

P(VDF - TrFE) 초음파현미경용 트랜스듀서의 특성에 관한 연구*

하 강 열

부산수산대학교

(1994년 6월 10일 접수)

A Study on the characteristics of the P(VDF - TrFE) Acoustic Microscope Transducer

Kang - Lyeol HA

National Fisheries University of Pusan

(Received June 10, 1994)

The characteristics of the P(VDF - TrFE) acoustic microscope transducer were evaluated theoretically and experimentally by comparison with those of the PVDF and the ZnO acoustic microscope transducers. It was found that its insertion loss was about 5dB lower than that of the PVDF and about 13dB higher than that of the ZnO. And, its relative bandwidth was 20% which could produce the effective acoustic pulse waves having about 4 periods duration into water. Another finding was that the effective horizontal focusing resolution and the focal depth were 120μm and 1.5mm, respectively.

서 론

초음파현미경은 물질의 점탄성적 특성을 화상 또는 수치에 의해 나타내는 장치로서, 전자재료나 생체조직의 음향특성 연구, 미소결합의 비파괴탐상 등의 여러 분야에서 새로운 계측수단의 하나로 등장하고 있다^{1)~6)}. 초음파현미경에 있어서 가장 중요한 부분은 전기신호를 음파로, 음파를 전기신호로 변환시키는 트랜스듀서 및 음향렌즈로 구성

된 초음파집속소자이다. 현재, 미국이나 일본 등에서 사용되고 있는 초음파집속소자는 주로 한쪽 단면이 음향렌즈의 역할을 하도록 가공된 사파이어봉의 다른 쪽 단면에 압전물질인 ZnO를 박막상으로 형성시켜 제작한 것이다. 그러나, 그러한 ZnO 압전박막의 제작에는 증착과 Sputtering을 위한 진공시스템이 필요하며, 복잡한 기술공정 및 많은 비용이 소용된다. 국내에서도 그동안 초음파현미경의 응용에 관한 연구는 일부 수행되어져 왔

* 이 논문은 1992년도 교육부지원 학술진흥재단의 자유공모(신진연구)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

으나^{7),8)}, 그 초음파집속소자에 대한 연구는 아직 까지 행해지지 않고 있다.

한편, 최근 개발된 P(VDF-TrFE) 고분자 압전막은 전기기계 결합계수 k_t 가 0.3정도로 매우 높고, 수십 MHz 이상인 VHF대에서 공진될 수 있으며, 음향 임피던스 및 유전율이 작아 수중에 짧은 펄스의 음파를 발생시킬 수 있으므로 표층하의 미세결함의 비파괴탐상용으로 사용하는 것을 목적으로 하는 초음파현미경용 집속소자 재료로서 적합한 것으로 알려져 있다^{9),10)}. 그러나, 현재 PVDF 압전막은 시판되고 있으나, P(VDF-TrFE) 압전막은 연구를 위한 시제품만 만들어지고 있어 입수하기가 곤란하다.

본 연구에서는 앞으로 P(VDF-TrFE) 고분자 압전막을 사용하는 초음파현미경용 집속소자를 개발하는 것을 목적으로, P(VDF-TrFE), PVDF 및 ZnO 트랜스듀서 각각에 대한 전기-음향변환 특성을 이론적으로 파악하고, P(VDF-TrFE)와 유사한 특성을 가지며 시판되고 있는 PVDF 압전막과 현재까지 초음파현미경용 트랜스듀서로서 가장 일반적으로 사용되고 있는 ZnO에 의한 초음파 집속소자를 제작하여 그 초음파 방사특성을 측정한 후, 이론계산 결과와 비교 검토함으로써 P(VDF-TrFE) 초음파현미경용 트랜스듀서의 특성을 평가하고자 시도하였다.

등가회로에 의한 이론해석

Fig. 1은 초음파현미경용 집속소자의 형태를 나타낸다. 그림에서 렌즈면 부분의 음향정합층은 주로 카르코게나이드(chalcogenide) 유리로써 만들어지는데, 이때 음향렌즈와 물 사이의 음향에너지 투과율은 95% 이상인 것으로 알려져 있다¹¹⁾.

P(VDF-TrFE), PVDF 및 ZnO에 의한 초음파현미경용 트랜스듀서의 전기-음향변환 특성을 파악하기 위하여 여기서는 먼저, 압전층의 진동면적은 음향방사면적과 같고 음파의 파장에 비하여 충분히 크며, 음향렌즈 봉의 길이는 음파의 파장

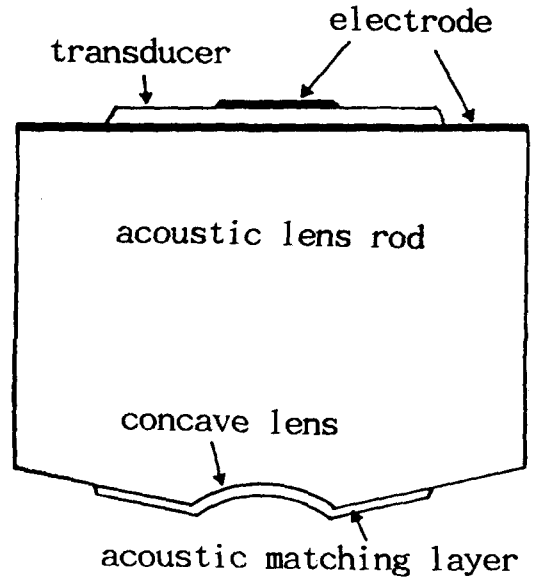


Fig. 1. Sectional structure of transducer for the scanning acoustic microscope(SAM).

