

다층 PZT 초음파 트랜스듀서에 대한 새로운 전송선로형 등가회로의 제안

A new transmission-line model for multi-layered PZT ultrasonic transducer

김 무 준*, 하 강 열*, 김 성 부*, 이 종 규*
(Moo Joon Kim*, Kang Lyeol Ha*, Sung Boo Kim*, Jong Kyu Lee*)

요 약

높은 결합계수를 가진 압전진동자의 전기단자에 전기적 임피던스를 결합하면 공진주파수가 크게 변화한다. 본 연구에서는 이 현상의 해석을 위하여 전기단자의 부하상태를 고려한 새로운 전송선로형 등가회로를 제안하고, 그 등가회로의 유효성을 실험적으로 확인하였다. 실험에 있어서는 2층구조의 주파수 가변형 PZT 트랜스듀서를 제작, 그 전기단자에 접속시킨 임피던스의 변화에 따른 공진주파수의 변화와 실효감쇠량을 측정하였다. 제작된 트랜스듀서의 공진주파수는 180KHz~580KHz의 넓은 주파수 대역에서 연속적으로 변화하고, 330KHz~470KHz에서의 실효감쇠량은 7dB이하의 높은 효율을 나타내었는데, 이 결과는 제안한 등가회로에 의한 해석결과와 잘 일치하였다.

ABSTRACT

A resonant frequency of piezoelectric transducer depends remarkably on the electric impedance connected to the vibrator. In this paper, using this effect a frequency controllable two layered PZT ultrasonic transducer is designed and its acoustic characteristics are analyzed by a new transmission model equivalent circuit. The theoretical and the experimental results of the electric impedance effect on the resonant frequency variation were compared and both results showed a good consistency each other. The resonant frequency has been controlled continuously in the wide frequency range of 180kHz~580kHz and the effective attenuations were less than 7dB in the frequency range of 330kHz~470kHz.

I. 서 론

두께진동모드의 압전 진동자에 있어서 전기단자에 접속한 전기적인 부하상태를 변화시키면 그 주파수

특성이 크게 바뀐다. 이 현상은 다층구조로 되어있는 초음파 트랜스듀서의 특성제어에 응용되고 있으나^(1, 2), 그 이론적 검토나 등가회로적인 해석은 충분하다고 할 수 없다. 특히 Mason의 등가회로⁽³⁾는 집중정수회로를 사용하고 있어 그 회로 방정식이 임피던스 행렬로 표현되고 있다. 따라서 복수의 압전체를 구동하기도 하는 다층구조의 트랜스듀서를 해석할 경우 그 계

*부산수산대학교 물리학과
Dept. of Physics National Fisheries University of Pusan
접수일자: 1995년 3월 10일

산이 매우 복잡하다. 한편 藥池 등⁽⁴⁾은 拔山⁽⁵⁾에 의해 제안된 전기음향변환이론을 기초로 하여 복합구조의 다층박 압전체를 전송선로의 종속접속으로 해석하는 방법을 제안했다. 여기서 제안한 전송선로형 등가회로는 분포정수를 사용하고 있어 그 회로 방정식이 종속행렬로 표현된다. 따라서 다층구조의 경우에도 각 층을 표현하는 종속행렬들의 곱으로 쉽게 계산이 행해지며, 특히 전원에 의한 구동력을 기계적인 양으로 바꾸어 전송선로상의 기전원으로 취급하므로 전기단자를 고려할 필요가 없다. 따라서 회로 방정식은 2×2행렬의 형태가 되어 그 계산은 더욱 간단히 된다. 또한 이 연산은 트랜스듀서의 진동속도분포 혹은 응력분포의 계산에도 적용될 수 있다는 장점을 갖고 있다.

그러나, 종래의 전송선로형 등가회로의 경우 압전체의 전기단자의 부하상태를 고려할 수 없게 되어 있어 상술한 전기적인 부하상태에 의한 특성변화를 해석하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 전기단자에 전기적인 부하가 접속되어있는 압전층에 적용할 수 있는 새로운 전송선로형 등가회로를 제안하고 그 유용성을 확인하기 위하여 2층 구조의 PZT 초음파 트랜스듀서를 제작한후, 공진주파수의 변화와 그에 따른 실효감쇠량을 측정하여, 그 결과를 이론해석 결과와 비교 검토한다.

II. 이 론

1. 두께진동모드의 압전진동자

두께진동모드의 압전진동자에 대하여 압전기본식은 다음과 같은 h 형식이 자주 쓰인다⁽⁶⁾.

$$T = c^D S - hD \tag{1}$$

$$E = hS + \beta^S D \tag{2}$$

단, T : 응력, S : 변형, D : 전기변위, E : 전계, h : 압전 h 상수, c^D : 탄성계수, β^S : 변형이 일정할 때의 역유전율.

