

압전복합재료의 제작 및 음향특성 고찰

A Study on the Fabrication and Acoustic Properties of Piezocomposites

이상욱*, 남효덕*, 류정탁**, 김연보**

Sang-Wook Lee*, Hyo-Duk Nam*, Jeong-Tak Ryu**, Yeon-Bo Kim**

Abstract

In this paper, we investigated the electric and acoustic properties of piezoelectric composites, which were fabricated using polymer and piezoelectric ceramics, when the volume fraction of PZT varies. Practically, the shrinkage rate of polymer is an important factor in ultrasonic transducer fabrication. When 10 wt% filler A was added into polymer(Epofix), the lowest shrinkage was resulted.

The electromechanical coupling factor (k_t) of the fabricated piezoelectric composites showed its highest when the volume fraction PZT was 0.6. It decreased if the volume fraction was higher than the value. The relative permittivity and acoustic impedance of piezoelectric composites decreased linearly when PZT volume fraction was decreased. The lowest acoustic impedance was 3.2 when the volume fraction of PZT was 0.2.

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

1. 서론

초음파 트랜스듀서를 제작할 때 가장 핵심적으로 사용되는 소자는 전기적인 신호를 기계적인 인동 신호로 바꾸어주는 압전소자이다. 이 압전진동소자가 가져할 기본적인 성질은 높은 전기기계결합계수(k_t), 조작 가능한 넓은 주파수 대역폭(Band Width) 그리고 측정 대상 매체와 음향학적으로 양호한 정합을 가질 수 있는 음향임피던스 등의 특성이 요구된다. PZT계 압전세라믹은 압전성 및 전기기계결합계수가 우수하여 트랜스듀서의 진동자 재료로 많이 이용이 되고 있다. 그러나 단일 상의 압전진동자(PZT)의 음향 임피던스는 약 30-40 Mrayl로서 이것이 수중이나 의료용으로 인체에 사용될 때 압전소자의 높은 밀도와 비유전율로 인한 음향임피던스의 차이로 인하여 음향임피던스의 정합이 어렵고, 사용가능한 주파수 대역이 좁기 때문에 활용시 감도 및 특성이 상당히 저하된다.[1] 이러한 문제점을 해결하기 위하여 낮은 밀도와 비유전율을 가지는 압전복합재료에 관한 연

구가 많이 이루어지고 있다. 특히 이 중에서 두께 방향 전기기계 결합계수가 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 세라믹과 폴리머 층에서 2-2 형 압전복합재료를 사용한 트랜스듀서를 두께 방향으로 전파하는 Lamp파의 전파 개념으로 해석하였다.[6] 이와 같이 2-2형 압전복합재료의 재료적인 측면과 음향학적인 특성의 모델링에 관한 연구사례는 많이 있으나, 실제 사용 가능한 압전복합재료의 설계에서부터 제작까지의 연구 사례는 거의 없다.

본 연구에서는 낮은 밀도를 가지는 고분자재료와 높은 전기기계결합계수를 가지는 압전세라믹을 이용하여 2-2형 압전복합재료를 제작하였다. 이 때 압전세라믹의 부피 분율의 변화에 따른 비유전율, 전기기계결합계수 및 음향특성을 조사하였다.

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

** : 대구대학교 정보통신공학부

2. 실험방법

본 연구에서는 압전세라믹(PZT-5A)과 고분자 재료

인 Araldite (Ciba Geigy), Epofix (Struers), CEP-1을 이용하여 2-2형 압전복합재료를 제작하였다. 먼저 압전복합재료 제작에 적합한 고분자재료를 선정하기 위하여 고분자재료에 충전재(A, B, C)를 5~20 wt% 첨가하여 시편 제작용 금형(직경 29.5 mm, 두께 5 mm)에 부어넣어 경화시켰다. 경화된 시편을 적당한 크기로 가공하여 물리적인 성질과 음향특성을 조사하였다. 다음으로 PZT 분말을 압출성형하여 1180 °C에서 2시간 소결한 후 10×10×1.2 mm가 되도록 하여 은 전극을 도포 하였다.

