

유한요소법과 하이브리드형 무한요소법을 이용한 초음파 집속변환자의 음장 해석

Acoustic Field Analysis of Ultrasonic Focusing Transducer by Using Finite Element Method and Hybrid Type Infinite Element Method

박 순 중*, 윤 중 락**, 하 강 열***, 김 천 덕****
(Soon-Jong Park*, Jong-Rak Yoon**, Kang-Lyeol Ha***, Chun-Duck Kim****)

• 본 연구는 "한국과학재단 일반목적기초연구"(과제번호 : 921-0600-024-2) 지원에 의해 수행되었음.

요 약

본 논문에서는 유한요소법과 하이브리드형 무한요소법을 사용하여 전기계·기계계·음향계로 결합된 초음파 집속변환자의 집속특성과 시간 응답을 구하였다. 초음파 집속변환자의 초점거리, 분해능 특성들을 구하였고, 댐퍼가 부가된 경우 방사면상의 변위분포가 안정되어 분해능이 개선된다는 것을 집속특성과 시간 응답으로부터 해석하였다. 해석의 결과는 초음파 집속변환자의 설계나 성능해석에 응용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

This paper presents the focusing characteristics and the time response of ultrasonic focusing transducer which is a coupled system with an electromechanical and an acoustical component. The Finite Element Method and the Hybrid Type Infinite Element Method are applied for the analysis.

The position of the focal points and the resolutions is obtained from the focusing characteristics and the time response. It is found that the transducer with the damper, which stabilizes the displacement of the radiation surface, gives a better resolution.

In conclusion, the results could be applied to the design and the performance analysis of the ultrasonic focusing transducer.

I. 서 론

초음파 변환자 중에서 초음파 집속변환자는 고주파의 전기신호를 음파로 변화시킨 후 음향렌즈를 통과시켜 매질 내에 음향에너지를 집속하는 장치이다. 초음파 집속변환자는 분해능과 음향 에너지 밀도를 높일 수 있다는 특징을 가지고 있기 때문에 의료용 장비, 탄성 표면과의 측정, 비파괴 평가등에 많이 사용되고 있다^{[1]-[4]}. 의료용 장비에서의 초음파 현미경은 음파가 집속되는 초점거리

(focal point) 부근을 목적의 대상으로 하기 때문에 초점 거리에 따라 압전진동자와 음향렌즈의 규격이나 형상을 정해야 한다. 따라서, 집속변환자를 제작하기 전에 압전진동자, 음향렌즈, 집속 음장에 대한 정확한 해석이 필요하다. 또한, 선명한 영상과 정확성을 얻기 위해서는 높은 분해능이 요구되고 분해능 향상을 위한 음장 해석도 필요로 하고 있다^{[2]-[4]}.

초음파 현미경의 집속변환자는 초음파를 방사하고 그 응답을 수신하는 핵심 부분으로 압전진동자인 전기계와 음파를 집속하는 음향렌즈인 기계계가 결합되어 진동을 하는 탄성체계와 집속된 초음파가 방사되는 매질인 음향계로 구성되어 있는 축대칭 구조의 변환자이다. 따라서, 정확한 집속 음장을 해석하기 위해서는 음파가 전달되는

*부산수산대학교 대학원 전자공학과
**부산수산대학교 정보통신공학과
***부산수산대학교 물리학과
****부산수산대학교 전기공학과
접수일자 : 1995년 4월 25일

음향렌즈는 물론 음파를 발생시키는 압전진동자 및 음파가 집속되는 매질인 음향계와 반무한 영역에 관한 음향어드미턴스의 영향을 고려해야만 하고, 이러한 영향을 고려한 수치 해석 방법에는 전기계, 기계계, 음향계를 결합한 유한요소법과 하이브리드형 무한요소법이 많이 사용되고 있다^{[5]~[7]}.

본 논문에서는 압전진동자와 음향렌즈 및 음향계로 구성된 모델, 압전진동자 후면에 간단한 구조를 가지는 원관형 댐퍼를 장착한 모델 및 원관형 댐퍼에서 발생하는 후면반사의 영향을 줄이기 위한 원추형 댐퍼를 장착한 모델^[11]을 가정하여 각각의 모델에 대한 음향 특성을 해석하였다. 전기계, 기계계, 음향계의 촛점거리 부근까지는 유한요소법, 음향계의 반무한 영역은 하이브리드형 무한요소법^{[8]~[11]}을 적용하여 정상상태의 집속음장의 촛점거리와 분해능을 수치 해석하고 댐퍼의 장착이 분해능에 미치는 영향을 검토하였다. 해석결과가 변환자의 설계, 제작에 이용될 수 있도록 분석결과는 파장 정수를 사용하여 규격화하였다. 그리고, 위에서 설정한 각각의 모델에 대하여 주파수 응답에서 구한 각 질점의 전달함수와 FFT, IFFT 알고리즘을 이용하여 실제와 유사한 구동 조건인 펄스파를 입력한 경우의 시간응답을 수치 해석하여 주파수 응답에서 구한 특성과 더불어 실제의 이용에 필요한 시간 응답에서의 특성을 제시하였다.

