

PZT/PVDF 복합구조 초음파 트랜스듀서의 제안과 실험적 검토

PZT/PVDF Composite Ultrasonic Transducers and Its Experimental Estimate

김 동 현*, 김 무 준**, 하 강 열**

(Dong-hyun Kim*, Moo-joon Kim**, Kang-lyeol Ha**)

* 부경대학교 대학원 음향진동공학과, ** 부경대학교 물리학과

요 약

PZT 및 PVDF의 장점을 이용한 송·수신 일체의 PZT/PVDF 복합구조 초음파 트랜스듀서를 제안하고, 그 특성을 분포정수형 등가회로를 이용하여 해석하였다. 특히 수신부의 PVDF를 다층으로 하여 송·수신 특성을 향상시키고자 하였으며, 실험적으로 검토한 결과 삽입손실 및 비대역등 송·수신 특성을 상당히 개선할 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

일반적으로 비파괴 검사용이나 초음파 진단 장치에 널리 이용되는 압전 세라믹 PZT는 전기-기계 결합계수 및 압전 d정수가 크므로 송신용으로 적합한 압전물질로 잘 알려져 있다. 이에 비하여 압전 고분자막인 PVDF를 이용한 초음파 트랜스듀서는 PVDF의 음향적 특성상 물과 임피던스가 비슷하므로 별도의 임피던스 정합층이 불필요 하며, 특히 광대역의 주파수 특성으로 인한 우수한 파형의 재현성을 갖고 있다는 장점이 있으나, 내부손실이 크며, 작은 전기-기계 결합계수와 유전상수를 가지므로 송신용으로 사용하기에는 부적절하다. 따라서, 본 논문에서는 비파괴 검사용이나 초음파 진단 장치 등에 사용되는 PZT를 이용한 트랜스듀서와

PVDF를 이용한 트랜스듀서를 일체화하여 좋은 송·수신 특성 및 광대역 특성을 지닌 PZT/PVDF 복합구조 초음파 트랜스듀서를 제안하고, 분포정수형 등가회로를 이용하여 그 동작 특성을 이론적으로 해석하고 실험적으로 확인하였다.

II. 분포정수형 등가회로 해석

본 논문에서 제안하는 PZT/PVDF 복합구조 초음파 트랜스듀서의 구조는 그림 1과 같으며, 송신 및 수신에 대해서 각각 분리해서 菊池등¹⁾이 제안한 분포정수형 등가회로로 나타

내면 각각 그림 2, 3과 같다.

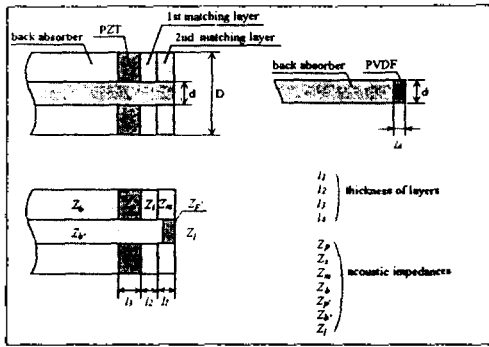


그림 1 PZT/PVDF 복합구조 초음파 트랜스듀서의 구조

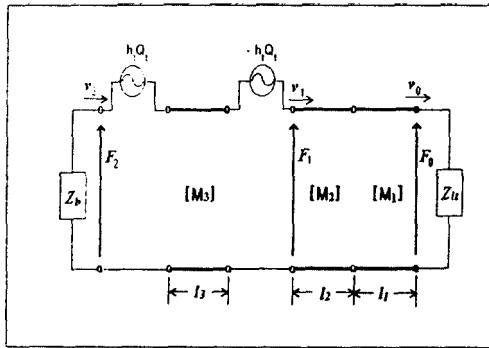


그림 2 분포정수형 등가회로에 의한 표현 (송신시)

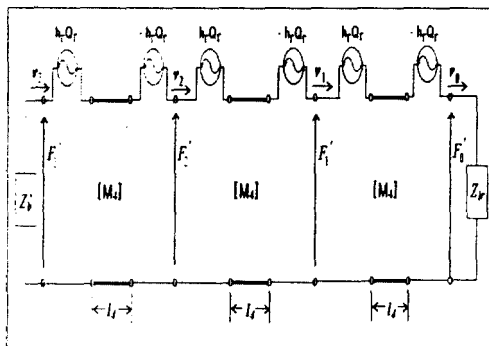


그림 3 분포정수형 등가회로에 의한 표현 (수신시)

여기서, 송음층의 두께는 충분히 두껍고, 수신층의 두께는 충분히 얇다고 가정하였으며, 각

층에서의 손실을 무시하면 각 층의 전송파라미터 행렬 $[M_1], [M_2], [M_3], [M_4]$ 은 다음의 형태를 갖는다.

$$[M_n] = \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_n l_n & jZ_n \sin \beta_n l_n \\ j \frac{1}{Z_n} \sin \beta_n l_n & \cos \beta_n l_n \end{bmatrix}$$

