

방사 임피던스를 고려한 평면 배열 수중 음향 트랜스듀서의 최적 빔 설계

Optimal Beam Design of Underwater Acoustic Planar Array Transducer Considering Radiation Impedance

조치영*, 서희선*, 이정민*
(Chee-Young Joh*, Hee-Seon Seo*, Jeong-Min Lee*)

요약

이 논문에서는 최적의 빔패턴을 얻기 위한 비선형 최적 설계 기법을 제시하였다. 제시된 방법을 사용하여 진동체 사이의 자기 및 상호 방사 임피던스를 고려하여 최대 허용 부엽준위가 주어진 경우 빔폭이 최소화된 빔 패턴을 설계할 수 있다. 그리고 37개의 진동체가 X, Y 및 45°축에 대칭으로 배열된 평면 배열에 대해 제안된 기법을 적용한 결과 빔폭은 변화없이 상당히 낮은 부엽 준위를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, a nonlinear optimal design technique is presented to find an optimal beam pattern. With this technique, the beam width is minimized with respect to a given maximum allowable side-lobe level considering the self- and mutual radiation impedances of vibrators. The proposed method is applied to design a planar array consisting 37 vibrators which are symmetric in X, Y and 45° axes. The results show that significantly low side-lobe level maintaining a main beam width can be obtained using this method.

1. 서론

수중 음향 트랜스듀서는 수중에서 음파를 이용하여 목표물을 탐지, 추적, 식별하기 위한 센서로서 가장 중요한 설계 사양중의 하나는 방사패턴이다. 그런데 일반적으로 하나의 음원만으로는 원하는 방사패턴을 얻기 힘들기 때문에 동일한 음원을 배열하여 각 음원의 세기를 조절함으로써 원하는 빔 특성을 얻는다. 수중 음향 트랜스듀서의 음원으로는 그림 1과 같이 압전 세라믹, 양쪽의 전면추, 후면추로 구성된 Tonpilz형 진동체가 널리 사용되는데⁽¹⁾, 진동체의 공진 주파수로 압전 세라믹 양단에 교류 전압을 가하여 길이 방향의 피스톤 운동으로 발생하는 음파를 음원으로 사용한다. 음원의 세기는 진동체 자체의 전기적, 기계적 동특성에 의한 구동 임피던스 뿐만 아

니라, 수중에서의 방사 임피던스 곧, 자기 방사임피던스와 음원 상호간의 음향적 간섭에 의한 상호 방사 임피던스에 따라 달라진다^(2,3). 따라서, 원하는 빔특성을 얻기 위한 음원의 가중치 설계를 할때, 진동체의 구동 임피던스 뿐만 아니라 진동체의 수중 거동에 의한 방사 임피던스를 고려한 설계 기법이 필요하다.

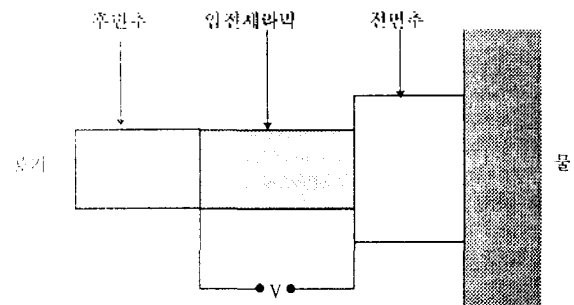


그림 1. Tonpilz형 압전세라믹 진동체

*국방과학연구소 수중음향센터 연구실
접수일자: 1995년 10월 30일

수중 음향 트랜스듀서에서 필요한 방사패턴에 대한 주 소 사양으로는 각형상, 부엽 순위, 빙폭, 효율 등이 있는데 적용 시스템에 따라 이들 사양을 최대 또는 최소화하기 위해 주어진 배열에 대한 최적의 가상치를 구하는 선형 기법들이 그동안 많이 연구되어 왔다¹⁾. 이 문헌에서는 평면 배열 수중 음향 트랜스듀서에 대해 최대허용 부엽순위가 주어질 경우 빙폭을 최소화 하기 위한 가상치를 비선형 최적 설계 기법을 이용한 설계 방법을 제시하고자 한다.