그림 1은 압전복합재료의 제조공정을 나타내고 있다. 우선 제작된 PZT 압전세라믹 시편은 2 kV/mm의 전압을 인가하여 120°C의 실리콘 오일에서 20분간 유지하여 분극을 실시하였다. 분극 처리된 시편은 그림 1과 같이 두께 350 μm의 다이아몬드 톱날을 이용하여 1 mm의 깊이로 파내어 PZT와 폴리머의 체적비가 8:2, 6:4, 4:6, 2:8이 되도록 가공하였다. 가공된 PZT 시편에 탈포한 고분자재료를 채워넣어 40°C의 건조기에서 24시간 동안 경화시켰다. 고분자재료의 경화가 끝난 후 압전복합재료의 표면에 상온 건조용 전극(Nilco Co.)을 도포하여 2-2형 압전복합재료를 이용한 트랜스듀서를 제작하였다.

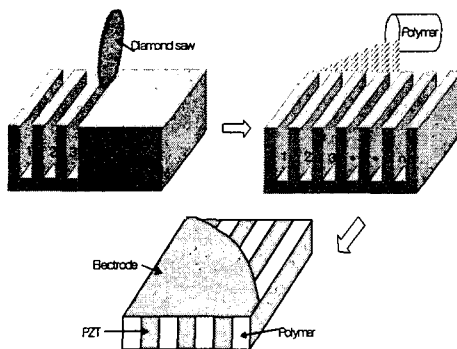


그림 1. 2-2형 압전복합재료 제조 공정

3. 결과 및 고찰

2-2형 압전복합재료를 제작할 때 액체 상태의 고분자재료는 주재와 부재가 반응하여 상온에서 경화된다. 이 때 고분자재료의 경화에 따라 수축이 필연적으로 따르게 되어 복합재료는 변형을 일으킨다. 이러한 수축의 문제는 향후 압전복합재료의 설계와 제작에 상당한 문제를 야기 시킨다. 따라서 고분자재료에 충전재(A, B, C)를 첨가하여 수축율을 조정하여야 한다. 또한 수축율은 압전복합재료의 밀도를 증가시켜서 음향임피던스에 영향을 준다. 다음 그림 2는 세 종류의 고분자재료에 충전재 A, B, C의 첨가

량에 따른 밀도 변화를 나타내고 있다. 충전재를 첨가한 경우 첨가량이 증가함에 따라 밀도의 증가는 나타나는데, 이들은 고분자재료의 밀도 보다는 다소 차이가 있지만 충전재의 밀도가 크기 때문에 이들 충전재의 첨가량을 증가 시켰을 경우에 대체로 같은 경향으로 밀도가 증가하고 있다. 복합재료의 수축율은 압전복합재료의 설계와 제작에 큰 영향을 미치는데 충전재의 첨가량에 따라 밀도의 증가와는 반대로 수축율은 작아 지는데, 충전재의 첨가량이 10wt%일 때가 압전복합재료의 설계와 제작에 가장 적합하게 나타났다.

그림 3은 고분자재료에 충전재의 첨가량에 따른 복합재료의 음향임피던스 특성을 나타내었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 충전재의 첨가량이 증가함에 따라 복합재료의 밀도가 증가하고, 이 밀도의 증가로 인하여 복합재료의 음향임피던스가 증가하고 있음을 보여 주고 있다. 세 종류의 복합재료에 세 종류의 충전재를 첨가한 모든 경우가 대체로 같은 경향을 보여주고 있다.

