

조합 알고리즘에 의한 초음파 트랜스듀서의 최적 지향성합성

Optimal Directivity Synthesis of Ultrasonic Transducers Using a Combined Algorithm

조 기 량*, 土屋 隆生**, 加川 幸雄**

(Ki Ryang Cho*, Takao Tsuchiya**, Yukio Kagawa**)

요 약

이 논문에서는 직접법을 이용하여 반복법인 BFGS법의 초기값을 설정하는 알고리즘을 제안하고, 이를 이용하여 점배열음원 형태의 적응형 초음파 트랜스듀서의 최적 지향성합성을 시도했다. 이의 유효성을 확인하기 위하여 부엽의 레벨을 -30dB 이하로 제한한 임의의 빔폭을 갖는 준이상 빔, 회전 빔, 그리고 다중 빔을 보기로 하여 점배열음원으로 형성되는 2차원 음장내의 지향성합성 문제 및 복수의 주파수에 대한 적응 지향성합성 시스템의 적응성 문제를 검토하였다.

수치계산 결과, 제안한 방법은 BFGS법 단독에 의한 지향성합성보다 수렴속도가 빠르고, 목적 지향성합성을 위한 오차 개선도 탁월하며, BFGS법과 같은 반복법에서 문제가 되는 초기치의 선택이 필요하지 않다는 장점도 있다. 또한, 제안법은 직접법 단독으로는 불가능한 적응제어도 가능하다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed an algorithm that used a direct method to set an initial value of Broydon-Fletcher-Goldfarb-Shanno(BFGS) method and, accordingly, conducted an experiment in optimal directivity synthesis of adaptive ultrasonic transducer by point source array.

To certify the efficiency of this method, quasi-ideal beam with arbitrary beam width, rotating beam, and multi beam, all with the limited side lobe level -30dB, were chosen to check the problem of directivity synthesis that was formed by point source array in the second dimensional sound field.

The numerical calculation results showed that the proposed method performed the directivity synthesis faster than the BFGS method did. In addition, the proposed method showed a good error correction for directivity synthesis, and did not demand the choice of initial value.

Finally, it is also shown that the proposed method can be used for the adaptive control that was not possible with the direct method alone.

I. 서 론

최적화 알고리즘을 이용한 적응제어 시스템은 여러 응용 분야에서 활발하게 연구되고 있다. 의료진단이나 어군탐지, 소나, 비파괴 검사 등의 분야에서 폭넓게 사용되고 있는 초음파 트랜스듀서의 지향성 설계에 초음파 소자배열과 최적화 알고리즘을 조합한 적응제어 시스템이 이용되고 있다^{1,3)}. 초음파 트랜스듀서는 그 용도에 따라 여러 가지 성능이 필요하지만, 그 가운데에서도 목적에 맞는 지향성합성이 중요하다.

최적화 알고리즘은 이제까지 여러 가지 방법이 제안되고

있지만, 최적해에 이르기까지의 수렴속도, 수렴과정에서의 안정성, 적응성 등에 특징을 가지기 때문에 초음파 트랜스듀서의 지향성합성에서 최적화 알고리즘의 선택은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소로 된다.

직선상의 배열음원에 최적화 알고리즘을 조합한 적응 지향성합성 방법에는 직접법, LMS법, DFP법, 그리고 직접법과 LMS법을 합성한 조합법^{4,6)} 등이 보고되어 있다. 직접법은 1회의 연산과정에 의해 직접적으로 목적지향성에 대응하는 점배열음원의 하중분포를 계산할 수 있기 때문에 계산시간 면에서 유리하지만, 연산에 의한 직접적인 제어를 할 수 없다는 것이 단점이다. 반복법인 LMS법과 DFP법은 적응제어는 가능하지만, 반복계산에 의한 계산시간이 문제로 되어 실시간 처리가 어렵게 된다. 또한, 반복법은 일반적으로 초기값이 필요하지만, 적절한 초기

* 여수대학교 전자통신공학과

** 岡山大學 工學部 電氣電子工學科

접수일자: 1999년 5월 3일

값의 선택은 어려운 경우가 많다. 특히, LMS법은 반복의 폭을 결정하는 매개변수가 수렴속도 및 수렴과정에서의 시스템의 발산 및 안정성 등에 영향을 미치기 때문에 매개변수의 적절한 선택이 필요로 하게 된다⁷⁾. 이와 같은 직접법과 반복법 각각의 문제점을 해결하기 위하여 이 논문에서는 직접법과 BFGS법을 조합시킨 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 먼저, 직접법에 의해 목적지향성에 대한 점배열음원의 근사적인 하중분포를 계산하여, 이것을 초기값으로 하여 BFGS 알고리즘에 의해 목적지향성에 대응하는 점배열음원의 최적 하중분포를 얻는 방법이다.

