

## 2-2형 압전복합재료의 제작 및 전기적 특성

### The Preparation and Electrical Properties of 2-2 Type Piezocomposites

이상욱\*, 고영준\*\*, 남효덕\*\*, 류정탁\*\*\*, 김연보\*\*\*

(Sang-Wook Lee, Young-Jun Go, Hyo-Duk Nam, Jeong-Tak Ryu, Yeon-Bo Kim)

#### Abstract

In this study, 2-2 type piezocomposites were made and characteristics as volume fraction of PZT were investigated. The acoustic impedance of 2-2 piezoelectric composites was linearly decreased with decreasing PZT volume fraction. when the volume fraction of PZT was 0.2 the acoustic impedance was 3.2 Mrayl. The electromechanical coupling factor was favourable in comparison with the single phase PZT, and that was about uniformed about 0.68 in the 0.2 to 0.6 of PZT volume fraction.

**Key Words** : 2-2 Piezoelectric composites, Electromechanical coupling factor, Acoustic impedance.

#### 1. 서 론

고성능의 초음파 트랜스듀서를 제작하기 위해서 요구되는 재료의 중요한 성질로는 높은 전기기계 결합계수, 조작 가능한 넓은 주파수 대역폭 그리고 측정 대상 매체와 음향학적으로 양호한 정합을 가질 수 있는 음향임피던스의 조정성 등이 있다. 단일상 압전진동자의 음향 임피던스는 약 30-40 Mrayl이다. 따라서 이것이 수중이나 의료용으로 인체에 사용될 때 음향임피던스의 차이로 인하여 대부분의 초음파는 그 경계면에서 반사되어 인체 내의 영상이 나타나지 않거나 잡음신호에 가려져 사용이 어려운 상태가 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 압전특성이 우수한 압전세라믹스와 음향임피던스가 낮은 폴리머가 결합된 압전복합재료는 새로운 초음파 트랜스듀서 재료로 부각되고 있다.[1] 특히 이중에서 두께 방향 전기기계 결합

계수가 높고 음향임피던스가 낮으며(<7.5 Mrayl), 비교적 낮은 유전율을 가지는 0-3형, 1-3형, 2-2형 등의 압전복합재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들은 유전 및 기계적 손실이 적고 광대역 주파수 특성을 얻을 수 있으므로 고주파용 트랜스듀서 및 초음파 탐촉자 등에 응용이 기대되고 있다.[2-5] 1997년 Y. Shui 등은 2-2 형 압전복합재료에서 현재의 모델링 방법을 개선하여 압전 세라믹/폴리머 복합체의 경계조건과 기초적인 파동 방정식으로 분석하여 세라믹과 폴리머 층에서 2-2 형 압전복합재료를 사용한 트랜스듀서를 두께 방향으로 전파하는 Lamé파의 전파 개념으로 해석하였다.[6] 이와 같이 압전복합재료에 관하여 재료적인 측면과 음향학적인 특성의 모델링에 관한 연구사례는 많이 있으나, 실제 사용 가능한 수중 청음기용 트랜스듀서 또는 의료용 초음파 탐촉자에 적합한 음향학적인 특성과 물성을 가지는 세라믹-고분자 압전복합재료의 설계에서부터 압전복합재료의 제작까지의 연구 사례는 그리 많지 않은 실정이다.

본 연구에서는 고분자재료(araldite, CEP-1)와 압전세라믹(PZT 5A)을 이용한 2-2형 압전복합재

\* : 영남대학교 전자공학과  
(경북 경산시 대동 214-1,  
Fax: 053-813-8230  
E-mail : sangwook0@hanmail.net)

\*\* : 영남대학교 전자정보공학과

\*\*\* : 대구대학교 정보통신공학부

료를 설계하고 제작하여 단일 압전세라믹과의 물성 및 음향특성을 비교하여 그 성능을 평가하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험방법

본 연구에서는 2-2형 압전복합재료를 실제로 제작하였다. 우선 PZT-5A 분말을 압출성형하여 1180℃에서 소결한 후 10×10×1.2 mm가 되도록 하여 은진극을 도포하였다. 제작된 PZT 시편을 2 kV/mm의 전압을 인가하여 분극을 실시하였다. 분극처리된 시편을 다이아몬드 톱날(300 μm)을 이용하여 1 mm의 깊이로 절단하여 PZT의 체적비가 각각 8:2, 6:4, 4:6, 2:8이 될 수 있도록 가공하였다. 가공된 PZT 시편과 충전재(Phenolic resin, Silica microballoon)가 혼합된 고분자재료(Araldite, CEP-1)를 조합하여 경화시켜서 2-2형 압전복합재료를 제작하였다. 제작된 압전복합재료의 표면에 백금진극을 코팅하여 2-2형 압전복합재료를 이용한 트랜스듀서를 제작하였다.