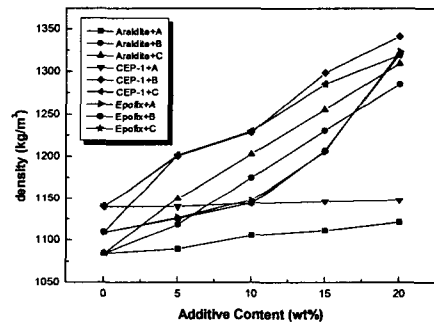


그림 2. 고분자재료의 충전재 첨가량 변화에 따른 밀도변화

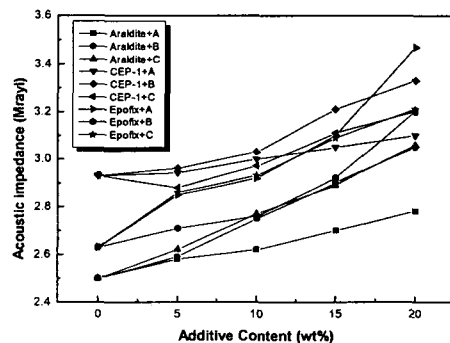


그림 3. 고분자재료의 충전재 첨가량에 따른 음향 임피던스 변화

그림 4는 PZT(PZT 5A)와 충전제를 첨가하여 제작한 압전복합재료의 PZT 부피분율 변화에 따른 2-2형 압전복합재료의 비유전율의 변화를 나타낸 것이다. PZT의 부피분율(V_{comp})은 식(1)과 같이 PZT의 부피(V_{PZT})와 복합재료의 부피($V_{polymer}$)비로서 구할 수 있다.

$$V_{comp} = \frac{V_{PZT} - V_{polymer}}{V_{PZT}} \quad (1)$$

압전복합재료의 비유전율 ϵ_r 은 식 (2)에 의하여 구하였다. 정전용량 C_0 는 Impedance Analyzer (HP4194A)를 이용하여 1 kHz에서의 정전용량을 측정하였다.

$$\epsilon_r = \frac{C_0}{\epsilon_0} \frac{d}{S} \quad (2)$$

여기에서 d 는 시편의 두께, S 는 시편의 단면적, ϵ_0 는 진공에서의 유전율 이다. 비유전율은 그림에서 보는 바와 같이 PZT의 부피분율이 증가함에 따라 비례적으로 증가하였다. 단일 PZT의 $\epsilon_r=2091$ 에 비하여 234~1600으로 현저하게 감소되었음을 알 수 있다. 이는 비유전율이 높은 압전세라믹의 체적 증가에 따른 것이며, 고분자재료의 영향은 적은 것으로 사료된다.

그림 5는 단일 PZT인 경우와 PZT의 부피분율이 0.6 일 때의 공진특성인 주파수 변화에 따른 임피던스의 변화를 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 보는 것처럼 설계, 제작된 압전복합재료의 공진특성은 단일의 PZT(그림 5, (b))와 마찬가지로 공진 반공진특성이 잘 나타난 것을 볼 수 있다.

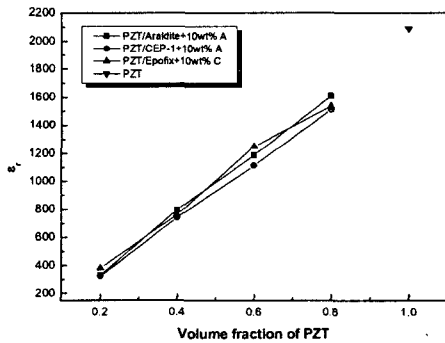


그림 4. PZT 부피분율에 따른 비유전율 변화.

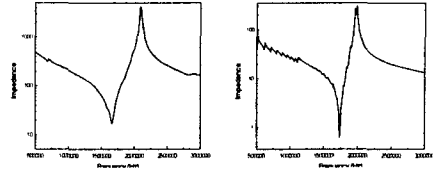


그림 5. 단일 압전세라믹과 압전복합재료의 공진 특성 (a) $V_{comp}=0.6$ (b) $V_{comp}=1$

단일 PZT의 공진주파수는 1.63 MHz, 두께방향의 전기기계결합계수(k_t)는 0.5이었으며, PZT의 부피분율이 0.6인 경우의 공진주파수는 1.66 MHz, 이때의 k_t 값은 0.68이었다.