II. 압전진동체의 수중 방사속도

그림 1은 수중 음향 트랜스듀서에서 음원으로 널리 사용되는 Tonpilz형 압전세라믹 진동체를 나타낸다. 진동체 단면의 반경 방향 지수가 사용 주파수 범위 내의 파장보다 짧으면 길이 방향의 변위는 각 단면에서 일정하고 음파가 축 방향으로 평면 전파 한다고 가정할 수 있으므로, 그림 2 처럼 전체 진동체를 압전 세라믹 요소와 전/후면추로 나누고 각 요소에 대한 두 끝의 힘-속도 관계를 전달행렬식으로 나타낼 수 있다. 먼저 전/후면추의 탄성체 요소에 대한 힘-속도 관계식은 다음과 같다²⁾.

$$\begin{Bmatrix} F_2^t \\ u_2^t \end{Bmatrix} = [T^t] \begin{Bmatrix} F_1^t \\ u_1^t \end{Bmatrix}; i=t, h \quad (1)$$

$$[T^t] = \begin{bmatrix} \cos k^t L^t & -j\rho^t c^t S^t \sin k^t L^t \\ -j \frac{\sin k^t L^t}{\rho^t c^t S^t} & \cos k^t L^t \end{bmatrix}$$

여기서 $[T^t]$ 는 전달 행렬, $k^t, \rho^t, c^t, S^t, L^t$ 는 각각 파수, 밀도, 음속, 단면적, 길이를 나타내며 상첨자 t, h는 각각 후면추 및 전면추 요소를 의미한다. 그리고 압전 세라믹 요소에 대한 힘-속도 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} F_2^c \\ u_2^c \end{Bmatrix} = [T^c] \begin{Bmatrix} F_1^c \\ u_1^c \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{Bmatrix} \Gamma \quad (2)$$

$$[T^c] = \begin{bmatrix} 1+Z_1/Z_2 & Z_1(2+Z_1/Z_2) \\ 1/Z_2 & 1+Z_1/Z_2 \end{bmatrix}, \begin{Bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} KZ_1/Z_2 \\ -K/Z_2 \end{Bmatrix}$$

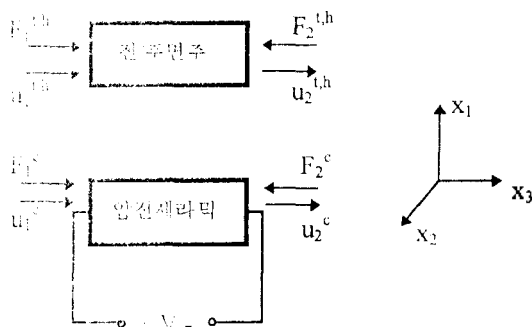


그림 2. Tonpilz형 압전진동체의 유한요소 모형

$$Z_1 = -j\rho^t c^t S^t \tan(k^t L^t/2)$$

$$Z_2 = j\rho^c c^c S^c (\sin(k^c L^c) - jK^c/c^c \omega)$$

$$\Gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{e_1}{c^c} + \frac{e_2}{c^c} \right), K^c = \frac{e_1 c^c}{2 S^c}$$

여기서 $[T^t]$ 는 전달 행렬, $k^t, \rho^t, c^t, S^t, L^t$ 는 각각 세라믹 요소의 파수, 밀도, 음속, 단면적, 길이를 나타내며, $S_1^t, g_{31}, \beta_{31}^t$ 는 각각 x_3 방향의 탄성 컴플라이언스, 압전 변형률, 유전 상수를 나타낸다. 그리고 전/후면추 방사면에서의 힘과 속도를 각각 F_H, u_H, F_B, u_B 라 두고 경계면에서의 힘, 속도의 경계조건, $F_2^t = F_2^c, u_2^t = u_1^c, F_2^c = F_1^h, u_2^c = u_1^h$ 를 식 (1), (2)에 적용하면 다음 식을 얻는다.

$$\begin{Bmatrix} F_H \\ u_H \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} F_B \\ u_B \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{Bmatrix} \Gamma \quad (3)$$

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = [T^h][T^c][T^t], \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} T_{11}^h e_1 + T_{12}^h e_2 \\ T_{21}^h e_1 + T_{22}^h e_2 \end{Bmatrix}$$

그리고 전, 후면추 방사면에서의 힘 F_H, F_B 는 매질에 대한 방사임피던스에 의해 결정된다. 그런데 일반적으로 수중 음향 트랜스듀서에서 후면추의 매질은 공기로서 방사임피던스는 무시할 수 있을 정도로 작으므로 $F_B = 0$ 이라 할 수 있다. 따라서 식 (3)은 다음과 같이 된다.

