸다.

그림 5는 11개의 센서중 3, 5, 7번째 센서소자가 결함이 있는 경우로서 0°에서 단위 응답을 갖고 30°, 32°에서 null이 형성되도록 제한 조건을 주었으며 사용된 신호의 SNR은 0 dB, INR은 20 dB로 하였고 간섭신호는 40°, 60°로 입사된다고 가정하였다. -30dB부엽 레벨을 갖는 chebychev 계수 벡터를 이용하여 부엽의 레벨을 낮추었다.

그림 6에서는 21개의 센서중 1번에서 6번까지의 센서가 결함인 경우로서 그림 5에서 사용된 것과 동일한 조건을 사용하였다.

위의 세 가지 경우에 대한 모의 실험에서 부엽에서의 응답이 약간 고르지 못하나 비교적 낮은 응답을 보이고 있으며 간섭 신호 입사 방향에서 깊은 null이 형성됨을 알 수 있다.

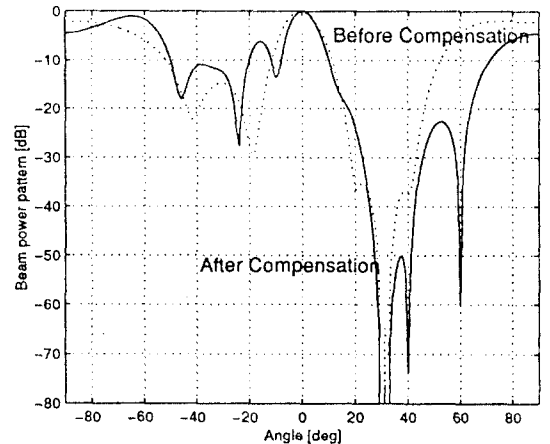


그림 5. 결함 소자가 있는 경우 보정 알고리즘 적용후의 빔패턴  
(센서수 : 11, 결함소자 : 3, 5, 7번째 소자, 제한조건 : 0°에서 단위 응답, 30°, 32°에서 null, SNR = 0dB, INR = 20dB, 간섭신호 : 40°, 60°)

Fig. 5. Compensated Beam pattern in the presence of faulty elements (number of sensor : 11, faulty elements : #3, #5, #7, constraints : unit response at 0°, null at 30°, 32°, SNR = 0dB, INR = 20dB, angles of arrival of interferences : 40°, 60°)

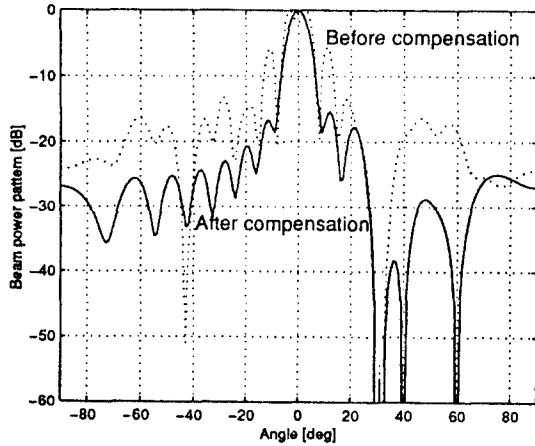


그림 6. 결함 소자가 있는 경우 보정 알고리즘 적용후의 빔패턴 (센서 수 : 21, 결함소자 : 1, 2, 3, 4, 5, 6번째 소자, 제한조건 : 0°에서 단위 응답, 30°, 32°에서 null, SNR = 0dB, INR = 20dB, 간섭신호 : 40°, 60°)

Fig. 6. Compensated Beam pattern in the presence of faulty elements (number of sensor : 21, faulty elements : #1, #2, #3, #4, #5, #6, constraints : unit response at 0°, null at 30°, 32°, SNR = 0dB, INR = 20dB, angles of arrival of interferences : 40°, 60°)

### V. 결 론

본 연구에서는 센서의 결함으로 인한 GSC 동작의 변형을 보정하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 계수 벡터 및 제한 조건 행렬을 정상 동작 군과 결함 소자 군으로 분리하여 처리한 후 보정된 계수 벡터를 구하였으며, 컴퓨터 모의 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 보정 능력을 검증하였다. 한편 입력 신호의 통계적 특성을 모르는 경우 결함 소자들을 가진 어레이에 적용 처리 알고리즘을 적용하여 GSC의 동작을 보정하는 알고리즘의 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. S. Haykin and A. Steinhardt, *Adaptive Radar Detection and Estimation*, John Wiley & Sons, 1992.
2. H. Liu, A. Ghafoor and P. H. Stockmann, "Application of Gram-Schmidt Algorithm to Fully Adaptive Arrays," *IEEE Trans. Aerospace & Electronic System*, Vol. AES-28,

- No. 2, pp.324-333, April 1992.
3. O. L. Frost III, "An Algorithm for Linearly Constrained Adaptive Array Processing," *Proc. IEEE*, Vol. 60, No. 8, pp.926-935, Aug. 1972.
4. L. J. Griffiths and C. W. Jim, "An Alternative Approach to Linearly Constrained Adaptive Beamforming," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-30, No.1, pp.27-34, Jan. 1982
5. E. L. Kelly, Jr. and M. L. Levin, "Signal Parameter Estimation for Seismometer Arrays," *Mass. Inst. Tech., Lincoln Lab., Tech. Report 339*, Jan. 1964.
6. N. L. Owsley, "A Recent Trend in Adaptive Spatial Processing for Sensor Arrays : Constrained Adaptation," in *Signal Processing*, ed., J. W. R. Griffiths, et al., pp.591-604, Academy Press, 1973.
7. M. H. Er and A. Cantoni, "Derivative Constraints for Broad-Band Element Space Antenna Array Processors," *IEEE Trans. ASSP*, Vol. ASSP-31, pp.1378-1393, Dec. 1983.
8. K. M. Buckley, "Spatial/ Spectrum Filtering with Linearly-Constrained Minimum Variance Beamformers," *IEEE Trans. ASSP*, Vol. ASSP-35, pp.249-266, Mar. 1987.
9. 이효근, "일부 소자 결손된 트랜스 듀서 배열의 빔 패턴 최적 설계," 연구 결과 보고서, 국방 과학 연구소, 1985.
10. M. H. Er and S. K. Hui, "Array Pattern Synthesis in the Presence of Faulty Elements," *Signal Processing(29)*, pp.57-65. Elsevier Science Publishers, 1992.
11. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 2nd ed., Prentice Hall, 1991.
12. K. M. Buckley, "Quiescent Pattern Control in Linearly Constrained Adaptive Arrays," *IEEE Trans. ASSP*, Vol. ASSP-35, pp.917-926, July 1987.
13. C. W. Jim, "A Comparison of Two LMS Constrained Optimal Array Structures," *Proc.*

IEEE, Vol. 65, No. 12, pp.1730-1731, Dec.  
1977.



洪宇永(Woo Young Hong)정회원

1960년생 5월 9일생

1982년 4월 : 해군사관학교 전자공학과 졸업(공학사)

1985년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 10월 : 미국 University of Minnesota(Ph. D.)

1991년 11월~현재 : 해군사관학교 전자공학과 교수(소령)

1995년 9월~현재 : 국방과학연구소 위촉연구원

\*주관심 분야 : Array signal processing, Adaptive Signal Processing, Fast Algorithm, Spectral Analysis



金炳哲(Byung Chul Kim) 정회원

1962년 3월 28일생

1981년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1987년 2월 : 아주대학교 전자공학과(공학석사)

1987년~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

\*주관심 분야 : 의용전자, 음향신호처리 및 배열 신호처리