한국음향학회지 제20권 제5호 pp. 61~68 (2001)

적응형 초음파 트랜스듀서의 지향성 최적화를 위한 구배계산법의 비교

Comparison of Gradient Calculation Methods for Directivity Optimization of Adaptive Ultrasonic Transducers

조 기 량 (曺 基 亮)*, 土屋 隆生**, 加川 幸雄**, 박 규 칠 (朴 奎 七)**
(Ki-Ryang Cho*, Takao Tsuchiya**, Yukio Kagawa**, Kyu-Chil Park**)

*麗水大學校 電子通信工學科, **秋田縣立大學 電子情報System工學科, 日本
(접수일자: 2001년 1월 26일; 수정일자: 2001년 5월 10일; 채택일자: 2001년 5월 26일)

본 논문에서는 목적함수에 대한 구배계산을 위한 해석적인 방법과 차분근사법을 점배열음원과 최적화 알고리즘 (DFP법: davidon-fletcher-powell)을 조합한 적응형 초음파 트랜스듀서의 지향성 최적화에 적용하였다. 위의 두 방법에 대한 성능을 비교하기 위하여 준이상 빔 (quasi-ideal beam)과 회전 빔을 목적지향성으로 설정하였다. 수치적인 실험 결과, 차분근사법은 부엽 (side lobe) 레벨의 억압능력은 물론 수렴과정에서의 안정성, 수렴속도, 적응성 면에서 해석적인 계산법에 비해 탁월함을 나타내었다.
핵심용어: 초음파 트랜스듀서, 최적화 알고리즘, DFP법, 지향성 최적화
투고분야: 음성처리 분야 (2,2)

In this paper, an analytical method and a difference approximation method to calculate the gradient of an objective function have been applied to the directivity optimization in an adaptive ultrasonic transducer which is combined with a point source array and an optimization algorithm (DFP method).
To compare these two methods, quasi-ideal beam with a beam width and direction specified are chosen as the desired directivity. As the numerical results, the difference approximation method shows better suppressive capacity of side lobe level, good stability in the convergence processing, faster convergence speed and excellent adaptability compared with the analytical method.
Keywords: *Ultrasonic transducer, optimization algorithm, DFP method, Directivity optimization.*
ASK subject classification: *Speech signal processing (2,2)*

I. 서 론

초음파 트랜스듀서는 의료진단, 소나, 비파괴 검사등에 사용되고 있다. 초음파 트랜스듀서는 그 용도에 따라 다양한 특성이 요구되지만, 그 중에서도 목적에 맞는 지향성을 합성하는 것은 중요한 과제 중의 하나이다. 근래에는, 초음파 소자의 배열과 최적화 알고리즘[1-4]을 합성하여 종래의 장치로는 불가능했던 성능을 가지는 새로운 적응형 초음파 트랜스듀서가 폭넓게 연구되고 있다. 이와 같은 적응형 초음파 트랜스듀서의 성능은 목적 지향성합성에 이르기까지의 수렴속도, 수렴 과정에서의

책임저자: 조기량 (krcho@imfo.yosu.ac.kr)
550-749 전남 여수시 둔덕동 산96-1
여수대학교 전자통신공학과
(전화: 061-659-3236; 팩스: 061-659-3236)

안정성, 적응성 등을 이용하여 평가하기 때문에 최적화 알고리즘의 선택은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소가 된다.

수치계산 프로그램을 이용한 지향성합성 방법에는 Gauss 소거법으로 대표되는 직접법[5]과 LMS (least mean squne)법, DFP법, BFGS (broyden-fletcher-goldfarb-shanno)법과 같은 반복법[6-9] 등이 보고되고 있으나, 일반적으로 시스템의 적응성을 고려하여 최적화 알고리즘으로 반복법이 이용된다. 반복법은 설정된 목적 지향성과 반복계산에 의해 합성된 지향성과의 2승평균오차 (mean square error, 이하 목적함수라고 한다)를 최적화 알고리즘에 의해 최소화 (이상적으로는 0)하여 목적지향성을 실현한다. 반복법은 계산과정에서 하중분포를 조절하기 위하여 목적함수에 대한 구배 (gradient)의 계산이 요구되며, 일반적으로 해석적인 방법 또는 차분근사법을 이용하여 행한다. 이 경우, 각각의 수치계산법에 따라 시스템의 양호도를 평가하는 목적으로 하는 최적의 지향성합성에 이르기까지의 수렴속도, 수렴과정에서의 안정성, 그리고 적응성 등에 영향을 미치게 된다. 따라서, 적응형 초음파 트랜스듀서에서 최적의 성능을 구현하기 위해서는 목적함수의 구배계산에 대한 객관적인 비교 분석 데이터가 필요하다.