그림 1은 본 실험에서 제작한 2-2형 압전복합재료를 이용한 트랜스듀서의 모양을 나타내고 있다.

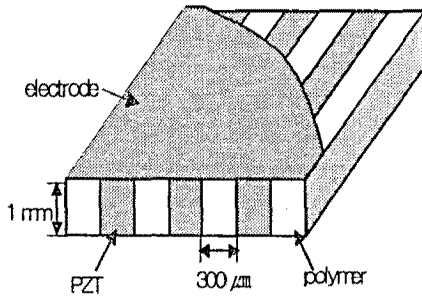


그림 1. 2-2형 압전복합재료를 이용하여 제작된 트랜스듀서의 구조

Fig. 1. The structure of 2-2 type piezoelectric composites transducer.

### 2.2 측정 및 분석

제작된 고분자재료와 2-2형 압전복합재료의 밀도를 각각 측정하고, 상용의 초음파 탐촉자(Panametrics, A309s, 5 MHz), Pulse Generator (Model 500PR, Panametrics) 및 OSC (Model 9301A, 400 MHz, LeCroy)를 사용하여 Pulse-Echo 법으로 반사파의 속도를 측정하여 다음의 식 (1)을 사용하여 음향임피던스를 계산하였다.

$$Z_a = \rho v \quad (1)$$

또한, Impedance Analyzer(HP4194A)를 이용하여 1 kHz에서의 정전용량  $C_0$  값과 공진특성으로부터 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 압전복합재료의 유전을 및 전기기계결합계수를 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 2-2형 압전복합재료의 PZT 부피분율 변화에 따른 밀도변화를 나타낸 것이다. PZT 부피분율이 0.6일 때 에폭시와 충전재의 종류에 관계없이 모두 근사한 밀도를 나타내었으며, CEP-1에 Phenolic resin을 첨가하였을 때 다른 시편보다 높은 밀도를 나타내었다

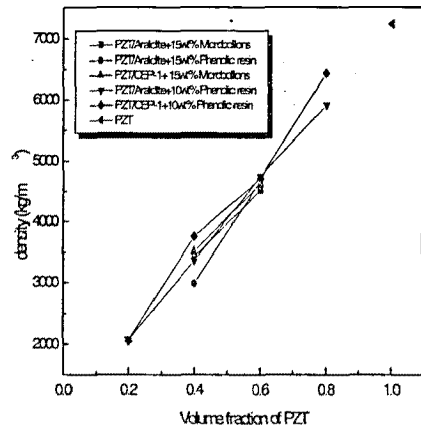


그림 2. PZT 부피분율 따른 밀도 변화.

Fig. 2. Density as a function of PZT volume fraction

그림 3은 단일 PZT와 2-2형 압전복합재료의 음향임피던스 특성을 나타내었다. PZT의 부피분율이 증가함에 따라 음향임피던스는 증가하였다. 이는 PZT의 부피분율 증가는 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 밀도의 증가를 나타낸다. 따라서 식 (1)에 의하여 압전복합재료의 부피분율과 음향임피던스의 변화는 선형적으로 비례함을 알 수 있다. 실험에서 제작된 2-2형 압전복합재료의 음향임피던스는 PZT 부피분율이 0.2~0.6에서 3~7 Mrayl로 나타났으며, PZT 부피분율이 0.2일 때 3.2 Mrayl로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그림에서 압전복합재료의 밀도와 음향임피던스의 차이는 충전재의 불균일한 분산으로 인한 음속의 변화에 의한 것으로 사료된다.

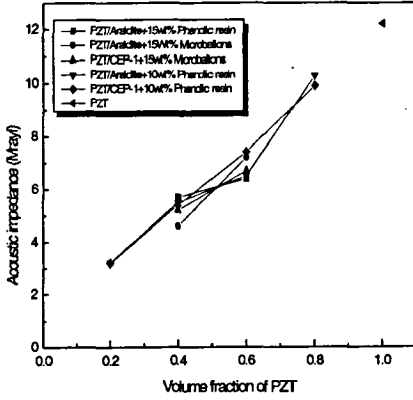


그림 3. PZT 부피분율에 따른 음향임피던스 변화.  
Fig. 3. Acoustic impedance as a function of PZT volume fraction.

그림 4는 PZT의 부피 분율 변화에 따른 2-2형 압전복합재료의 비유전율의 변화를 나타낸 것이다. PZT/CEP-1+10wt% Microballoons의 경우, PZT의 부피 분율의 증가에 따라 비유전율이 직선적으로 증가하여 단일 PZT의 그것에 가장 근접한 유전율을 나타내었다. PZT/Araldite+10wt% phenolic resin의 경우 PZT 부피분율 변화에 따른 유전율의 증가치가 작은 것은 고분자재료 내의 점도로 인한 기공의 존재로 유전율이 낮은 것으로 사료된다.

