

반사파의 주파수 성분 변화에 대응한 주파수 가변 초음파 트랜스듀서

김 무 준, 윤 혁 준, 하 강 열 (부경대학교)

A study of Frequency variable Ultrasonic Transducer for the Variation of Echo Characteristics in Reflected Wave

Moo-Joon Kim, Hyuck-Joon Yoon and Kang-Lyeol Ha (Pukyong National University)

ABSTRACT

It is known that the echoes from the most objects differ from the incident pulses in amplitude and frequency. Especially, the frequency in echoes from moving target is shifted by the Doppler effect. It causes to reduce the receiving sensitivity of piezoelectric transducers that have definite band width.

The electrical impedance, which is connected to the electrical terminals, notably changes the resonant frequency of a thickness mode piezoelectric vibrator with high electromechanical coupling due to the electroelastic effect. Using this effect, we have developed a frequency controllable ultrasonic transducer which is made of multi-layered PZT disks to adjust to frequency shifted by Doppler effect.

The characteristics of transducer can be obtained by using the equivalent circuit of transmission line model. It was confirmed experimentally that the center frequency and band width of the transducer could be controlled by the conditions of the electrical terminals. These results coincided with theoretical results

1. 서 론

초음파를 사용하여 물체의 위치추정을 하는 장치는 여러분야에 사용되고 있다. 예를 들면, 수중에서 정보획득의 수단으로, 압전 트랜스듀서를 사용한 소나 시스템(SONAR System)^[1]이나 의용으로 사용되는 초음파 진단장치 등이 그것인데, 소나 시스템의 경우, 수중에 음파를 방사하여 탐지대상 물체로부터 반사된 음향신호로 수중의 정보를 획득하는 방법이나, 많은 경우, 탐지대상 물체로부터의 반사파는 그 진폭뿐만이 아니라 주파수등 여러 가지 요소에 있어서 방사 음파와 달라지게 된다. 특히, 탐지대상 물체와 소나 시스템간에 상대적인 속도가 존재할 경우 Doppler효과에 의해 반사파의 주파수 성분은 변하게 된다^[2-4]. 또한, 초음파 진단장치의 경우에 있어서도 혈류나 심장의 박동 등과 같이 체내의 운동부분에 의한 Doppler효과에 영향을 받게된다.

소나 시스템이나 초음파 진단장치에 사용되는 트랜스듀서로는 주로 압전 세라믹을 사용하는데, 이것은 일정한 대역폭을 가지고 있어^[5], 단일 트랜스듀서로 송수신을 하는 경우 상술한 Doppler효과등에 의한 수신파의 주파수 변화로 그 수신감도가 현저히 떨어지는 경우가 있다.

한편 압전체의 전기단자에 전기적인 임피던스를 접속하여 이 전기적인 임피던스의 변화를 기계적인 임피던스의 변화로 바꾸어주는 기계 임피던스 가변용 압전층을 사용한 주파수가변 초음파 트랜스듀서^[6]가 제안된바 있고, 특히 전기적인 임피던스를 코일의 인덕턴스에 의한 것으로 할 때 그 공진주파수는 넓은 범위에 걸쳐 가변될 수 있음이 보고 되어있다^[7]. 그러나 이 경우 압전체의 재동용량과 코일의 인덕턴스와 의 공진효과 등에 의하여 감도곡선의 대역폭이 줄어들어 인가한 전기신호에 비해 방사되는 펄스의 지속시간이 길어지는 등 임펄스응답특성이 좋지 않게 된다^[8]. 따라서 본 논문에서는 기

계임피던스 가변용 압전체의 전기단자를 개방과 단락의 두 경우로 바꾸어서 그 에코특성 변화에 대응하도록 세안하고 그 정도를 이론 및 실험적으로 검토하였다.

2. 이 론

그림 1에 한 장의 구동용 압전층과 전기단자에 전기적 임피던스 Z_e 를 접속한 한 장의 기계 임피던스 가변용 압전층을 갖는 다층구조 주파수 가변 초음파 트랜스듀서의 구조를 나타내었다. 여기서 z_b , z_m 및 z_r 은 각각 배면재와 음향정합층 및 음향부하매질의 특성임피던스이다. 트랜스듀서의 특성해석을 위하여, 본 연구에서는 그림 2와 같은 분포정수형 등가회로를 사용하였다. 계산의 편의를 위해 구동용 압전층 B와 등가 기계임피던스 가변용 압전층 C는 특성이 같은 압전층으로 계산하였고, z 는 압전체 C의 전기단자에 접속한 전기적 임피던스의 영향으로 인한 기계임피던스의 변화분으로, 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = \frac{1}{1 + j\omega C_0 Z_e} \quad (1)$$

$$z = -\frac{\sigma C_0 h^2}{j\omega} \quad (2)$$

여기서 ω 는 각주파수이며, 각 압전체의 길이를 l , 유전율을 ϵ , 단면적을 S' , 압전 h상수를 h 라고 할 때, 압전체의 계동용량 C_0 는 $\epsilon S'/l$ 이다. (1)식에서 전기적인 임피던스 Z_e 의 값에 따라 기계임피던스의 변화분 z 가 변하여 전체적인 주파수 특성이 변하게됨을 알 수 있다. 등가 회로에 있어서, 각 압전층의 단면에 나타나는 입자속도를 각각 v_0, v_1, v_2 라 두면 F_A, F_B 는 각각 $-v_1 z, -v_0 z$ 로 주어지는 힘의 양이다. 압전체의 고유음향 임피던스를 z_0 , 압전체에서의 파수를 γ 라고 하면, 각 매질의 음향특성을 나타내는 종속행렬은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