본 논문에서는 위의 두 계산방법이 최적 지향성합성에 미치는 영향을 수렴성, 적응성 그리고 안정성 면에서 수치적으로 검토하였다. 또한, 이를 토대로 주엽 (main lobe)의 반치각이나 부엽 (side lobe)의 억압레벨을 임의로 설정할 수 있는 실용적인 지향성합성 · 설계를 목적으로 하고 있다. 최적 지향성합성을 위한 최적화 알고리즘으로는 수렴의 안정성이 뛰어난 비선형 최적화 알고리즘인 DFP법을 사용하였다.

II. 직선배열음원에 의한 지향성합성

Fig. 1과 같이 자유공간에 배열길이 L의 일직선상에 점음원을 일정한 간격 d로 N개 배열하였을 때, 음원으로부터 멀리 떨어진 원지점의 원주상에 위치한 관측점 m에서의 음압 p_m은 식 (1)과 같이 된다.

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

식 (1)에서

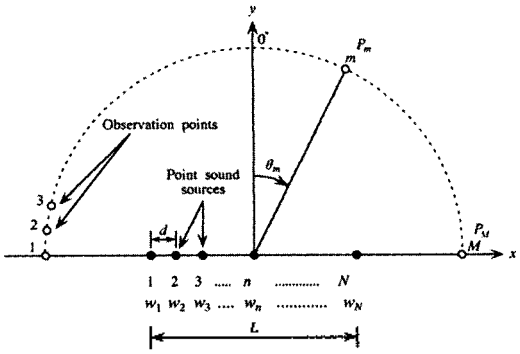


Fig. 1. Point source array.

$$s_{mn} = e^{jknd\sin\theta_m} \qquad (2)$$

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

이다. 식 (2)에서 nd는 점음원배열의 중심으로부터 n번째 점음원까지의 거리, k는 파수 ($\omega/c = 2\pi/\lambda$, c는 음속, λ는 파장), M과 N은 각각 관측점수 및 점음원수, 그리고 θ_m은 관측점의 중심선 (Fig. 1에서의 0°)으로부터의 방위각을 나타내며, 식 (3)에서의 A_n 및 ϕ_n은 각각 n번째 점음원의 진폭 및 위상이다. 식 (1)은 식 (4)와 같이 행렬식으로 표시할 수 있다.

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

여기에서, 행렬 $[S]$는 음원의 형상과 관측점의 방위에 관계하고, 벡터 $\{W\}$는 음원진동속도의 진폭 및 위상에 관계하기 때문에 각각 형상행렬 (shape matrix) 및 하중벡터 (weighting vector)라고 한다.

식 (4)에서 형상행렬이 일정하다고 가정하면, 지향성벡터는 하중벡터에 의해 지배되며, 본 논문에서와 같이 지향성벡터를 목적지향성으로서 미리 설정한 경우, 이는 목적지향성합성을 위하여 하중벡터를 조정하는 역문제 (inverse problem)[10]로 귀착된다.

III. DFP법에 의한 적응지향성합성

해석적인 방법과 차분근사법에 의한 구배의 계산이 지향성합성에 미치는 영향을 수치적으로 검토하기 위한 최적화 알고리즘으로는 준-뉴톤 (quasi-Newton)법의 일종인 DFP법을 이용하였다. DFP법은 수렴의 안정화를 위해 직선탐색을 병용하고, Hessian행렬의 근사행렬을 반복계산하는 방법으로, 뉴톤법의 문제점을 개선한 알고리

즘이다. Fig. 2는 DFP법을 이용하여 최적의 지향성합성을 위한 적응제어 시스템을 나타낸 것으로, 이 시스템은 미리 설정한 목적지향성 $\{Z\}$와 각각의 음원배열에 임의의 초기값을 가했을 때 계산된 지향성 $\{P\}$와의 오차 $\{e\}$가 최소값 (이상적으로는 0)을 가지도록 최적화 알고리즘을 이용하여 반복계산에 의해 목적지향성에 대응하는 음원배열의 최적 하중분포를 구하고, 이를 음원배열에 가하여 지향성합성을 실현한다.

Fig. 2에서 k회째 반복에서 계산된 오차벡터 $\{e\}_k$는 목적지향성 $\{Z\}$과 계산된 지향성의 절대치 $\{|P|\}_k$와의 차, 즉

$$\{e\}_k = \{Z\} - \{|P|\}_k \tag{5}$$

이다. 단, 목적지향성 $\{Z\}$는 크기만을 생각하기 때문에 오차벡터 $\{e\}_k$에 관해서도 크기만을 고려하고 있다. 오차의 감소정도를 평가하기 위한 목적함수 F는

$$F = \frac{1}{M}\{e\}_k^T\{e\}_k \tag{6}$$

로 된다. 식 (6)에서 윗첨자 T는 전치 (transpose)를 의미하며, 목적함수가 최소치가 되도록 하중분포를 조절하면, 이때의 하중분포가 목적지향성에 대응하는 음원배열의 최적의 하중분포로 된다. DFP법과 같은 반복법에서는 하중분포를 조절하기 위한 구배벡터 $\{\nabla\}_k$를 식 (7)과 같이 정의한다.