II. 유한요소법의 적용

초음파 집속변환자의 해석영역은 탄성체계와 음향계가 결합되어 있고 각 영역의 지배방정식은 헤름홀츠(Helmholtz)방정식의 형태로 다음과 같다^{[8], [12], [13]}.

$$[c] \nabla^2 \{u\} + \omega^2 \rho_s \{u\} = \{f\} \quad (1)$$

$$\nabla^2 p + k^2 p = \zeta \quad (2)$$

[c]: 스티프니스텐서, {u}: 변위벡터, {f}: 구동력벡터,
 ω : 각주파수, ρ_s : 탄성체밀도, p: 음압, k: 파수(ω/c),
 ζ : 구동변위

또한, 탄성체계는 압전진동자를 포함하고 있기 때문에 다음과 같은 e형식의 압전변환식을 고려하여야 한다^{[6]~[8]}.

$$\begin{aligned} \{T\} &= [C^E] \{S\} - [e] \{E\} \\ \{D\} &= [e]^T \{S\} + [\epsilon^S] \{E\} \end{aligned} \quad (3)$$

{T}: 응력벡터, {S}: 변형벡터, {E}: 전기벡터,
{D}: 전기변위벡터, [C^E]: E=0 일때의 스티프니스텐서,
[e]: 압전변형텐서, [ε^S]: S=0 일때의 유전율텐서

식(1)의 탄성체계 지배방정식과 식(2)의 음향계 지배방정식은 이산화의 과정에서 에너지 정유의 원리에 적용하기 위하여 일반적으로 다음과 같은 범함수 \mathcal{L} 로 나타낸다^[8].

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_s &= \sum_e (V_{Se} - T_{Se} - H_{Se} - W_{Re}) - \iint_{A_s} f \hat{u} dA - \iint_{A_f} \hat{f} u dA \\ &\quad - \iint_{A_p} \hat{\phi} D_n dA - \iint_{A_r} \phi \hat{D}_n dA \end{aligned} \quad (4)$$

$$\mathcal{L}_L = \sum_e (V_{Le} - T_{Le} - W_e) \quad (5)$$

$$V_{Se} = \frac{1}{2} \iiint_e \{S\}^T \{T\} dV_e: \text{탄성체계의 위치에너지}$$

$$T_{Se} = \frac{1}{2} \omega^2 \rho \iiint_e \{u\}^T \{u\} dV_e: \text{운동에너지}$$

$$H_{Se} = \frac{1}{2} \iiint_e \{D\}^T \{E\} dV_e: \text{정전에너지}$$

$$W_{Re} = \iint_{r_e} u_n^T F_e dA_e: \text{탄성체계에 대하여 음향계의 음압이 행한 일}$$

$$A_p: \text{전위 } \hat{\phi} \text{의 전극}, A_r: \text{전하 } \hat{Q} (= \frac{\partial \hat{D}}{\partial n} = D_n) \text{의 전극}$$

$$A_u: \text{변위 } \hat{u} \text{의 기계단자}, A_f: \text{힘 } \hat{f} \text{의 기계단자}$$

$$V_{Le} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho c^2} \right) \iiint_e p^2 dx dy dz: \text{음향계의 위치에너지}$$

$$T_{Le} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho \omega^2} \right) \iiint_e (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) dx dy dz: \text{운동에너지}$$

$$W_e = \int_{r_e} u_n p dl_e: \text{음향계에 대하여 탄성체계의 변위가 행한 일}$$

식(4)에 식(3)의 압전변환식을 대입하고, 식(4)와 식(5)에 변분원리($\delta \mathcal{L} = 0$)^{[8], [9], [14]}를 적용하면 다음과 같은 이산화 연립 대수방정식을 구할 수 있다^{[6]~[8], [15]}

$$\begin{aligned} ([K_s] + j[R_s] - \omega^2 [M_s]) \{d\} + [P] \{\phi\} &= \{F\} \\ [P]^T \{d\} - ([G] + j[R_g]) \{\phi\} &= \{Q\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$([M_L] - \omega^2 [K_L]) \{p\} = -\rho_L \omega^2 \{\zeta\} \quad (7)$$

$$[K_s] = \sum_e \iiint_e [B_u]^T [C^E] [B_u] dV_e: \text{탄성체계의 강성행렬}$$

$$[M_s] = \sum_e \iiint_e [N_u]^T [N_u] dV_e: \text{질량행렬}$$

$$[P] = \sum_e \iiint_e [B_u]^T [e] [B_\phi] dV_e: \text{전기기계 결합행렬}$$

$$[G] = \sum_e \iiint_e [B_\phi]^T [\epsilon^S] [B_\phi] dV_e: \text{정전행렬}$$

$$[R_s] = \alpha [K_s]: \text{기계적 손실}, [R_g] = \tan \delta [G]: \text{전기적 손실}$$

$$[N]: \text{내삽함수 행렬}, [B]: \text{미계수 행렬}, \{d\}: \text{절점 변위벡터}$$

$$\{\phi\}: \text{절점 전위벡터}, \{F\}: \text{절점 외력벡터}, \{Q\}: \text{전하벡터}$$

$$[K_L] = \sum_e \frac{1}{c^2} \iiint_e \{N\} \{N\}^T dV_e: \text{음향계의 강성행렬}$$

$$[M_L] = \sum_e \iiint_e \left[\frac{\partial \{N\}}{\partial x} \quad \frac{\partial \{N\}}{\partial y} \quad \frac{\partial \{N\}}{\partial z} \right]^T \times$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \{N\}^T}{\partial x} \\ \frac{\partial \{N\}^T}{\partial y} \\ \frac{\partial \{N\}^T}{\partial z} \end{bmatrix} dV, : \text{결량행렬}$$

