

# 1-3 압전 복합트랜스듀서의 성능 평가

김우성\*, 하강열\*, 김무준\*, 이종규\*

\* 부경대학교 물리학과

## Performance Analysis of 1-3 Piezoelectric Composite Transducer

Woo-Sung Kim\*, Kang-Lyeol Ha\*, Moo-Joon Kim\*, Jong-Kyu Lee\*

\* Dept. of Physics, Pukong Nat'l Univ.

### 요 약

초음파 산업분야에 널리 사용되고 있는 PZT 압전 세라믹 진동자의 경우 높은 품질계수로 인하여 대역폭이 좁고, 진동 시 두께방향 진동뿐만 아니라 횡방향 진동으로 인하여 초음파 신호를 분석하는데 여러 가지 어려움이 항상 존재하였다. 따라서 본 연구에서는 PZT 세라믹스와 고분자 재료인 Epoxy를 사용하여 1-3 접속도를 갖는 압전 복합재료를 제조하였다. 이를 이용하여 초음파 트랜스듀서를 제작하였고, 이에 대한 전기음향변환능률을 어드미턴스 loop를 측정하여 구하였다. 유전율, 공진 주파수 등을 포함한 기본적인 트랜스듀서의 파라미터들은 공진 부근에서 전기적인 임피던스로부터 측정하였다. 이러한 파라미터들을 적용하여 주파수에 대한 트랜스듀서의 성능을 평가하였다. Pulse-echo법을 이용하여 삽입 손실율을 구하고 임펄스 반응을 통하여 주파수 대역폭에 대해서 측정하였다. 그 결과 어드미턴스 loop로부터 두께방향모드를 제외한 횡방향 모드는 거의 나타나지 않았다. 유전율은 5.25pFm이었고, 공진주파수 1.65MHz에서 -8dB의 최소 손실이 발생하였다. 주파수대역폭은 -6dB에서 64%(Q ; 1.56)의 대역폭이 측정되었고 전기기계 결합계수는 0.54이고 전기기계변환능률은 52%, 기계음향변환능률은 31%로 측정되었다.

### 1. 서 론

압전현상은 1880년 Curie형제에 의해 최초로 발견된 이래 1950년대에 BaTiO<sub>3</sub>, Pb(Zi, Ti)O<sub>3</sub> (이하 PZT)등 압전성이 좋은 재료가 발견되면서부터 압전현상을 이용한 응용분야에 관심이 집중되기 시작하였다[1]-[2]. PZT는 우수한 압전특성을 가지고 있으나 음향특성 및 기계적 특성이 좋지 않고 높은 품질 계수로 인하여 대역폭이 좁아서 진동 시 종방향(두께방향) 진동뿐만 아니라 횡방향 진동으로 인하여 초음파 신호를 분석하는데 여러 가지 어려움이 존재하였다. 따라서 유전율이 낮고 음향임피던스가 적으며 기계적으로는 유연성이 우수한 고분자 재료를 PZT세라믹스와 혼합하여 이러한 문제점들을 해결하는 방법들이 제안되었다[3].

고분자상이 PZT보다 훨씬 더 유연하고 밀도가 낮으므로 복합화하였을 경우 유전율이 감소되어 PZT 상에 미치는 stress의 중대가 압전 전압계수를 증가시킨다. 복합 압전체의 특성을 개선하기 위하여 PZT 체적비, PZT 막대의 직경, 시편 두께에 따른 압전 특성이 연구되어 보고되고 있다[4].

본 연구에서는 이러한 압전복합재료를 제조하기 위해 상접속도[5]의 개념 중에서 1-3접속도를 선택하여 제조하였다. 1-3접속도의 시편 제조 방법으로 dicing-filling 기법을 사용하였고 이를 재료로 초음파 트랜스듀서를

제작하여 수중 및 공기 중에서 전기음향적인 특성을 분석한다. 유전율, 정전용량, 반공진주파수 등 기본적인 트랜스듀서의 기본 파라미터들은 공진주파수 부근에서 전기적인 임피던스로부터 구하고, 전기기계 결합계수 및 전기음향변환능률을 어드미턴스 loop를 측정하여 계산할 수 있다[6]. Tone-burst pulse-echo법을 이용하여 삽입 손실율을 측정하고, 임펄스 반응을 통해 주파수 대역폭을 측정한다.