$$\{\nabla\}_k = \left\{\frac{\partial F}{\partial w_{1k}} \quad \frac{\partial F}{\partial w_{2k}} \quad \cdots \quad \frac{\partial F}{\partial w_{Nk}}\right\}^T \tag{7}$$

목적지향성에 대응하는 최적의 하중분포를 구하기 위한 DFP법의 계산과정은 먼저, 반복 k회째의 하중벡터와 구배벡터를 각각 $\{W\}_k$, $\{\nabla\}_k$, 그리고 반복에

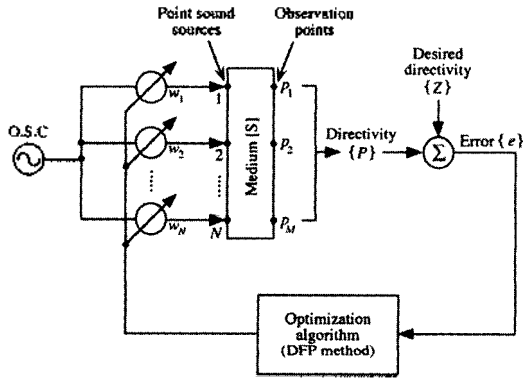


Fig. 2. Adaptive system for optimal directivity synthesis.

따라 Hessian의 역행렬로 수렴하는 근사행렬을 $[H]_k(k=1,2,\ldots\ldots)$ 로 하여 $-[H]_k\{\nabla\}_k$ 방향으로 목적함수 $F(\{W\}_k - \lambda[H]_k\{\nabla\}_k)$를 최소화하는 $\lambda_{\min}$을 직선탐색법으로 구한다. 그 다음에 $\lambda_{\min}$을 이용하여 $k+1$회째의 하중벡터 $\{W\}_{k+1}$을 식 (8)과 같이 구한다.

$$\{W\}_{k+1} = \{W\}_k + \lambda_{\min}[H]_k\{\nabla\}_k \tag{8}$$

그리고, 하중벡터 $\{W\}_{k+1}$에 대한 구배벡터 $\{\nabla\}_{k+1}$을 구하여, $[H]_{k+1}$를 식 (9)와 같이 DFP공식[11]에 따라 갱신한다.

$$[H]_{k+1} = [H]_k + \frac{\Delta\{W\}_k(\Delta\{W\}_k)^T}{(\Delta\{\nabla\}_k)^T\Delta\{W\}_k} - \frac{[H]_k\Delta\{\nabla\}_k(\Delta\{\nabla\}_k)^T[H]_k}{(\Delta\{\nabla\}_k)^T[H]_k\Delta\{\nabla\}_k} \tag{9}$$

식 (9)에서

$$\Delta\{\nabla\}_k = \{\nabla\}_{k+1} - \{\nabla\}_k \tag{10}$$

$$\Delta\{W\}_k = \{W\}_{k+1} - \{W\}_k = -\lambda_{\min}[H]_k\{\nabla\}_k \tag{11}$$

이고, 위의 과정을 반복하여 수렴에 이르게 된다. 실제의 계산에서는 각 반복과정에서 음원배열의 하중벡터가 최적해에 충분히 근접해 있는가를 판단하기 위하여 다음과 같은 수렴판정조건을 이용한다.

$$[H]_k(|\nabla f(\{W\}_k)|) < \varepsilon_1\varepsilon_2 \tag{12}$$

$$(|\nabla f(\{W\}_k)|) < \varepsilon_2 \tag{13}$$

$$\lambda_{\min}(|\nabla f(\{W\}_k)|) < \varepsilon_2 \tag{14}$$

단, 식 (12), (13), (14)에서 ε_1, ε_2는 매우 작은 값으로, 본 논문에서는 이들 값을 각각 10^{-5}으로 하였다. Fig. 3은 DFP법에 의한 지향성합성과정의 순서도를 나타내고 있다.