{N}: 내삽함수 벡터, {p}: 절점 음압벡터, {ξ}: 절점 변위 벡터, ρ_L: 물의 밀도

탄성체제와 음향계의 이산화 연결방정식 (6)와 (7)의 결합은 탄성체제와 음향계의 경계(음파방사면)에서는 법선 방향에 대하여 응력이 같고 변위가 연속이라는 것으로부터 구해진 식(8)을 적용한다.

$$\{F\} = -[W] \{p\}, \{ξ\} = [W]^T \{d\} \quad (8)$$

여기서 [W]는 배분행렬로 탄성체제 요소에 음향계의 음압이 행한 일과 음향계의 요소에 탄성체제의 변위가 행한 일의 상호관계를 나타낸다.

집속변환자의 음향계 해석공간은 개영역이므로 유한 요소 영역에 적용되는 식(7)의 유한요소식만으로는 해석될 수 없다. 따라서, 음향계의 반무한영역에 관한 음향어드미턴스의 영향을 고려한 가상경계역을 설정하여야 한다. 무한요소의 표현 방법 중에서 유한요소와 접합성이 우수한 하이브리드형 무한요소를 사용한 반무한 개영역을 유한요소의 가상경계역으로 가정하였다^{[6], [7], [10]~[15]}.

$$\begin{bmatrix} [Y]_{FF} & [Y]_{FC} \\ [Y]_{CF} & [Y]_{CC} - [y]_{CC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{p\} \\ \{p\}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j\omega \rho_L \{ξ\} \\ \{0\} \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서 $[Y]_{FF} = \frac{[M_L]}{j\omega} + j\omega [K_L]$ 로 음향계의 어드미턴스 행렬, $[Y]_{FC}$, $[Y]_{CF}$ 는 음향계와 경계역 사이의 등가 어드미턴스 행렬, $[Y]_{CC}$ 은 가상 경계역의 어드미턴스 행렬, $[y]_{CC}$ 은 무한요소 영역의 어드미턴스 행렬이다.

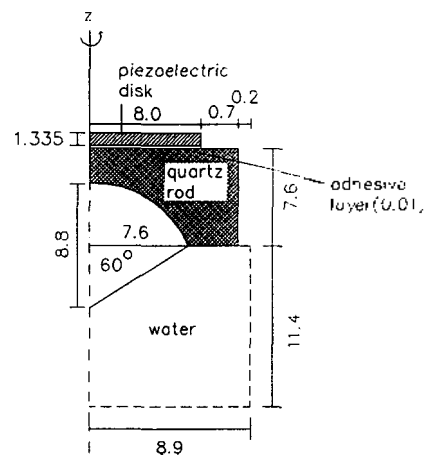
III. 집속변환자의 구조와 재질

Fig. 1은 댐퍼가 음압분포 및 변위분포에 미치는 영향을 고려하기 위하여 설정한 축대칭 초음파 집속변환자의 구조를 나타낸 것이다. 구조 I은 댐퍼를 장착하지 않고 압전진동자를 구동하는 것이며, 구조 II는 압전진동자의 뒷면에 원판형 댐퍼를 장착하여 압전진동자를 구동하는 것이다. 구조 III은 구조 II와 달리 원추형 댐퍼를 장착하여 압전진동자를 구동하는 것이다. 원추형 댐퍼는 원판형 댐퍼에서 발생하는 후면반사의 영향을 줄이는 목적에서 사용되고 있는 것이다.

구조 I, II, III에 있어서 치수는 기준파장 λ₀(=c/f₀)로 규격화된 것으로 치수의 결정은 먼저 f₀를 1.5MHz로

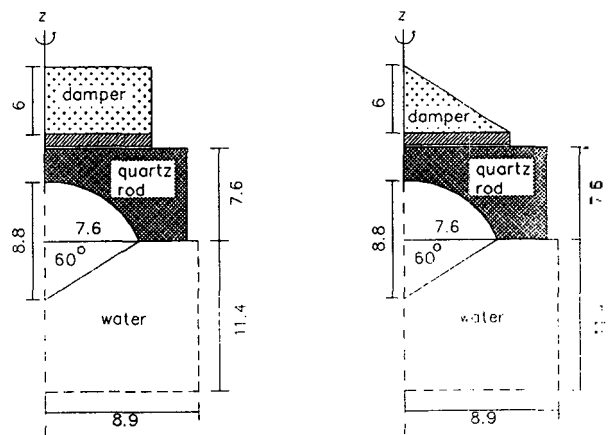
가정하고 구조 I에 대하여 입력어드미턴스를 계산하여 구한 공진주파수가 가정된 공진주파수와 일치할 때까지 규격이나 형상을 반복적으로 변화시켜 최종적으로 구한 것이다. 여기에서 공진주파수는 II장에서 설명한 입력어드미턴스에서 컨덕턴스가 가장 큰 주파수로써 구할 수 있다.