## 2. 압전복합트랜스듀서의 제작

본 연구에서는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 압전 세라믹(PZT-5A)이 1차원적으로 결합되어 있고 고분자(epoxy resin)상이 3차원적으로 결합되어 있는 1-3형 복합 압전체료를 제작하였다. 이는 복합 압전체에서 PZT 막대는 연속적으로 접속되어 있는 고분자 매질 내에 채워져 있는 것이다. 제작 방법은 두께가 300 $\mu$ m인 PZT 압전 세라믹 원판을 두께가 45 $\mu$ m인 다이아몬드 톱으로 300 $\mu$ m 간격으로 dicing하였다. 그 사이에 epoxy 수지를 채운 후 처음 자른 방향과 수직으로 같은 작업을 하여 1-3 복합압전체료를 제조하였다. 이 재료에 포함된 PZT의 제직비는 75%로 측정되었다. 트랜스듀서의 표면 직경은 23mm이고 상하 양면에 전극을 붙였다. 수중에서 사용될 경우 물의 침투를 막기 위해서 알루미늄으로 casing하였다. 임피던스 정합층은 1/4파장 두께하였다.

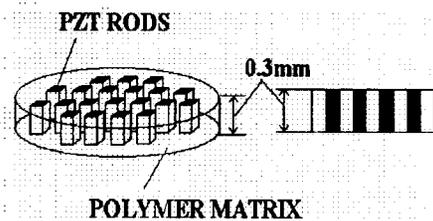


Fig.1. Schematic representation of 1-3 piezoelectric composite transducer with PZT rods in a polymer matrix

## 3. 실험

먼저 Impedance/Gain-phase Analyzer(HP 4194A)를 이용하여 제작된 1-3 PZT-고분자 복합트랜스듀서를 Fig. 2와 같이 장치하여 정전용량 및 유전율을 포함한 기본 파라미터들을 구하고, 전기음향변환효율을 계산하기 위하여 공기중과 수중에서 각각 어드미턴스를 측정하여 전기기계 결합계수와 전기음향변환효율을 구하였다.

본 실험에서는 한 개의 트랜스듀서를 송수신 겸용으로

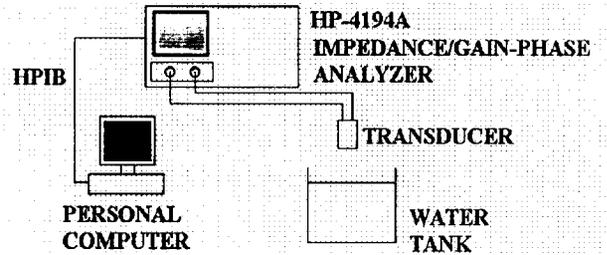


Fig.2. Block diagram of experimental setup for the measurement of fundamental factors

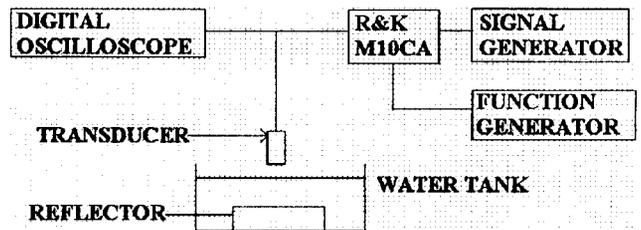


Fig.3. Block diagram of experimental setup for the measurement of insertion losses

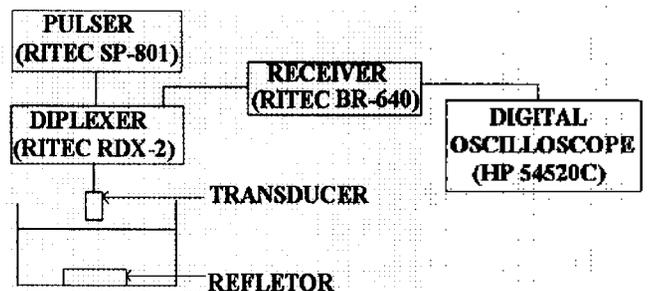


Fig.3. Block diagram of experimental setup for impulse response

하여 수중에서의 송수신 특성을 조사하기 위해 Fig. 3.에서 보는 바와 같이 Tone-burst pulse-echo method[7]를 이용하여 트랜스듀서의 주파수의 변화에 따른 입력 전압과 반사전압의 크기를 측정하여 삽입손실율을 계산하였다. 일반적으로 펄스에코법을 이용한 트랜스듀서의 특성실험에서는 음파전달시의 회절 및 흡수 등에 의한 손실을 최소화시키기 위해 트랜스듀서와 반사체 사이의 거리를 근거리음장으로 계산하여 실험을 행한다. 본 실험에서는 계산에 의하여 바닥에 반사판과 수직면상

15mm 지점에 트랜스듀서를 설치하였다.