IV. 구배의 해석적인 방법과 차분근사법에 의한 계산

식 (7)의 목적함수에 대한 구배벡터의 계산은 일반적으로 식 (5)의 오차공식을 이용하여 직접적으로 공식의 계

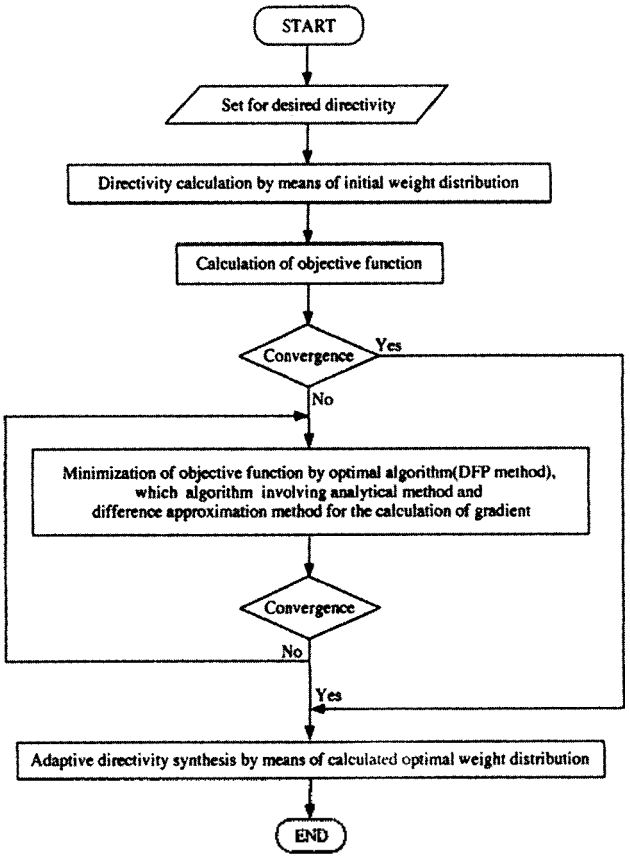


Fig. 3. Flowchart for adaptive directivity synthesis by DFP method.

산에 의해 구하는 방법 (해석적인 방법)과 규칙적인 연산의 반복에서 그 위력을 발휘하는 수치계산에 매우 적합한 방법인 차분근사를 이용하여 계산하는 방법 (차분근사법)을 이용한다. 본 논문에서와 같이 이산적인 목적함수가 주어진 경우와 해석적인 구배계산이 불가능하지는 않지만, 계산이 복잡한 경우에는 수치계산에 의한 구배의 계산이 더욱 효과적이다[12]. 최적 지향성합성문제에서 위의 두 계산방법은 수치적인 오차, 수렴특성, 안정성 등에 영향을 미친다.

4.1. 구배의 해석적 방법에 의한 계산

식 (6)의 목적함수 F는 식 (5)의 오차 $\{e\}_k$를 이용하면

$$F=\frac{1}{M}\{e\}_k^T\{e\}_k$$
$$=\frac{1}{M}(\{Z\}^T\{Z\}-2\{|P|\}_k\{Z\}+\{|P|\}_k^T\{|P|\}_k) \quad (15)$$

이 된다. 이를 이용하여 식 (7)에서 정의된 구배벡터 $\{\nabla\}_k$를 해석적으로 계산하면 다음과 같이 된다.

$$\{\nabla\}_k=\frac{\partial F}{\partial w_{nk}}=-\frac{2}{M}\frac{\partial\{|P|\}_k^T}{\partial w_{nk}}\{e\}_k \quad (16)$$

식 (16)에서

$$\frac{\partial\{|P|_k\}}{\partial w_{nk}}=\left\{\frac{p_1 s_{1n}^*}{|p_1|_k}\ \frac{p_2 s_{2n}^*}{|p_2|_k}\ \cdots\ \frac{p_M s_{Mn}^*}{|p_M|_k}\right\} \quad (17)$$

여기에서, *은 공액복소수를 의미한다. 이와 같이 해석적인 방법에 의해 식 (16)의 구배벡터 $\{\nabla\}_k$가 구해지면, 이 구배벡터와 식 (6)의 목적함수를 DFP 알고리즘에 적용함으로서 해석적인 방법에 의한 지향성합성이 이루어지게 된다.

4.2. 구배의 차분근사법에 의한 계산

미분방정식을 차분근사식으로 근사하여 해를 구하는 차분근사법은 열전도 문제, 응력분포, 왜곡분포를 구하는 문제 등과 더불어 적응방법을 이용한 지향성합성 문제에도 적용될 수 있다. 1차 편미분 함수에 대한 유한 차분근사법에는 전진 차분근사법, 후퇴 차분근사법, 그리고 중심 차분근사법이 있으나, 본 논문에서는 감도의 정도

(precision)가 좋은 중심 차분근사법[13]에 의해 구배벡터를 수치적으로 계산하는 프로그램을 작성하여 지향성합성을 행하였다. 중심 차분공식을 이용한 반복 k번째에서의 구배벡터 $\{\nabla\}_k$는 식 (18)과 같이 계산한다.

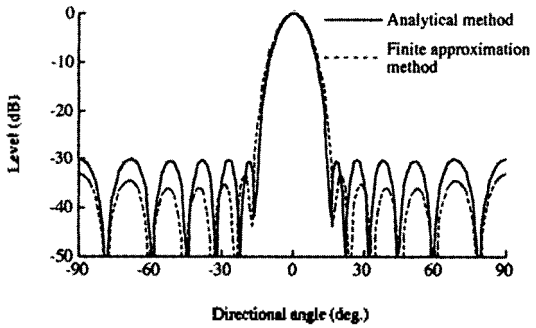
$$\{\nabla\}_k = \frac{\partial F}{\partial w_{nk}} = \frac{f(\{W\}_k + h) - f(\{W\}_k - h)}{2h} = \frac{F_1 - F_2}{2h} \tag{18}$$

여기에서 F_1과 F_2는 각각 k회째의 하중분포에 갱신치 (step size)를 결정하는 파라미터 h를 가산했을 때와 감산했을 때의 목적함수의 계산치를 나타내고 있다. 이와 같이, 중심 차분공식에 의해 식 (18)의 구배벡터가 구해지면, 차분근사법에 의한 지향성합성은 식 (6)의 목적함수와 식 (18)의 구배벡터를 DFP 알고리즘에 적용함으로써 실현할 수 있다.