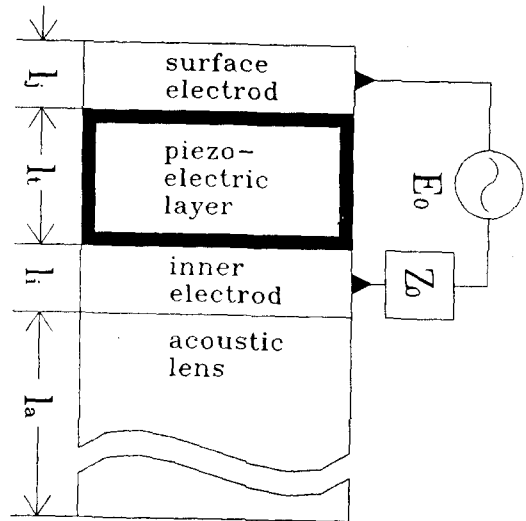


Fig. 2. Schematic of the layered structure of transducer for the SAM.

에 비해 충분히 긴 것으로 가정하였다. 이러한 가정하에서 Fig. 1의 트랜스듀서 부분의 다층막 구조는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있고, 菊池¹²⁾에 의한 전송선로 모델로 표시하면 Fig. 3과 같아진다. Fig. 2에서 E_0 는 전기단의 전압, Z_0 는 전원의

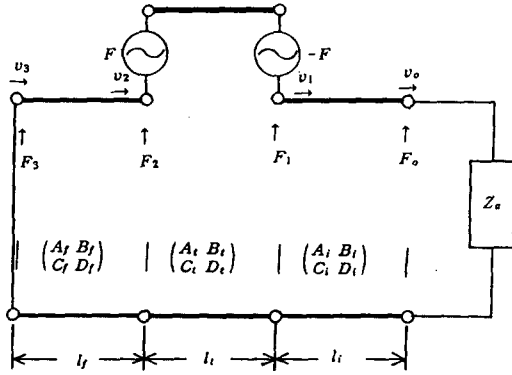


Fig. 3. Equivalent circuit of the transducer for the SAM.

내부 임피던스, l_* (*는 첨자 i, t, f 를 나타냄)는 *층의 길이를 각각 나타낸다.

Fig. 3의 등가회로는 전기단 및 음향단에서의 구동력 및 입자속도의 분포를 전압 및 전류로 유추시켜 얻은 것으로서, 2단자대망(4단자망)이 되므로 일반적으로 많이 이용하는 3단자대망 형식의 Mason의 등가회로¹³⁾보다 트랜스듀서의 동작에 대한 물리적 의미를 쉽게 파악할 수 있다. Fig. 3에서 F 는 起振力을, F_* 와 v_* 는 *단면에서의 힘과 입자속도를 각각 나타내며, A_* , B_* , C_* 및 D_* 는 4단자망의 전송파라미터로서 식(1)과 같이 주어진다.

$$\begin{pmatrix} A_* & B_* \\ C_* & D_* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma_* l_* & jZ_* S \sin \gamma_* l_* \\ j \frac{1}{Z_* S} \sin \gamma_* l_* & \cos \gamma_* l_* \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서, Z_* 는 각층의 고유음향임피던스, S 는 음향방사면적을 각각 나타내며, γ_* 는 *층에서의 전파손실 α_* 를 고려한 전파상수로서 다음과 같이 주어진다.

$$\gamma_* = \frac{\omega}{c_*} (1 + j\alpha_*) \quad (2)$$

단, ω 는 각주파수이며 c_* 는 *층에서의 음속이다. 표면전극에서의 힘 F_3 와 입자속도 v_3 에 의해

음향단에 생기는 힘 F_0 와 입자속도 v_0 는 다음의 식(3)에 의해 구해진다.

$$\begin{pmatrix} F_0 \\ v_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} A_t & B_t \\ C_t & D_t \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} A_f & B_f \\ C_f & D_f \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} F_3 \\ v_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 논하는 트랜스듀서는 구조적으로 종진동모드의 압전진동자이므로 압전기본식으로는 다음의 h 형식이 이용되어진다.

$$T = c^D S - hD \quad (4)$$

$$E = -hS + \beta D \quad (5)$$

단, T : 응력, S : 왜곡(strain), D : 전기변위, E : 전계, h : 압전응력정수, c^D : D 가 일정할 때의 탄성 스티프네스, β : S 가 일정할 때의 逆誘電率이다. 또한, 임피던스형식에 의한 전기-음향 변환의 기본식은 다음과 같이 주어진다¹⁴⁾.

$$F_0 = AI + (Z_i + Z_r)v_0 \quad (6)$$

$$E_0 = (Z_d + Z_0)I + A v_0 \quad (7)$$

여기서, I : 구동전류, Z_i : 기계임피던스, Z_d : 제동임피던스, Z_r : 음향방사임피던스, A : 力係數(force factor)를 각각 나타내며, 그 값은 각각 다음과 같이 주어진다. 즉, Z_i 는 전기단을 개방했을 때 음향단에서 트랜스듀서 쪽을 본 임피던스로서, $I=0$ 로부터 $F_3=0$ 이며, 이때의 F_0/v_0 로 주어지는 Z_i 는 식(3)에 의해,

$$Z_i = \left. \frac{F_0}{v_0} \right|_{F_3=0} = \frac{D_i(D_t B_f + B_t A_f) + B_i(C_t B_f + A_t A_f)}{C_i(D_t B_f + B_t A_f) + A_i(C_t B_f + A_t A_f)} \quad (8)$$

