

PbTiO₃- 폴리머 0-3 복합 재료의 압전 특성에 관한 연구

(Piezoelectric Properties of 0-3 Composite with PbTiO₃-Polymer)

김 일 호 *
박 인 김
이 성 갑
이 영 희

광운 대학교 · 전자재료 공학과
광운 대학교 · 전자재료 공학과
광운 대학교 · 전자재료 공학과
광운 대학교 · 전자재료 공학과

Il - Ho Kim *
In - Gil Park
Sung - Gap Lee
Young - Hie Lee

Dep. of Electronic Mat.Eng. Kwang Woon Univ.
Dep. of Electronic Mat.Eng. Kwang Woon Univ.
Dep. of Electronic Mat.Eng. Kwang Woon Univ.
Dep. of Electronic Mat.Eng. Kwang Woon Univ.

ABSTRACT

Lead titanate powders were prepared by mixed-oxide and sol-gel method. 0-3 composites were prepared with these powders using Eccogel polymer. According to the volume percent of the PbTiO₃ powders, dielectric, piezoelectric properties and poling conditions were investigated.

Relative dielectric constants were exponentially increased with volume percent of PbTiO₃. Piezoelectric strain coefficients (\bar{d}_{33}) were increased with volume percent of PbTiO₃. Figure of merit ($\bar{d}_{33}\bar{\epsilon}_h$) for the 0-3 composites prepared by the mixed-oxide and sol-gel method were 2787 ($\times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$) and 3100 ($\times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$) at 70 volume percent of PbTiO₃, respectively.

1. 서 론

압전 세라믹의 주축을 이루고 있는 PZT 세라믹은 정수변형계수 (d_h) 가 낮고 높은 유전율로 인하여 정수전압계수 (g_h) 도 낮기 때문에 수증에서의 감도특성이 떨어지며, 높은 밀도로 인하여 물과의 용양정합이 어렵고 깨지기 쉬우므로 마이크로폰 소자로의 응용은 부적합하다.

따라서 1973년 Pauer 등은 우레탄 고무와 PZT 분말을 혼합한 압전 복합재료에 대해 연구하였으며, 1978년 Newnham 은 접속도의 개념을 도입하여 복합재료의 압전상수에 대한 이론식을 제시하였다. 1983년 Banno 등은 수점입방체 모델을 사용하여 유전율과 수증변형계수의 이론식을 정립하였으며, 압전 복합재료의 압전상수로서 PZT 보다 더큰 압전 이방성을 갖는 PbTiO₃ 가 적합함을 입증하였다.

본 연구에서는 압전이방성이 큰 PbTiO₃ 분말을 mixed-oxide, sol-gel 방법으로 제조하여 각

분말에 따른 0-3 복합재료를 제작한 후, 유전적 압전적 특성을 조사하여, 각 분말 제조방법에 따른 하이브리드 소자로의 응용 가능성에 대해 조사하고자 한다.

2. 이론

1) 수정 입방체 모델

그림 1은 수정 입방체 모델을 나타낸 것이다.

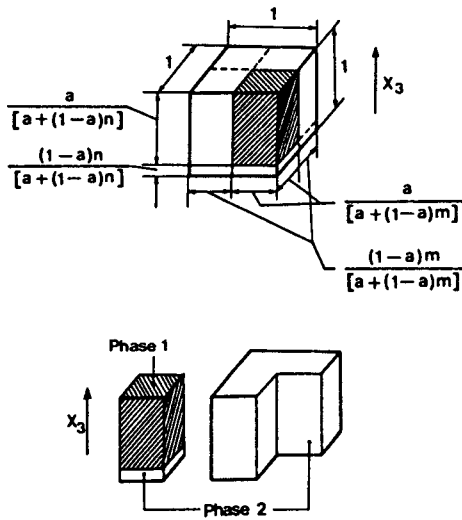


그림 1. 수정 입방체 모델

(1) 복합 유전율

$$'d_{33} > 'd_{31}, 'd_{32} > 'd_{31}, 'S_{33} \ll 'S_{31}, 'S_{32} \ll 'S_{11},$$

$$\bar{\epsilon}_{33} = \frac{a^3 [a+(1-a)n]^2 \cdot \epsilon_{33}^2 \epsilon_{32} + \{1-a^2 \cdot [a+(1-a)n]\}^2 \epsilon_{32}}{a^2 \epsilon_{32} + (1-a)n \cdot \epsilon_{32}}$$

$$a = (V)^{1/3}, \quad n: \text{변형계수}$$

(2) 복합 압전 변형계수 및 전압계수

$$\bar{d}_{33} = 'd_{33} \cdot \frac{a^3 [a+(1-a)n]}{a+(1-a)n (\epsilon_{33}^2 / \epsilon_{32})} \cdot \frac{1}{a^2 + \frac{(1-a)n}{a+(1-a)n}}$$

$$\bar{d}_{31} = 'd_{31} \cdot \frac{a^2 [a+(1-a)n]^2}{a+(1-a)n (\epsilon_{33}^2 / \epsilon_{32})}$$

$$\bar{g}_{33} = \frac{\bar{d}_{33}}{\bar{\epsilon}_{33}}$$

(3) 수중에서의 압전 변형계수, 전압계수 및 성능지수.