초음파 집속변환자의 구조에 있어서 압전진동자는 축방향의 분극을 가진 압전세라믹 NEPEC6(시판품: 일본 東北金屬(株))이고, 음향렌즈는 일반적으로 사파이어를 많이 사용하고 있지만 탄성적으로 이방성의 재료이기 때문에 등방성의 석영글래스를 선택하였다. 음향렌즈의 음원반경은 7.6λ₀이며 개구반각도 60°로써 기하학적인 초점 거리는 음파방사면(음향렌즈와 물의 접합부)으로부터 8.8λ₀로 된다. 접착제는 알랄다이트(ARALDITE)이며, 댐퍼는 에포킨계의 접착제에 카본가루를 혼합한 것이다. Table 1은 압전세라믹, Table 2는 탄성체인 음향렌즈, 접착제 및 댐퍼의 재료정수를 나타낸 것이다.



(a) structure I

Unit : λ₀



(b) structure II

(c) structure III

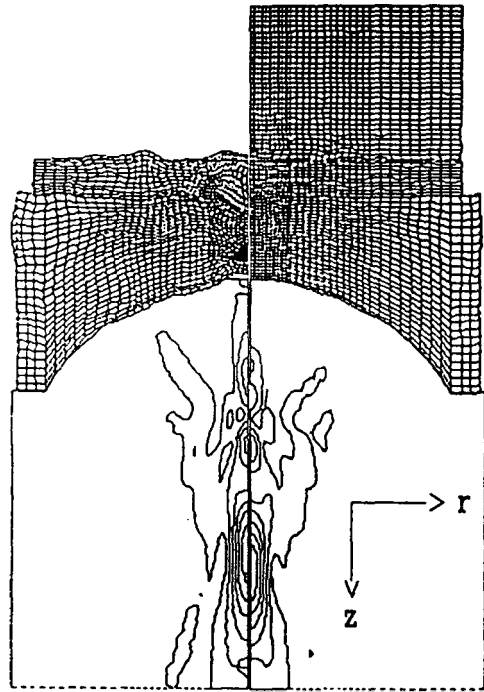
Fig. 1. Structure of ultrasonic focusing transducer.

Table 1. Material constants of the piezoelectric ceramic.

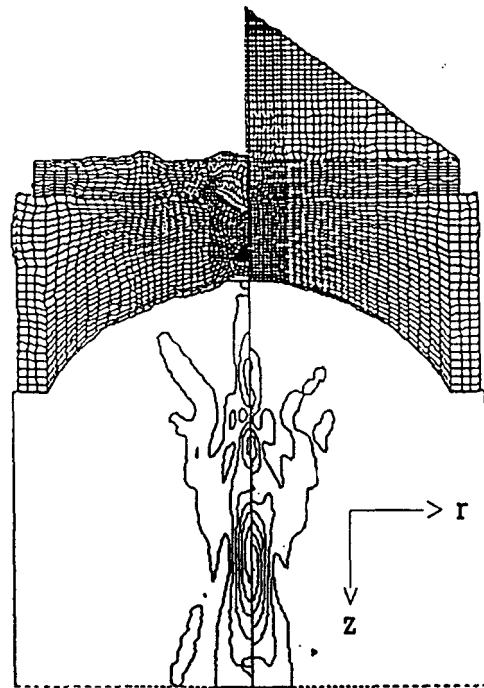
Relative permittivity	$\epsilon_{33}^T / \epsilon_0 = 1400, \epsilon_{11}^T / \epsilon_0 = 1350$
Dissipation factor tan δ (%)	0.3
Elastic constant S ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$)	$S_{33}^E = 12.7, S_{12}^E = -4.1, S_{13}^E = -5.2,$ $S_{33}^E = 15.4, S_{44}^E = 37.2$
Piezoelectric constant d ($\times 10^{-12} \text{ m/V}$)	$d_{31} = -133, d_{33} = 302, d_{15} = 419$
Poisson's ratio σ	0.32
Mechanical Q factor Qm	1500
Density(kg/m ³)	7770

Table 2. Material constants of the elastic media.

	Acoustic lens	Adhesive layer	Damper
Density(kg/m ³)	2220	1100	1500
Poisson's ratio	0.16	0.45	0.45
Young's modulus (N/m ²)	7.2×10^{10}	4.0×10^9	4.5×10^{10}
Damping factor	1.1×10^{-4}	0.1	0.5



(a) structure I, II



(b) structure I, III

Fig. 2 Displacement mode(grid region) and sound pressure distribution.