가 된다. 제동임피던스 Z_d 는 음향단을 제동($v_0=0$)하였을 때의 양 전극간에 나타나는 전압 E 와 전류 I 의 비 E/I 이며, 압전소자의 제동용량을 C_0 라고 하면, C_0 와 E 는

$$C_0 = \frac{\epsilon S}{h} \quad (9)$$

$$E = \frac{I}{j\omega C_0} - \frac{h}{j\omega}(v_2 - v_1)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{I}{j\omega C_0} - \frac{h}{j\omega} \{ (A_i(1-A_f) - C_i B_f) v_3 \\
 &\quad + \frac{h}{j\omega} C_i \} \\
 &= \frac{I}{j\omega C_0} + \left(\frac{h}{\omega}\right)^2 \\
 &\quad \frac{A_f \{ C_i(D_i-1) + A_i C_i \}}{C_i(D_i B_f + B_i A_f) + A_i(C_i B_f + A_i A_f)} I \quad (10)
 \end{aligned}$$

로 주어지므로 다음의 식(11)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
 Z_d = \frac{E}{I} \Big|_{v_3=0} &= \frac{1}{j\omega C_0} + \left(\frac{h}{\omega}\right)^2 \\
 &\quad \frac{A_f \{ C_i(D_i-1) + A_i C_i \}}{C_i(D_i B_f + B_i A_f) + A_i(C_i B_f + A_i A_f)} \quad (11)
 \end{aligned}$$

단, 식(9)에 있어서 ϵ_t 는 트랜스듀서의 유전율이다. 음향방사임피던스 Z_r 은 진동면이 음파를 방사할 때 매질로부터 받는 반작용력과 진동면의 입자속도의 비로 정의되는 값으로서 매질이 균질하며, 진동면이 피스톤 운동할 경우는 다음의 식(12)와 같이 주어진다.

$$Z_r = SZ_a \left\{ 1 - \frac{J_1(2k_s a)}{k_s a} + j \frac{S_1(2k_s a)}{k_s a} \right\} \quad (12)$$

여기서, Z_a 및 k_s 는 각각 음향매체의 임피던스 및 파수, a 는 트랜스듀서의 반경, J_1 및 S_1 는 1차 제 1종 Bessel함수와 1차 Struive함수를 각각 나타낸다. 식(12)에 있어서 $k_s a$ 의 값이 충분히 크면,

$$Z_r = SZ_a \quad (13)$$

인 특성임피던스가 된다. 力係數 A 는 단위전류를 가했을 때 생기는 힘, 또는 단위 속도를 주었을 때 나타나는 전압을 말하며, (6)식에 있어서 음향단자 개방($Z_r=0$, $F_0=0$)시의 $\frac{-Z_i}{I} v_0$ 에 상당하고, 다음의 식(14)로 주어진다.

$$\begin{aligned}
 A = \frac{h}{j\omega} [D_i(D_i-1) + B_i C_i \\
 - Z_i \{ C_i(D_i-1) + A_i C_i \}] \quad (14)
 \end{aligned}$$

이상의 식에서 사용한 압전용력정수 h 와 전기기계결합계수 k_t 와의 관계는 식(15)와 같다.

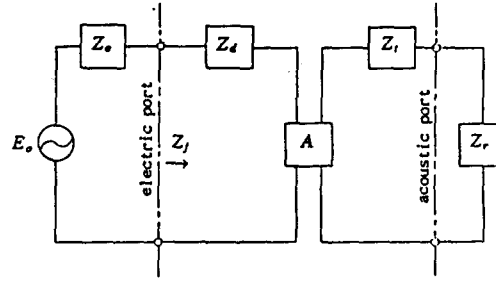


Fig. 4. Equivalent circuit of an acoustic transducer by Nukiyama¹⁴⁾.

$$h = k_t \sqrt{c_t^2 \frac{\rho_t}{\epsilon_t}} \quad (15)$$

이 식에서 c_t^2 및 ρ_t 는 트랜스듀서 내에서의 종파의 음속과 밀도를 각각 나타낸다.

한편, 식(6)과 (7)에 의해 트랜스듀서는 Fig. 4와 같은 등가회로도 나타낼 수가 있다¹⁴⁾. 그림에서 Z_f 는 진동시의 전기단에서 트랜스듀서 쪽을 본 임피던스를 나타내는 자유임피던스이며, 그 값은 Z_e , Z_d , Z_r 및 A 로부터 다음의 식(16)과 같이 구해진다.

$$Z_f = Z_d - \frac{A^2}{Z_i + Z_r} \quad (16)$$

주파수영역에서의 트랜스듀서의 전기-음향변환특성을 나타내는 실효감쇠량(effective attenuation: α_{eff})은 Z_f 에 의하여 다음의 식(17)로 표시할 수 있다.

$$\alpha_{eff}[dB] = -10 \log \left(1 - \left| \frac{Z_f - Z_0}{Z_f + Z_0} \right|^2 \right) \quad (17)$$

이 식에서 $||$ 내는 전기단에서의 진폭에 대한 반사계수를 나타내므로 α_{eff} 는 전기-음향변환에 따른 에너지손실에 해당함을 알 수 있다.

