Polymer/PZT 복합재료를 이용한 초음파 트랜스듀서의 음향특성

홍정표, 류정탁, 김연보
대구대학교 전자정보공학부

Acoustic Properties of Ultrasonic Transducers using Polymer/PZT piezomposites

Jung-Pyo Hong, Jung-Tak Ryu, Yeon-Bo Kim
Dept. of Information and Communication Engr., Graduate School, Daegu Univ
jungpyo11@hotmail.com, jryu@daegu.ac.kr, ybkim@daegu.ac.kr

요 약

단일 PZT보다 전기적 및 음향 특성이 우수한 Polymer/PZT 압전복합재료를 설계하고, 이것으로 초음파 트랜스듀서를 제작하여 음향특성을 고찰하였다. 폴리머의 체적 수축율 조정을 위한 충진제를 선정하고, PZT의 부피분율을 30~80% 변화시켜 이것에 따른 전기적 특성 및 음향 특성을 비교, 검토하였다.

PZT/Polymer 압전복합재료의 전기기계결합계수(=k_t)는 단일 PZT 보다 우수하게 나타났으며, 음향 임피던스는 3~7[Mrayl]정도로 낮게 조정할 수 있었다. 또한 Pulse-echo법으로 음향 송수신특성을 측정한 결과, 단일의 PZT를 사용한 경우보다 높은 전폭과 넓은 대역폭이 측정되어 음향 특성이 우수한 것을 확인 할 수 있었다.

1. 서 론

수중 통신이나 의료용으로 인체에 사용되고 있는 초음파 트랜스듀서는 PZT 압전세라믹이 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 단일상의 PZT를 사용 할 경우 높은 유전율과 고밀도로 인한 높은 음향임피던스로 인하여 신호의 감쇄가 크게 일어나서 송·수신 특성이 저하하게 된다[1]. 따라서 효과적인 신호의 송수신을 위해서는 정합을 필요로 하고, 이것을 위해 제작 공정상의 어려움에도 불구하고 1차 또는 2차의 정합층을 부착하여 사용하고 있다. 최근 이러한 단점들을 개선하기 위해 낮은 밀도 및 비유전율을 가지는 소재 개발이 활발히 진행되고 있다.[2-3]

압전복합재료는 초음파 트랜스듀서 응용에 있어서 단일상의 압전세라믹 재료에 비하여 낮은 음향임피던스, 높은 전기기계결합계수 및 기계적품질계수, 넓은 주파수 대역폭을 가진다[4-5]. 따라서 본 연구에서는 낮은 밀도를 가지는 폴리머와 전기기계 결합계수가 우수한 압전세라믹(PZT-5A)을 결합한 Polymer/PZT 복합재료를 설계하고 제작한 후, 전기적 특성 및 음향특성을 조사하여 우수한 초음파 트랜스듀서 재료로의 사용가능성을 조사 하였다. 이들의 특성의 우수함을 검증하기 위하여 단일상의 PZT로 제작한 그것과의 전기적 특성 및 음향 특성을 비교하였다.

2. 실험 방법

Polymer/PZT 압전복합재료는 크게 모재(PZT)와 삽입재(polymer)로 구분된다. 본 연구에서는 모재로 전기적 특성이 우수한 PZT-5A를 사용하고, 삽입재는 폴리머(P1, P2)를 사용하였다. 소결된 PZT의 분극을 위해 은전극을 도포하고, 실리콘 오일 중에서 2.5kV/mm의 전압을 30분 동안 인가하여 분극처리 하였다. 분극된 PZT의 부피분율을 30~80%까지 변화시킬 수 있도록 Dicing saw를 사용하여 300㎛ kerf 폭으로 1.2mm 깊이로 절단하였다.

Polymer/PZT 압전복합재료의 밀도와 음향임피던스를 낮추기 위해 폴리머를 이용하고 작업성을 고려하여 이것의 수축율을 조사하였다. 폴리머가 경화하는 과정에

서 수축이 발생하는 문제는 충진재를 사용하여 조정하였다. 최적의 충진재를 선정하고 폴리머와 충진재의 최적 함량비를 조사하였다.

