

# PMN-PZ-PT 세라믹스를 이용한 적층형 액츄에이터의 변위특성

하문수, 정순종, 고종혁, 송재성  
한국전기연구원 전자기소자연구그룹

## Electric-Field-Induced Strain Properties of Multi Layer Ceramic Actuator Using PMN-PZ-PT Ceramics

Mun-Su Ha, Soon-Jong Jeong, Jung-Hyuk Koh, Jae-Sung Song  
KERI

### Abstract

Non-linear behaviors of multilayer piezoelectric ceramic actuator (MCA) were investigated under electrical and mechanical stress. DC 100 V bias was applied to the MCA to obtain displacement. Laser vibrometer, which using Doppler effect, was employed to characterize displacement caused by  $d_{33}$  mode of MCA. To understand this non-linear behavior of MCA, displacement was measured and compared under different load states. By increasing load, electric field-induced strain and piezoelectric constant( $d_{33}$ ) of MCA was decreased. We attribute this phenomenon to the domain wall motion and depoling of MCA under heavy load.

**Key Words** : multilayer ceramic actuator(MCA), load, domain, electric field-induced strain, piezoelectric constant( $d_{33}$ )

### 1. 서 론

최근 압전 및 전액체료를 이용한 세라믹 액츄에이터는 positioner, micro valve, micro pump, 모터, 정밀부품 등에 많은 관심을 가지고 있다. 특히 적층형 압전 세라믹 액츄에이터는 전자식 액츄에이터에 비해 구동 전압이 낮고, 빠른 동작속도, 높은 발생력 등 많은 특징이 있어, 이를 이용한 소자에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 하지만, 압전 현상을 이용한 세라믹 액츄에이터는 인가전압 혹은 인가 스트레스에 의한 dipole의 거동을 이용하기 때문에, domain wall에 의한 non-linear 현상을 유발하게 된다. 최근, 이런 소재들을 전자산업에 이용하고자 하는 노력에 힘입어 세라믹 액츄에이터의 비선형 거동에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 그러나 이들의 연구는 세라믹 액츄에이터의 기본적인 물성을 연구한 것뿐이고, 실제 세라믹 액츄에이터가 응용품에 탑재되었을 경우는 기계적인 housing에 의해 전기적 특성이 영향을 받게 된다. Gregory P. Carman 등은 세라믹 액츄에이터에 stress가 인가되면 세라믹 액츄에이터의 전기적 특성은 stress에 의한

domain 거동의 영향으로 인해 특성이 변화된다고 보고하였다. 그리고, G. Yang 등은 stress에 의한 세라믹 액츄에이터의 strain과 압전정수의 감소는 domain clamping에 의한 것이라 보고 한바 있다.

본 논문에서는 압전 세라믹 액츄에이터의 부하에 따른 전기적 특성을 domain wall motion에 연관지어서 살펴보도록 하겠다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험방법

순도가 99.9%이상인 PbO, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 분말을 출발원료로 사용하였다. 고상반응 과정에서 나타나는 파이로클로아 (pyrochlore) 상을 억제하기 위해 MgO와 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 먼저 반응시키고, PbO, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>를 2차로 고상 반응시키는 콜롬바이트 (columbite precursor) 방법을 이용하여 0.2Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>- 0.8Pb(Zr<sub>0.475</sub>Ti<sub>0.525</sub>)O<sub>3</sub> (이하 PMN-PZT) 분말을 제조하였다. 제조된 분말을 유기용매 (MEK/Ethyl Alcohol)와 분산제 (Cerapers 111)를 넣고 24시간 동안 볼밀링 한 후 결합제 (PVB)와 가소제 (DBP)를 첨가하고 다시 24 시간

동안 불밀링하여 slurry를 제조한 후 닥터 블레이드 (doctor blade) 방법으로 100  $\mu\text{m}$ 의 green sheet를 제조하였다. Ag-Pd paste를 사용하여 screen printing 방법으로 green sheet 위에 2×3 (mm)의 내부전극을 형성한 후 100층을 적층하고, 1100℃에서 2 시간 동안 소결하였다. 소결된 세라믹 액츄에이터의 외부에 각 층이 절연이 되도록 Ag paste로 외부전극을 형성하여 적층형 세라믹 액츄에이터 (MCA)를 제조하였다. 제조된 적층형 세라믹 액츄에이터를 120℃의 oil속에서 3kV/mm의 전계를 인가하면서 30분 동안 분극처리 하였다.

## 2.2 시편의 측정과 분석

제조된 적층형 세라믹 액츄에이터의 전계유기변형특성을 알아보기 위해서 시편에 100 V까지 전압을 인가한 후 60 Hz에서 Laser vibrometer (GRAPHTEC, Japan)를 사용하여 살펴보았다. 그리고 부하에 따른 변형특성을 알아보기 위해서 그림 1과 같은 장치를 사용하여 990N까지 prestress를 인가한 후 DC 100 V의 전압에서 전계유기변형과 압전정수 등을 조사하였다.