실 험

1. 초음파 집속소자의 제작

Table 1은 본 연구에서 계산 및 실험에 사용한

Table 1. Properties of the materials of transducer or acoustic coupler

	material	sound speed (ms)	density (kg/m ³)	dielectric constant (ϵ/ϵ_0)	coupling factor (k_t)
transducer	PVDF	2260	1780	6.2	0.19
	P(VDF-TrFE)	2440	1880	4.3	0.29
	ZnO	6100	5700	10.2	0.30
acoustic coupler	SiO ₂	5970	2700	-	-

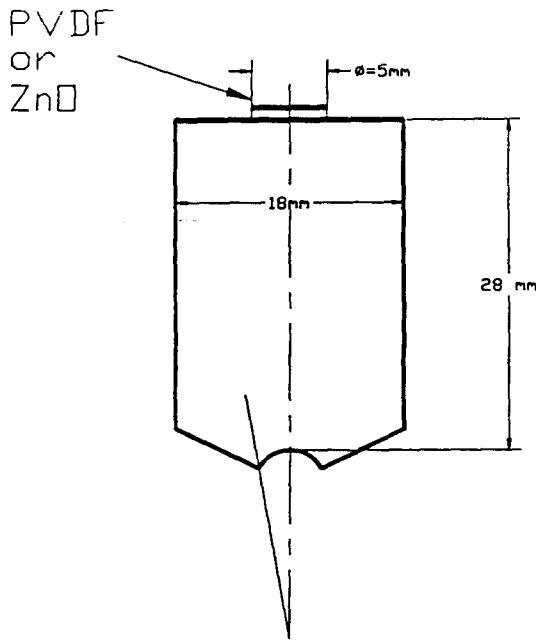


Fig. 5. Sectional schematic of the acoustic microscope transducer used in experiment.

각종 트랜스듀서 및 음향렌즈 재료의 물리정수를 나타내며, Fig. 5는 본 연구에서 설계, 제작하여 사용한 초음파 집속소자의 형태를 나타낸다.

본 연구에서의 초음파 집속소자는 백 MHz 이상의 고분해능 초음파현미경용 집속소자와는 달리 음향매체인 렌즈재료로써 사파이어에 비해 물과의 음향임피던스 차가 적어 공간분해능은 떨어지지만 시간적으로 짧은 펄스를 만들 수 있는 용융석영을 사용하였으며, 렌즈의 곡률을 크게하고 개구각을 10°로 하여 초점심도를 크게 함으로써 내부결함의

비파괴검사용에 적합하도록 제작하였다.

PVDF와 ZnO를 동일한 2개의 음향렌즈의 한쪽 단면에 각각 형성시켰는데, PVDF 압전막으로는 日本 吳羽(化學工業(株))의 제품 중 두께 9 μ m의 것을 사용하였으며, 10⁻² Torr의 진공속에 넣어 탈기시킨 Araldite를 사용하여 압력을 가하면서 광학연마된 용융석영 렌즈봉의 단면에 접착시켰다. ZnO의 경우는 Minakata 등¹⁵⁾에 의한 방법으로 제작하였으며, 가능한 PVDF 트랜스듀서와 동일한 특성을 나타내도록 형성되는 박막의 두께를 조절하였는데 형성된 두께는 약 15 μ m이었다. 이 이상의 두께를 갖는 ZnO 압전막의 제작은 상술한 Minakata 등에 의한 방법으로는 곤란하였다.

2. 장치 및 방법

초음파현미경용 트랜스듀서의 주파수 응답을 평가하는데에는 일반적으로 음향렌즈의 수중 초점면에 반사율이 높은 표적물을 설치한 다음 그 표적물에서 반사되어 오는 음파를 수신하여 입력한 전기신호와와의 차이를 구하는 삽입손실 (Insertion Loss : *IL*) 측정법이 사용된다. 본 실험에 있어서도 그 방법에 의해 삽입손실을 측정 한 후 이론계산 결과와 비교하였다.

Fig. 6은 본 연구에서 사용한 측정장치의 구성을 나타낸다. 그림에 나타난 구성에 의한 측정에 있어서 트랜스듀서의 *IL*은 다음과 주어진다.

$$IL [dB] = -2[\alpha_{eff} + 10 \log e^{(\alpha_s l_s + \alpha_w l_w)} + R.L. + T.L. + D.L.] \quad (18)$$

여기서, α_s , l_s 및 α_w , l_w 는 각각 음향매체인 용융 석영 및 수중에서의 전파손실 및 전파경로의 길이

이며, $R.L.$ 은 표적과 물의 경계에서의 반사에 따르는 손실, $T.L.$ 은 음향렌즈와 물의 경계면에서의 투과에 따르는 손실, $D.L.$ 은 음파의 회절에 따르는 손실을 각각 나타낸다. 수중에서의 음파의 전파에 따른 흡수손실에 대하여는 Pinkerton의 결과¹⁶⁾인 $a/f^2 = 2.53 \times 10^{-14} (Np \cdot s^2/m)$ 를 이용하였으며, 수중전파 거리는 용융석영의 경우 수중 초점거리가 곡률반경의 약 1.33배가 되는데, 그 두배가 왕복 전파거리가 된다. 한편, $D.L.$ 은 1dB 이하이므로 무시하였다.