($n = 1, 2, 3, 4$)

- F_n : n 층에서의 힘
- Z_n : n 층의 특성 임피던스
- v_n : n 층에서의 입자속도
- l_n : n 층의 두께
- β_n : n 층의 전파정수
- Q_n : n 층에서의 전하량
- h_n : n 층에서의 압전 응력 계수

그러므로, 그림 2의 분포정수형 등가회로로부터 송신용 트랜스듀서의 기계임피던스, 부하 임피던스, 제동임피던스, 역계수, 자유임피던스를 각각 $z_u, z_t, Z_{dt}, A_t, Z_{ft}$ 라 두면 다음과 같이 구해진다.

$$z_u = \frac{D_6 Z_b - B_6}{-C_6 Z_b + A_6} \quad (1)$$

$$z_u = Z_t \quad (2)$$

$$Z_{dt} = \frac{1}{j\omega C_1} + \left(\frac{h_t}{\omega}\right)^2 (z_t \beta^2 + \alpha \beta + C_3) \quad (3)$$

$$A_t = \frac{h_t}{j\omega} (z_u \beta + \alpha) \quad (4)$$

$$Z_{ft} = Z_{dt} - \frac{A_t^2}{z_u + z_t} \quad (5)$$

$$\text{단, } [M_5] = [M_2][M_1], [M_6] = [M_3][M_5]$$

$$\alpha = D_6 - D_5, \quad \beta = C_6 - C_5$$

C_1 : PZT층의 제동용량

그림 3으로 부터 PVDF에 의한 수신시의 기계임피던스, 부하임피던스, 제동임피던스, 역계

수, 자유임피던스 등을 구하면 다음과 같다

$$z_{tr} = \frac{D_8 Z_b' - B_8}{-C_8 Z_b' + A_8} \quad (6)$$

$$z_{tr} = Z_{tr} \quad (7)$$

$$Z_{dr} = \frac{1}{3j\omega C_r} + \frac{1}{9} \left(\frac{h_r}{\omega} \right)^2 (z_{tr}\delta^2 + \gamma\delta + \delta) \quad (8)$$

$$A_r = \frac{h_r}{j\omega} (z_{tr}\delta + \gamma) \quad (9)$$

$$Z_{tr} = Z_{dr} - \frac{A_r^2}{z_{tr} + z_{tr}} \quad (10)$$

단, $[M_7] = [M_4][M_4]$, $[M_8] = [M_4][M_7]$

$$\gamma = D_8 - 1, \quad \delta = C_8$$

$3C_r$: 전체 PVDF의 계동용량

따라서, 식(1)~(10)을 이용하면 전기-음향 변환특성을 주파수 영역에서 나타내는 실효감쇠량을 다음과 같이 구할 수 있으므로,

$$B = 10 \log \frac{V_o^2 / 4 \operatorname{Re}\{Z_o\}}{\operatorname{Re}\{z_i\} |v_o|^2} \quad (11)$$

송·수신시의 실효 감쇠량을 각각 B_t , B_r 라 두면 음파가 트랜스듀서로부터 송신, 반사, 수신되는 과정에서 일어나는 모든 에너지 손실을 나타내는 삽입손실(Insertion Loss : IL)을 계산할 수 있다.

III. 실험

본 연구에서는 5MHz의 중심주파수를 갖는 트랜스듀서 제작을 목적으로, 송신용 트랜스듀서로는 공진 주파수 5MHz, 두께 $460 \mu\text{m}$ 인 PZT를 사용하였으며, 수신용으로는 공진 주파수 14MHz, 두께 $40 \mu\text{m}$ 인 PVDF를 3회 접어 Brass에 집착하여 사용하였다. 이 때 PZT의 외

경을 10 mm, 그 내경 및 PVDF의 적층을 5 mm로 하였으며, 성형층의 두께는 과장의 1/4이 되도록 하였다. 이론 계산 및 실험에 사용한 물질상수와 실험장치의 구성은 각각 표 1과 그림 4에 나타내었다.

표 1 계산 및 실험에 사용한 물질상수

| | 고유음향 임피던스 (Mrayl) | 유전 상수 | 압전 h상수 (V/m) | 압전 e상수 (C/m ²) |
|------|-------------------------|----------|--------------------|----------------------------------|
| PZT | 33.5 | 1470 | 1.79×10^9 | 23.3 |
| 정합층1 | 4.20 | | | |
| 정합층2 | 1.16 | | | |
| 흡음층 | 10.3 | | | |
| PVDF | 4.58 | 6.2 | 2.48 | 0.14 |
| 흡음층 | 40.6 | | | |