IV. 결과 및 고찰

IV-1. 집속특성

Fig. 2는 집속변환자의 구조 I, II와 I, III에 대하여 각 질점의 변위와 음압을 구하여 음향축(z축)을 대칭으로 하여 나타낸 모드도와 등음압분포도이다. 댐퍼를 장착하지 않은 구조 I 보다 댐퍼를 장착한 구조 II, III이 안정된 모드 특성을 보이며, 집속된 음장의 형태도 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 구조 I 보다 구조 II, III의 경우가 음향축 및 경방향(r)으로 안정된 집속 형태를 띠고 있다. 이것은 댐퍼의 장착으로 인한 결과로 판단된다. Table 3에서 등음압분포로부터 구한 각 모델에 대한 초점거리는 구조 I의 경우 기하학적 초점거리($13.345 \lambda_0$)보다 $1.909 \lambda_0$, 구조 II, III의 경우 $2.26 \lambda_0$ 후방에 형성되었다. 초점거리가 기하학적 초점거리보다 후방에 형성되는 것은 압전진동자에 의해 형성된 음파가 매질이 서로 다른 음향렌즈와 물을 통과하여 집속되기 때문에 생기는 수차로 사료된다.

Fig. 3은 구조 I, II, III에 대하여 음향축 방향의 음압과 음향축 방향의 분해능(-6dB 대역폭)을 구하기 위한 음압도를 나타낸 것이다. Fig. 3은 구조 I, II, III의 음향축 방향 음압으로 각각 정규화하여 나타낸 것으로 구조 II, III는 유사한 음압 형태를 가지고 있으며, 구조 I에 비하여 주엽(main lobe)의 특성은 비슷하나 부엽(side lobe)특성이 개선되었음을 보인다. 음향축방향 주엽 분해능을 그림으로부터 구하면 Table 3에 나타낸 바와 같이 댐퍼를 장착한 구조 II, III이 구조 I에 비해 $0.334 \lambda_0, 0.297 \lambda_0$ 개선되었다. 구조 I에 비해 구조 II, III의 부엽

특성이 개선된 것은 댐퍼의 장착으로 방사면의 변위분포가 안정된 결과로 판단된다.

Fig. 4는 구조 I, II, III에 대한 초점면상의 음압과 분해능을 구하기 위한 경방향 음압 특성으로 각각 정규화

한 분석결과이다. 그림으로부터 경방향 분해능을 구하면 Table 3과 같고, 구조 I에 비하여 구조 II, III의 분해능은 각각 $0.039 \lambda_0$, $0.037 \lambda_0$ 개선되었다. 또한, 그림은 구조 II, III의 경우 부엽 특성이 개선되었음을 보인다.

Fig. 3과 Fig. 4의 음압 특성은 구조 I, II, III에 대하여 각각 정규화하여 비교하였기 때문에 음압의 크기에 대한 비교를 나타낼 수 없지만, 구조 I에 대하여 정규화하면 댐퍼의 장착으로 인한 부가질량 효과로 음압이 60%정도 감소하였다.

Fig. 5는 방사면상(음향렌즈 개구부)의 변위 분포를 구조 I의 변위를 기준으로 정규화하여 나타낸 것으로 구조 II, III은 유사한 분포 특성을 보이며 구조 I에 비해 변위분포가 안정되어 있다. 즉 댐퍼의 장착이 변위분포를 안정화시켜 변환자의 주엽 분해능 및 부엽 특성을 개선시킨다고 판단된다.

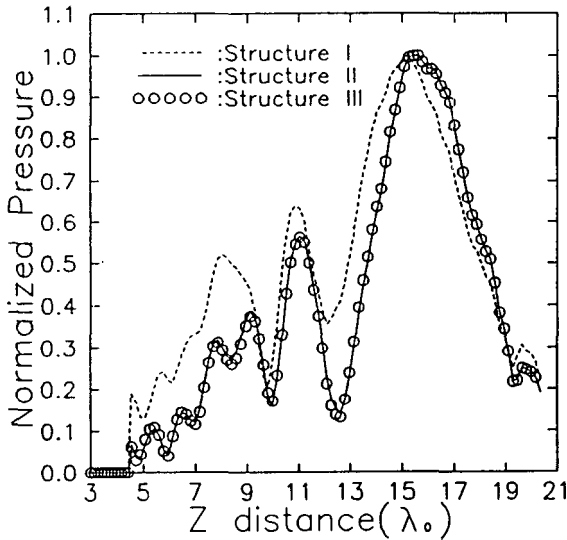


Fig. 3 Focusing characteristics along the acoustical axis.

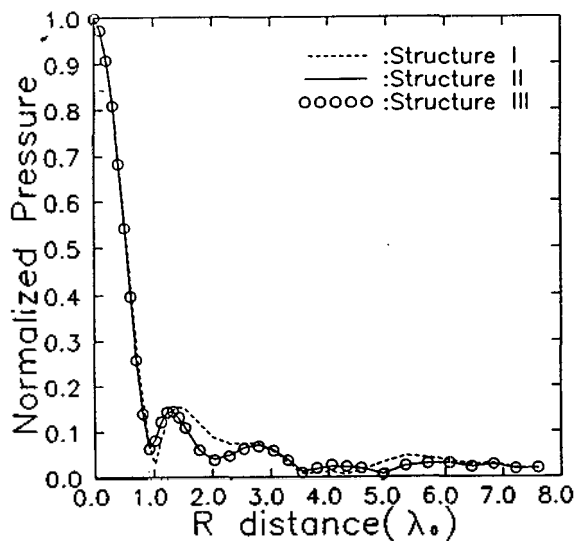


Fig. 4 Focusing characteristics across the focal point in the radial direction.