이 논문에서는 먼저 이 알고리즘의 유효성을 나타내고, 다음에 실효성을 고려하여 부엽 레벨을 -30dB 이하로 제한한 임의의 빔폭을 갖는 준이상 빔⁸⁾, 회전 빔, 그리고 다중 빔을 보기로 점배열음원에 의해 형성되는 2차원 음장내의 지향성합성 문제 및 복수의 주파수에 대한 적응 지향성합성 시스템의 적용성 문제를 검토한다.

II. 직선상의 배열음원에 의한 지향성합성

그림 1과 같이 자유공간에 구면파를 방사하는 음원을 배열길이 L인 일직선위에 N개의 점음원을 일정한 간격 d로 배열하였을 때, 음원으로부터 멀리 떨어진 원주에 위치한 관측점 m에서의 음압 p_m⁹⁾은

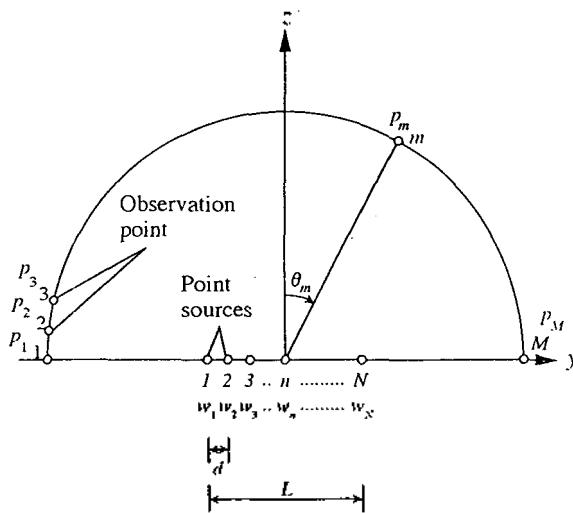


그림 1. 직선 배열 음원
Fig. 1. Point source array.

$$p_m = \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} s_{mn} w_n \quad (m=1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

과 같이 표시된다. 여기서

$$s_{mn} = e^{jkn d \sin \theta_m} \quad (2)$$

$$w_n = A_n e^{-j\phi_n} \quad (3)$$

이다. 식 (2)와 (3)에서 A_n 및 φ_n은 각각 n번째 점음원의 진폭 및 위상, 그리고 nd는 점배열음원의 중심으로부터 n번째 점음원까지의 거리를 나타낸다. 또한, k는 주파수 (= ω/c = 2π/λ, c는 음속, ω는 각주파수, λ는 파장)이다. m과 n은 각각 관측점수 및 점음원수, 그리고 θ_m은 z축을 중심으로 한 관측점까지의 방향각이다(이 논문에서는 중심의 0°를 포함하여 -90° ~ 90°까지 1° 간격으로 관측하는 것으로 두었다). 식 (1)은 행렬을 이용하면 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\{P\} = [S]\{W\} \quad (4)$$

식 (4)에서

$$\{P\} = \{p_1 \ p_2 \ \dots \ p_M\}^T \quad (5)$$

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1N} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{M1} & s_{M2} & \dots & s_{MN} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\{W\} = \{w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N\}^T \quad (7)$$

이며, 식 (5)와 (7)은 지향성 및 하중을 열벡터로 나타낸 것으로, T는 전치를 의미한다. 식 (4)는 모든 관측점에서의 지향성 벡터 {P}가 점음원의 위치와 관측점의 방위에 관계하는 형상행렬 [S]와 점음원을 구동하는 하중벡터 {W}와의 선형결합으로 표시되고 있으며, 이 식에서 음원의 형상이 변하지 않는다고 하면, 형상행렬은 일정하게 되고, 지향성벡터는 음원의 하중벡터만에 의해 지배되기 때문에, 하중벡터를 제어함에 따라 목적 지향성합성이 가능하게 된다. 따라서 지향성합성은 목적지향성을 만족시키도록 하중벡터를 결정하는 역문제(Inverse problem)¹⁰⁾로 귀착된다.

III. 조합 알고리즘에 의한 최적 지향성합성

BFGS법과 같은 반복법은 일반적으로 최적해에 가까운 해를 초기해로 설정하면 수렴과정에서의 발산이나 불안정성을 배제할 수 있고, 또한 수렴속도도 상대적으로 빠르게 할 수 있기 때문에 이 논문에서는 BFGS법의 초기 하중분포의 설정방법으로 직접법을 이용하였다.