$$F_H = Z_T u_H - B_T \Gamma$$

$$Z_T = \frac{T_{12}}{T_{22}}, B_T = (b_1 - Z_T b_2) \Gamma \quad (4)$$

한편 선면추의 매질은 물로서, N개의 진동체가 평면 배열된 경우 방사면에서의 힘 F_H 는 자기 방사 임피던스 뿐만 아니라 음원 사이의 음향적 간섭에 의한 상호 방사 임피던스를 동시에 고려하여 다음과 같이 표현된다.

$$\{F_H\}_{N \times 1} = -[Z]_{N \times N} \{u_H\}_{N \times 1} \quad (5)$$

여기서 $[Z]_{N \times N}$ 는 방사 임피던스 행렬로서 Z_{ii} 는 자기방사 임피던스 이고 $Z_{ij}(i \neq j)$ 는 상호 방사 임피던스로서 다음 식으로 정의된다³⁾.

$$Z_{ij} = \frac{1}{U_i U_j^*} \int_{S_i} p_{ij} u_i^* dS_j; u_i = U_i g(r_i) \quad (6)$$

$$p_{ij} = \frac{j\omega \rho_w U_i^*}{2\pi} \int_{S_j} G(r_i | r_j) g_j(r_j) dS_j$$

식 (6)에서 u_i 는 음원의 방사속도, $g(r_i)$ 는 음원의 위치 및 방사면 형상에 관한함수, ρ_w 는 매질(물)의 밀도, S_i 는 방사면의 단면적, $G(r_i | r_j)$ 는 자유공간의 그린함수이다. 그동안 식 (6)을 근간으로 하여 여러가지 방사단면의 형

상기 배열방법 및 배열의 종류에 따른 상호 방사 임피던스를 수치적으로 계산하거나 유한 요소 해석법으로 계산한 많은 연구 결과가 발표되고 있다¹⁰⁾.

N개의 진동체로 구성되는 평면 배열된 수중 음향 트랜스듀서에서 각 진동체에 가한 전압의 크기를 V, 위상을 τ 이라고 하면 전압을 복소수 $S = Ve^{j\tau}$ 으로 표현할 수 있으므로, 전면추의 방사면에서 방사속도는 식 (4), (5)로부터 다음 식으로 결정된다.

$$\{u\}_{N \times 1} = [Y]_{N \times N} \{w\}_{N \times 1}$$

$$[Y]_{N \times N} = \begin{bmatrix} Z_{11} + Z_{T1} & Z_{12} & \dots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} + Z_{T2} & \dots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \dots & Z_{NN} + Z_{TN} \end{bmatrix}^{-1} \quad (7)$$

$$\{w\}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} B_{T1} V_1 e^{j\tau_1} \\ B_{T2} V_2 e^{j\tau_2} \\ \vdots \\ B_{TN} V_N e^{j\tau_N} \end{bmatrix}$$

III. 비선형 최적설계 기법에 의한 가중치 설계

그림 3처럼 XY평면상에 배열된 N개의 음원이 원거리 조건을 만족시킬 때, 방사 패턴은 다음의 식으로 계산된다¹⁰⁾.

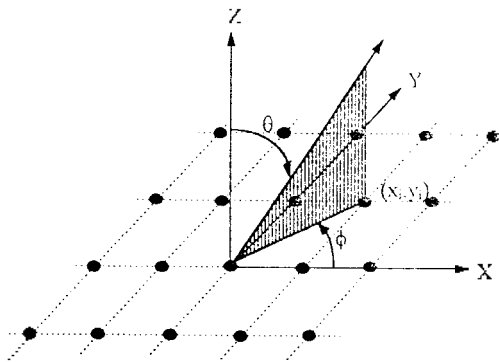


그림 3. 평면배열 트랜스듀서의 좌표계

$$P(\phi, \theta) = \sum_{n=1}^N A_n f_n(\theta) (\cos \gamma_n + j \sin \gamma_n)$$

$$\gamma_n = \frac{2\pi}{\lambda} [x_n \sin \theta \cos \phi + y_n \sin \theta \sin \phi] \quad (8)$$

여기서 λ 은 파장이며, (x_n, y_n) 은 n번째 음원의 (x, y) 좌표이고, A_n 은 n번째 진동체의 r위치에서의 음원의 세기이며, $f_n(\theta)$ 는 각 음원의 방사 패턴이다. 그런데 수중 음향 트랜스듀서의 음원의 세기는 각 진동체 방사면에서의 방사속도에 비례하므로, 식 (7)를 식 (8)에 대입하면 방