Dicing된 모재에 삽입재를 결합한 후 24시간동안 상온에서 경화시켜 양면 연마기를 사용하여 시편의 두께를 1mm로 연마하였다. 양면 연마 된 압전복합재료의 측정을 위해 10×10×1mm 크기로 시편을 제작하였다. 측정을 위한 전극은 퓨리 온도 이하에서 사용가능한 상온용 전극(NILACO CORP.)을 부착하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폴리머 수축율 제어

PZT와 결합될 폴리머는 압전복합재료의 밀도와 음향임피던스를 낮추어 주는 역할을 한다. 하지만 폴리머가 경화하는 과정에서 수축이 일어남으로 인해 재료가 휘어져 작업성이 떨어지므로 밀도가 높아지는 단점을 감수하고 폴리머의 수축율을 낮추기 위해서 충진재를 첨가하였다.

그림 1은 충진재의 첨가량의 변화에 따른 수축율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 P(2)가 P(1)에 비해 충진재 첨가량에 따른 폴리머의 수축율이 적게 나타났다. 그리고 충진재도 그림 1에서 보는 바와 같이 첨가량이 15 wt%인 경우가 가장 작았다. 그러나 본 연구에서는 수축율, 밀도, 작업성 등을 고려하여 폴리머 P(2)와 충진재는 F(1)을 사용하였다.

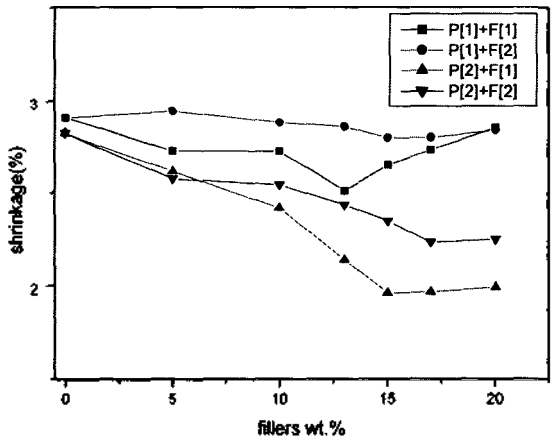

그림 1. 충진재 첨가량 따른 수축율의 변화

3.2 전기기계결합계수

두께방향 전기기계결합계수는 제작된 시편의 공진주파수, 반공진주파수를 측정, 그 결과로부터 식(1)에 의해 계산되어 진다.[6]

$$k_t^2 = \frac{2}{\pi}\frac{f_R}{f_A}\tan\left(\frac{2}{\pi}\frac{f_A - f_R}{f_A}\right) \qquad (1)$$

임피던스 Analyzer(HP-4194A)를 이용하여 공진주파수와 반공진주파수를 측정하여 식(1)에 따라 전기기계결합계수를 계산하였다.

PZT의 부피 분율 변화에 따른 전기기계결합계수를 그림 2에 나타내었다. 전기기계결합계수는 PZT 부피분율이 60%일 때 가장 우수하였으며, 단일 PZT보다 높은 결과를 얻었다. 이것은 Whitaker Center에서 발표한 연구자료[7]와 유사한 결과 이다. 이러한 결과는 다음에 언급할 Pulse-echo 응답특성에서도 PZT 부피분율이 60%인 압전복합재료가 우수한 특성이 나타날 것으로 기대된다.