Fig. 6에서 DC 펄스발생기는 펄스폭의 조절이 가능하며, 폭이 10^{-12} sec인 구형펄스를 만들 수 있는데, 이러한 펄스폭은 본 실험에서의 대상 주파수인 백 MHz 이하의 주파수대역에서는 임펄스로 간주될 수 있는 것이다.

삽입손실의 측정에 있어서는 트랜스듀서를 제거한 상태에서의 전기단으로부터의 반사신호를 주파수분석하여 얻은 파워스펙트럼 준위에서, 트랜스듀서를 부착하였을때 표적에서 반사되어 오는 파의 주파수 분석결과에 의한 파워스펙트럼 준위를 뺀 후, (18)식의 각 파라미터를 고려한 값을 구하였다. 반사되어온 신호 중에서 필요한 신호만을 수신하기 위한 GATE와 신호의 크기조절을 위한 증폭기를 부가시켰고, 임펄스에 대한 응답을

측정함으로써 제작한 트랜스듀서의 파형발생 특성을 구할 수 있는데, 이 때에는 Fig. 6에서 주파수분석기 대신에 오실로스코프를 사용하였다.

초음파 집속소자로서의 특성을 평가하기 위한 음장특성의 측정은 Fig. 6에 나타낸 수중에서의 초점면 부근에 표적물로서 음파의 파장과 비슷한 굵기의 Al 선($\phi = 25\mu m$)을 설치하여 행하였다. 측정에 있어서는 먼저 Z 방향으로 $1\mu m/step$ 의 정도를 갖는 스테핑 모터에 의해 초점의 위치를 정확히 파악한 후, 초점면에 일치하도록 Z방향의 움직임을 고정시키고, 급속선과 수직한 X 또는 Y 방향으로 $2\mu m/step$ 의 단위로 이동하는 스테핑 모터에 의해 走査하면서 반사되어 오는 음파의 크기를 dB 단위로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 삽입손실

Fig. 7(a) 및 (b)는 PVDF와 ZnO에 대한 삽입손실의 계산 및 측정결과이다. 계산에 있어서는 트랜스듀서 및 음향렌즈 내에서의 음파의 감쇠는 없는 것으로 하였으며, 수중에서의 초음파집속에 의한 반사 및 회절의 주파수 의존성은 무시하였다.

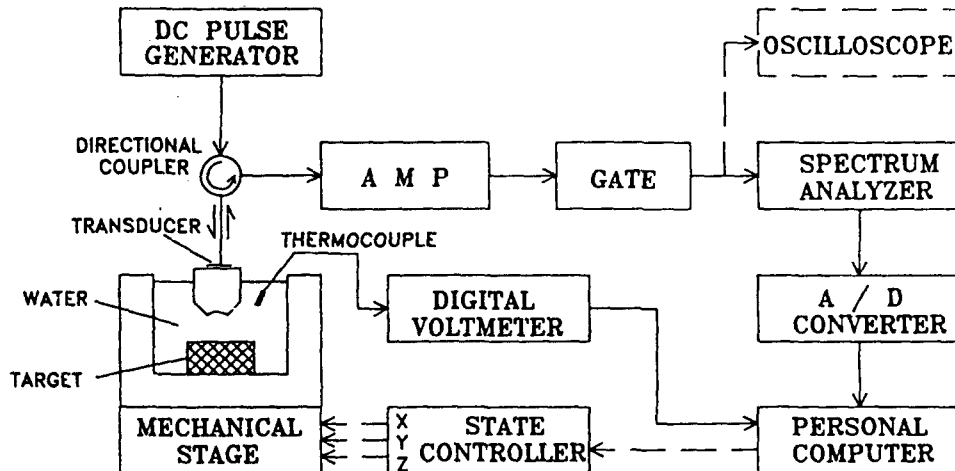


Fig. 6. Block diagram of the experiment system.

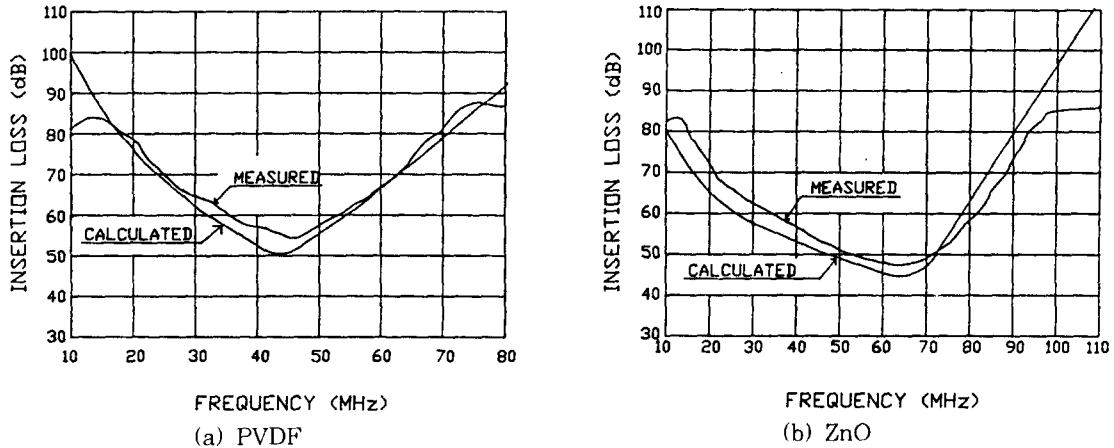


Fig. 7. Insertion losses of the PVDF and the ZnO transducer.