사패턴은 다음 식으로 표현된다.

$$P(\phi, \theta) = \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{m=1}^N Y_{nm} B_{Tm} V_m e^{j\tau_m} \right\} f_n(\theta) (\cos \gamma_n + j \sin \gamma_n) \quad (9)$$

식 (9)에서 보면 진동체의 동특성 값 구동 임피던스 Z_i 와 방사 임피던스 Z_0 가 주어지면, 배열의 방사패턴은 진동체에 가해지는 전압의 크기와 위상의 상대적인 가중치를 조절함으로써 구현할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 이 논문에서는 변압기를 이용한 아나로그 회로 방식에 의한 가중방법을 적용하기 위하여 가중치의 크기 성분만을 고려하였다. 그런데 방사패턴은 전압가중치에 대해 비선형이므로 부엽준위가 제한되고 빔폭을 최소화하기 위한 최적가중치 설계는 다음과 같은 제약 조건이 있는 비선형 최소화 문제로 만들 수 있다.

$$\text{Minimize } F(x) = \psi$$

$$\text{제약조건 ; } r \leq r_0 \quad (10)$$

여기서 ψ 는 방사 패턴의 빔폭을 나타내는 목적 함수이고, r 은 부엽 준위, r_0 는 최대허용 부엽준위, x 는 가중치의 크기로 구성된 설계 변수 벡터로서 다음과 같이 표현된다.

$$\{x\}^t = \{V_1, V_2, \dots, V_N\} \quad (11)$$

그리고 식 (10)에서 부엽 준위에 대한 제약 조건을 아래와 같이 제약 조건이 없는 문제로 만들 수 있다.

$$\text{Minimize } F(x) = Q_1 \psi + Q_2 \hat{\psi}$$

$$\hat{\psi} = (r - r_0)^2 \text{ if } r > r_0$$

$$\hat{\psi} = 0 \text{ if } r < r_0 \quad (12)$$

여기서 Q_1, Q_2 는 빔폭 및 부엽 준위의 목적 함수에 대한 중요도를 조절하는 상수이다. 한편, -3dB 기준 빔폭(ψ) 및 부엽준위(r)는 식(9)로부터 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\Psi = 2 \times \text{Max} \{ \theta_j : 10 \log_{10} |P(\phi_i, \theta_j) / P(0^\circ, 0^\circ)|^2 = -3 \}$$

$$r = \text{Max} \{ 10 \log_{10} |P(\phi_i, \theta_k) / P(0^\circ, 0^\circ)|^2 \}$$

$$0^\circ \leq \phi_i \leq 360^\circ, \quad 0^\circ \leq \theta_j \leq \theta^*, \quad \theta^* \leq \theta_k \leq 90^\circ \quad (13)$$

여기서 θ^* 는 임의의 ϕ_i 에서 계산된 방사패턴의 최초 영에서의 각도이다.

그런데 일반적으로 비선형 최적화 알고리즘에서는 비지수(가중치)들의 초기값을 필요로 하는데, 그림 (3)과 같이 XY평면에 직교배열의 경우는 선배열의 최적 가중치 설계기법인 돌프-체비세프 방법¹³⁾을 활용하여 위상가중치는 무시하고 크기 가중치만을 다음과 같이 구할 수

있다. 음원의 총 개수가 $(2N+1)$ 및 $2N$ 개의 등간격 선배열에 대한 방사 패턴은 제비새의 다항식 $T_n(x)$ (부록 I)를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$T_{2N+1} = 1 + 2 \sum_{k=1}^N T_k T_{2k-1}(x) \quad (14 a)$$

$$T_{2N} = 2 \sum_{k=1}^N T_k T_{2k-1}(x) \quad (14 b)$$

여기서 $T_n(x) = \cos nu$, $x = \cos u$, $u = \pi d \sin \theta / \lambda$ 이다. Dolph는 각각의 선배열에 대해 부엽 준위가 주어진 경우 범폭을 최소화하는 음원의 최적 가중치 V_k 를 다음과 같이 결정하였다. 부엽 준위가 다음과 같이 주어졌다고 하자.

$$\frac{\text{주엽의 높이}}{\text{부엽의 높이}} = r > 1 \quad (15)$$

반지 $T_M(x_0) = r$ 을 만족하는 x_0 를 다음 식으로 얻는다.