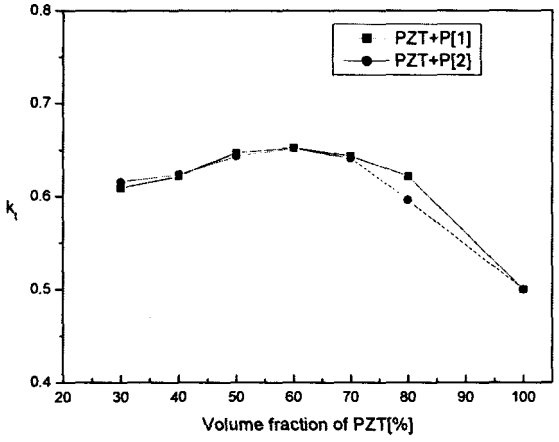

그림 2. PZT 부피분율에 따른 전기기계결합계수 변화

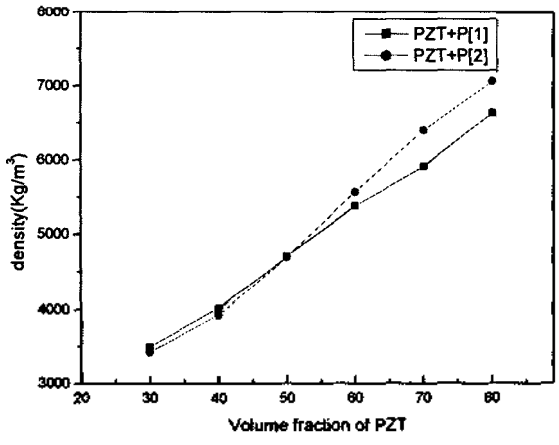

그림 3. PZT 부피 분율에 따른 밀도변화

3.3 밀도 및 음향임피던스

압전복합재료에서 밀도는 음향임피던스에 큰 영향을 미치기 때문에 가장 낮은 밀도를 가지는 재료의 선택이 요구된다. 따라서 본 연구에서 낮은 밀도를 가지는 폴리머의 선택을 위해 사용되어질 복합재료의 밀도를 측정하였다. 밀도를 계산하기 위해 전자저울로 질량을 측정하고, Archimedes원리를 이용하여 부피를 측정하였다. 그리고 초음파를 재료 내를 통과시켜 음속을 측정한 후, 식(2)와 같이 음향임피던스를 계산하였다.

$$Z_a = \rho v \qquad (2)$$

그림 3과 4에 PZT의 부피분율 변화에 따른 밀도와 음향임피던스를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 밀도와 음향임피던스는 PZT의 부피분율의 증가에 따라 크게 나타났다. 그리고 그림에서 보는바와 같이 PZT 부피분율을 변화시킴으로 재료의 음향임피던스를 조절할 수 있었다.

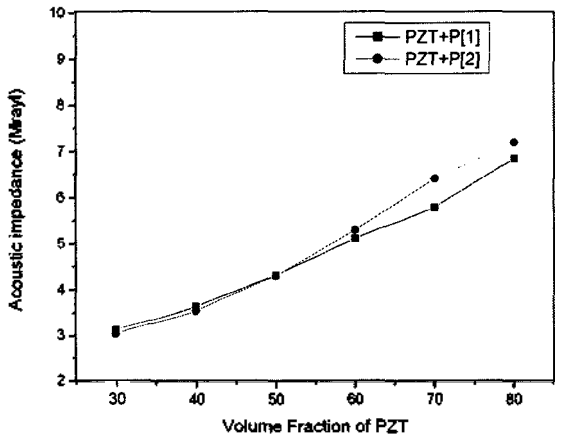

그림 4. PZT 부피 분율에 따른 음향임피던스 변화

3.4 Pulse-echo 응답특성

압전복합재료를 이용하여 제작된 트랜스듀서의 송수신 특성은 Pulser/Recever(500PR, Panamatirics)를 이용하여 Pulse-echo 법을 이용하여 측정하였다.

그림 5는 PZT 부피분율 변화에 따른 상대적인 진폭변화의 상대 크기를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 진폭은 PZT 부피분율이 증가함에 따라 증가하다가 60%를 넘어서는 감소하였다. 주파수 대역폭도 진폭과 마찬가지로 PZT 부피분율이 증가함에 따라 증가하다가 60%를 넘어서는 감소하였다. ring down 시간도 마찬가지로 60%인 경우가 가장 짧았다. 주파수영역 응답 특성은 시간영역 응답특성 값을 Oscilloscope상에서 Fourier 변환되어져 나오는 파형의 주파수를 측정 하였으며 그림 6과 같이 나타내었다.

단일상 PZT를 사용한 트랜스듀서는 PZT 부피분율이 40%인 압전복합재료와 비슷한 수신감도를 나타내었으나 복합재료에 비해 ring-down 시간이 길어져 영상획득시 선명한 영상을 기대하기는 힘들다.

앞에서 언급한 바와 같이 PZT 부피분율이 60%인 압전복합재료의 전기기계결합계수가 가장 우수한 특성이 나타난 것과 관련하여 수신감도 및 주파수대역폭에서도 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

그림 7과 8은 각각 PZT 부피분율이 60%인 압전복합재료의 송·수신 특성인 시간영역 특성과 주파수영역 특성을 나타내었다.