트랜스듀서의 대역폭을 알아보기 위해 Fig. 4와 같이 장치하였다. 트랜스듀서에서는 펄스형태의 음파가 수중으로 방사되며, 수중에서 진행하는 음파는 수중의 아랫부분에 있는 반사판에 도달하게 된다. 음향에너지의 일부는 반사판에 흡수되지만 매질인 물과 반사판과의 임피던스 차에 의해 대부분의 음파는 다시 되돌아 와서 트랜스듀서에 수신된다. 이와 같은 과정의 반복에 의해 음파는 점차 감소되어 소멸된다. 트랜스듀서에 임펄스(펄스폭:2 $\mu$ s)를 가했을 때 반사되어 나오는 파는 시간에 따른 펄스의 크기를 나타내고 있으므로 이를 푸리에 변환(FFT) 하여 트랜스듀서의 주파수 대역폭을 계산하는 것으로 성능을 평가하였다.

#### 4. 결 과

Impedance Analyzer를 통해 제작된 트랜스듀서의 공진주파수를 측정된 결과 1.65MHz로 측정이 되었고 유전율 및 정전용량은 각각 5.25pFm, 6.7pF로 측정되었다. 그리고, 수중과 공기중에서 각각 어드미턴스 loop를 측정된 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 두개방향을 제외한 평방향 모드는 거의 나타나지 않음을 알수 있다. 전기기계 결합계수 및 전기음향 변환능률은 측정결과 0.54, 16%로 나타났다.

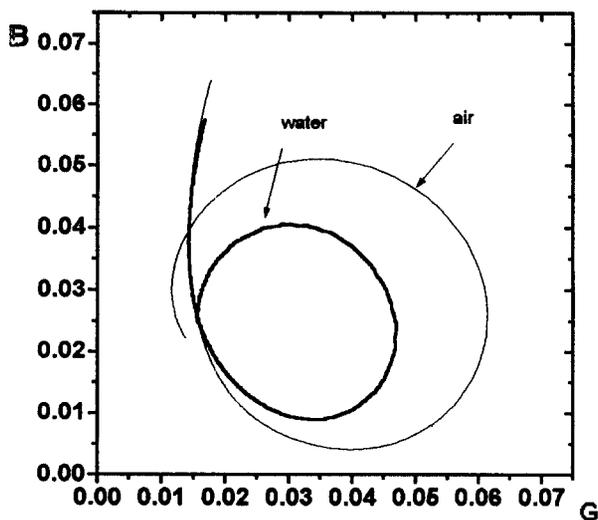


Fig. 5. Admittance diagram of 1-3 composite transducer

제작된 복합트랜스듀서의 삽입 손실을 공진주파수를 중심으로 100KHz 간격으로 변화시키면서 반사파의 진

압 크기가 측정가능한 주파수까지 측정하였다. 그 결과가 Fig. 6에 나타나는 바와 같이, 트랜스듀서는 공진주파수 1.6MHz에서 8dB정도의 최소 손실을 가지는 것으로 나타났다.

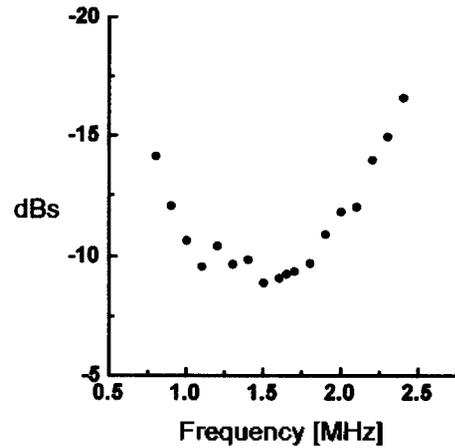


Fig. 6. Transducer two-way insertion losses with a Central frequency of 1.65MHz

임펄스 반응실험에서 Fig. 7과 같이 트랜스듀서를 통해 수신된 임펄스 응답파형을 실시간에 대해서 나타내었다. 입력 임펄스 폭은 2 $\mu$ s이었는데 트랜스듀서를 통해 수신된 에코파는 펄스폭이 증가함을 보이고 있다. 이는 PZT rod 자체의 벌림으로 인해 증가된 것으로 생각된다. 파형을 주파수에 대해 나타내기 위해 FFT 한 결과를 Fig. 8에서 보여주고 있다. 결과에서 보는 바와 같이 주파수 대역폭은 -6dB에서 64%로 계산되었다.