$$x_0 = \frac{1}{2} \left[\left(r + (r^2 - 1)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{M}} + \left(r - (r^2 - 1)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{M}} \right]$$

$$M = 2N \text{ 또는 } 2N - 1 \quad (16)$$

그러면 최적 가중치 V_k 는 다음 각 식을 x 에 관한 다항식으로 전개하고 각각의 계수를 비교하여 얻는다.

$$P_{2N+1} = T_{2N+1}(x) \quad (17 a)$$

$$P_{2N} = T_{2N}(x_0 x) \quad (17 b)$$

다음 임의의 위치 (x_0, y_0) 에 있는 음원의 가중치는 $(x_0, 0)$ 에 있는 음원의 가중치와 $(0, y_0)$ 에 있는 음원의 가중치의 곱으로 얻을 수 있다[4], 곧,

$$\Gamma_{(x_0, y_0)} = \Gamma_{(x_0, 0)} \times \Gamma_{(0, y_0)} \quad (18)$$

이 방법에 따르면, 음원의 개수가 많아 질 경우 가장자리에 있는 음원의 가중치는 무시할 수 있을 정도로 작아져서 가중치가 원대칭으로 설계되는 경향이 있다.

IV. 보기 모형의 가중치 설계

그림 (4)는 제안된 최적설계기법을 적용하기 위한 37개의 진동체가 X, Y축 및 45°축에 대칭으로 평면 배열된 보기 모형을 나타내고 있다. 이 연구에서는 대칭성에 의해 모든 진동체에 독립적으로 가중치를 부여하지 않고 그림 (5)와 같이 8개의 그룹으로 나누어 각 그룹에 대한 최적 가중치를 설계하고자 한다. 따라서 설계해야 할 가중치의 개수는 8개이며 식 (11)의 설계변수 벡터는 다음과 같이 구성된다.

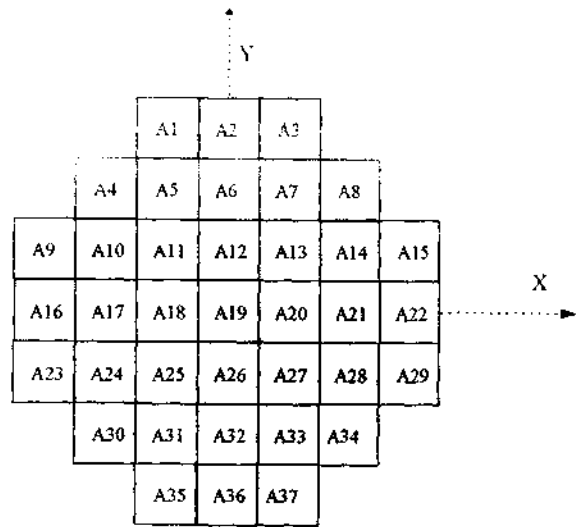


그림 4. 보기 모형의 배열 형태

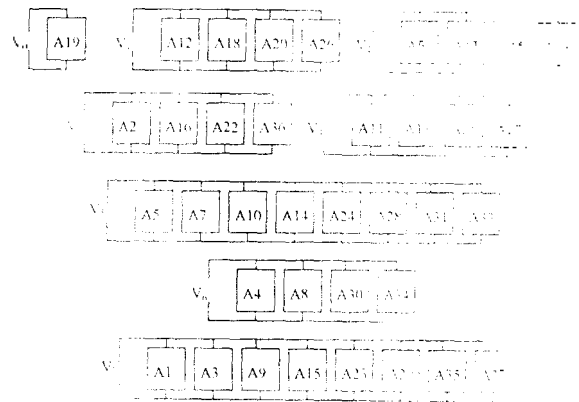


그림 5. 보기 모형의 가중치 설계 방법

$$\{x\}' = \{V_0, V_1, \dots, V_7\} \quad (19)$$

식 (12)의 비선형 최적화 문제를 풀기 위하여 이 연구에서는 목적 함수의 미분을 필요로 하지 않고 적용이 쉽고 안정적인 주크-지브스 직접 탐색법[4]을 적용하였다. 최적화 알고리즘에 필요한 가중치의 초기값은 참고 제13호 방법을 활용하여 구했다. 먼저 그림(4)에 있는 보기 모형에 대해 먼저 X, Y축상에 있는 7개의 음원에 대한 크기 가중치 V_0, V_1, V_2, V_3 를 결정하자. 부엽 준위를 -30dB 로 하였을 때 $10 \log r = 30$ 에서 $r = 31.623$ 이고 식(16)로 부터 $x_0 = 1.249$ 이다. 그리고 식(17-a)의 식 $P_{2N}(x)$ 는 다음과 같이 전개된다.