제안한 알고리즘을 이용한 최적 지향성합성 방법은 먼저, 직접법으로 얻은 초기 하중분포⁽¹⁾와 형상행렬을 식 (4)와 같은 행렬계산에 의해 각 관측점 m에서의 지향성 크기 ||P_m||를 계산하고, 이것과 목적지향성 {Z_m}과의 오차

벡터 $\{\epsilon_m\}_i$ 를 식 (8)과 같이 구한다. 여기서, 목적지향성 $\{Z\}$ 는 크기만을 고려하였기 때문에 오차벡터에 대해서도 크기만을 고려하고 있다.

$$\{\epsilon_m\}_i = \{Z_m\} - \{|P_m|\}_i \quad (8)$$

여기서 i 는 반복수를 나타낸다. 또한, 식 (8)에 대한 제곱평균오차¹²⁾ E_i^2 은 (이하 목적함수라고 한다) 식 (9)로 된다.

$$E_i^2 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \{\epsilon_m\}_i^2 \quad (9)$$

식 (9)의 목적함수가 최소가 되면 목적으로 하는 지향성과 반복계산으로 얻은 지향성과의 오차는 최소로 되며, 이때의 하중벡터가 구하는 점배열음원의 최적 하중분포로 된다. 여기서 하중벡터를 조절하기 위한 구배벡터 $\{\nabla\}_i$ ¹³⁾는 식 (10)과 같이 정의한다.

$$\{\nabla\}_i = \left\{ \frac{\partial E_i^2}{\partial w_{1i}} \quad \frac{\partial E_i^2}{\partial w_{2i}} \quad \dots \quad \frac{\partial E_i^2}{\partial w_{Ni}} \right\}^T \quad (10)$$

식 (10)에서

$$\frac{\partial E_i^2}{\partial w_{ni}} = -\frac{2}{M} \sum_{m=1}^M \frac{\{\epsilon_m\}_i}{\{|P_m|\}_i} \{P_m\}_i \bar{s}_{mn} \quad (11)$$

이다. 식 (11)에서 n 과 $\bar{}$ 는 각각 점음원수 및 컬레 복소수를 나타낸다. 위에서 계산된 식 (9)의 목적함수 E_i^2 와 식 (10)의 구배벡터 $\{\nabla\}_i$, 그리고 초기하중분포를 BFGS 알고리즘에 적용하면 목적지향성에 대응하는 최적의 하중분포를 구할 수 있다.

일반적으로 BFGS법과 같은 준뉴턴법은 수렴의 안정화를 위하여 직선탄색을 병용하고, 반복에 의해 헤세(Hesse) 행렬의 근사 행렬 B_i ($i=1, 2, \dots$)을 계산하여 가는 방법¹⁴⁾으로 다음과 같은 연산수순에 의해 목적함수를 최소로 하는 최적 하중분포를 구한다.

- 1) 적당한 초기 하중분포 w_0 , 대칭행렬 B_0 를 선택하고, 반복횟수를 $i=0$ 으로 둔다.
- 2) 탐색방향 벡터 $d_i = -(B_i)^{-1} \{\nabla\}_i$ 를 계산한다.
- 3) 직선탄색 알고리즘을 이용하여 $w_{i+1} = w_i + \lambda d_i$, $E_i^2(w_{i+1}) < E_i^2(w_i)$ 를 만족시키는 매개변수 λ_{\min} ($\lambda_{\min} > 0$)을 구하고, 이를 이용하여 w_{i+1} 을 결정한다.
- 4) n 차원 벡터인 $(y_i)^T h_i > 0$ ($y_i = \{\nabla\}_{i+1} - \{\nabla\}_i$, $h_i = w_{i+1} - w_i$)가 성립하고 있으면 식 (12)와 같이 BFGS공식에 의해 B_i 를 갱신하여 B_{i+1}

을 정한다. $(y_i)^T h_i > 0$ 이 성립되어 있지 않은 경우에는 $B_{i+1} = B_i$ 로 한다.

$$B_{i+1} = B_i + \frac{y_i (y_i)^T}{(y_i)^T h_i} - \frac{B_i h_i (h_i)^T B_i}{(h_i)^T B_i h_i} \quad (12)$$

5) $i = i + 1$ 로 하여 Step 2)로 돌아간다.

BFGS 알고리즘에서는 Step 2)를 실행하기 전에 반복과정에서 얻어진 하중분포가 최적 하중분포에 충분히 근접하고 있는가를 판정하기 위하여 식 (13)과 같은 수렴판정조건이 이용되며, 또한 수치계산과정에서 목적함수가 -100dB이하로 되면 수렴되었다고 간주하여 반복과정을 종료하였다. 여기서, 반복횟수는 최대 100회로 하였다.

$$\begin{aligned} & \| \{\nabla\}_i \| < \epsilon_1 \\ & E_i^2(w_i) - E_i^2(w_{i+1}) < \epsilon_2 (1 + |E_i^2(w_i)|) \\ & \| w_{i+1} - w_i \| < \epsilon_3 (1 + \| w_i \|) \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)에서 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 > 0$ 은 충분히 작은 정수로, 이들을 값들 각각 $10^{-3}, 10^{-6}, 10^{-8}$ 으로 하였다. 그림 2는 이 논문에서 제안한 알고리즘을 이용한 최적 지향성합성 순서도이다.