그림 6은 압전복합재료에서 PZT의 부피분율에 따른 두께모드 전기기계결합계수 변화를 나타낸 것이다. 다른 선행의 연구 결과[7]에서와 같이 본 연구에서도 PZT의 부피분율이 0.2~0.6에서는 전기기계결합계수는 0.64~0.68로 거의 일정한 값을 나타내고 있으며, 이것을 벗어난 범위에서는 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이것은 선행의 연구결과[7]와 잘 일치한다. 따라서, 2-2형 압전복합재료는 단일 PZT에 비하여 높은 두께 방향 전기기계결합계수를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 본 연구에서 설계, 제작된 2-2형 압전복합재료의 PZT 부피분율 변화에 따른 음향임피던스 변화를 나타내고 있다. 앞에서 언급한 고분자재료의 음향임피던스 특성과 마찬가지로 PZT의 부피분율이 감소함에 따라 밀도의 감소로 인하여 음향임피던스는 비례하여 감소하였다.

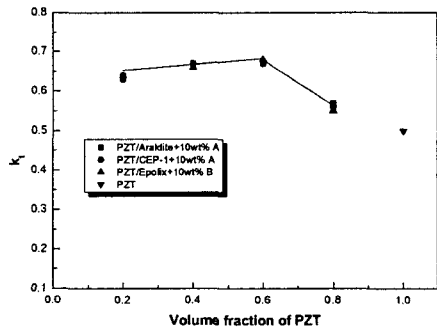


그림 6. PZT 부피분율에 따른 k_t 의 변화.

참고 문헌

- [1] R.E. Newnham, A. Safari, G. Sa-Gong & I. Giniewicz, "Flexible Composites Piezoelectric Sensor," IEEE Proc., Int'l Ultrason. Symp., p.501, 1984.
- [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.
- [7] H. Takeuchi and C. Nakaya "PZT/Polymer Composites for Medical Ultrasonic Probe," Ferroelectric, 68, 53-61, 1986.

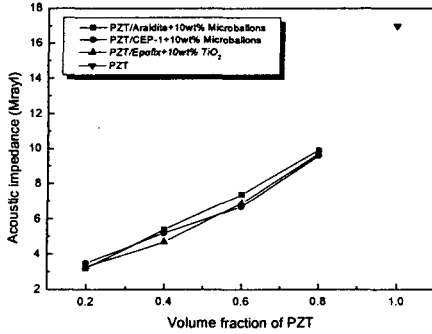


그림 7. PZT 부피분율에 따른 음향임피던스 변화.

부피분율이 0.2일 때 가장 낮은 값 3.2 Mrayl를 나타내었다. 그리고 압전복합재료의 음향임피던스는 PZT 부피분율이 0.2~0.6에서 3~7 Mrayl로 단일 PZT의 음향임피던스가 약 30 Mrayl인 것을 감안한다면 획기적으로 감소한 것을 알 수 있다. 이것은 물속이나 인체에 사용할 때 부정합으로 인한 에너지 손실을 현저하게 줄일 수 있어 우수한 성능의 트랜스듀서를 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

고분자재료와 압전세라믹을 이용하여 2-2형 압전복합재료를 제작하고 PZT 부피분율 변화에 따른 전기 및 음향 특성을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 압전복합재료 제작에 큰 영향을 미치는 재료의 수축율은 충전재의 첨가로 조절할 수 있으며, 충전재(A, B, C)를 10 wt% 첨가시 가장 좋은 수축 특성을 나타내었다.

(2) 전기기계 결합계수는 압전복합재료의 PZT 부피분율이 0.2~0.6 일때 가장 우수하고, 일정한 값을 나타내었다.

(3) 압전복합재료의 PZT의 부피분율이 감소에 따른 밀도의 감소로 비유전율과 음향임피던스는 부피분율에 비례적으로 감소하였다.

이상의 결과로부터 2-2형 압전복합재료는 단일상의 PZT보다 우수한 음향특성을 나타냄을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 수중음향특화센터 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.