$$\bar{d}_h = \bar{d}_{33} + (2\bar{d}_{31}) \quad [C/N]$$

$$\bar{g}_h = \bar{d}_h / \bar{\epsilon}_{33} = \bar{d}_h / \epsilon_{32} \bar{\kappa}_{33} \quad [Vm/N]$$

$$\bar{d}_h \cdot \bar{g}_h = (\bar{d}_{33} + 2\bar{d}_{31})^2 / (\epsilon_{32} \bar{\kappa}_{33}) \quad [m^2/N]$$

3. 실험 방법

본 실험에서는 압전 이방성이 큰 $PbTiO_3$ 분말을 mixed-oxide 방법과 sol-gel 방법으로 제조하여 0-3 형 복합재료를 제작하였다.

그림 2는 mixed-oxide 방법에 의한 $PbTiO_3$ 분말의 제조 과정을 나타낸 것이다.

그림 3은 sol-gel 방법에 의한 $PbTiO_3$ 분말의 제조 과정을 나타낸 것이다.

그림 4는 mixed-oxide, sol-gel 방법에 의해 제조된 $PbTiO_3$ 분말을 사용한 0-3 형 복합재료의 제조 과정을 나타낸 것이다.

제작된 복합재료에 대해 $PbTiO_3$ 분말의 체적비에 따른 비유전상수와 유전손실을 측정하였고, 정수압전계수 (\bar{d}_h), 정수전압계수 (\bar{g}_h) 및 성능지수 ($\bar{d}_h \bar{g}_h$)에 대해 조사하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 5는 $PbTiO_3$ 의 체적비 변화에 따른 복합재료의 비유전상수와 유전손실은 나타내고 있다. 비유전상수와 유전손실은 $PbTiO_3$ 체적의 증가에 따라 증가하였으며, 이는 $PbTiO_3$ 입자간의 연결성 증가 및 $PbTiO_3$ 입자의 전극 접촉 면적이 증가하였기 때문으로 생각된다.

그림 6과 그림 7은 M-O, S-C 방법에 의해 제작된 $PbTiO_3$ 분말을 사용한 복합재료의 체적비에 따른 \bar{d}_h , \bar{g}_h , $\bar{d}_h \bar{g}_h$ 를 나타낸 것으로, $PbTiO_3$ 체적비에 따른 비유전상수와 압전상수를

고려한 결과 $PbTiO_3$ 의 체적비가 70% 부근에서 성능 지수는 최대값을 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 mixed-oxide, sol-gel 방법으로 제작된 $PbTiO_3$ 분말을 사용하여 0-3 압전 복합재료를 제작하였으며, 각 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) $PbTiO_3$ 체적의 증가에 따라 비유전 상수는 지수함수적으로 증가하였으며, 유전손실은 선형적으로 증가하였다.

2) 수정압방재 모델로부터 구한 변형계수 n 은 M-O 의 경우 $n=0.724$, S-G 의 경우 $n=0.585$ 로 나타났다.

3) 수중에서의 성능 지수 (\bar{d}_{33}) 는 $PbTiO_3$ 의 체적비가 70% 일때, M-O 방법으로 제작된 $PbTiO_3$ 분말을 사용한 경우 $2787 (x10^{-15} m^2/N)$, S-G의 경우 $3100 (x10^{-15} m^2/N)$ 으로 나타났다.

이러한 결과로부터 S-G법에 의해 제작된 $PbTiO_3$ 분말을 사용한 복합재료는 분말의 순도가 높고 입도분포가 균일하여 전기적 특성이 우수한 반면, 제작 단가가 비싸고 공정이 복잡한 문제점이 있다. 그러나 M-O 법으로 제작된 $PbTiO_3$ 분말을 사용한 복합재료는 압전적 특성이 다소 떨어지지만 제작 단가가 싸고 제작이 용이하며 아이드로폰 소자로 응용할 경우 그 척도가 되는 성능 지수가 $2787 (x10^{-15} m^2/N)$ 의 높은 값을 가지므로 심용 소자로서의 응용이 가능 하리라 생각된다.

Reference

1. L.A. Pauer, IEEE Int'l Conv. Rec., 1973.
2. R.E. Newnham et al, " Connectivity and

Piezoelectric-Pyroelectric Composite ", Mat. Res. Bull., 13, pp. 525, 1978.

3. H. Banno, Ferroelectrics, Vol. 50, pp. 3, 1983.

4. Y.H. Lee et al, " 0-3 Piezoelectric Composites Prepared by Coprecipitated $PbTiO_3$ Powder ", Am. Ceram. Soc. Bull., 66[4], 668, 1987.