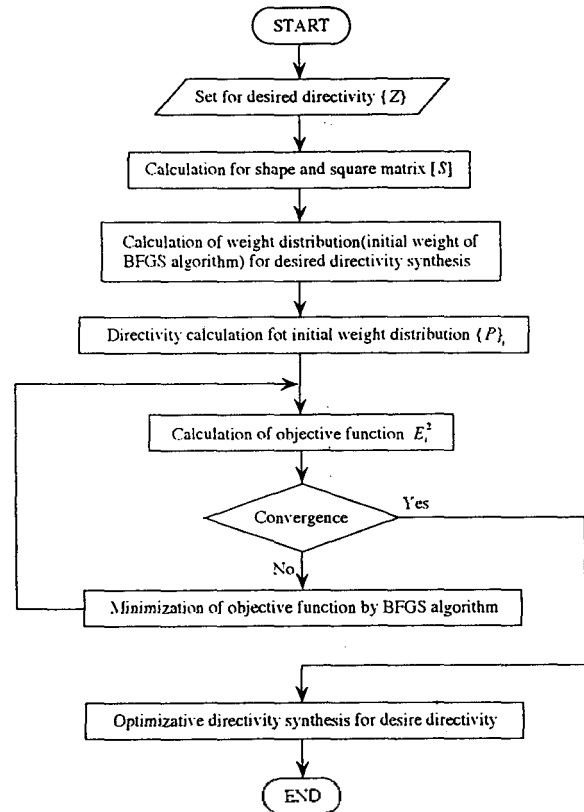


그림 2. 제안한 알고리즘에 의한 최적 지향성합성 순서도
Fig. 2. Flow chart for optimal directivity synthesis by proposed algorithm.

IV. 조합 알고리즘에 의한 최적 지향성합성 모의실험

초음파 트랜스듀서의 지향성을 설계하는 때에 고려해야 할 중요한 사양으로 주엽의 빔폭 및 부엽 레벨이 있다. 여기서는 이 논문에서 제안한 알고리즘에 이리한 설계 조건을 추가한 경우의 지향성합성에 관해서 검토한다.

제안한 알고리즘에서는 목적지향성과 i 번째 반복과정에서 계산된 지향성과의 오차는 식 (10)을 이용하여 평가한다. 이 경우, 반복 i 번째에서 계산된 지향성이 목적지향성보다 크거나 작아도 오차는 증대되는 방향으로 평가된다. 한편, 일반적으로 트랜스듀서는 부엽 레벨이 몇 dB이하이면 만족하다고 하는 허용범위가 지정된다. 따라서 오차 평가를 식 (10)을 이용하여 행하는 때에는 부엽 레벨이 허용범위 안에 있어도 오차가 과대 평가될 염려가 있다. 이런 경우에 대처하기 위하여 어느 관측점에서 지향성이 설계사양을 만족시키고 있으면 그 관측점의 오차를 완화하는(이 논문에서는 주엽의 감도 변화가 -3dB, 그리고 부엽 레벨이 -30dB 이하인 경우, 관측점의 오차를 각각 1/100로 평가) 방법을 취했다.

이상과 같은 오차 평가법의 유효성을 확인하기 위하여 준이상(quasi-ideal) 빔을 보기로 하여 지향성합성을 시도했다. 이상 빔은 지향각 내에서는 감도가 일정하고 그 외의 각도에서는 감도가 없다고 하는 지향성으로 정의된다. 그러나, 이상 빔은 물리적으로 실현 불가능하기 때문에, 부엽 레벨이 미리 정한 일정값 이하라고 하면 준이상 빔으로서 근사적으로 실현되었다고 가정한다. 계산 예로서는 설정된 빔폭에 대하여 부엽 레벨을 -30dB 이하로 제한한 준이상 빔, 회전 빔, 다중 빔을 모델로 하여 모의실험에 의한 지향성합성을 하고, 또한, 주파수 변화에 대한 시스템의 적응성도 검토하였다. 수치계산은 FORTRAN 77을 이용하여 배정도(double precision)로 했다.

4.1. 임의의 빔폭을 갖는 준이상 빔의 합성

제안한 알고리즘의 유효성을 확인하기 위하여, 그림 1에서 음원배열에 대하여 직각방향(0°)으로 방사하는 준이상 빔의(빔폭 10° , 부엽 레벨은 -30dB 이하로 설정) 지향성합성을 시도했다.

점배열음원은 그림 1에서 음원배열길이 $L=5.0\lambda$, 점음원수 $N=20$ 으로 (음원간격 0.263λ) 했다. 점음원 및 관측점은 등간격으로 배치되어 있다고 가정하고, 지향성합성에 대한 결과를 비교하기 위하여 직접법과 BFGS법 단독에 의한 계산도 함께 했다. BFGS법 단독의 경우는 하중분포의 초기값으로서 10과 11번째 점음원에만 진폭 1을 가하고 다른 점음원에 대해서는 전부 0(위상은 모든 음원에 0)으로 설정했다.