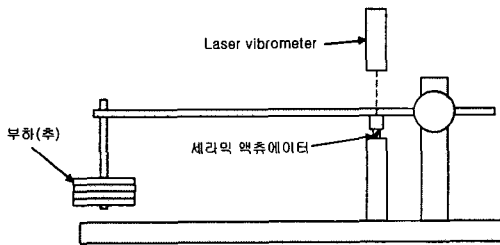


그림 1. 하중에 따른 전계유기변형 측정 모식도.  
Fig. 1. Schematic diagram of electric field-induced strain measurement for MCA subjected to a load.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2에 무부하상태에서의 전계유기변형을 알아보기 위해서 DC 100 V (1 kV/mm)의 전압만 인가시킨 후 전계에 따른 변형특성을 Laser vibrometer로 측정하여 나타낸 것이다. DC 100V가 인가되었을 때 0.06%의 변형을 나타내었다.

그림 3에 적층형 압전 세라믹 액츄에이터의 부하에 따른 전기적 특성을 알아보기 위해서 그림 1과 같은 장치를 사용하여 990N 까지 하중을 인가

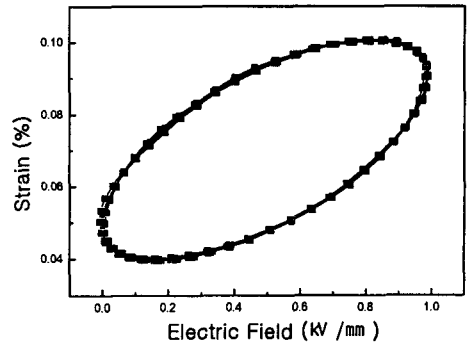


그림 2. 적층형 압전 세라믹 액츄에이터의 전계유기변형.

Fig. 2. Electric field-induced strain in multilayer piezoelectric actuator.

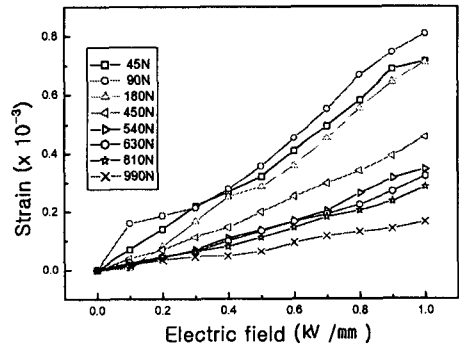


그림 3. 하중에 따른 적층형 압전 세라믹 액츄에이터의 전계유기변형.

Fig. 3. Electric field-induced strain of multilayer piezoelectric actuator subjected to a load.

한 후 DC 100V의 전압에서 변형특성을 측정하여 나타내었다. 세라믹 액츄에이터의 변형은 전계가 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, 하중이 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있으나, 45N의 부하에서는 증가하는 것을 알 수 있다.

이것은 세라믹 액츄에이터의 변형특성은 세라믹 내부에 존재하는 domain중에서 90°domain에 의해 크게 영향을 받게되는데, 외부에서 하중이 인가되면 세라믹 내부의 90°domain의 양이 증가되고 전계에 의해서 증가된 90°domain의 이동으로 인해 변형이 커지는 것으로 사료된다<sup>5)</sup>.

그림 4에 하중에 따른 압전정수( $d_{33}$ )의 변화를

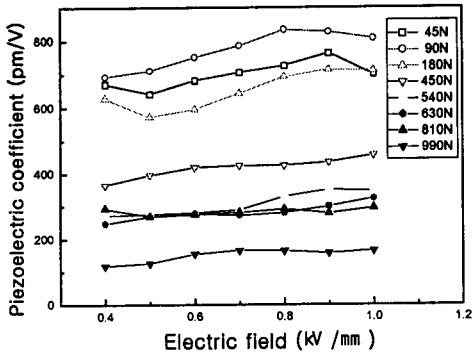
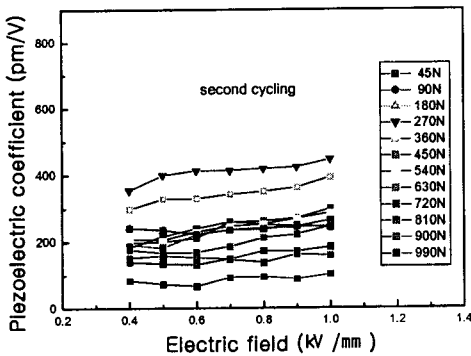
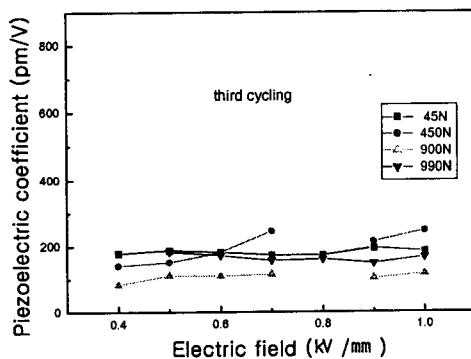


그림 4. 하중에 따른 적층형 압전 세라믹 액츄에이터의 압전정수(d33).