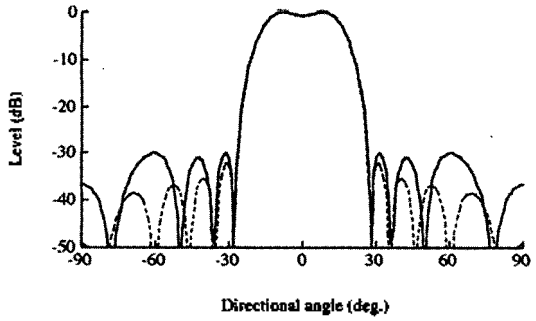
V. 배열음원에 의한 지향성합성

구배계산을 위한 위의 두 계산방법이 지향성합성에 미치는 영향을 수치적으로 검토하기 위하여 준이상 (quasi-ideal beam)빔과 회전 빔을 예로 하여 실용적인 지향성합성에 이르기까지의 수렴속도, 수렴과정에서의 안정성, 적응성, 그리고 부엽 (side lobe)의 억압능력 등을 비교하였다. 이상 빔은 지향각내의 감도가 일정하고, 그 이외의 각도에서는 감도가 없다고 하는 지향성으로 정의된다. 그러나, 이상 빔은 물리적으로 실현이 불가능하기 때문에 부엽 (side lobe) 레벨이 미리 정한 일정치 이하라고 하면 준이상 빔으로서 근사적으로 실현되었다고 가정한다[14].

한편, DFP법과 같은 반복법은 식 (5)와 같은 오차평가법을 이용한다. 그러나, 식 (5)의 오차평가법을 지향성합성문제에 적용하는 경우, 부엽 (side lobe) 레벨 (일반적으로 초음파 트랜스듀서의 지향성을 설계하는 때에 고려해야할 중요한 사양으로서 주엽 (main lobe)의 반치각 및 부엽 (side lobe)의 억압 레벨, 특히 지향성합성문제에서는 부엽 (side lobe) 레벨이 몇 dB이하이면 만족하다고 하는 허용범위가 지정된다)이 허용범위 안에 있어도 오차가 과대 평가될 염려가 있으며, 또한 반복계산에 의해 합성된 지향성이 목적지향성보다 크거나 작아도 오차는 증가하는 방향으로 평가될 수 있다. 이런 경우에 대처하기 위하여 어느 관측점에서 지향성이 설계사양을 만족시키고 있으면 그 관측점의 오차를 완화하는 (본 논문에서는



(a) Beam width 5°



(b)Beam width 25°

Fig. 4. Directivity synthesis of quasi ideal beam(N = 15, L = 5.0 λ).

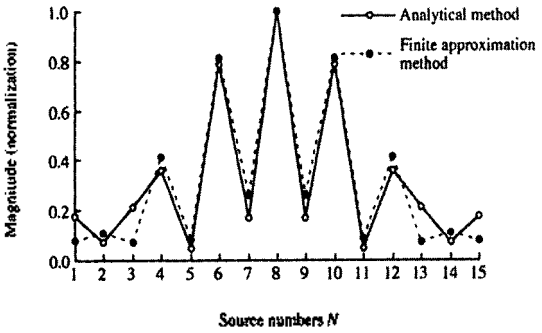
지향각 내에서의 감도 변화가 -3dB 이하, 그리고 부엽 (side lobe) 레벨이 -30dB 이하인 경우, 관측점의 오차를 각각 1/100로 평가한다) 방법을 취했다.

수치계산에서 반복횟수는 최대 100회로 하였으며, 반복과정에서 목적함수 값이 -100dB 이하로 되면 수렴되었다고 가정하여 반복계산을 종료하였다. 이하의 모든 수치계산은 배정도 (double precision)로 하였다.

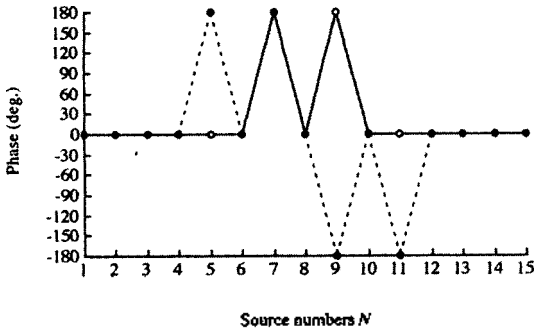
5.1. 설정된 반치각, 부엽 (side lobe) 레벨에 대한 지향성합성

Fig. 4의 (a), (b)는 음원배열에 대해 중심방향 (θ_m = 0°)으로 빔을 방사하는 반치각 5° 와 25° 의 준이상 빔에 대한 지향성합성 결과이다. 음원은 길이 L = 5.0 λ에 15개 (음원간격 0.357 λ)의 점음원을 직선상에 등간격으로 배열한 것으로 하였다. 단, 하중분포의 초기조건은 8번째의 점음원에만 진폭 1, 나머지 음원은 0으로 하고 위상은 모든 음원에 대하여 0으로 했다. 그림에서 실선은 해석적인 방법, 점선은 차분근사법을 이용하여 합성된 지향성을 나타내고 있다.