그림 3은 지향성합성 결과로 BFGS법은 반복횟수 8회째, 제안법은 1회째, 그리고 직접법은 반복과정 없이 직접적으로 얻어진 것으로 모든 방법에서 주엽의 빔폭 10° 를 거의 만족시키고 있으나, 부엽 레벨은 직접법, BFGS법, 그리고 제안법 순으로 낮은 크기를 나타내어 제안법이 다른 방법에 비해 목적 지향성합성이 잘 이루어지고 있

음을 알 수 있다. 그림 4는 그림 3의 각 지향성에 대응하는 음원의 하중분포로, a)는 진폭분포(최대값을 1로 규격화), b)는 위상분포를 나타내고 있다.

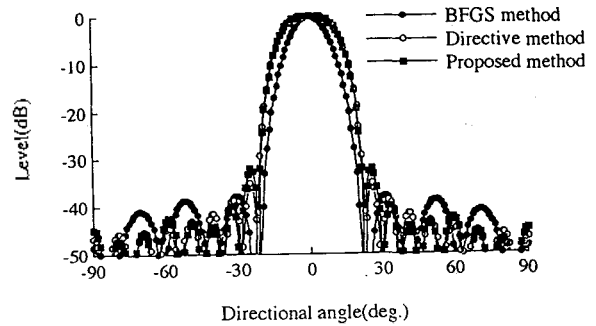
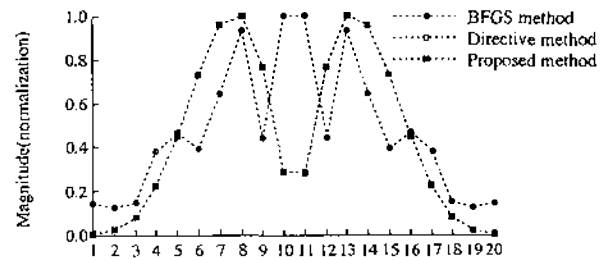
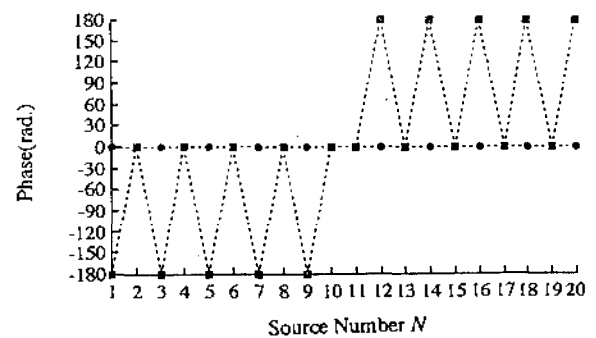


그림 3. 준이상 빔의 지향성합성 (빔폭 10°)
Fig. 3. Directivity synthesis for quasi-ideal beam (beam width 10°).



a) Magnitude distribution



b) Phase distribution

그림 4. 그림 3의 준이상 빔에 대응하는 하중분포
Fig. 4. Weight distribution which corresponds to directivity of Fig. 3.

그림 5는 그림 3의 지향성합성 과정에서 목적함수의 수렴과정을 표시한 것으로 BFGS법에서는 반복 8회째 (목적함수 -143.40dB), 제안법의 경우, 반복 1회째에서 (목적함수 -162.41dB) 수렴관정값 -100dB 이하를 만족시켜 수렴되었으며, 직접법은 -96.33dB의 목적함수를 나타내고 있다. 이와 같이 제안법은 직접법과 BFGS법에 비해 상

당한 오차 개선을 시키며, 또한 BFGS법 단독 계산에 비해 수렴속도도 매우 빠름을 알 수 있다.

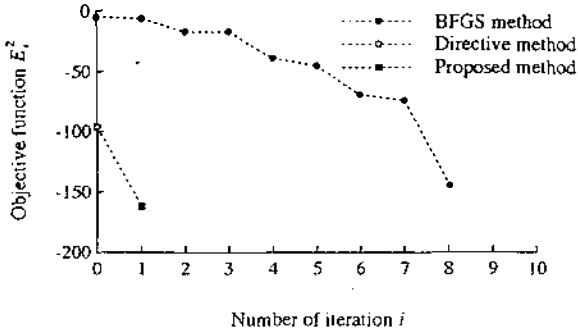


그림 5. 그림 3의 지향성합성에서의 수렴과정
Fig. 5. Convergence process for the directivity synthesis of Fig. 3.