이들의 압전기본식과 운동방정식으로 부터 다음과 같은 압전체에 관한 전송선로 방정식과 그림1에 나타낸 전송선로형 등가회로가 구해진다⁽⁷⁾.

$$\begin{bmatrix} p_l + F \\ v_l \end{bmatrix} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} p_0 + F \\ v_0 \end{bmatrix} \tag{3}$$

단,

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}$$

$$P_{11} = P_{22} = \cos \gamma l$$

$$P_{12} = jz_0 \sin \gamma l$$

$$P_{21} = j \frac{1}{z_0} \sin \gamma l$$

여기서 p_0, p_l 및 v_0, v_l 은 각각 양단면에 있어서의 힘과 입자속도이다. Q 를 전원에 의해 인가된 전하량이라고 하면 음향적 진동원은 $F = hQ$ 로 주어진다. 특성 임피던스 z_0 는 음속을 c , 밀도를 ρ , 단면적을 S' 라 두면 $z_0 = \rho c S'$ 로 주어진다. 또 γ 는 압전체 내부의 전파손실계수 δ 를 고려한 전파상수로 다음과 같이 주어진다.

$$\gamma = \frac{\omega}{c} (1 + j\delta) \tag{4}$$

그러나, 그림 1에 나타낸 바와 같은 일반적인 전송선로형 등가회로 및 그 전송선로 방정식에는 압전체의 전기단자에 접속한 전기적인 부하의 영향이 고려되어 있지 않다. 본 연구에서는 그림 2에 나타낸 것과 같이 외부에서 응력을 받고 있는 압전진동자의 전기단자에 전기적인 부하 Z_L 를 접속한 경우의 전송선로형 등가회로를 검토한다.

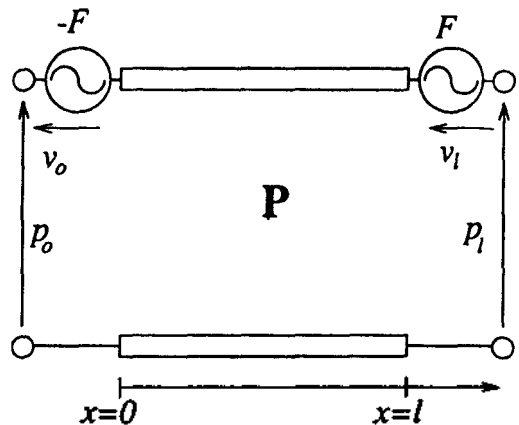


그림. 1 압전트랜스듀서의 전송선로형 등가회로
Fig. 1 Transmission-line model equivalent circuit of piezoelectric transducer

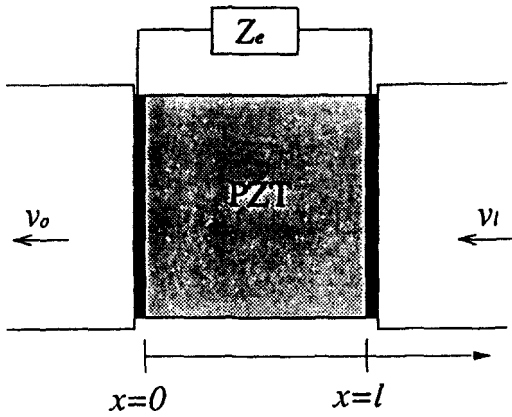


그림. 2 전기적 임피던스가 접속된 압전진동자에 외부로부터 힘이 가해지는 경우

Fig. 2 Thickness mode piezoelectric vibrator connected electrical impedance to electrical terminals

우선 압전진동자의 양전극에 외부응력에 의해 발생하는 전압 V_i 를 구하기 위해 (2)식을 압전체의 두께 l 에 대해 적분하면 다음과 같다.

$$V_i = \int_0^l E dx = \frac{h}{j\omega} (v_i - v_o) + \frac{Q}{C} \quad (5)$$

여기서 C 는 압전체의 세동용량이다. 이 경우 전기단자에는 외부로부터 공급되는 전하량은 없으므로 $Q=0$ 이 되어 외부응력에 의해 생성되는 전하량 Q 는 다음과 같다.

$$Q_i = C_e V_i = \frac{h}{j\omega} (v_i - v_o) \quad (6)$$

이 전하량 Q_i 는 즉시 외부의 전기적 부하 Z_e 에 의해 분배 및 이동하여 결과적으로 진동자의 전극에 남은 전하량은 다음과 같다.

$$Q_{eff} = \frac{Q_i}{j\omega C_e Z_e + 1} = \sigma Q_i \quad (7)$$

따라서 (7)식의 Q_i 에 (6)식을 대입하고 h 를 곱하여 기계적인 양으로 바꾸면 다음과 같이 된다.

$$F_c = hQ_{eff} = \frac{\sigma C_e h^2}{j\omega} v_i - \frac{\sigma C_e h^2}{j\omega} v_o = -z(v_i - v_o) \quad (8)$$

단,

$$\sigma = \frac{1}{j\omega C_e Z_e + 1}, \quad z = -\frac{\sigma C_e h^2}{j\omega}$$