Fig. 4의 지향성합성 결과를 비교해 보면, 두 방법 모두

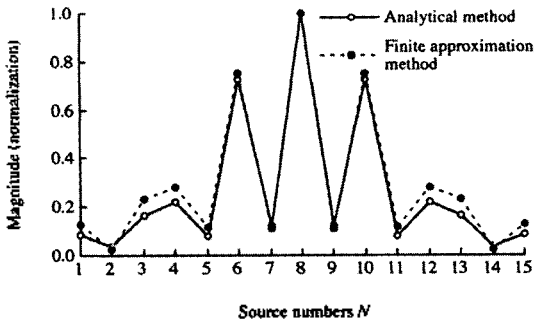


(a) Magnitude distribution

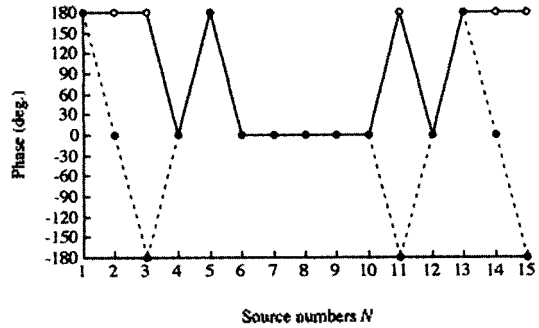


(b) Phase distribution

Fig. 5. Weight distribution which correspond to each directivity of fig. 4 (a).



(a) Magnitude distribution



(b) Phase distribution

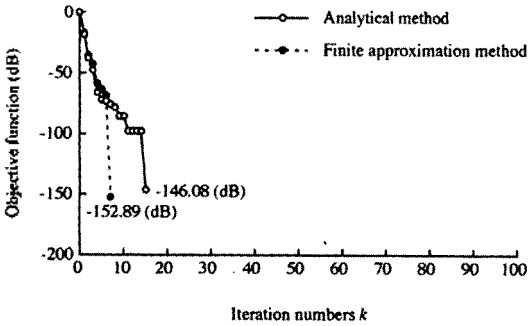
Fig. 6. Weight distribution which correspond to each directivity of fig. 4 (b).

설정한 주엽 (main lobe)의 반치각 및 -30dB 이하로 설정한 부엽 (side lobe) 레벨도 만족하고 있으나, 해석적인 방법에 비해 차분근사법을 이용한 경우가 부엽 (side lobe) 레벨이 현저하게 억제되고 있고, 또한 설정한 목적 지향성에 근접함을 알 수 있다. Fig. 5, 6은 Fig. 4의 각각의 지향성에 대응하는 배열음원의 하중분포로서 a)는 최대치를 1로 규격화시킨 반치각 5° 와 25° 의 지향성에 대응하는 각각의 진폭분포, (b)는 위상분포를 나타낸다. Fig. 7은 Fig. 4의 지향성합성에 있어서 반복횟수에 따른 목적함수의 수렴과정을 나타낸 것이다. 여기에서 반치각 5° 의 경우, 해석적인 방법에서는 반복 15회째 (-146.08 dB), 그리고 차분근사법을 이용한 경우에는 반복 7회째 (-152.89dB)에서 수렴판정조건인 -100dB 이하를 만족하여 수렴완료 됨을 나타낸다. 이와 같이 반치각 5° 의 경우, 차분근사법이 해석적인 방법에 비해 수렴속도도 빠르고, 6dB 이상의 오차감소를 나타내어 유용한 지향성합성이 이루어짐을 알 수 있다. 반치각 25° 의 경우, 해석적인 방법에서는 반복 9회 (목적함수 -86.10dB)에서 수렴에 이르나, 반복 6, 7, 8회째의 수렴과정에서 불안정함을 나타낸다. 반면에, 차분근사법은 반복 12회째 (목적함수 -92.45dB)에서 수렴에 도달하나, 수렴과정이 안정하고, 해석적인 방법에 비해 6dB 정도의 오차감소를 나타낸다.