한편, 음원조건을 (음원수, 음원배열길이 등) 고정시킨 상태에서는 어느 특정의 빔폭은 만족되나, 다양한 빔폭의 요구에는 적용시키기 힘들다. 그림 6은 빔의 방사방향을 0°로 고정하고 빔폭 5°에서 140°까지 변화한 경우의 각 방법의 목적함수를 5°간격으로 나타낸 것이다. 그림에서 제안법과 직접법은 빔폭 140°까지 설정한 빔폭 및 -30dB 이하의 부엽을 만족시키고 있으나, BFGS법의 경우, 120°이상에서는 급격하게 오차가 증대되어 최적 지향성합성이 불가능함을 알 수 있다. 제안법은 직접법에 비해 상당한 오차개선이 되고 있음을 알 수 있다.

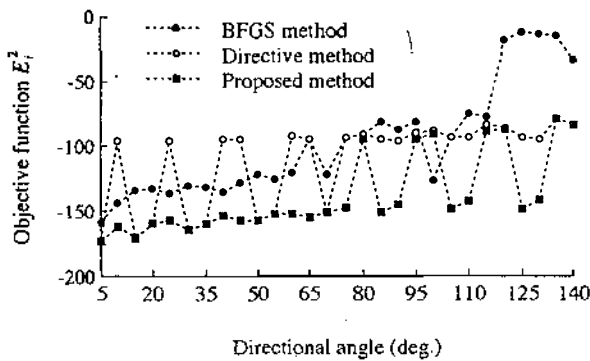


그림 6. 빔폭의 변화에 대응하는 목적함수
Fig. 6. Objective function which corresponds to change of beam width.

4.2. 회전 빔에 대한 지향성합성

초음파 진단장치에 사용되는 초음파 트랜스듀서는 기계적으로 빔을 회전시키지 않고, 음원의 하중분포를 전기적으로 변화시켜 목적으로 하는 방향으로 빔을 방사한다. 이와 같은 경우에도 설정된 빔폭 및 부엽 레벨이 변화하지 않아야 한다. 그림 7은 그림 1의 z축에서 반시계 방향으로 40° 회전시킨 준이상 빔(빔폭 10°)를 목적지향성으로 한 경우의 지향성합성 결과이다. 음원의 형상, 점음원수,

관측점수와 음원의 초기 하중분포(BFGS법의 경우)는 그림 3과 동일하게 하여 계산했다. 그림 7의 지향성은 각각 BFGS법의 경우는 반복 14회째, 제안법에서는 반복 1회째에서 얻어진 것으로 그림에서 제안법과 직접법은 설정한 방향에의 빔 회전 및 부엽 레벨도 적절하게 합성되어 있지만, BFGS법 단독에 의한 지향성합성은 전혀 적용제가 되고 있지 않음을 볼 수 있다.

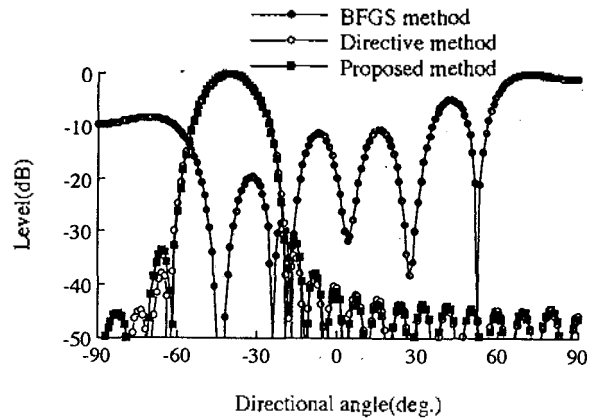


그림 7. 회전 빔에 대한 지향성합성 (빔폭 10°, 방사각 -40°)
Fig. 7. Directivity Synthesis of steering beam (beam width 10°, emission angle -40°).

그림 8은 음원의 형상, 점음원수, 관측점수를 그림 3과 동일하게 하여 빔폭 10°인 준이상 빔을 0°에서 60°까지 5°마다 회전시킨 때의 회전각에 대한 목적함수의 변화를 나타낸 것이다. 결과에서 제안법과 직접법은 어느 각도에서도 거의 -100dB 이하의 목적함수를 나타내고 있으나, BFGS법 단독의 경우, 회전각 35°에서부터는 거의 목적으로 하는 지향성합성이 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.

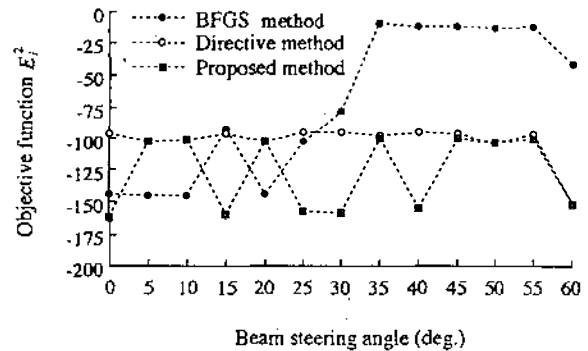


그림 8. Beam의 방사각에 대한 목적함수
Fig. 8. Objective function to beam emission angle.