단, $B_{11} = B_{22} = \cos \gamma l, B_{12} = jz_0 \sin \gamma l,$

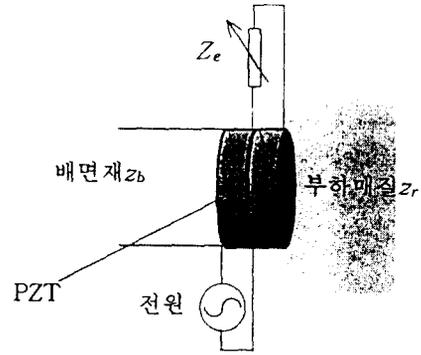


그림 1 다층구조 주파수 가변 초음파 트랜스듀서의 구조

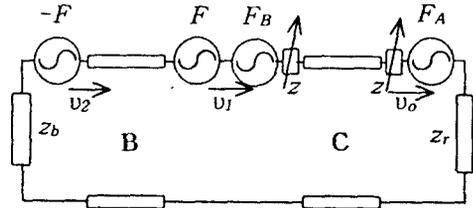


그림 2 다층구조 주파수 가변 초음파 트랜스듀서에 대한 분포정수형 등가회로

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

$$C_{11} = C_{22} = \frac{\frac{z_0}{j \tan \gamma l} + z}{\frac{z_0}{j \sin \gamma l} + z}$$

$$C_{12} = \frac{z_0^2 + \frac{2z_0(1 - \cos \gamma l)}{j \sin \gamma l} z}{\frac{z_0}{j \sin \gamma l} + z}$$

$$C_{21} = \frac{1}{\frac{z_0}{j \sin \gamma l} + z}$$

그림 2에 나타낸 등가회로를 이용하여 트랜스듀서의 효율을 계산하면 다음과 같이 구할 수 있다^[9].

$$\eta = \frac{4R_o z_r A^2}{(z_r + z_l)(R_o + Z_f)} \quad (5)$$

여기서 R_o , z_r 는 각각 전원의 내부 임피던스의 저항성분과 부하매질의 특성 임피던스를 나타내고 있다. A , z_l , Z_o , Z_f 는 각각 트랜스듀서의 역계수, 기계임피던스, 제동임피던스, 자유임피던스를 나타내고 있으며 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$A = -j \frac{hz_l}{\omega} \left\{ \frac{C_{22} - D_{22}}{z_l} + j(C_{21} - D_{21}) \right\} \quad (6)$$

$$z_l = \frac{D_{22}z_b - D_{12}}{D_{11} - D_{21}z_b} \quad (7)$$

$$Z_d = -\frac{1}{j\omega C_o} - \left(\frac{h}{\omega} \right)^2 [(B_{21}C_{11} + B_{22}C_{21} - C_{21})(z_l(D_{21} - C_{21}) + D_{22} - C_{22}) + B_{21}] \quad (8)$$

$$Z_f = Z_d - \frac{A^2}{z_l + z_r} \quad (9)$$

$$\text{단, } \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix}$$

결과적으로 (5)식에 나타난 트랜스듀서의 효율함수는 전기적인 임피던스 Z_e 의 값에 따라 변하게 된다.

3. 실험 및 결과

주파수 가변 초음파 트랜스듀서의 특성변화를 확인하기 위한 실험에 사용한 트랜스듀서의 구조를 그림 3에 나타내었다. 특성이 동일한 PZT진동자를 도전성 접착제로 접착하고 부하매질쪽의 PZT에는 스위치를 연결하여 스위치를 단락 및 개방함으로써 트랜스듀서의 특성을 바꿔게 했다. 실험에 사용한 PZT의 물질상수를 표 1에 나타내었다.

공진주파수의 변화를 확인하기 위하여 부하매질을 공기로 했을때의 자유어드미턴스의 변화 특성을 측정하여 보았다. 이 결과를 그림 4에 이론계산결과와 함께 나타내었다. 기계임피던스 가변용 압전층의 전기단자를 개방하였을 경우의 결과인 그림 4(a)를 보면, 약 411[kHz] 부근에서 공진주파수를 나타내고 있고 이것은 이론계산결과와 좋은 일치율을 보이고 있다. 이 공진