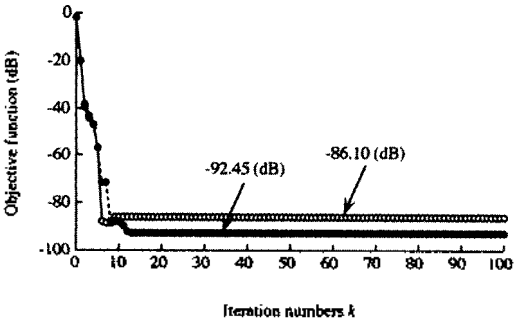
한편, Fig. 8은 반치각 25° 의 목적지향성에 대해 음원배열의 길이를 변화시켰을 때 ($L = 7.0\lambda$)의 두 방법에 의한 지향성합성 결과이다. 여기에서, 해석적인 방법 (목적함수 -68.20dB)은 지향각 내에서 이득변동이 심하고, 설정한 반치각에 비해 넓은 지향특성을 갖으며, 또한 부엽 (side lobe) 레벨이 -30dB를 상회하여 실용적인 지향성합성을 만족하지 못하나, 차분근사법 (목적함수 -83.69dB)은 주엽 (main lobe) 및 부엽 (side lobe) 레벨이 설정치를 거의 만족하는 지향성합성이 이루어짐을 알 수 있다. 이와 같이, 적응성 면에서도 차분근사법이 우수함을 알 수 있다.

5.2. 회전 빔에 대한 지향성합성 시뮬레이션

초음파 진단장치에 사용되는 초음파 트랜스듀서는 기계적으로 빔을 회전시키지 않고, 음원의 하중분포를 전기적으로 변화시켜 목적으로 하는 방향으로 빔을 방사하는 방법을 채택한다. Fig. 9는 음원배열의 중심에서 좌측 방향으로 40° 회전시킨 ($\theta_m = -40°$) 반치각 10° 의 회전 빔을 목적지향성으로 설정한 경우의 지향성합성 결과이다. 배열음원은 음원수의 변화에 대한 적응성을 비교하



(a) Beam width 5°.



(b) Beam width 25°.

Fig. 7. Convergence process for the each directivity of fig. 4.

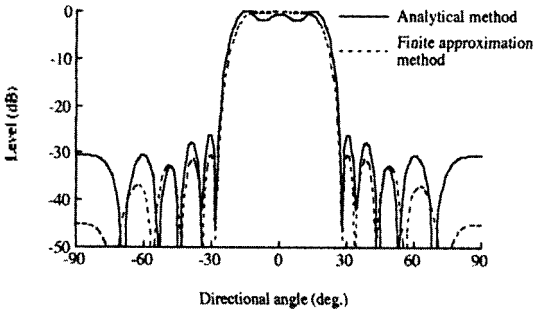


Fig. 8. Directivity synthesis of quasi ideal beam (beam width 25°, N = 15, L = 7.0 λ).

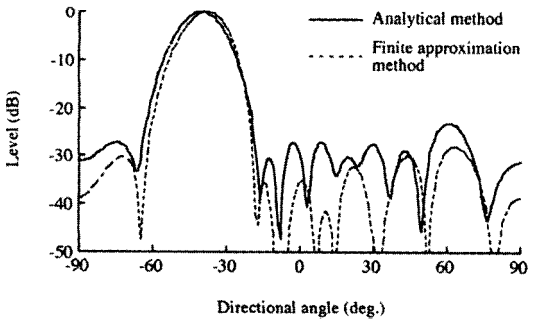


Fig. 9. Directivity synthesis of quasi ideal beam (beam steering -40°,beam width 10°, N = 11, L = 5.0 λ).

기 위하여 길이 L = 5.0 λ에 11개 (배열간격 0.50 λ)의 점음원을 직선상에 등간격으로 배열하는 것으로 하였으며, 배열음원의 초기조건으로는 6번째의 음원에만 진폭을 1을 가하고, 그 외의 음원에 대해서는 0으로 하였다. 초기위상은 전부 0으로 하였다.

Fig. 9에서 점선은 차분근사법, 그리고 실선은 해석적인 방법에 의한 지향성합성결과로서 차분근사법 (목적함수 −72.33dB)에 의한 지향성은 설정한 반치각 10° 와 −30 dB 이하의 부엽 (side lobe) 레벨을 전체적으로 만족하고 있는 반면, 해석적인 방법 (목적함수 −59.96dB)을 이용한 경우의 지향성은 반치각 10° 는 거의 만족하고 있으나, 부엽 (side lobe) 레벨이 전체적으로 −30dB를 상회함으로서 실용적인 지향성합성이 어려움을 알 수 있다.

이상과 같이, 구배계산에 차분근사법을 이용한 적응설계방법은 초음파 트랜스듀서의 최적 지향성합성에 유효함을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 최적화 알고리즘을 이용한 지향성합성 문제에 있어서 하중분포를 조절하기 위한 구배의 차분근사법과 해석적인 방법에 의한 계산이 지향성합성에 미치는 영향을 수렴성, 적응성, 그리고 안정성 면에서 수치적으로 검토하였다. 지향성합성과정에서 목적지향성에 대응하는 배열음원의 최적하중분포를 구하기 위하여 수렴의 안정성이 뛰어난 DFP법을 최적화 알고리즘으로 이용하였으며, 목적지향성으로 준이상 빔과 회전 빔을 설정하고, 이에 대한 지향성합성을 시도하였다. 지향성합성을 통해 두 계산방법을 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 차분근사법은 해석적인 방법에 비해 설정한 주엽 (main lobe)의 반치각을 만족하며, 부엽 (side lobe)의 억압능력도 뛰어남을 나타내었다. 또한, 차분근사법은 빠르게 수렴에 이르며, 안정한 수렴특성은 물론 오차 개선도 측면에서도 해석적인 방법에 비해 양호함을 나타 내었다.
2. 음원배열길이를 변화시켜 지향성합성을 행한 경우, 해석적인 방법에서는 주엽 (main lobe)의 반치각은 물론 부엽 (side lobe) 레벨이 설정된 목적지향성을 만족하지 못하나, 차분근사법은 설정한 목적지향성을 거의 만족하고, 또한 방사각내에서 거의 감도변화가 생기지 않는 등의 적응성이 뛰어난 실용적인 지향성합성이 가능하다.