4.3. 다중 빔에 대한 지향성합성

수중통신의 경우, 떨어진 2곳 이상의 상대와 동시에 통신하는 때에는 다중 빔이 필요로 하게 된다. 이 경우에도 희망하는 방향으로의 빔 방사는 물론 주엽의 빔폭, 그리고 부엽 레벨이 희망하는 사양을 만족시켜야 한다. 그림 9는

빔폭이 각각 10°인 다중 빔을 -30°와 45°양방향으로 방사하는 때의 지향성합성 예이다. 점배열음원의 음원조건은 그림 3과 동일하게 하였다. 그림에서 제안법(반복 3회째에서 목적합수 -148.81dB로 수렴완료)과 직접법(목적합수 -88.93dB)은 설정한 목적지향성을 거의 만족시키고 있지만, BFGS법 단독의 경우에는 전혀 목적지향성을 만족시키지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 이의 하나의 원인으로 부적절한 초기 하중분포 설정을 들 수 있다.

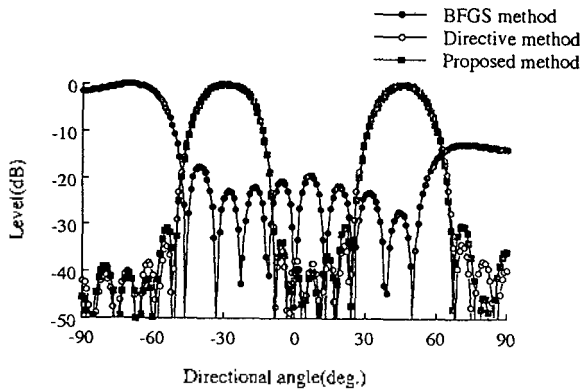


그림 9. 다중 빔의 지향성합성
Fig. 9. Directivity synthesis of multi-beam.

4.4. 복수의 주파수에 대한 지향성합성

분해능이나 측정거리를 절환하기 위하여 하나의 초음파 트랜스듀서로 여러 주파수의 음파를 송수신해야 하는 경우가 있다. 이 경우, 어떤 하나의 주파수에서 요구하는 사양을 만족시키고 있어도, 다른 주파수에서도 만족시킨다고는 할 수 없다. 일반적으로 배열음원에 의한 지향성합성은 주파수를 증가시킬수록 주엽의 빔폭이 좁아져 목적으로 하는 빔폭을 기대할 수 없다.

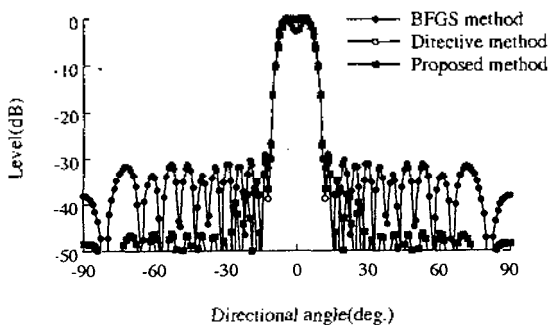


그림 10. 그림 3(f_0)에 대한 $2.5 f_0$ 에 대한 지향성합성
Fig. 10. Directivity synthesis for the $2.5 f_0$ of Fig. 3(f_0).

그림 10은 기본주파수 f_0 에 대한 2.5배의 주파수 $2.5 f_0$ 에 대해 적응제어를 한 경우의 주엽의 빔폭 10°, 그리고 부

엽 레벨을 -30dB 이하, 그리고 음원조건은 그림 3과 동일하게 설정한 경우의 지향성합성 결과이다. 그림에서, 동일한 사양의 기본주파수 f_0 에 대한 지향성합성 결과인 그림 3과 비교해 보면 $2.5 f_0$ 로 한 경우 부엽의 수가 증가했다는 것 외에는 모두 목적의 빔폭 10°와 -30dB 이하의 부엽 레벨을 만족시키나, 제안법과 (반복 28회째에서 목적합수 -93.16dB) 직접법의 경우는 (목적합수 -91.68dB) BFGS법 단독에 (반복 37회째에서 목적합수 -96.28dB) 의 한 지향성에 비해 낮은 부엽 레벨을 나타내며, 특히 주엽에서 평탄한 특성을 나타내고 있다.

V. 결 론

이 논문에서는 초음파 소자배열과 최적화 알고리즘을 조합한 적응제어 시스템의 최적 지향성합성을 실현하기 위하여 최적화 알고리즘으로 직접법과 BFGS법을 조합한 알고리즘을 제안하고, 임의로 설정된 빔폭의 준이상 빔, 회전 빔, 다중 빔, 그리고 복수의 주파수 이용에 대한 지향성합성 모의실험을 하였다.

