

## ZrO<sub>2</sub> 첨가된 압전 복합체의 전기-기계 특성

정순종, 김민수, 이대수, 박언철, 송재성

한국전기연구원

### Electric and mechanical properties of ZrO<sub>2</sub> reinforced Piezoelectric Ceramics

Soon-Jong Jeong, Min-Soo Kim, Dae-Su Lee, Eon-Cheol Park and Jae-sung Song

Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract :** The objective of this study is to fabricate a piezoelectric composite consisting of a piezoelectric ceramic and a high toughness material and to evaluate their electromechanical properties for high force actuator applications. The mixture of the piezoelectric material, PMNZT, and high toughness material, ZrO<sub>2</sub>, exhibited high piezoelectric properties as well as good mechanical fracture resistance. Up to 2 vol% of ZrO<sub>2</sub> in PMNZT matrix, piezoelectric d<sub>33</sub> coefficient was above 400 pC/N, being 80% of that for the original PMNZT, and the toughness showed twice of the PMNZT. When the volume fraction of the ZrO<sub>2</sub> was above 5%, however, the piezoelectric coefficient became abruptly decreased and it approached 20% of value for the PMNZT.

**Key Words :** Piezoelectric composite; dielectric property; piezoelectric property; mechanical toughness;

#### 1. 서론

PZT는 현재 가장 우수한 압전 특성을 가진 압전 재료로서 많은 응용분야에서 이용되고 있다. 압전효과, 역압전 효과를 이용한 압전 액추에이터, 압전트랜스듀서, 센서, 레조네이터 등의 활용에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 우수한 압전 특성이 지니고 있으나 기계적 특성이 취약하다는 많은 문제점을 가지고 있어 최근에는 압전세라믹에 대한 기계적 취성을 향상할 수 있는 많은 연구가 진행되고 있다.

기계적 취성을 보완할 수 있는 방법으로 소재의 특성 향상, 구조 개선, 인가 전압 구동 방법 등에 대한 연구가 많이 진행 중이다. 소재 연구분야에서는 세라믹-폴리머를 혼합한 복합 콤파지트에 대한 연구가 광범위하게 수행되었다. 그러나 이러한 복합 콤파지트는 센서등의 저 전계 및 낮은 기계적 충격이 인가되는 분야에만 응용될 수 있다. 보다 큰 출력이 필요하며 큰 기계적 충격 저항이 요구되는 분야에서는 사용이 어렵다. 이러한 분야에 적용할 수 있는 하나의 가능성은 세라믹-세라믹 복합체이다.

본 연구에서는 ZrO<sub>2</sub>를 분산한 압전체를 제조하고, 그 첨가량에 따른 기계적 특성, 압전 및 유전 특성을 조사하여, 압전세라믹스 소재로의 응용 가능성을 고찰하고자 한다.

#### 2. 실험

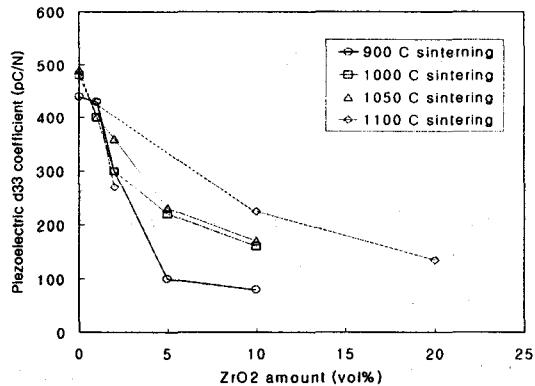
출발물질로 Pb(Zr<sub>0.475</sub>Ti<sub>0.525</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> (PMNZT) 조성의 세라믹 분말을 제조하였다. 그런 다음, ZrO<sub>2</sub>를 첨가하고 에탄올과 지르코니아 볼을 이용하여 24시간 볼밀하고 건조한 후 850도에서 5시간 하소하였다. 제조된 복합 분말에 소결조제로 Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 과잉으로 첨가하여 다시 분쇄, 건조하여 최종분말을 얻었다. 최종분말에 PVA를 첨가하여 disk 형태로 성형한 후, 1100도에서 열처리하였다.

최종분말 및 소결된 시편을 XRD분석을 통하여 상을 확인하였고, SEM을 이용하여 미세조직을 관찰하였다. 전기적 특성을 측정하기 위하여 1mm 두께로 연마한 시편에 Ag 전극을 도포하여 열처리 한 후, 150도에서 30분간 30kV/cm 직류 전계로 분극처리 하였다. 압전 특성은 Berlincourt type의 d<sub>33</sub> 측정기로 측정하였으며, 공진 및 반공진 주파수와 공진 저항을 측정하여 전기기계결합계수를 산출하였다. 기계적 취성을 확인하기 위하여 마이크로 바이커스 경도 측정기를 이용하여 생성된 크랙의 길이를 측정한후 응력집중 계수 K<sub>IC</sub>를 얻었다