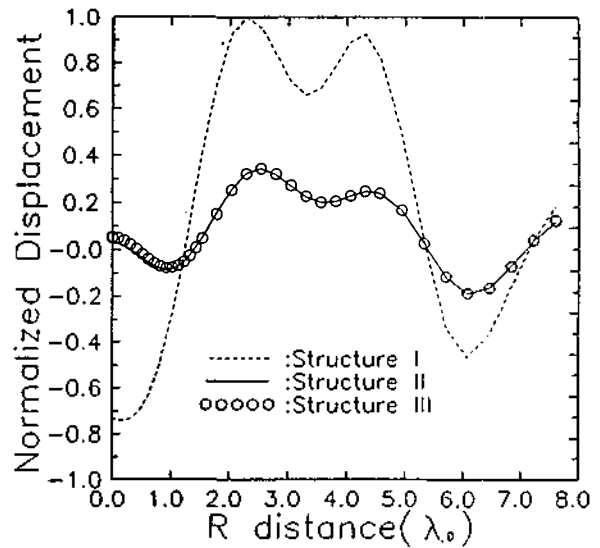


Fig. 5 Normalized displacement on the radiation surface.

Table 3. Position of focal points and resolutions for the acoustical axes and the radial axes (analyzed from focusing characteristics).

Structure		I	II	III
Focal point		$15.254 \lambda_0$	$15.605 \lambda_0$	$15.605 \lambda_0$
Resolution	Acoustical axis	$5.109 \lambda_0$	$4.775 \lambda_0$	$4.812 \lambda_0$
	Radial axis	$1.116 \lambda_0$	$1.077 \lambda_0$	$1.079 \lambda_0$

IV-2. 시간 응답

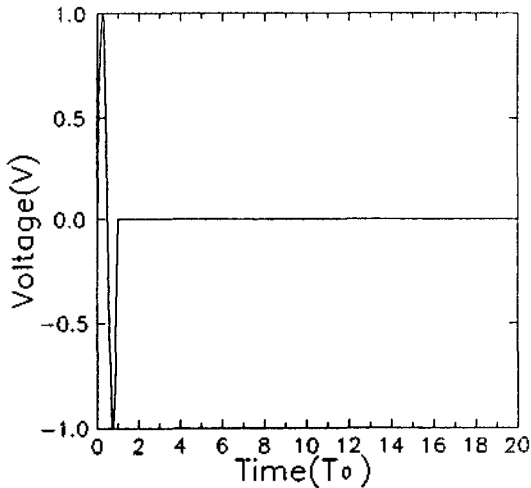
초음파 현미경에 사용되는 집속변환자는 일반적으로 펄스파에 의해 동작되므로 집속특성뿐만 아니라 시간 응답도 고려되어야 한다. 시간응답의 해석방법으로는 룬케 쿠타법, 가라킨법, 뉴마크-β법등의 축차계산법과 FFT 알고리즘을 사용하는 방법이 있지만, 본 연구에서는 계산시간이 짧고 주기억 장치의 기억용량의 제한을 적게 받는 FFT 알고리즘을 사용하여 시간 응답을 해석하였다. [8], [15]~[17]

Fig. 6은 입력으로 가정한 펄스파와 그것의 스펙트럼을 나타낸다. 구조 I, II, III에 대한 집속특성으로부터 각 절점의 주파수 응답을 구하여 전달함수로 하고 그림의 입력펄스 스펙트럼을 $0.02 f_0$ 간격으로 $2.56 f_0$ 까지 곱하여 출력함수를 구한다. 이 출력함수를 IFFT하여 각 절점의 시간응답을 구하였다.

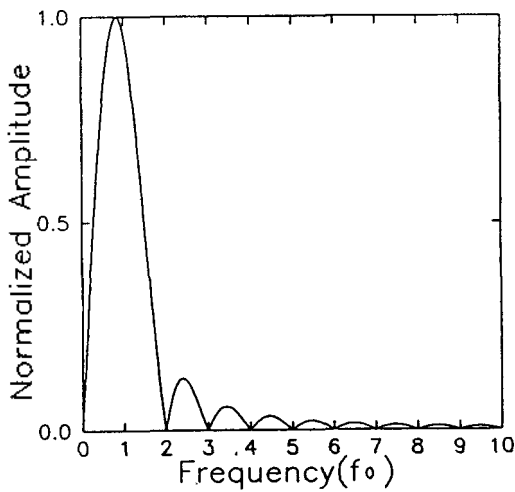
Fig. 7~Fig. 8은 구조 I, II, III에 대한 시간 응답 특성으로 방사면으로부터 음향축 방향으로의 거리(파장 단위의 거리) 증가에 따른 시간응답을 정규화하여 나타낸 것이다. 그림으로부터 최대응답이 나타나는 음파 도달시간을 구할 수 있으며 방사면으로부터 거리가 멀어짐에 따라 음파 도달시간이 길어지는 것을 알 수 있다. 구조 II, III은 거의 같은 응답을 가지고 있으며, 구조 I의 응답에

비하여 최대응답 시간 이전의 응답이 안정되어 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 댐퍼의 장착에 의해 방사면상의 변위분포가 안정되었기 때문이라고 사료된다.