이러시 (3)식이 F 대신에 (8)식이 F 를 대입해 p_o 및 v_o 와 p_i 및 v_i 의 관계를 구하면 전기단자의 부하상태를 고려한 전송선로 방정식이 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{bmatrix} p_i \\ v_i \end{bmatrix} = \mathbf{E} \begin{bmatrix} p_o \\ v_o \end{bmatrix} \quad (9)$$

단,

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} \\ E_{21} & E_{22} \end{bmatrix}$$

$$E_{11} = E_{22} = \frac{-\frac{z_o}{j \tan \gamma l} + z}{-\frac{z_o}{j \sin \gamma l} + z}$$

$$E_{12} = -\frac{z_o^2 + \frac{2z_o(1 - \cos \gamma l)}{j \sin \gamma l} z}{\frac{z_o}{j \sin \gamma l} + z}$$

$$E_{21} = -\frac{1}{\frac{z_o}{j \sin \gamma l} + z}$$

한편 (9)식을 (3)식의 행렬 \mathbf{P} 로 표현하면 다음과 같이 고쳐질 수 있다.

$$\begin{bmatrix} p_i + z v_o \\ v_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{P} \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_o - z v_i \\ v_o \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 $z v_o$ 및 $z v_i$ 를 각각 $-F_B$ 및 $-F_A$ 로 하면 (10)식은 다음과 같이 되어

$$\begin{bmatrix} p_i - F_B \\ v_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{P} \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_o + F_A \\ v_o \end{bmatrix} \quad (11)$$

그림 3과 같이 전기단자의 부하상태를 고려한 압전진동자의 전송선로형 동가회로가 유추될 수 있다.

그림 2에 표시한 전기적인 부하 Z_e 의 영향을 고찰해 보면 우선 Z_e 가 ∞ 의 경우, 즉 압전진동자의 전기단자가 개방되어 있는 경우는 (8)식에 있어서의 z 는 0이 되고 (11)식의 전송선로 방정식 및 그림 3의 전송선로형 동가회로는 각각 (3)식 및 그림 1에 있어서 진동자를 구동시키지 않는 경우($Q=0$)의 전송선로

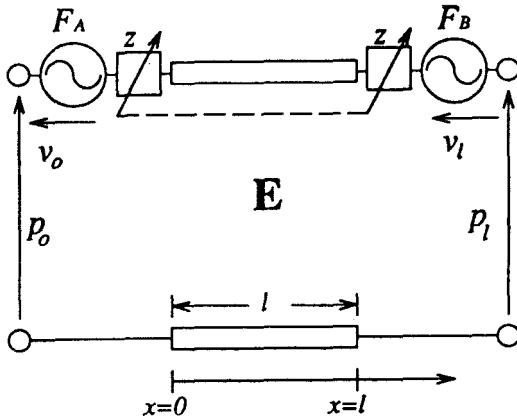


그림. 3 전기단자에 접속된 전기적 임피던스의 영향을 고려한 새로운 전송선로형 등가회로
 Fig. 3 New transmission-line model equivalent circuit including the electrical impedance effect

방정식 및 전송선로형 등가회로와 일치하게 된다. 특별한 경우로서 Z_r 가 코일의 인덕턴스 L_r 에 의한 부하인 경우 (8)식의 σ 는 다음과 같이 된다.

$$\sigma = \frac{1}{1 - \omega^2 C_o L_r} \quad (12)$$

(12)식의 L_r 의 값이 $1/\omega^2 C_o L_o$ 에 가까워질수록 전송선로상의 임피던스 z 가 크게 되고 이 압전체의 외전상의 음향적 특성이 크게 변하게 된다. 따라서 전기단자에 전기적인 부하를 접속시킨 비구동 압전층을 가진 다층구조 압전 트랜스듀서는 그 전기적 부하에 의해 트랜스듀서의 주파수특성을 크게 변화시키는 것이 가능하게 된다.

2. 전기 음향 변환 기본식과 제정수

두께진동 압전 트랜스듀서에 대한 전기 음향 변환 기본식은 전원의 기전력을 V_o , 전류를 I , 내부임피던스를 Z_o 로 두면 다음과 같이 나타낼 수 있다⁽⁸⁾.

$$F_o = AI + (z_t + z_r)v \quad (13)$$

$$V_o = (Z_o + Z_d)I + Av \quad (14)$$

여기서 F_o 는 음향단자에 있어서의 외부 구동력이고, v 는 입자속도, z_r 은 부하매질의 고유 음향 임피던스, A 는 역계수, z_r 은 기계 임피던스, Z_d 는 계동 임피던스이다. 그리고 (13)식 및 (14)식 으로부터 자유 임피

던스 Z_f 가 다음과 같이 구해진다.

$$Z_f = Z_d + Z_o - \frac{A^2}{z_r + z_t} \quad (15)$$

이 자유 임피던스의 역수로써 자유 어드미턴스를 구할 수 있다.

한편 압전 트랜스듀서에 대한 실효 감쇠량은 다음 식으로 주어져 있다⁽⁹⁾.

$$B = 10 \log \frac{|(z_r + z_t)(R_o + Z_f)|^2}{4R_o z_r |A|^2} \quad (16)$$

여기서 R_o 는 전원의 내부 임피던스의 저항성분이다.