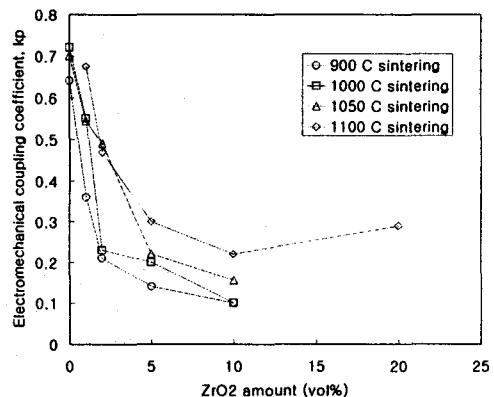
#### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따른 시편의 압전 및 유전을 나타낸 것이다. 900~1100도에서 3시간 동안 소결하였으며, ZrO<sub>2</sub> 첨가를 하지 않은 시료에서는 1000도에서 좋은 압전 유전특성을 나타내었다. ZrO<sub>2</sub> 가 첨가됨에 따라 압전체의 소결은 더 높은 온도에서 가능하였고 압전 및 유전 특성은 급격히 감소하였다. 이러한 감소의 결과들은 첨가된 원소가 고르게 압전 기지내에 분포되어 있다고 가정할 때 예상되는 특성에 비하여 상당히 많이 감소된다.

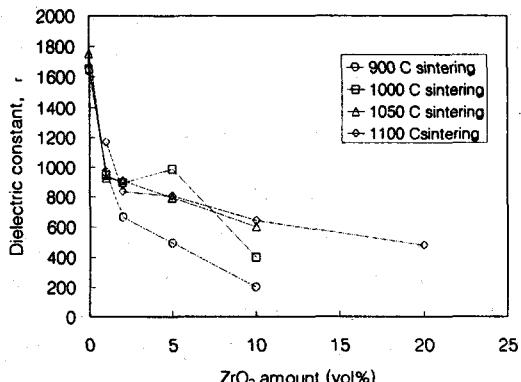
그림 2는 ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따른 시편의 파괴인성을 나타낸다. ZrO<sub>2</sub> 첨가량이 증가하면 점차적으로 응력 집중 계수가 상승한다. 이는 첨가된 ZrO<sub>2</sub>에 의해서 크랙 성장이 억제됨과 동시에 ZrO<sub>2</sub>의 응력유기변태가 발생되기 때문인 것으로 사료된다.



(a) 압전상수



(b) 전기기계 결합 계수



(c) 유전율

그림 1. ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따른 시편의 특성. (a) 압전상수 ( $d_{33}$ ), (b) 전기기계결합계수, (c) 유전율.

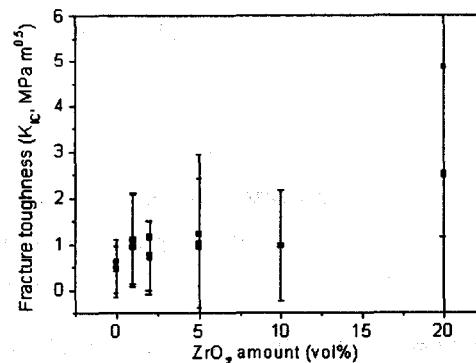


그림 2. ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따른 시편의 응력 집중계수  $K_{Ic}$ 로 나타낸 파괴 인성.

### 3. 결론

본 연구에서는 Pb(Zr<sub>0.475</sub>Ti<sub>0.525</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>에 ZrO<sub>2</sub>를 첨가하고 상용소결법으로 세라믹스를 제조하여 ZrO<sub>2</sub>의 첨가량에 따른 시편의 소결성, 압전특성 및 기계적 충격 저항성을 조사하였다. ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따라 소결온도가 상승함을 보이며, 압전 상수와 전기기계 결합계수는 급격히 감소함을 보였다. 그러나 응력집중계수는 상당히 증가하여 1% 부피비를 첨가하여도 그 계수가 2배 이상 증가하였다.

### 참고 문헌

- [1] F. Brouers, J. Phys. C Vol. 19, p. 7183, 1986.
- [2] R.E. Newnham, Ferroelectrics Vol. 68, p.1, 1986.
- [3] M. Date, Polym. J. Vol. 8, p.60, 1976.
- [4] R.E. Newnham, D. Skinner, K.A. Klicker, A.S. Bhalla, B. Hardiman and T.R. Gururaja, Ferroelectrics Vol. 27, p.49, 1980.
- [5] T.R. Shrout, L.J.Bowen and W.A. Schulze, Mater. Res. Bull. Vol. 15, p.1371, 1980.
- [6] A.G. Evans and E.A. Charles, J. Am. Ceram. Soc. Vol. 59, p.371, 1976.
- [7] Testing methods for Fracture Toughness of high performance ceramics, Japanese Industrial standards, JIS R 1607, investigated by Japanese Industrial Standards Committee, 1990.
- [8] M. Taya, Electronic composites, Cambridge university press, 2005.
- [9] T. Furukawa, K. Fujino and E. Fukada: Jpn J. Appl. Phys. Vol. 15, p.2119, 1976.
- [10] H. Zewdie and F. Brouers, J. Appl. Phys. Vol. 68, p.713, 1990.
- [11] T. Furukawa, K. Ishida and E. Fukada: J. Appl. Phys. Vol. 50, p. 4904, 1979.
- [12] L.E. Cross: Mater. Chem. Phys. Vol. 43, p.108, 1996.

### 4. 결론