PVDF나 P(VDF-TrFE)의 경우는 음향임피던스가 용융석영에 비해 1/3 이하로 작기 때문에 $\lambda/4$ 모드에 가까운 공진현상을 나타내게 되는데, 9 μm 의 PVDF의 $\lambda/4$ 모드에 의한 공진주파수는 63MHz이다. Fig. 7(a) 및 (b)에서 나타낸 삽입손실에 대한 결과를 보면 PVDF의 경우 중심주파수가 약 45MHz이며, 이때의 삽입손실은 약 51dB로 나타났으며, 실험결과의 삽입손실은 약 55dB로서 약 4dB 적게 나타났다. 15 μm 의 ZnO의 경우에 있어서는 $\lambda/4$ 모드에 의한 공진주파수는 102MHz이며, $\lambda/2$ 모드에 의한 공진주파수는 51MHz이다. 삽입손실의 계산치는 중심주파수 약 65MHz에서 삽입 손실이 약 44dB로 나타나며, 실험결과는 약 48dB로서 PVDF의 경우와 마찬가지로 약 4dB 적게 나타났다. 최저 삽입손실을 나타내는 주파수는 수중에서의 감쇠손실 때문에 공진에 의한 중심주파수보다 저주파 영역에 생긴다는 것을 고려하면 PVDF는 예상되도록 $\lambda/4$ 모드에 가깝게 동작한다 것을 알 수 있으나, ZnO는 $\lambda/2$ 과 $\lambda/4$ 의 어느 쪽이라고 단정하기 어렵다.

Fig. 7(a)와 (b)를 비교하면 각각의 중심주파수에서의 삽입손실이 PVDF는 ZnO보다 약 7dB 큼을 알 수 있다. 그러나, 주파수의 차이에 의한 수중에서의 음파 감쇠에 대한 보정을 행하면

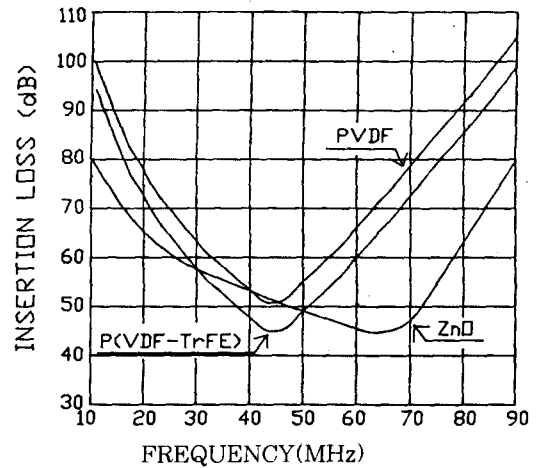


Fig. 8. Calculated insertion losses for the P(VDF-TrFE), the PVDF and the ZnO transducer.

같은 주파수의 경우에는 약 25dB 더 큰 값이 된다. 이 차이는 PVDF를 초음파현미경용 트랜스듀서 재료로 사용하는데 있어 큰 제한점이 된다.

Fig. 8은 PVDF와 동일한 주파수특성을 가질 수 있도록 P(VDF-TrFE)의 두께를 8.3 μm 인 막으로 제작하여 용융석영상에 부착하였다고 가정하였을 때에 대한 계산결과를 두께 9 μm 의 PVDF 및 두께 15 μm 의 ZnO에 대한 계산결과와 비교하여 나타내었다. 이 결과로부터 P(VDF-TrFE)는 중심주파수가 PVDF와 거의 같으며 삽

입손실이 PVDF 보다 약 5dB 작은 것을 알 수 있다. 이것은 P(VDF-TrFE)의 경우 PVDF와 마찬가지로 음향 임피던스가 용융석영에 비해 대단히 작으므로 트랜스듀서의 공진형태가 $\lambda/4$ 모드에 가깝고, Table 1에서 알 수 있는 바와 같이 두 재료내에서의 음속의 차이가 작아 중심주파수가 비슷하게 되었으며, 전기기계 결합계수 k_t 가 크므로 삽입손실이 작게 나타나게 됨을 뜻한다. P(VDF-TrFE)의 이러한 특성은 실효감쇠량이 크다는 PVDF의 단점을 보완할 수 있는 것으로서 초음파현미경용 소자로서의 PVDF 보다 유효하게 사용될 수 있음을 나타낸다. 그러나, 음향 매질인 용융석영과의 임피던스 不整合에 의한 손실이 대단히 크기 때문에 ZnO에 비하면 13dB 이상 효율이 떨어질 것으로 생각된다. 또한, 비대역폭은 PVDF나 P(VDF-TrFE)의 경우는 약 20%이나 ZnO는 약 30%로서 오히려 ZnO의 대역폭이 더 큼을 알 수 있다.