3. 주파수가변형 2층구조 초음파 트랜스듀서

상술한 전기적 임피던스의 효과에 대한 응용의 한 예로서, 본 연구에서는 2개의 압전진동자를 이용한 주파수가변형 2층구조 초음파 트랜스듀서에 대한 특성해석을 행하였다. 그림 4에 나타난 것과 같이 한쪽의 진동자에는 전원을 연결하고 다른 한쪽의 진동자에는 가변 임피던스만을 연결하여 주파수 제어용 진동자로 사용하였다. 이 초음파 트랜스듀서에 관한 등가회로를 상술한 전송선로형 등가회로를 사용하여 표시하면 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

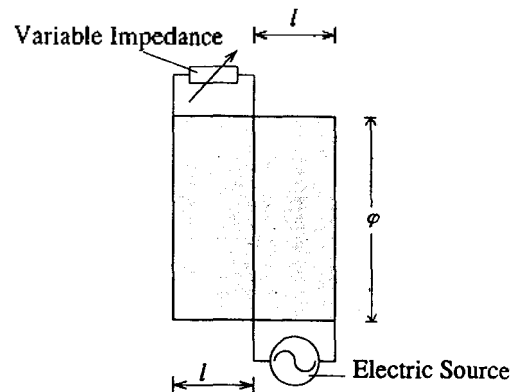


그림. 4 주파수 가변 2층구조 압전 초음파 트랜스듀서의 구조

Fig. 4 Construction of frequency controllable two layered piezoelectric transducer

그림 5에서 나타난 행렬 M_1 과 M_2 는 각각 위에서 기술한 행렬 P 와 E 에 해당한다. 그림 5에서의 각 음

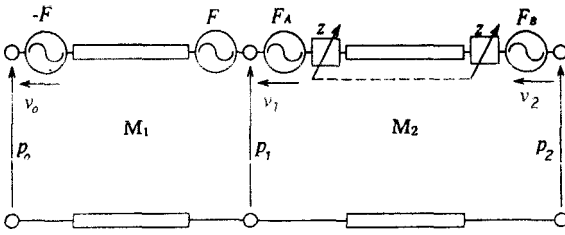


그림. 5 주파수 가변 3층구조 압전 초음파 트랜스듀서에 대한 등가회로

Fig. 5 Equivalent circuit of the frequency controllable two layered piezoelectric transducer

향매질의 단면에 있어서의 힘과 입자속도, 그리고 기진력과의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} p_2 + F \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ v_1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} p_1 - F \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

역행렬을 사용하면 위 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_0 \\ v_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ v_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_1 \\ v_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -F \\ 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

(20)식을 (19)식에 대입하면 음향단자에 있어서의 힘과 입자속도가 다음과 같이 나타내진다.

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ v_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{21} & B_{21} \\ C_{21} & D_{21} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_2 \\ v_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -F \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{21} & B_{21} \\ C_{21} & D_{21} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

여기서⁽¹⁰⁾

$$\begin{bmatrix} A_{21} & B_{21} \\ C_{21} & D_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

전기단자를 개방시켰을 때 음향단자로 부터 본 기계 임피던스는 그림 5에 있어서 $F=0$ 이므로 (21)식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} p_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{21} & B_{21} \\ C_{21} & D_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

또 그림 5에 있어서 트랜스듀서의 배면은 자유이므로 p_0 는 0이 되고 기계 임피던스 z_i 는 다음과 같이 구해진다.

$$z_i = \frac{p_0}{v_0} = -\frac{B_{21}}{A_{21}} \quad (24)$$

역계수 A는 (13)식에서 $F_0=0, z_r=0$ 에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$A = -\frac{v_0}{I} z_i \quad (25)$$

(22)식에 있어서 $p_2 = p_0 = 0$ 로 두고 속도 v_0 를 구해 이 v_0 를 (25)식에 대입하면 역계수는 다음 식과 같이 구해진다.

$$A = \frac{h}{j\omega} \left\{ \frac{B_{21}}{A_{21}} (C_1 - C_{21} + D_{21} - D_1) \right\} \quad (26)$$

그리고, 재동 임피던스는 음향 단자의 속도를 0이라고 두었을 때 전기 단자에 있어서의 전압 V 와 전류 I 와의 비로써 구할 수 있다.