그림 5는 2-2형 압전복합재료에서 PZT의 부피 분율에 따른 전기기계결합계수 변화를 나타낸 것이다. 시편의 공진주파수와 반공진주파수를 측정된 결과로부터 식 (2)에 의하여 두계모드의 전기기계결합계수를 계산하였다.

$$k_t^2 = \frac{2}{\pi} \frac{f_R}{f_a} \tan\left(\frac{2}{\pi} \frac{f_A - f_R}{f_A}\right) \quad (2)$$

그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 PZT의 부피분율이 0.2~0.6에서는 전기기계결합계수가 0.67~0.71으로 거의 일정한 값을 나타내었으며, PZT의 부피분율이 0.6이상에서는 전기기계결합계수가 감소하는 경향을 보였다. 2-2형 압전복합재료는 단일 압전세라믹보다 높은 전기기계결합계수를 나타내었다.

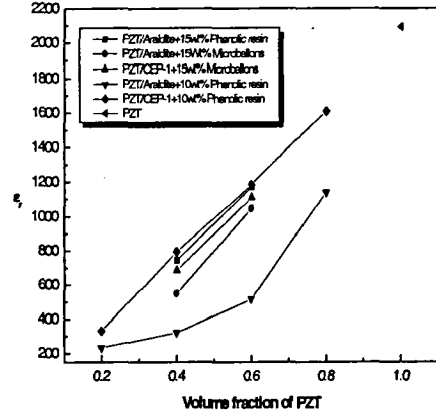


그림 4. PZT 부피분율에 따른 비유전율 변화.  
Fig. 4. Relative permittivity as a function of PZT volume fraction.

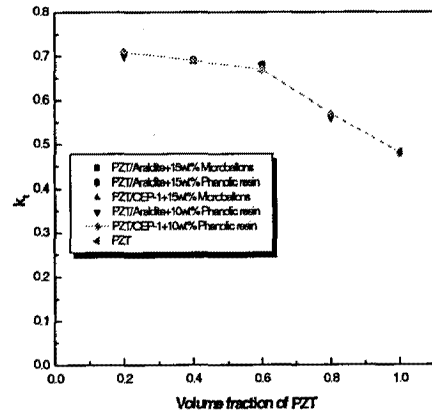


그림 5. PZT 부피 분율에 따른  $k_t$ 의 변화.  
Fig. 5.  $k_t$  as a function of PZT volume fraction

#### 4. 결론

2-2형 압전복합재료의 부피분율 변화에 따른 음향특성과 전기적 특성을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 2-2형 압전복합재료의 PZT의 부피분율이 낮을수록 비유전율과 음향임피던스 값은 감소하여 단일의 압전세라믹스의 그것보다 낮은 값을 나타내었다.
- (2) 2-2형 압전복합재료의 PZT 부피분율이 0.2~0.6에서 전기기계결합계수는 단일 PZT 보다

높은 경향을 보였다.

- (3) 음향임피던스와 전기기계결합계수의 관점에서 볼 때 2-2형 압전복합재료의 PZT 파괴분율이 0.2~0.6일 때 단일 PZT 보다 우수한 특성을 나타내었다.

이상으로부터 2-2형 압전복합재료는 초음파 트랜스듀서 재료로서 응용에 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] T. R. Gururaja, A. Safari, R. E. Newnham, L. E. Cross, "Piezoelectric ceramic-polymer composites for transducer applications," in *Electronic Ceramics*, L. M. Levinson, Ed. New York, Marcel Dekker, pp. 92-128, 1987., No.4, pp.434-441, 1989
- [2] W. A. Smith, A. Shaulov & B. A. Auld, "Tailoring the Properties of Composite Piezoelectric Materials", in *Proc. IEEE Ultrason. Symp.*, pp.642-647, 1985.
- [3] H. L. W. Chan & J. Unsworth, "Simple Model for Piezoelectric Ceramic/Polymer 1-3 Composites Used in Ultrasonic Transducer Applications", *IEEE Trans. on Ultrason., Ferroelect. and Freq. Control*, Vol.36, No.4, p.434, 1987.
- [4] H. Takeuchi, C. Nakaya & K. Katakura, "Medical Ultrasonic Probe Using PZT Polymer Composites", *IEEE Ultrasonic Symp.*, pp.507-510, 1984.
- [5] K. A. Klicker, J. V. Biggers & R. E. Newnham, "Composites of PZT and Epoxy for Hydrostatic Transducers Application", *J. Ame. Cer., Soc.*, Vol.64, pp.5-9, 1981.
- [6] Y. Shui, Q. Xue, "Dynamic Characteristics of 2-2 Piezoelectric Composite Transducers," *IEEE Trans. on Ultrason., Ferroelect. and Freq. Control*, Vol. 44, No. 5, pp. 1110-1119, 1997.