2. 파형발생

Fig. 9(a), (b)는 본 연구에서 제작한 초음파현미경 집속소자를 사용하여 수중의 초점면에 놓인 용융석영판에서부터 반사되어온 음파를 수신하였을 때의 파형을 나타낸다. 두 파에 있어서 입력된

전기신호는 동일하다. 여기서 사용한 ZnO 소자는 PVDF 소자에 비해 진폭이 약 2.2배 큰 음파를 발생시킴을 알 수 있으며, 이것은 전술한 삽입손실의 측정결과와 일치하는 값이다. 그러나, 두 파 모두 4주기 이상의 반복이 있어 시간영역에서의 응답의 차이는 그다지 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이것은 두 트랜스듀서에 있어서 比帶域이 유사함에 기인한다.

P(VDF-TrFE)의 경우는 Fig. 8에서 보면 중심주파수와 주파수대역이 PVDF와 거의 일치하므로 임펄스응답에 의한 파형은 PVDF와 유사할 것으로 생각된다. 이 파형은 Ohigashi 등¹⁷⁾이 음향렌즈의 凹面に P(VDF-TrFE) 용액을 도포하여 만든 경우의 1주기 파형에 비해 시간적으로 긴 파형으로서 전파방향에 대한 분해능, 즉 거리분해능은 감소하게 될 것이다.

3. 집속음장

집속음장의 특성은 초음파현미경의 2차원 화상에 대한 분해능을 결정하는 요소로서, 음향렌즈의 재질과 렌즈의 곡률 및 개구, 그리고 발생하는 음파의 주파수에 의하여 그 형태가 결정되며, 음파의 강도에는 무관하다. 따라서, 본 연구에서처럼 동일한 음향렌즈를 사용하였을 경우는 주파수 성

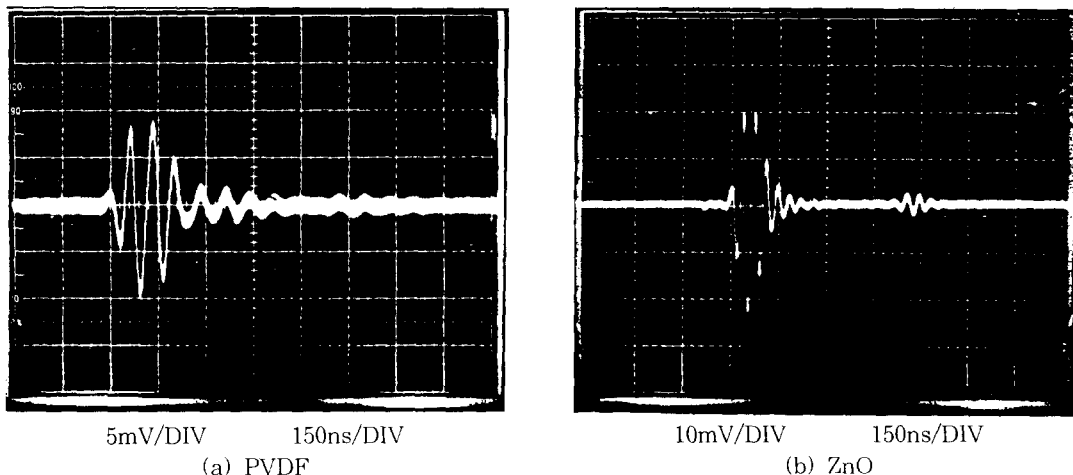


Fig. 9. Waveforms of the impulse response of the PVDF and the ZnO transducer.

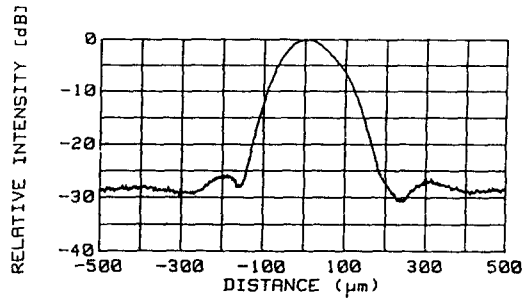
결론

본 연구에서는 PVDF, ZnO 및 P(VDF-TrFE) 초음파현미경용 트랜스듀서의 전기-음향변환 특성을 이론적으로 해석하고, PVDF 압전막과 ZnO를 사용한 초음파 집속소자를 제작하여 그 초음파 방사특성을 측정하고, 이론계산 결과와 비교 분석함으로써 P(VDF-TrFE) 초음파현미경용 트랜스듀서의 특성을 추정 평가하였다. 그 결과를 요약하면, P(VDF-TrFE) 초음파현미경용 트랜스듀서는 PVDF 보다 약 5dB 정도 효율을 높일 수 있으며, 비대역폭이 약 20%로서 약 4주기 동안 지속되는 파형의 음파가 발생되고, PVDF의 경우와 동일한 음장특성을 갖는 초음파 집속소자가 될 수 있음을 알았다. 그러나, ZnO에 비해 전기음향변환 효율이 낮고, 주파수대역폭이 좁아질 것으로 추정되었다.