한편 전기 단자의 전압은 (5)식에 의해 다음과 같이 주어져 있다.

$$V = \frac{I}{j\omega C_0} - \frac{h}{j\omega} (v_2 - v_1) \quad (27)$$

여기서 v_1, v_2 를 구하기 위해 우선 (18)식 및 (19)식으로부터 v_1, v_2 를 각각 p_0 의 함수로 표현한다. 또 이 경우는 (21)식에 있어서의 p_2 및 v_0 가 0이 되므로 p_0 를 F 의 양으로 표시할 수가 있다. 따라서 v_1, v_2 는 F 의 양으로 표현된다. 두계 진동 모드에 대해서는 $F = (h/j\omega)I$ 이므로 (27)식에 의해 재동 임피던스는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} Z_d &= \frac{V}{I} \\ &= \frac{1}{j\omega C_0} - \frac{1}{j} \left(\frac{h}{\omega} \right)^2 \\ &\quad \left\{ \frac{B_{21}}{A_{21}} (C_1 - C_{21})^2 - (D_1 - D_{21})(C_1 - C_{21}) - C_2 \right\} \quad (28) \end{aligned}$$

여기서 구한 전기 음향 변환의 계정수에 대한 식 즉,

(25), (26) 및 (28)식에 의해 구체적인 수치를 계산하고 그들을 (15)식 및 (16)식에 대입하는 것에 의해 주파수 가변형 2층 구조 트랜스듀서에 의한 자유 임피던스 및 실효감쇠량이 구하여진다.

III. 실험

그림 4에 표시한 주파수 가변 2층구조 초음파 트랜스듀서에 대하여 본 연구에서는 직경 $\phi = 29\text{mm}$, 두께 $l = 29\text{mm}$ 의 PZT 압전진동자 2장을 접합하여 왼쪽의 압전진동자에는 전기적 임피던스로서 가변 인덕턴스를 접속시켜 그 인덕턴스의 값을 변화시키면서 자유어드미턴스 Y_f 를 측정하였다. 그 결과를 그림 6에 점선으로 표시하였다. 그림 중 실선은 이론 계산 결과를 나타내고 있다. 이론 계산 결과에 있어서 인덕턴스의 값을 $103\ \mu\text{H}$ 로 한 경우의 결과를 보면 진동하는 압전 진동자에 의한 기본 진동 모드(MODE 2) 및 접합된 2장의 압전 진동자 전체에 대한 기본 모드(MODE 1)와 그 3배 모드(MODE 4)가 나타나고 또 외부 인덕턴스의 효과에 의해 새롭게 생성된 모드(MODE 3)가 나타나고 있다. 외부 인덕턴스를 변화시키는 것에 의해 MODE 2와 MODE 3의 공진주파수가 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 실험 결과를 보

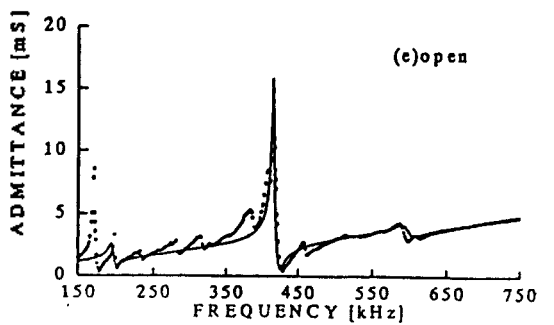
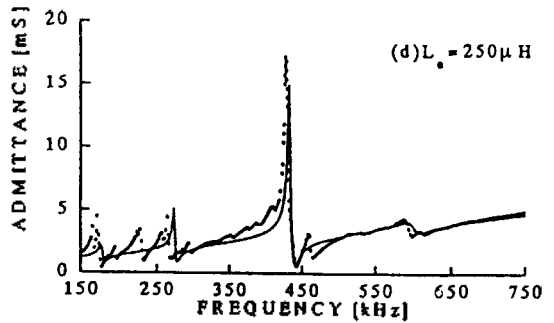
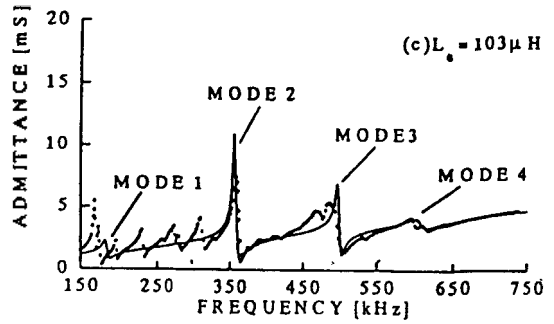
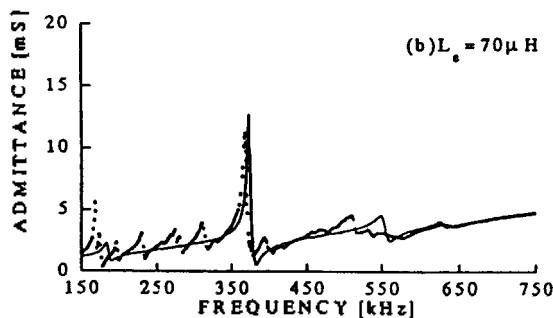
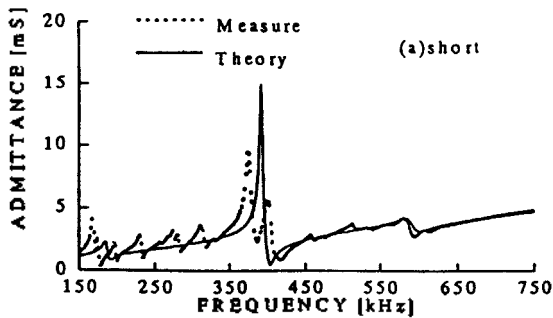


그림. 6 주파수 가변 2층구조 압전 초음파 트랜스듀서에 대한 자유 어드미턴스 특성

Fig. 6 Free admittance characteristics of frequency controllable two layered piezoelectric transducer

면 상술한 모드 이외에 경방향 진동에 의한 스프리어스가 나타나고 있지만 두께 진동만을 생각하면 실험 결과와 계산 결과는 좋은 일치를 보이고 있다.