반복법의 경우에는 최적해의 근방에 적당한 초기치를 선정하지 않으면 수렴이 보장되지 않는다는 문제점이 있으나 제안법에서는 직접법에 의해 최적해에 가까운 근사해를 초기치로서 이용하기 때문에 별도의 초기치를 설정할 필요가 없으며, 직접법을 이용하여 목적지향성에 대응하는 최적 하중분포에 근사적인 초기 하중분포를 구해 이를 직접적으로 BFGS 알고리즘에 가하기 때문에 반복법의 특성상 수렴에 이르기까지의 시간이 매우 빠르게 된 것은 물론 수렴과정에서 불안정성이나 발산 등이 발생하지 않는다. 그리고, 직접법만으로는 불가능한 오차제어를 행하여 설정한 목적지향성의 빔폭이나 부엽 레벨, 회전 빔, 다중 빔, 그리고 복합 주파수에 대한 최적의 지향성합성을 적응제어에 의해 용이하게 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. B. Widrow · S. D. Steans, Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1985.
2. 城戸健一, 騒音의アクティブ制御, 日本音響學會誌, vol. 47, no. 9, 1991, pp. 661~667.
3. 金田豊, 適應形雜音抑壓マイクロホンアレー(AMNOR)の指向特性, 日本音響學會誌, vol. 44, no. 1, 1988, pp. 23~30.
4. 土屋隆生·河野宏·加川幸雄, 超音波發受波器の最適指向性合成シミュレーション, 日本シミュレーション學會誌, vol. 12, no. 1, 1993, pp. 61~69.
5. 조기량, 초음파방사 직선배열점음원의 최적지향성합성 SIMULATION, 한국통신학회논문지, 20권, 7호, 1995년 7월, 1834~1840쪽.
6. 조기량, 직접법과 반복법(LMS법)의 합성 알고리즘을 이용한 직선배열 점음원의 적응지향성합성 SIMULATION, 한국통신학회논문지, 21권, 6호, 1996년 6월, 1453~1462쪽.
7. 浜田晴夫, アクティブフィルタの基礎(その2), 日本音響學會誌, vol. 45, no. 9, 1989, pp. 731~737.

8. 笹倉豊喜, 超音波送受波器の最適設計, Computrol no. 39, 1992.
9. 城戸健一, 音響工学, コロナ社, 東京, 1991.
10. 岡木良夫, 逆問題とその解き方, オーム社, 東京, 1992.
11. 이정남·조기량·이진선·이문수, 가우스소거법을 이용한 초음파 트랜스듀서의 지향성합성 SIMULATION, 한국전자과학기술논문지, 4권, 4호, 1995년 12월, 20~27쪽.
12. 高橋 裕·大西和菜, 最適化手法のための数学, Computrol no. 39, 東京, 1992.
13. 浜田晴夫, アクティブフィルタの基礎(その1), 日本音響学会誌, vol. 45, no. 8, 1989, pp. 624~630.
14. G. L. Nemhauser · A. H. G. Rinnooy Kan · M. J. Todd, OPTIMIZATION, Elsevier Science Publishers B. V., 1989.

▲조기량(Ki Ryang Cho)



1981년 : 광운공과대학 통신공학과 졸업
 1983년 : 전국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 : 일본 오카야마대학 자연과학 연구과(지능개발과학 전공) 박사수료
 1982년 : 이후 국립 여수대학교 전자통신공학과 재직,

현재 : 여수대학교 전자통신공학과 교수
 ※주관심분야 : 음향, 진동 해석 및 적응제어
 ※참가학회 : 한국통신학회, 한국전자과학회, 한국전자공학회, 일본 simulation 학회, 한국음향학회

▲土屋 隆生(T. Tsuchiya)

1989년 : 日本 同志社大學 大学院 工学研究科 電気工学 専攻 博士課程修了(工学博士)
 1998년 : 日本 岡山(오카야마)大學 工学部 電気電子工学 科 助教授
 ※주관심분야 : 파동·압전문제의 수치해석
 ※참가학회 : 일본 전자정보통신학회, 일본음향학회 회원

▲加川 幸雄(Y. Kagawa)

1963년 : 日本 東北(토호쿠)大學 大学院 工学研究科 教授
 1970년 : 日本 富山(토야마)大學 工学部 電気工學科 教授
 1990년 : 日本 岡山(오카야마)大學 工学部 電気電子工学 科 教授
 ※주관심분야 : 유한/경제요소법, TLM에 의한 전기·전자, 음향·진동, 생체공학 문제의 수치 시뮬레이션, 최적화·역문제
 ※참가학회 : 일본 시뮬레이션학회 회장, IEEE, IOA(UK), IETE(INDIA) 회원