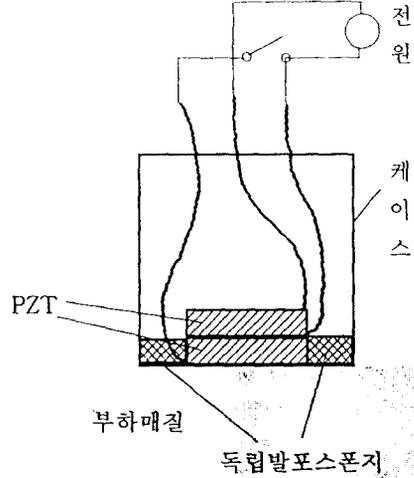


그림 3 주파수 가변 초음파 트랜스듀서의 구조

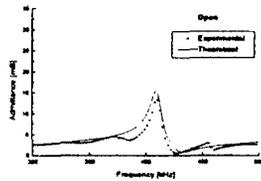
주파수는 기계임피던스 가변용 압전층의 전기단자를 단락시킬 경우, 그림 4(b)에 나타난 결과와 같이 실험결과에서는 약 390[kHz]부근으로 이동하나, 이론계산결과에서는 약 380[kHz]로 이동한 것으로 나타나, 차이를 보이고 있다. 이것은 이론계산에서는 고려하지않은 압전체의 370[kHz]부근에 나타나는 경방향 진동모드의 영향에 의한 것으로 생각되어진다. Z_e 의 값에 따른 효율함수의 변화를 알아보기 위해서 부하매질을 물로 하여 펄스-에코법으로 변환효율을 측정하였다. 그림 5에 그 결과를 이론계산결과와 함께 나타내었다. 이 결과를 보면, Z_e 가 ∞ 인 경우, 최대효율은 약 410[kHz]부근에 나타나고 있으나 Z_e 가 0이 되면, 그림 4의 자유어드미턴스의 계산 결과에서도 확인할 수 있듯이, 최대효율을 나타내는 주파수가 이동하여 약 390[kHz]부근에서 나타나고 있다. 그러나 이것은 이론계산 결과와는 다소 차이를 보이고 있다. 이것은 자유어드미턴스의 결과에서와 같이 경방향 진동 모드에 의한 영향으로 생각된다.

표 1 실험에 사용한 압전체의 물질상수

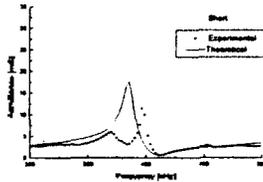
밀도[kg/m ³]	압전상수(e)	유전율	두께[μm]	음속[m/s]
7750	18.1	6.6773 × 10 ¹⁰	5.0 × 10 ³	4100

4. 결 론

본 연구에서는 이동물체의 위치추정용 트랜스듀서의 사용상 문제점이 되고 있는 Doppler 효과에 의한 반사파의 주파수성분 변화에 대응하기 위해 주파수가변 초음파 트랜스듀서를 적용하였다. 이때, 기계임피던스 가변용 압전층의 진기단자의 전기적인 조건에 따른 트랜스듀서의 효율곡선의 변화를 이론적으로 구하여 반사파의 주파수성분 변화에 대응할 수 있음을 확인하였고, 그 정도를 확인하기 위해 실험을 통하여 트랜스듀서의 효율곡선의 변화를 확인하였다.



(a) $Z_e = \infty$ 의 경우



(b) $Z_e = 0$ 의 경우

그림 4 자유어드미턴스의 변화

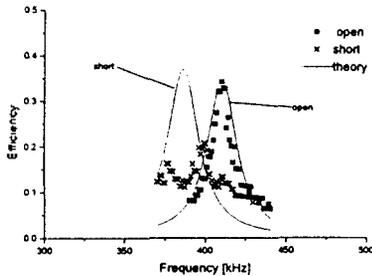


그림 5 효율곡선의 변화

참 고 문 헌

- [1] P. H. Milne, *Underwater Acoustic Positioning System*, pp. 93-96, E. & F. N. SPON, New York.
- [2] R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, pp. 322-324, McGraw-Hill, New York.
- [3] C. S. Clay, H. Medwin, *Acoustical Oceanography*, pp. 334-337, John Wiley & Sons, New York.
- [4] W. S. Burdic, *Underwater Acoustic System Analysis*, pp. 231-232, Prentice-Hall, New Jersey.
- [5] D. G. Tucker, B. K. Gazey, *Applied Underwater Acoustics*, pp. 25-29, Pergamon Press, Oxford.
- [6] 中鉢 憲賢, 金 茂俊, "厚み縦振動モード壓電振動子の傳送線路モデル等價回路による多層構造超音波トランスジューサの特性解析について", 電子情報通信學會(日本), US92, No. 9, pp. 67-72, 1992.
- [7] N. Chubachi and M. J. Kim, "A Transmission-Line Model Equivalent Circuit for Piezoelectric Transducers Including the Effect of Electrical Terminal Impedance", *Japanese Journal of Applied Physics* Vol. 35, Part 1, No. 5B, 1996.
- [8] 김정환, 김무준, 하강열, "다층구조 압전층을 이용한 초음파 트랜스듀서의 임펄스응답 특성 제어", 한국음향학회 학술발표회 논문집 제15권 제1호, pp. 369-372, 1996.
- [9] 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.
- [10] L. E. Kinsler, *Fundamental of Acoustics*, pp. 415-416, John Wiley & Sons, New York.