MODE 2와 MODE 3을 주목하여 외부 인덕턴스 L_e 의 값을 변화시켰을 때 공진주파수 및 전기 기계 결합 계수의 변화를 나타내면 그림 7과 같이 된다.

그림 7 (a)는 MODE 3에 관한 결과로 그 계산 결과(실선)를 보면 외부 인덕턴스가 $80\ \mu\text{H} \sim 360\ \mu\text{H}$ 의 범위에서 변화할 때 공진주파수는 $530\ \text{kHz}$ 에서 $425\ \text{kHz}$

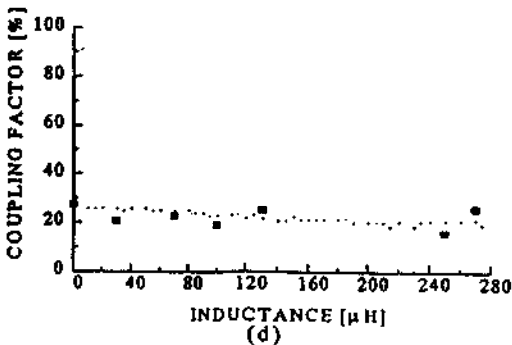
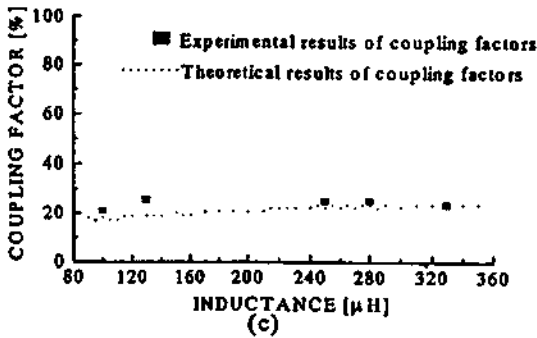
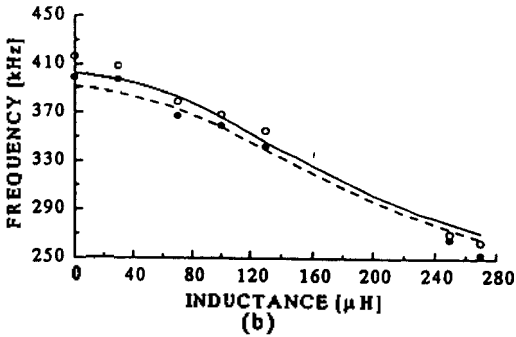
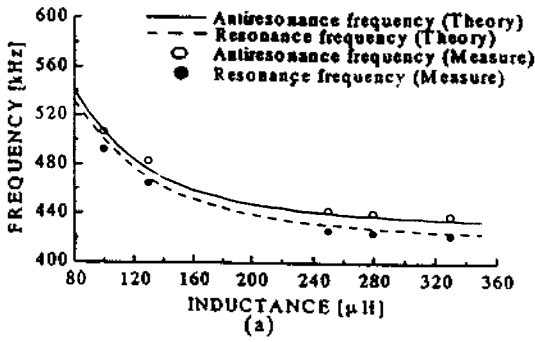


그림. 7 전기단자에 접속한 인덕턴스의 값의 변화에 따른 공진 및 반공진 주파수의 변화와 전기 기계 결합 계수의 변화

Fig. 7 Resonant frequencies and electromechanical coupling factors controlled by a variable external inductance

까지 변화한다. 이 경우의 전기기계 결합계수는 그림 7(c)에 표시한 것과 같이 20%이상의 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 또, 그림 7 (b)는 MODE 2에 관한 결과로 외부 인덕턴스를 $0\mu H \sim 280\mu H$ 의 범위에서 변화시킬 때 공진주파수는 $260kHz$ 에서 $390kHz$ 까지 변화한다. 그때의 전기기계 결합계수(d)도 공진주파수의 변화에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 이 2층구조 압전 트랜스듀서를 그림 8과 같이 금속제의 케이스에 넣고 Pulse Echo법에 의해 전파매질을 몰로 두었을 경우의 실효감쇠량을 측정하였다. 측정장치의 구성도를 그림 9에 나타낸다. 이 경우 (3)식에 있어서의 전원의 내부저항은 25Ω 이 된다⁽¹¹⁾. 인덕턴스의 값을 변화시킨 경우 실효감쇠량의 측정결과를 이론계산 결과와 함께 그림 10에 나타내었다. 실선이 계산결과이고 ●가 측정결과이다. 이 결과 역시 계산결과와 측정결과가 잘 일치하고 있다. MODE 2 및 MODE 3에 주목하면 공진주파수가 $330kHz$ 에서 $470kHz$ 의 범위에 있어서 실효감쇠량은 약 $7dB$ 이하의 값을 보이고 있다.