$$P_{2N}(x) = 64T_1^2 x^4 + 16(T_1^2 - 6T_2^2) x^2 + 4(T_1^2 - 4T_2^2 + 6T_3^2) + (T_1 - 2(T_2^2 - T_3^2 + T_4^2)) \quad (20)$$

식(16 b)의 오른쪽 식 T_n 는 다음의 수식으로 표현된다.

$$f(x, x) = 32x_1^2x^2 - 48x_1x^2 + 18x_1^2x^2 - 1 \quad (20)$$

여기서 $x_1 = 1.249$ 를 식(21)에 대입하고 식(20)과 계수를 비교하면 다음의 V_n 에 대해 정규화된 가중치 값들이 계산된다.

$$V_1 = 1.0, V_2 = 0.8737, V_3 = 0.5680, V_4 = 0.2636 \quad (22)$$

다음, 나머지 가중치들은 X, Y축상에 있는 가중치들의 곱으로 부터 쉽게 결정된다. 곧

$$\begin{aligned} V_4 &= V_1 \times V_1 = 0.7633, & V_5 &= V_1 \times V_2 = 0.4963 \\ V_6 &= V_2 \times V_2 = 0.3226, & V_7 &= V_1 \times V_3 = 0.2303 \end{aligned} \quad (23)$$

표 1. 압전세라믹 진동체의 물성치 및 크기

	물 성 치	크 기
전 면 추	$\rho^h = 2720 \text{ kg/m}^3$	$s^h = 1.0$
	$c^h = 5150 \text{ m/sec}$	$l^h = 0.315$
후 면 추	$\rho^l = 7850 \text{ kg/m}^3$	$s^l = 0.5$
	$c^l = 5050 \text{ m/sec}$	$l^l = 0.4$
압전세라믹	$\rho^c = 7500 \text{ kg/m}^3$	$s^c = 0.5$
	$c^c = 4108 \text{ m/sec}$	$l^c = 0.285$
	$s_{33}^D = 7.9 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$	
	$g_{33} = 26.1 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$	
	$\beta_{33}^T = 8.69 \times 10^6$	

각 요소의 길이는 전체길이에 대해 정규화한 값이고 단면적은 전면추의 면적으로 정규화한 값임.

$$l^i = \frac{L^i}{L^t + L^c + L^h}; s^i = \frac{S^i}{S^h}; i = t, c, h$$

표 1은 보기 모형에 사용된 Tonpitz 형 압전세라믹 진동체의 크기 및 재료의 물성치를 보여준다. 그리고 식 (8)에 있는 모든 진동체의 방사패턴은 진동체를 무한 배플을 가진 유효 반경 a인 원형 피스톤으로 가정하여 다음의 식을 이용하였다.

$$f(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin\theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin\theta} \left[\frac{1 + \cos\theta}{2} \right]^2 \quad (24)$$

한편 진동체의 방사임피던스는 식 (6)에 의한 엄밀해를 구하지 않고 다음과 같이 근사식을 이용하였다. 반경이 a 인 원형 단면 음원이 무한 배플 위에서 파수 k로 피스톤 운동할 경우 자기 방사 임피던스 Z_{11} 은 다음과 같이 계산 된다.

$$\begin{aligned} Z_{11} &= R_{11} + jX_{11} \\ R_{11} &= \pi a^2 \rho_w c_w R_1(2ka), X_{11} = \pi a^2 \rho_w c_w X_1(2ka) \\ R_1(x) &= \frac{x^2}{2^2 1! 2!} - \frac{x^4}{2^4 2! 3!} + \dots \end{aligned} \quad (25)$$