5. A. Safari et al, " Flexible Composite Transducers ", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 65, No. 4, pp. 207, 1982.

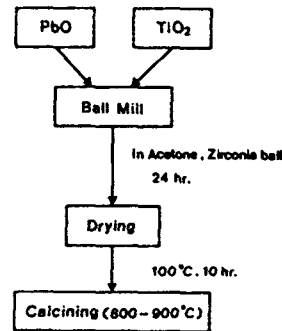


그림 2. Mixed-oxide 방법에 의한 $PbTiO_3$ 분말의 제조 과정.

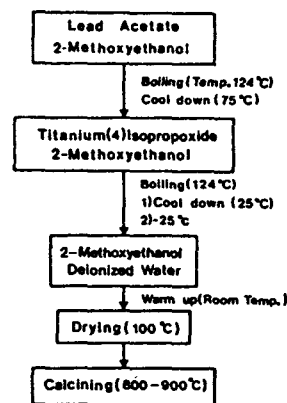


그림 3. Sol-gel 방법에 의한 $PbTiO_3$ 분말의 제조 과정.

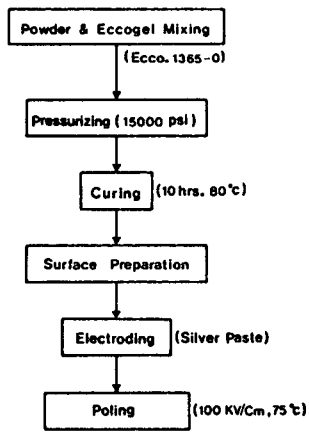


그림 4. 0-3 형 복합재료의 제조과정.

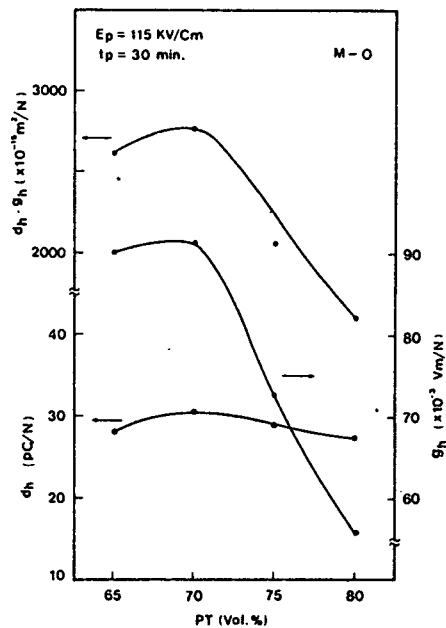


그림 6. M-O 방법에 의해 제조된 $PbTiO_3$ 분말의 체적비에 따른 복합재료의 d_h , ϵ_h 및 $d_h \epsilon_h$

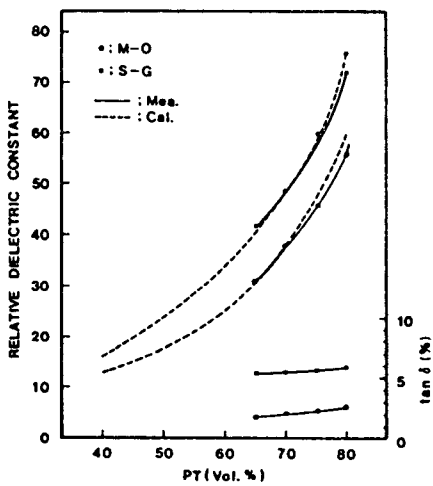


그림 5. $PbTiO_3$ 의 체적비에 따른 복합재료의 비유전 상수와 유전손실.

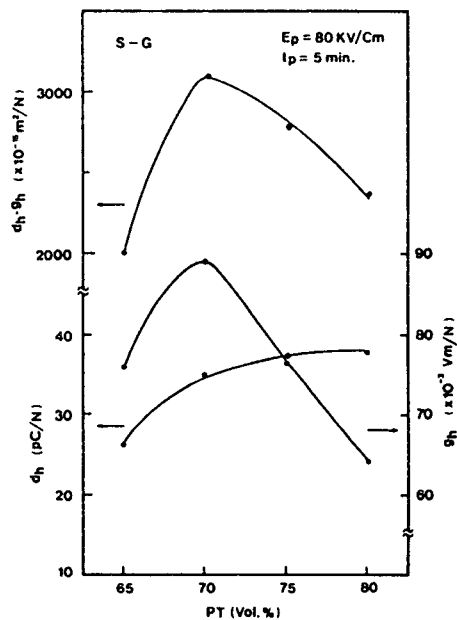


그림 7. S-G 방법에 의해 제조된 $PbTiO_3$ 분말의 체적비에 따른 복합재료의 d_h , ϵ_h 및 $d_h \epsilon_h$