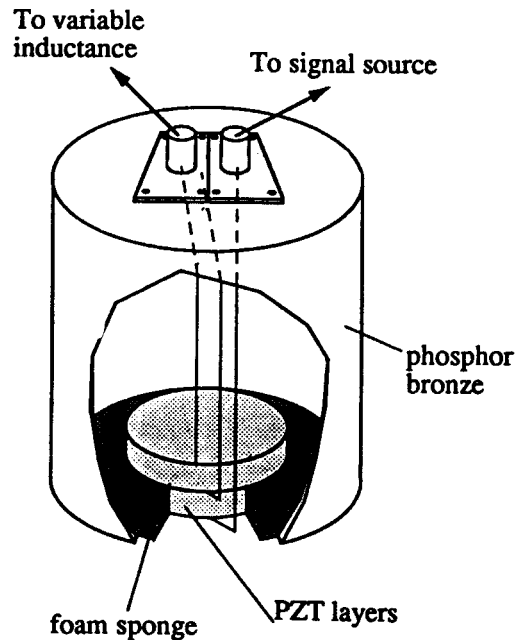


그림. 8 실효감쇠량의 측정에 사용한 트랜스듀서의 구조
Fig. 8 Construction of transducer for measurement of effective attenuation

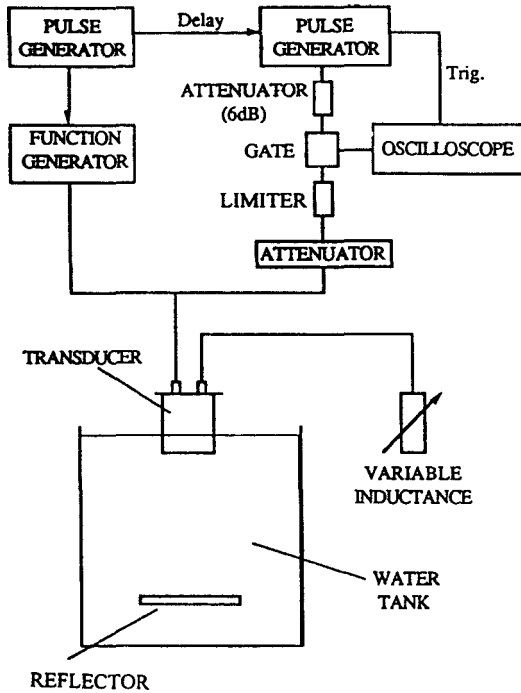


그림. 9 실효감쇠량을 측정할 때 사용한 측정장치의 구성도
Fig. 9 Experimental setup for effective attenuation

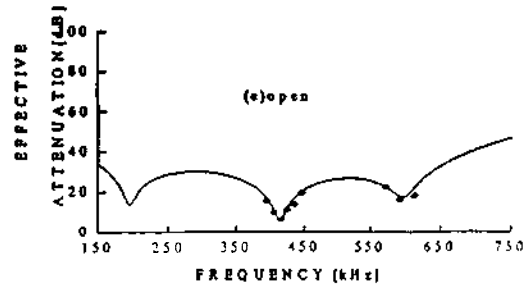
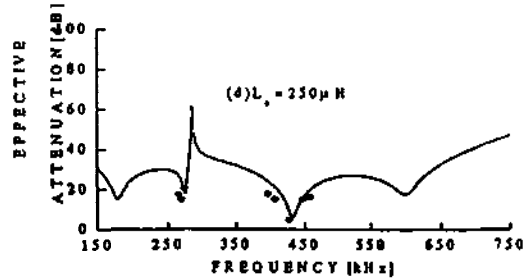
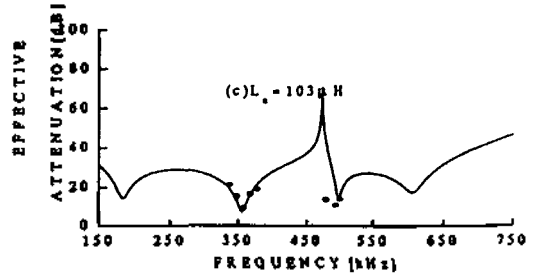
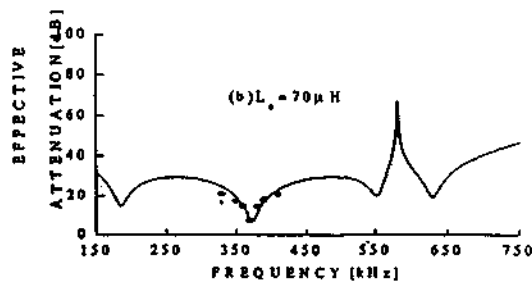
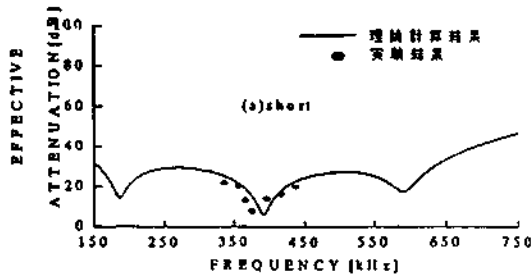