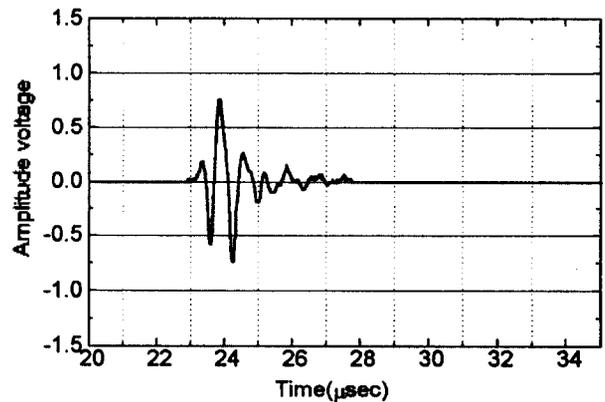


Fig. 7. Impulse response for the 1-3 composite transducer

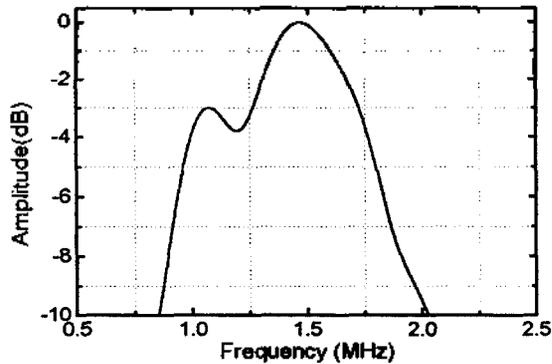


Fig. 8. Spectrum of the impulse response (as shown in Fig. 7.)for the 1-3 composite transducer

## 5. 결 론

압전특성이 우수한 PZT 세라믹스와 고분자 재료 Epoxy를 이용하여 dicing-filling 기법을 사용하여 1-3접속도를 갖는 압전 복합재료를 제조하였다, PZT의 체적비는 전체에 75%였다. 이 재료로써 초음파 복합 트랜스듀서를 제작하였고, 수중에서의 송수신 특성을 실험하였다. 트랜스듀서의 성능을 평가한 결과로서 먼저 수중과 공기중에서 어드미턴스 loop를 측정하였다. 그 결과 횡방향의 진동은 거의 나타나지 않았음을 알았고, 전기기계 결합계수 및 전기음향 변환능률은 각각 0.54, 16%임을 알았다. 공진주파수는 Impedance Analyzer를 통해 1.65MHz로 측정이 되었고, 유전율은 5.25pF/m임을 알았다. 펄스에코법을 이용한 삽입손실을 측정결과 공진주파수 부근에서 8dB의 최소 손실을 나타내었다. 펄스 반응을 조사한 결과 주파수 대역폭 측정은 -6dB에서 Q값이 1.56으로 주파수 대역폭은 64%임을 알게 되었다.

## Reference

- [1] B. Jaffe, et al : "Piezoelectric Properties of Lead Zirconate Titanate Solid-Solution Ceramics." J. Appl. Phys., vol.25, pp.809-810, 1954.
- [2] W. B. Harrison, "Flexible Piezoelectric Organic composites." Proc. of Workshop on Sonar Transducer Materials, Naval Rec. Lab., pp.257, 1975.
- [3] B. Jaffe, W. R. Cook and H. Jaffe. "Piezoelectric Ceramics, Academic Press. London, pp.135-140, 1971.
- [4] W. A. Smith and B. A. Auld. "Modeling 1-3 Composite Piezoelectrics : Thickness-Mode Oscillations.
- [5] R. E. Newnham, D. P. Skinner, and L. E. Cross. "Connnectivity and piezoelectric;pyroelectric composite1717s." Mat. Res. Bull. vol.13, no.5 pp.525-536. May 1978.
- [6] "Definition and methods of measurement for piezoelectric vibrators", IEEE Std. 177-1966.
- [7] K. R. Erikson, "Tone-Burst Testing of Pulse-Echo Transducers." IEEE Trans. Sonics and Ultrason. vol. SU-26, No.1, Jan. 1979.