Table 4는 시간응답으로부터 구한 초점거리와 음축방향 분해능을 나타내며, 초점거리는 시간응답에서 최대응답이 나타나는 거리이며, 분해능은 초점거리로부터 집속 특성에서와 같이 -6dB 대역폭의 거리이다. 각 구조에 대한 초점거리 특성은 집속특성에서 구한 값보다 각각 $229 \lambda_0$, $0.878 \lambda_0$, $0.878 \lambda_0$ 후방에 형성됨을 알 수 있다. 이것은 해석 주파수 대역을 $2.56 f_0$ 까지 제한한 것으로 인한 오차로 생각된다. 음향축방향 분해능의 경우도 위와 같은 이유로 집속특성의 결과와는 오차를 가지고 있으며, 구조 II, III의 분해능이 구조 I에 비하여 각각 $0.187 \lambda_0$, $0.135 \lambda_0$ 개선되었다.

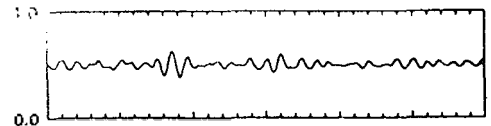


(a) input signal

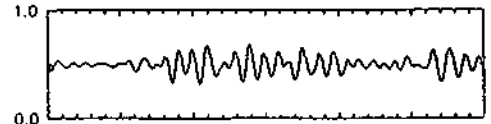


(b) spectrum

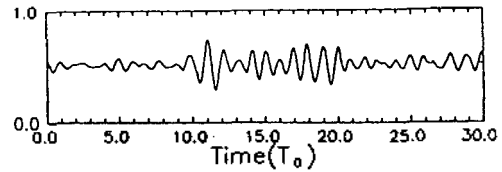
Fig. 6 Input pulse and its spectrum.



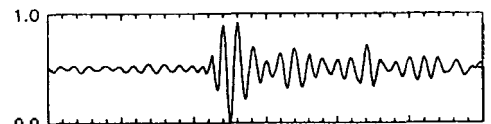
(a) $4.545 \lambda_0$



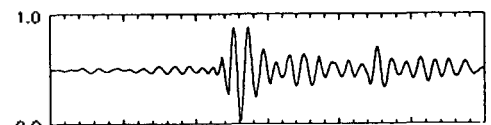
(b) $9.285 \lambda_0$



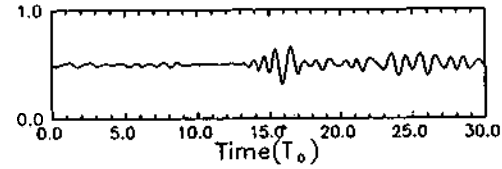
(c) $14.025 \lambda_0$



(d) $16.483 \lambda_0$

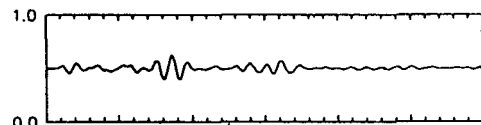


(e) $17.185 \lambda_0$

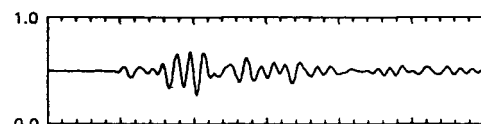


(f) $20.345 \lambda_0$

Fig. 7 Time response along the acoustic axis(structure I)



(a) $4.545 \lambda_0$



(b) $9.285 \lambda_0$

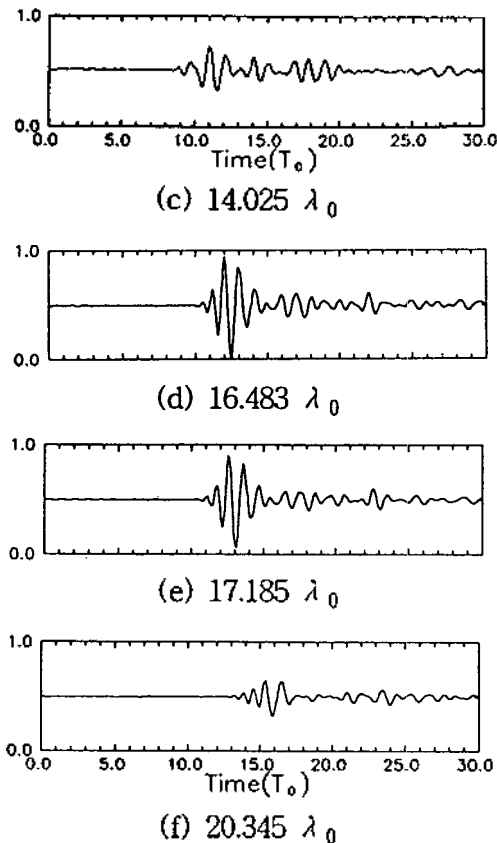


Fig. 8 Time response along the acoustic axis(structure II, III).

Table 4. Position of focal points and resolutions for the acoustical axes and the radial axes(analyzed from time response).