Fig. 4. Piezoelectric constant(d33) of multilayer piezoelectric actuator subjected to a load.



(a) Second cycle



(b) Third cycle

그림 5. 반복된 하중에 따른 적층형 압전 세라믹 액츄에이터의 압전정수(d33).

Fig. 5. Piezoelectric constant(d33) of multilayer piezoelectric actuator subjected to a load cycled (a) second and (b) third.

나타내었다.

하중이 증가할수록 압전정수( $d_{33}$ )은 대체적으로 감소하고 45N일 때 그림 3에서와 같이 90° domain의 영향으로 인해 압전정수가 증가함을 알 수 있다. 전계변화에 따른 압전정수는 180N까지는 큰 폭으로 변화하고 있으며, 450N 이상에서는 변화폭이 작은 것을 알 수 있는데, 이것은 하중이 증가함에 따라 depoling 현상이 발생하는 것으로 사료된다. 이것은 그림 5와 6에서 잘 나타나 있다.

그림 5의 (a)와 (b)는 990N까지 하중을 인가시켜서 압전정수를 측정하고 난 시편을 다시 하중을 인가시켜 압전정수를 측정한 결과이다.

그림 5에서 알 수 있듯이 다시 하중을 인가시켜 압전정수를 측정하였을 때 압전정수가 감소하는 것을 알 수 있으며 전계에 의한 압전정수의 변화 폭도 줄어드는 것을 확인할 수 있다. G. Yang 등은 stress에 따라서 domain wall 거동이 clamping 되어 압전정수가 감소하는 것으로 보고하였는데, 그림 3 - 5의 결과로부터 domain clamping의 영향보다는 세라믹 액츄에이터의 depoling 현상에 더 큰 영향을 받을 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

적층형 압전 세라믹 액츄에이터의 하중에 따른 액츄에이터 변형특성을 살펴보았다. 하중이 증가함에 따라 액츄에이터의 변형율과 압전정수는 감소하는 경향을 가지고 있으나, 작은 하중에서는 오히려 높은 변형율과 압전정수를 가지는 부분이 존재하며 이는 세라믹 내부의 domain 거동에 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 변형율과 압전정수의 감소현상은 하중에 따른 depoling 현상으로 나타나는 것을 알 수 있었다.

따라서 적층형 압전 세라믹 액츄에이터의 응용은 세라믹 액츄에이터의 기본 물성 뿐만 아니라 응용품에 탑재되었을 때를 고려하여 설계해야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 21C 프론티어 연구 사업 중 차세대 소재 성형기술 사업단의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

[1] G. H. Haertling, "Rainbow Ceramics-A New

- type of Ultra-High Displacement Actuator", *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 73 [1] 93-96, 1994.
- [2] K. Uchino, "Piezoelectric Actuators/Ultrasonic Motors";pp. 319-2 in *Proceedings of Ninth IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics*(University Park, PA, August 7-10, 1994). IEEE, New York, 1994.
- [3] J. FAN, W. A. STOLL and C. S. LYNCH, "Nonlinear Constitutive Behavior of Soft and Hard PZT:Experiments and Modeling", *Acta mater.* Vol. 47, No. 17, pp. 4415-4425, 1999.
- [4] V. Perrin, M. Troccaz and P. Gonnard, "Non Linear Behavior of the Permittivity and of the Piezoelectric Strain Costant Under High Electric Field Drive", *Journal of Electroceramics* 4:1, pp. 189-194, 2000.
- [5] Pavel M. Chaplya and Gregory P. Carman, "Dielectric and piezoelectric response of lead zirconate-lead titanate at high electric and mechanical loads in terms of non-180° domain wall motion", *Journal of Applied Physics*, Vol. 90, pp. 5278-5286, 2001.
- [6] Pavel M. Chaplya and Gregory P. Carman, "Compression of piezoelectric ceramic at constant electric field : Energy absorption through non-180° domain-wall motion", *Journal of Applied Physics*, Vol. 92, pp. 1504-1510, 2002.
- [7] B. K. Mukherjee, W. Ren, S-F. Liu, A. J. Masys and G. Yang, "Non-Linear Properties of Piezoelectric Ceramics", *Smart Structures and Materials 2001 : Active Materials : Behavior and Mechanics*, Christopher S. Lynch, Editor, *Proceedings of SPIE* Vol. 4333, 2001.