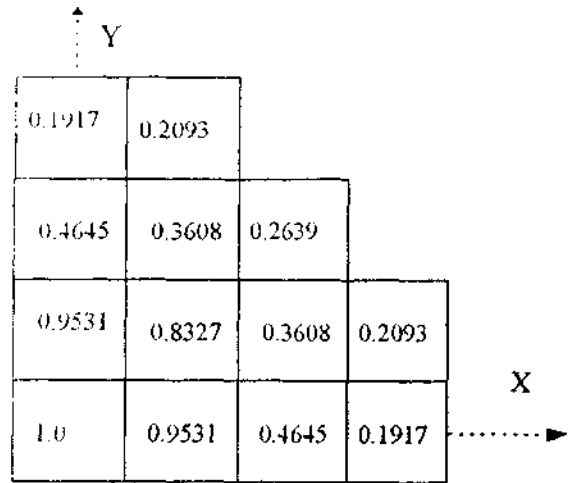


그림 6. 보기 모형의 최적 가중치

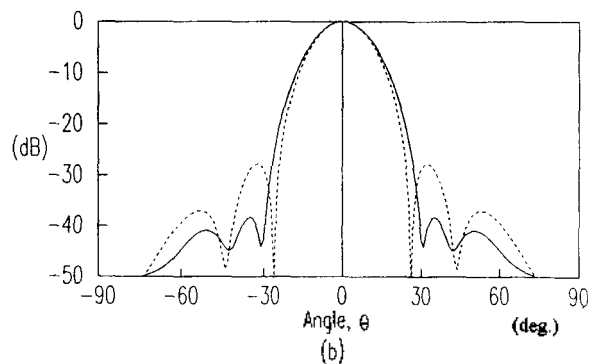
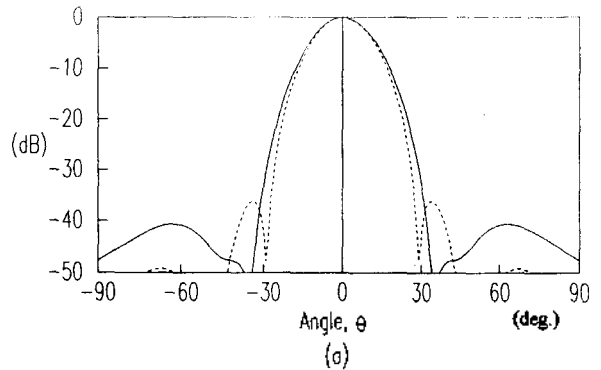


그림 7. 보기 모형의 2차원 빔 패턴: (a) $\phi = 0^\circ$ (b) $\phi = 45^\circ$
--- (초기가중치) — (최적가중치)

$$X_1(x) = \frac{4}{\pi} \left[\frac{x}{3} - \frac{x^3}{3^2 5} + \frac{x^5}{3^2 5^2 7} - \dots \right]$$

여기서 ρ_w, c_w 는 물의 밀도 및 음속이다. 거리가 d_{ij} 만큼 떨어진 2개의 음원 사이의 상호 방사 임피던스는 다음과 같이 계산된다.

$$Z_{ij} = Z_{ii} \left[\frac{\sin kd_{ij}}{kd_{ij}} + j \frac{\cos kd_{ij}}{kd_{ij}} \right] \quad (26)$$

방사 임피던스는 $ka = 1.7625, kd = 3.485$ 로 두고 식 (25)

법 (26)에 있는 근사식으로 구했다. 그림 (6)은 비선형 최적설계 기법으로 결정된 가중치의 크기를 나타낸 것으로 (0, 0)에 있는 음원의 가중치로 정규화된 값이다. 그림 (7)은 $\phi = 0$ 및 $\phi = 15$ 에서의 방사패턴을 Dolph-Chebyshev 방법과 비교하여 최대 부엽준위와 최대 부엽에 대한 계산된 값을 $P(0, 0)$ 의 값으로 정규화한 것을 비교하여 그린 것으로, 증가 가중치에 의한 -3dB 기준 빙폭은 -19.0° , 최대부엽준위는 -27.7dB 이며, 최적설계 가중치에 의한 -3dB 기준 빙폭은 20.00° 이고 최대 부엽준위는 -40.71dB 임을 알 수 있다. 빙폭은 1° 증가했지만 최대 부엽준위는 13dB 낮아졌다. 결국 Dolph-Chebyshev 방법에 의한 가중치 설계방법도 상당히 효과적으로 사용이 가능함을 알 수 있다. 그림 (8)은 그림 (7)의 가중치로 구현된 방사패턴의 3차원 그래프를 그린 것이다.