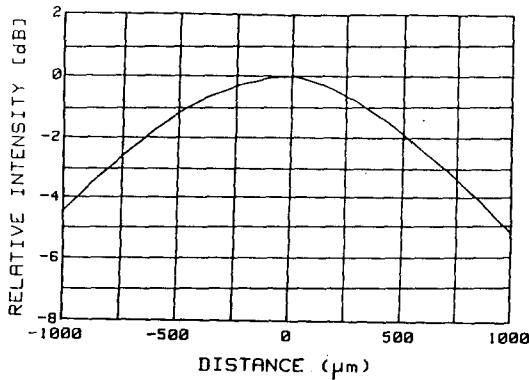
종합적으로 볼 때 P(VDF-TrFE) 압전막은 초음파현미경용 트랜스듀서 재료로서 적합한 물리적 특성을 가지고 있어 음향렌즈에 접착시켜 사용 가능하다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 보다 효율을 향상시키기 위해서는 Ohigashi 등¹⁶⁾이 제안한 바와 같이 렌즈의凹面에 직접 도포하거나 접착하여 제작하는 방안을 강구해야하며, 금후 이에 관한 연구 요망된다.

참고문헌

- 1) R.A.Lemons and C.F.Quate(1973) : A scanning acoustic microscope, IEEE Ultrasonic Symp. Proc., 18-20.
- 2) J.Kushibiki and N.Chubachi(1985) : Material characterization by line-focus-beam acoustic microscope, IEEE Trans. Sonics & Ultrasonics, Vol.SU-32, 189-212.
- 3) B.T.Khuri-Yakub, P.Reinholdtsen, and C-H. Chou(1985) : Acoustic imaging of subsurface defects in composites



(a) on focal plane



(b) along axial direction

Fig. 10. Focusing field characteristics of the PVDF transducer.

분, 특히 중심주파수에 의하여 그 형태가 달라지게 된다.

Fig. 10(a), (b)는 PVDF의 경우에 대한 초점면의 수평방향 및 초점면을 중심으로 한 그 부근의 수직방향, 즉 초음파렌즈의 축방향에 대한 음장측정의 결과이다.

Fig. 10(a)의 수평방향에 대한 측정 결과에서 -3dB를 기준으로 한 초점의 크기, 즉 방위분해능은 약 120 μ m이며, 수직방향의 측정결과인 초점심도는 약 1.5mm임을 알 수 있다. P(VDF-TrFE)의 경우 두께를 조정하면 PVDF와 거의 동일한 중심주파수와 주파수대역폭을 나타낼 수 있으므로, 본 실험에 사용한 음향렌즈에 대하여는 Fig. 10과 유사한 형태의 음장이 얻어질 것이며, 이러한 집속음장은 물질내부의 비파괴검사용으로 유용할 것으로 생각된다.

- and samples with rough surface, IEEE Ultrasonic Symp. Proc., 746-749.
- 4) R.S.Gilmore, R.E.Joynson, C.R.Trzaskos, and J.D.Young(1973) : Acoustic microscopy : materials art and materials science, Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol.6A, 553-562.
 - 5) J.Kushibiki, K.L.Ha, H.Kato, and N.Chubachi(1987) : Application of acoustic microscopy to dental material characterization", IEEE Ultrason. Symp. Proc., 837-842.
 - 6) N.Chubachi, J.Kushibiki, T.Sannomiya, N.Akashi, M.Danaka, H.Okawi, and F.Dunn(1987) : Scanning acoustic microscope for quantitative characterization of biological tissues", Acoustic Imaging, Vol.16, 277-285.
 - 7) 고대식, 전계석(1988) : 음향현미경을 이용한 layer-substrate 복합체의 특징해석, 한국음향학회지, 7권 3호, 16-21.
 - 8) 고대식, 전계석(1990) : 초음파 현미경을 이용한 다층구조물의 해석, 한국음향학회지, 9권 2호, 5-13.
 - 9) T.Sato, K.Koyama, S.Takahasi, A.Ishizaki, and Y.Maida(1989) : Short pulse response of ultrasonic transducer mode of piezoelectric copolymer films of vinylidene fluoride-trifluoroethylene, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.28-1, 66-68.
 - 10) H.Ohigashi, K.Koyama, S.Takahashi, A.Ishizaki, and Y.Maida(1989) : Piezoelectric properties of P(VDF-TrFE) thin films at low temperatures and their application to ultrasonic transducers for scanning acoustic microscopy operating in a wide temperature range, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 28-1, 66-68.
 - 11) J.Kushibiki, H.Maehara, and N.Chubachi(1989) : Acoustic properties of evaporated chalcogenide glass film, Electron. Lett., Vol.17, 322-323.
 - 12) 菊池, 中鉢, 山水(1972) : "超高周波用多層膜 超音波トラスジェーサの解析", 日本電子通信學會論文誌, Vol.55-a, No. 7, 331-338.
 - 13) W.D.Mason(1948) : Electromechanical transducers and wave filters, Van Nostrand Book Co..
 - 14) 拔山(1948) : 電氣音響器機の研究, (株)丸善.
 - 15) M.Minakata and N.Chubachi(1973) : Variation of c-axis orientation of ZnO thin film deposited by DC diode sputtering, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.12, 141-413.
 - 16) J.M.M. Pinkerton(1941) : The absorption of ultrasonic waves in liquids and its relation to molecular, Proc. Phys. Soc., Vol.B20, pp.129-141.
 - 17) H.Ohigashi, K.Koyama, S.Takahashi, K.Kimura, Y.Maida, and Y.Wada(1987) : High-resolution scanning acoustic microscope using a thin film transducer of P(VDF-TrFE), Toyohashi International Conference on Ultrasonic Technology, Toyohashi, Japan, 63-70.