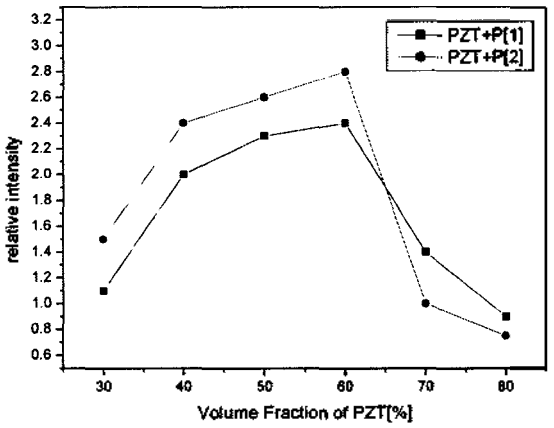

그림 5. PZT 부피 분율에 따른 시간영역 특성

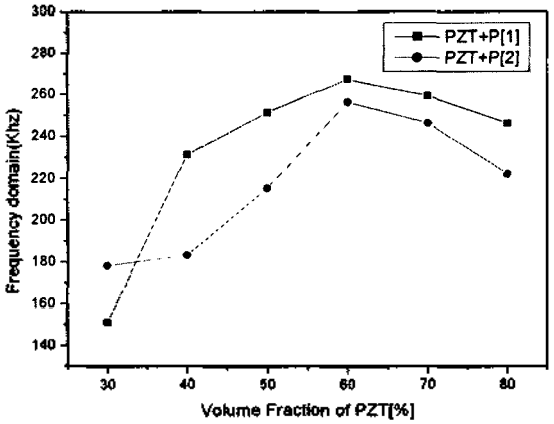

그림 6. PZT 부피분율에 따른 주파수 영역 특성

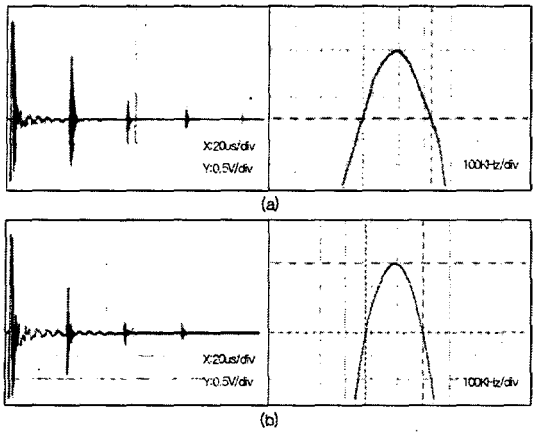

그림 7. (a) 압전복합재료로 제작된 초음파 트랜스듀서의 송수신 특성. (b) 단일 PZT로 제작한 초음파 트랜스듀서의 송수신 특성.

4. 결 론

Polymer/PZT 압전복합재료를 설계, 개발하고 이것으로 초음파 트랜스듀서를 제작하여 특성을 측정한 결과 단일 PZT보다 압전 및 음향특성이 상당히 우수하였다. 개발된 압전복합재료의 PZT 부피분율에 따른 전기기계결합계수(=k_t)는 단일 PZT를 사용했을 때 보다 우수하게 나타났으며, 음향 임피던스도 폴리머의 삽입으로 조정할 있었다. Pulse-echo법으로 음향 특성을 측정한 결과, 단일의 PZT를 사용한 경우보다 진폭 및 주파수 대역폭이 넓게 측정됨으로 음향 특성 또한 우수한 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 설계, 제작된 압전복합재료가 향 후 수중 통신 및 의료용 초음파 진단기에 상당한 응용이 기대된다.

참고 문헌

1. W. Huebner, M.R Reidmeyer, J.W. Stevenson, L. Busse. "Fabrication of 2-2 connectivity PZT/thermoplastic composies for high frequency linear arrays," IEEE Application of ferroelectrics, Symp., 7-10 pp.206-209, 1994.

2. D. P. Skinner, R.E. Newnham, and L. E Cross, "Flexible composite transducers," Mat. Res. Bull., vol. 13, pp.599-607, 1978.

3. W. A. Smith, A. Shaulov, and B. A. Auld, "Tailoring the properties of composite piezoelectric materials for medical ultrasonic transducers," in Proc. IEEE Ultrason. Symp., pp. 642-647, 1985.

4. Swarnalata Sripada, Joe Unsworth, Murali Krishnamurty, "PZT/Polymer composites for medical ultrasound," Mat, Res, Bull., vol. 31, pp.731-739, 1996.

5. Wenkang Qi and Wenwu Cao, " Finite element study on random design of 2-2 composite transducer," IEEE Trans. on Ultrason., Ferroelect and Freq. Control, vol. 44, pp.1011-1014, 1996.

6. IRE Standard on Piezoelectric Crystal, "Measurements of piezoelctric ceramics," Proc. IRE 49, pp.1161, 1961.

7. Wallace Arden Smith, "The role of composite piezoelectrics in ultrasonic transducer engineering," Mat. Div. Office of Naval Research, ai94, piezocomposite, 1994.