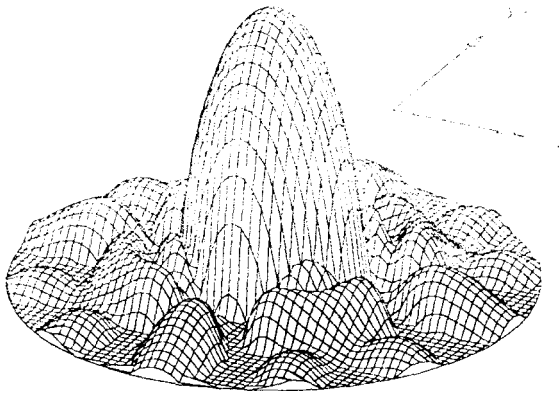


그림 8. 보기 모형의 3차원 빙패턴

V. 결 론

본 연구에서는 평면 배열 수중 음향 트랜스듀서에 대해 음원으로 사용되는 진동체의 수중에서의 자기 및 상호간의 방사 임피던스를 고려할 때 원하는 빙패턴을 설계하기 위한 가중치 설계기법을 연구하였다. 목적함수를 최대 허용 부엽 준위가 주어지고 빙폭의 최소화로 설정하고 진동체에 사해지는 선압 가중치의 크기에 대한 최적 가중치를 비선형 최적 설계기법을 이용하여 설계하였다. 비선형 최적화 알고리즘에 필요한 설계변수의 초기치는 선배열의 가중치 설계기법인 Dolph-Chebyshev 방법을 확장하여 평면배열에 적용하였다. 그리고 37개의 진동체가 X, Y축 및 45° 축에 대칭으로 배열된 평면 배열을 보기로 하여 제안된 최적 가중치 설계 기법을 적용하여 보았다. 결론적으로 Dolph 방법에 비해 본 비선형 최적화 방법에 의한 결과가 부엽준위 설계에 효과적임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Neppiras, E.A., "The Effect of Shape and Inter-element Impedance on the Power-handling Capacity and Efficiency of Ultrasonic Transducers," *Acoustical Sci.* 13, pp. 18-22, 1965.
2. Prichard, R.L., "Mutual Acoustic Impedance Between Radiators in an Infinite Rigid Plane," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 32, pp. 730-737, 1960.
3. Toulis, W.J., "Radiation Load on Arrays of Small Pistons," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 28, pp. 346-348, 1957.
4. 윤형기, 김근철, 이정민, 평면배열된 트랜스듀서의 빙형성을 위한 가중치로 설계연구, 국방과학연구소 기술보고서 (ATRC-517-93084), 1993.
5. Dolph, C.L., "A Current Distribution for Broadside Arrays Which Optimizes the Relationships Between Beam Width and Side Lobe Level," *Proc. of the I. R. E.*, vol. 34, pp. 315-348, 1946.
6. Davis, N., Thurston, E.G. and Mueser, R.E., "The Design of Optimum Directional Acoustic Arrays," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 24, pp. 50-56, 1952.
7. Cheng, D.K., "Optimization Techniques for Antenna Arrays," *Proc. of the IEEE*, vol. 59, pp. 1664-1674, 1971.
8. Decarpigny, J.N. and Debus, J.C., "In-air Analysis of Piezoelectric Tonpilz Transducer in a Wide Frequency Band Using a Mixed Finite-Plane Wave Method," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 78, pp. 1499-1507, 1985.
9. Kuester, J.L. and Mize, J.H., *Optimization Techniques with FORTRAN*, McGraw-Hill, Newyork, pp. 309-319, 1973.

부록 1. Chebyshev 다항식

$$T_0(x) = 1, T_1(x) = x, T_2(x) = 2x^2 - 1, T_3(x) = 4x^3 - 3x$$

$$T_4(x) = 8x^4 - 8x^2 + 1, T_5(x) = 16x^5 - 20x^3 + 5x$$

$$T_6(x) = 32x^6 - 48x^4 + 18x^2 - 1$$

$$T_7(x) = 64x^7 - 112x^5 + 56x^3 - 7x$$

$$T_8(x) = 128x^8 - 256x^6 + 160x^4 - 32x^2 + 1$$

$$T_9(x) = 256x^9 - 576x^7 + 432x^5 - 120x^3 + 9x$$

$$T_{10}(x) = 512x^{10} - 1280x^8 + 1120x^6 - 400x^4 + 50x^2 - 1$$

▲ 조 치 영 (Chee Young Joh) : 14권 5호 참조

▲ 서 희 선 (Hee Seon Seo) : 14권 5호 참조

▲ 이 정 민 (Jeong-Min Lee) 1967년 8월 19일생

1990년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학사)

1990년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소

수중음향센서연구

구설 연구원