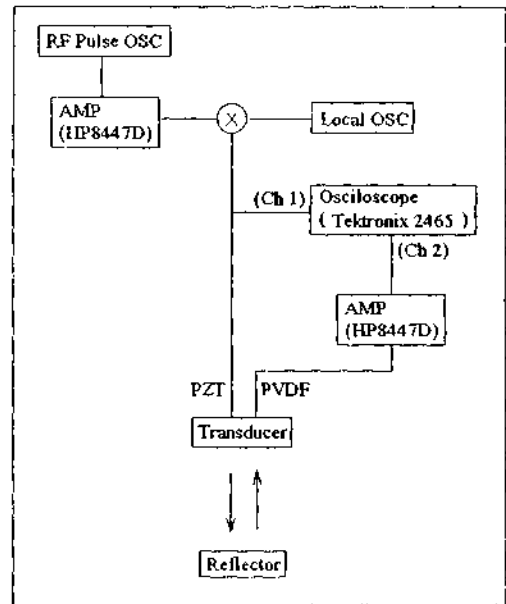


그림 4. 실험장치의 구성

그림 4와 같이 실험장치를 구성한 뒤 PZT로 송신하고 PVDF로 수신하는 경우에 대한 삽입손실을 측정하고 비교를 위하여 PZT로 송신하고 PZT로 수신하는 경우에 대한 측정결과를 그림 5에 나타내었다.

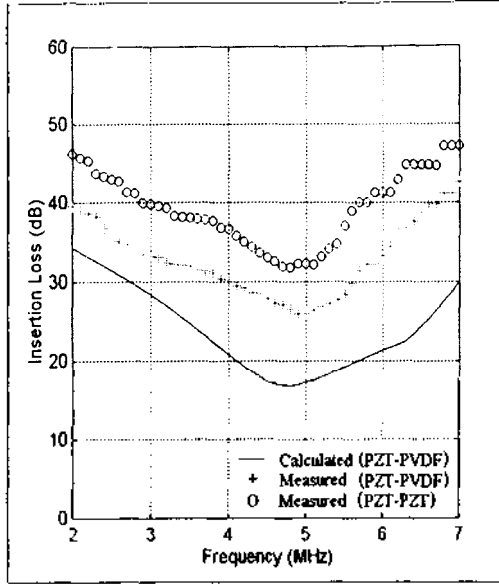


그림 5 모의실험결과 및 측정결과

그림 5에 나타낸 측정결과와 같이 PZT-PZT의 경우 삽입손실은 32.5dB, 대역폭은 44%이며 PZT-PVDF의 경우에는 삽입손실은 26.5dB, 대역폭은 52%인 것으로 측정되었다. 따라서, 종래의 PZT만으로 송·수신을 하는 경우에 비하여 PZT로 송신하고 PVDF로 수신하는 경우 삽입손실은 약 6dB정도, 대역폭은 PVDF의 광대역 특성으로 인하여 약 8% 정도 개선되는 것으로 나타났다. 한편, 식(11)에 의한 이론계산 결과를 실선으로 나타내었는데, 트랜스듀서를 구성하는 각 층에서의 손실과 회절 및 반사제에서의 손실 등을 고려한다면 실험결과와 이론치는 좋은 일치율을 보이고 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 전기-기계 결합계수가 큰 PZT를 송신용으로, 광대역의 주파수 특성을 갖는 PVDF를 수신용으로 하는 PZT/PVDF 복합 구조 초음파 트랜스듀서를 제안하고, 송·수신 특성을 향상 시키기 위한 다층의 PVDF를 이용

한 모델에 대하여 이론 및 실험적으로 검토한 결과 삽입손실 및 대역폭 등 송·수신특성 등을 상당히 개선 할 수 있음을 확인 하였다.

참고문헌

1. 菊池, 中鉢, 山水, "超高周波川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* 集, vol. 55-a, No. 7, pp.331-338, 1972.
2. Charles S. Desilets, John D. Fraser, and Gordon S. Kino, "The Design of Efficient Broad-Band Piezoelectric Transducers," *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, vol. SU-25, No. 3, pp. 115-125, 1978.
3. H.W. Persson, C.H. Hertz, "Acoustic impedance matching of medical ultrasound transducers," *Ultrasonics*, Mar, pp. 83-89, 1985.
4. PETER A. LEWIN and MARK E. SCHAFER, "Wide-Band Piezoelectric Polymer Acoustic Sources," *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, vol. 35, No. 2, pp. 175-184, 1988.
5. 김무준, 하강열, 김성부, 이종규, "다층 PZT 초음파 트랜스듀서에 대한 새로운 전송선로형 등가회로의 제안," *한국음향학회* 14(4), pp. 29-37, 1995.
6. Geoffrey R. Lockwood, Daniel H. Turnbull, and F. Stuart Foster, "Fabrication of High Frequency Spherically Shaped Ceramic Transducers," *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, vol. 41, No. 2, pp. 231-235, 1994.z
7. 김농현, 김무준, 하강열, "다층 PVDF를 이용한 PZT/PVDF 복합구조 초음파 트랜스듀서의 특성 해석," *한국음향학회 학술발표대회 논문집* 제16권 1(s)호, pp. 351-356, 1997.
8. Velimir M. Ristic, *Principles of Acoustics Devices*, John Wiley & Sons, New York, 1983