참 고 문 헌

1. B. Widrow · S. D. Stearns: Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1985.
2. K. C. Park · H. Tsuchiya · Y. Kagawa · K. R. Cho, Optimization of the Frequency Characteristics in SAW Filter Design, Inverse Problem in Engineering, Vol 8, 473–493, 2000.
3. 嘉納秀明, 1992, システムの最適理論と最適化, コロナ社, 東京.
4. 伊理正夫 · 今野 浩 · 刀根 薫 監譯, 最適化ハンドブック, 朝倉書店, 東京, 1995.
5. 조기량 · 이정남 · 이진선 · 이문수, Gauss소거법을 이용한 초음파 트랜스듀서의 지향성합성 Simulation, 한국전자파학회지, 6(4), 20–27, 1995.
6. 土屋隆生 · 河野 宏 · 加川幸雄, 超音波送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, 12(1), 61–69, 1993.
7. 조기량, 초음파방사 직선배열점음원의 최적지향성합성 Simulation, 한국통신학회지, 20(7), 1834–1840, 1995.
8. 조기량, 직접법과 반복법 (LMS법)의 합성 알고리즘을 이용한 직선배열점음원의 적응지향성합성 Simulation, 한국통신학회지, 21(6), 1453–1462, 1996.
9. 曺基兌 · 土屋隆生 · 加川幸雄, 조합 알고리즘에 의한 초음파 트랜스듀서의 최적지향성합성, 한국음향학회지, 19(1), 25–31, 2000.
10. 岡本良夫, 1992, 逆問題とその解き方, オーム社, 東京.
11. 渡部 力 · 名取 亮 · 小國 力, Fortran77による 數値計算ソフトウェア, 丸善株式會社, 東京, 1989.
12. 神谷紀生 · 大野信忠 · 佐脇 豊 · 北 榮輔 共譯, 數値計算とその應用, サイエンス社, 東京, 1993.
13. 茨木俊秀 · 福島雅夫, 最適化プログラミング, 岩波書店, 東京, 1991.
14. 笹倉 豊喜, 超音波送受波器の最適設計, Computrol No. 39, 東京, 1992.

저자 약력

● 조 기 량 (Ki Ryang Cho)

1981년: 光云工科大學 通信工學科 卒業
1983년: 建國大學校 大學院 電子工學科 卒業
1995년: 日本 岡山大學 大學院 自然科學研究科 知能開發科學專攻 博士修了
1982년: 以後 麗水大學校 電子通信工學科 敎授
※ 주관심분야: 逆問題 · 最適化, 指向性合成問題
※ 참가학회: 韓國通信學會, 韓國電磁波學會, 韓國音響學會, 日本 Simulation學會, 日本音響學會

● 土屋隆生 (T. Tsuchiya)

1989년: 日本 同志社大學 大學院 工學研究科 電氣工學專攻 博士課程修了(工學博士)
1998년: 日本 岡山大學 工學部 電氣電子工學科 助敎授
2000년: 日本 秋田縣立大學 System科學技術學部 電子情報 System學科 助敎授
※ 주관심분야: 波動 · 逆問題의 數値解析

● 加川幸雄 (Y. Kagawa)

1963년: 日本 東北大學 大學院 工學研究科 博士課程修了(工學博士)
1970년: 日本 富山大學 工學部 電氣工學科 敎授
1990년: 日本 岡山大學 工學部 電氣電子工學科 敎授, 富山大學 名譽敎授
2001년: 日本 秋田縣立大學 System科學技術學部 電子情報 System學科 敎授, 岡山大學 名譽敎授
※ 주관심분야: 有限/境界要素法, TLM법에 의한 電氣, 電子, 振動, 生體工學問題의 數値 Simulation, 最適化 · 逆問題
※ 참가학회: IEEE, IOA (UK), IETE (INDIA), 日本Simulation학회 前會長

● 박 규 철 (Kyu Chil Park)

1993년: 釜慶大學校 工學部 電子工學科 卒業
1995년: 釜慶大學校 大學院 電子工學科 卒業
2000년: 日本 岡山大學 大學院 自然科學研究科 知能開發科學專攻 博士修了(工學博士)
2000년: 日本 秋田縣立大學 System科學技術學部 電子情報 System學科 流動研究員
※ 주관심분야: SAW Filter의 최적설계