그림. 10 전기단자에 접속한 인덕턴스의 변화에 따른 실효 감쇠량의 변화

Fig. 10 Effective attenuation at various center frequencies controlled by a variable inductance



IV. 결 론

두께진동모드의 압전진동자에 있어서, 전기단자의 부하상태에 따라 그 음향적 특성이 크게 변화하는 것을 이용하여 공진주파수를 광범위에 걸쳐 제어할 수 있는 주파수 가변형 초음파 트랜스듀서를 구현하는 것을 목적으로 그 동작특성 해석을 위한 새로운 등가 회로를 제안하고, 그 등가회로의 유용성을 실험적으로 확인하였다.

2층구조 주파수 가변형 초음파 트랜스듀서의 경우 그 비구동 압전진동자의 전기단자를 개방하였을 때 는 그 공진주파수가 198kHz, 414kHz, 590kHz 등 이

지만 비구동 압전진동자의 전기단자에 외부 임피던스로서 가변 인덕턴스를 접속하여 그 값을 $80\mu H \sim 369\mu H$ 및 $0\mu H \sim 280\mu H$ 의 범위에서 변화시켰을 경우는 $260kHz$ 에서 $530kHz$ 까지의 넓은 범위에 걸쳐 그 공진주파수가 연속적으로 변화하고, 공진주파수에 대한 실효감쇠량은 $330kHz$ 에서 $470kHz$ 까지의 주파수범위에서는 약 $7dB$ 이하라는 높은 효율이 얻어졌는데 이 결과는 본 연구에서 제안한 전기단자의 부하상태를 고려한 새로운 전송선로형 동가회로에 있어서 전기적인 부하의 변화에 의한 주파수 특성의 변화를 이론적으로 해석한 결과와 잘 일치하는 것이다.

참 고 문 헌

1. 藤原, 小池, 中村, 上羽, 縱共振周波數調整用電氣端子を有する縦-ねじり複合振動子, 日本音響學會講演論文集, 1-P-10, 1992, 10.
2. 栗林, 上羽, 森, 超音波リエアモタの進行波動振の検討, 日本電子情報通信學會技術報告, US84-22, pp. 22-30, 1984.
3. W. P. Mason, "An Electromechanical Representation of a Piezoelectric Crystal Used as a Transducer," Proc. of IRE., Vol. 23, No. 10, pp. 1252-1263, 1935.
4. 菊池, 中鉢, 山水, 超高周波用多層膜超音波トランスジューサの解析, 日本電子通信學會論文誌Vol. 55-a, No. 7, pp. 331-338, 1972.
5. 拔山平一, 電氣音響機器の研究, pp. 206-212, 丸善, 東京, 1948.
6. T. Ikeda, Fundamentals of Piezoelectricity, Oxford Science Publications, New York, 1990.
7. 金, 中鉢, 多周波數用複合ランジュバン型超音波トランスジューサの特性解析と實驗的検討, 日本電氣學會論文誌C, Vol. 114-C, No. 1, pp. 42-50, 1994.
8. 문헌 4, p. 333의 (9)식
9. 超音波技術便覽, 日刊工業新聞社, 東京, 1991.
10. 松中, 中鉢, 菊池, 壓電層超高周波超音波トランスジューサの電極厚さが中心周波數に及ぼす影響, 日本電氣通信學會技術報告, US74-40, 1975.
11. 菊池, 中鉢, 蒸着壓電變換器擴散層壓電變換器による $100Mc/s$ 以上の超音波技術, 應用物理, Vol. 36, No. 11, pp. 927-931, 1967.

▲김 무 준(Moo Joon Kim) 1961년 8월 3일생
 1985년 2월 : 부산수산대학교 응용물리학과 졸업(이학사)
 1990년 2월 : 부산수산대학교 대학원 응용물리학과 졸업(이학석사)
 1994년 3월 : 일본東京大學 대학원 공학연구과 졸업(공학박사)
 1995년 3월~현재: 부산수산대학교 물리학과 전임강사



▲하 강 열(Kang Lyeol Ha)
 제11권 3호 참조
 현재 : 부산수산대학교 물리학과 조교수로 재직중

▲김 성 부(Sung Boo Kim) 1948년 10월 6일생
 1971년 2월 : 서강대학교 물리학과 졸업
 1977년 9월 : 서강대학교 대학원 물리학과
 1977년 12월~1983년 2월 : 진해 기계창 선임연구원
 1983년 3월~현재: 부산수산대학교 물리학과



▲이 종 규(Jong Kyu Lee) 1957년 10월 10일생
 1980년 2월 : 부산대학교 물리학과 졸업(이학사)
 1982년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학석사)
 1988년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학박사)
 1986년 10월~현재: 부산수산대학교 물리학과 부교수