Structure	I	II	III
Focal point	16.483 λ_0	16.483 λ_0	16.483 λ_0
Resolution(Acoustic axis)	5.394 λ_0	5.207 λ_0	5.259 λ_0

V. 결 론

초음파현미경의 집속변환자에 대한 초점거리와 분해능 특성을 해석하기 위해 유한요소법과 하이브리드형 무한요소법을 적용하여 집속특성과 펄스파를 입력한 경우인 시간 응답을 구하였다.

댐퍼를 장착하지 않고 압전진동자를 구동한 구조 I, 원판형 댐퍼를 장착한 구조 II, 원추형 댐퍼를 장착한 구조 III에 대하여 모드 및 등음압분포, 음향축 방향의 음압분포, 초점면상의 음압분포, 방사면상의 변위분포를 수치 해석하여 음장특성에 미치는 영향을 분석하였다. 댐퍼의 장착에 의하여 압전진동자가 피스톤 운동에 가깝게 운동을 하게 되고, 이것으로부터 방사면상의 변위 분포가 안정되어 음축방향 및 경방향 분해능이 개선된다는 것을 알 수 있었다.

시간 응답에서는 구조 I, II, III에 대하여 펄스파를 입력한 경우의 응답을 구하였다. 방사된 음파가 집속될 때까지의 음파도달시간이 구해졌으며 초점거리는 주파수 응답에서의 결과와 거의 일치하였다. 분해능의 경우도 댐퍼의 장착에 의해 개선된다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 실제의 이용에 있어서는 초점거리와 음파 도달 시간 등을 고려하여야 하며, 집속특성에서 구해진 초점거리 및 분해능도 이용할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 구조 II의 원판형 댐퍼에서 일어나는 후면반사의 영향을 줄이기 위한 구조 III과 같은 원추형 댐퍼를 설정하여 시간 응답을 구하였지만, 집속특성의 결과로부터 시간 응답을 계산하기 때문에 후면반사에 의한 영향을 따로 분리하여 해석하지 못하였다. 이러한 후면반사가 음장에 미치는 영향은 계산기의 계산 속도가 향상된다면 축차계산법을 사용함으로써 해석 가능하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 電子技術研究會, 알기 쉬운 초음파, 技文社(1989. 8).
2. 서상준, "초음파와 의학," 韓國音響學會誌, Vol. 11, NO. 4, pp. 67-72(1992. 8).
3. 고대식, "초음파현미경 시스템의 의학적 응용," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, pp. 114-123(1994. 11).
4. 日本電子機械工學會, 초음파工學, コロナ社(1992. 10).
5. 加川辛雄, "電氣·機械/電氣·音響變換機의數值シミュレーション(2)," 機械の研究, 第42卷, 第8號, pp. 30-34(1990).
6. 金千德, 尹鍾樂, 서희선, 김대환, "유한요소법을 이용한 원통형 압전변환기의 입력임피던스 해석," 韓國音響學會誌, Vol. 11, NO. 6, pp. 32-40 (1992. 6).
7. 尹鍾樂, 윤형규, 김대환, 金千德, "유한요소법과 하이브리드형 무한요소법의 결합에 의한 축대칭 변환기의 음향 특성 해석(I)," 韓國音響學會誌, Vol. 13, NO. 2, pp. 60-67 (1994. 4).
8. 加川辛雄 著, 有限要素法による振動·音響工學/基礎と應用, 培風館(1981. 7).
9. 加川辛雄 著, 有限要素法による振動·音響工學/基礎と應用, 培風館(1981. 7).
10. 加川辛雄 著, 開領域問題のための有限/境界要素法, 사이エンス社(1983. 7).
11. 加川辛雄, 村山健一著, BASIC による電氣·電子有限要素法, 科學技術出版社(1986. 9).
12. 十文字弘道, 共著, 電氣電子のための固體振動論の基礎, オーム社(1982. 9).
13. 金千德, 尹鍾樂 共譯, 전기음향공학, (1983. 7).
14. シミュレーション技術研究會, シミュレーション技術(III) 有限要素法, コロナ社(1981).
15. 박순중, 유한요소법을 이용한 초음파 집속변환기의 음장 해석에 관한 연구, 釜山水産大學校 碩士學位論文(1994. 2).
16. 菊地文雄 譯, 有限要素法の數值計算, 科學技術出版社(1977. 9).
17. David S. Burnett, Finite Element Analysis, Addison Wesley(1988. 5).

▲김 천 덕(Chun-Duck Kim)

1946년 5월 23일생

현재 : 부산수산대학교 전기공학과 교수
(1994년 제13권 6호 참조)

▲윤 종 략(Jong-Rak Yoon)

1954년 6월 17일생

현재 : 부산수산대학교 정보통신공학과 조교수
(1994년 제13권 2호 참조)

▲하 강 열(Kang-Lyeol Ha)

1955년 1월 17일생

현재 : 부산수산대학교 물리학과 조교수
(1995년 제14권 4호 참조)

▲박 순 종(Soon-Jong Park)

1971년 7월 11일생

1992년 2월 : 부산수산대학교 전자
공학과 졸업(학사)

1994년 2월 : 부산수산대학교 대학
원 전자통신공학과 졸
업(공학석사)

1994년 3월~현재 : 부산수산대학교
대학원 전자공학
과 박사과정



※주관심 분야 : 초음파 진동자 수치해석