

적층형 세라믹 액츄에이터의 유전 및 압전 특성

최형봉, 정순종, 하문수, 고중혁, 이대수, 송재성

한국전기연구원 전자기 소자 연구그룹

Dielectric and Piezoelectric Properties in Multilayer Ceramic Actuator

Hyeong-Bong Choi, Soon-Jong Jeong, Mun-Su Ha, Jung-Hyuk Koh, Dae-Su Lee, Jae-Sung Song
Korea Electrotechnology Research Institute, Electric and Magnetic Devices Group

Abstract

The piezoelectricity and polarization of multilayer ceramic actuators, being designed to stack ceramic layer and electrode layer alternately, were investigated under a consideration of geometry, the thickness ratio of the ceramic layer to electrode layer. The actuators were fabricated by tape-casting of $0.42\text{PbTiO}_3\text{-}0.38\text{PbZrO}_3\text{-}0.2\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ followed by laminating, burn-out and co-firing process. The actuators of $5 \times 5 \text{ mm}^2$ in area were formed in a way that $60\sim 200\mu\text{m}$ thick ceramics were stacked 10 times alternately with $5\mu\text{m}$ thick electrode. Increase in polarization and electric field-displacement with increasing thickness ratio of the ceramic/electrode layer and thickness/cross section ratio were attributed to the change of non- $180^\circ/180^\circ$ domain ratio which was affected by the interlayer internal stress and Poisson ratio of ceramic layer. The piezoelectricity and actuation behaviors were found to be dependent upon the volume ratio (or thickness ratio) of ceramic layer relative to ceramic layer. Concerning with the existence of internal stress, the field-induced polarization and deformation were described in the multilayer actuator.

Key Words : Multilayer Ceramic Actuator, Electric Field-induced strain, Polarization, Domain, Piezoelectricity

1. 서 론

일반적인 압전 세라믹의 특징은 기계적 또는 전기장과 전하밀도 또는 변형률과의 관계인 비례상수로 나타낼 수 있다. 상수는 압전 전하 또는 변형률의 상수라 알려져 있고 인가되는 전계에 의존하며[1] 이러한 특징을 비선형 압전거동(nonlinear piezoelectric effect)이라 부른다. 비선형은 압전센서, 액츄에이터 특히 매우 정교한 소자의 응용에 밀접한 영향을 준다. 비선형 압전성을 기본으로 한 액츄에이터 연구는 실험적으로 인가되는 전계에

따라 나타나는 압전계수로 액츄에이터의 출력을 정해야한다. 또한 비선형성과 함께 나타나는 이력현상은 압전특성을 더욱 복잡하게 한다. 널리 사용되는 $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT)를 포함한 많은 강유전체 소재들도 비선형 압전특성과 이력특성이 나타난다[2~4] 적층형 액츄에이터 구조는 압전 세라믹층과 전극층을 번갈아 가면서 쌓는다.

본 연구의 목적은 압전 세라믹층과 전극층을 번갈아 가면서 쌓는 적층형 세라믹 액츄에이터의 전기장, 유전체 그리고 압전특성을 보이고자 했고 세라믹은 $0.42\text{PbTiO}_3\text{-}0.38\text{PbZrO}_3\text{-}$

0.2Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃와 전극 Ag-30Pd를 사용했다. 액츄에이터는 60, 100, 200 μ m의 다양한 세라믹층과 5 μ m의 전극층으로 쌓아 올린 형태로 설계되었다.

2. 실험

순도가 99.9% 이상인 PbO, ZrO₂, TiO₂, MgO, Nb₂O₅ 분말을 출발원료로 사용하였다. 2차 파이로클로아(pyrochlore)를 억제하기 위해 콜롬바이트(columbite precursor)방법을 이용하여 0.42PbTiO₃-0.38PbZrO₃-0.2Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ (이하 PT-PZ-PMN) 분말을 제조하였다. 이 분말을 유기용매(MEK/Ethyl Alcohol)와 분산제(Texaphor60)를 넣고 24시간 동안 불밀링 한 후 결합제(PVB)와 가소제(DBP)를 첨가하고 다시 24시간동안 불밀링하여 slurry를 제조한 후 닥터 블레이드(doctor blade)방법으로 여러 가지 두께의(60, 100, 200 μ m) green sheet를 제조하였다. green sheet 위에 전극면적을 달리하여 screen printing 하고 10번 쌓아올렸다. 이때 사용된 전극용 paste는 Ag/Pd를 사용하였고 전극면적은 5 \times 5mm²이었다. 제조된 적층체를 1150 $^{\circ}$ C에서 2시간동안 소결한 후 Ag paste를 사용하여 외부전극을 형성하여 적층형 세라믹 액츄에이터(MCA)를 제조하였다. 제조된 적층 액츄에이터는 120 $^{\circ}$ C에서 30분동안 3kV/mm를 인가하여 분극하였다.

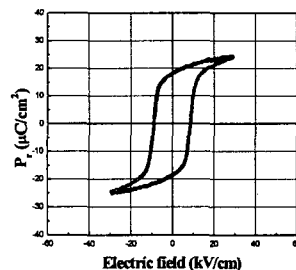
시편의 측정과 분석에서는 압전계수 d₃₁, d₃₃, k_p는 원판(직경 18mm, 두께 1mm)을 제작해서 Impedance Analyzer(HP4194A)를 통해 임피던스와 정전용량을 관찰하였고 laser-based displacement 측정 시스템을(OFV 303 vibrometer scanning head, Polytech Co.)을 통해 전계유기변형특성을 관찰하였다. 표 1은 PT-PZ-PMN소재의 압전과 전기적특성을 나타낸 것이다.

표 1. PT-PZ-PMN소재의 압전과 전기적특성.

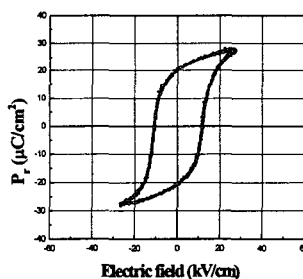
d ₃₃	d ₃₁	k _p	Q _m	Z _r	C	ϵ_{33}/ϵ_0	E ₁₁
450	-230	0.58	75	196 Ω	2.9	2500	22
pC/N	pC/N			(1kHz)	nF		GPa

3. 결과 및 고찰

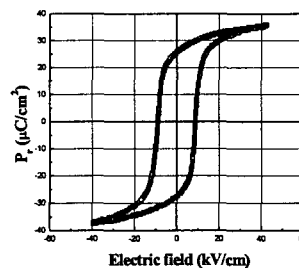
본 연구에서는 도메인 재배열 기구(domain reorientation mechanism)와 액츄에이터의 압전특성결과는 전계유기분극, 변형률을 통해 조사되었다. 그림 1은 분극과 적층형 세라믹 액츄에이터의 전계와의 관계를 다양한 두께와 함께 보여주고 있다.



(a) 60 μ m



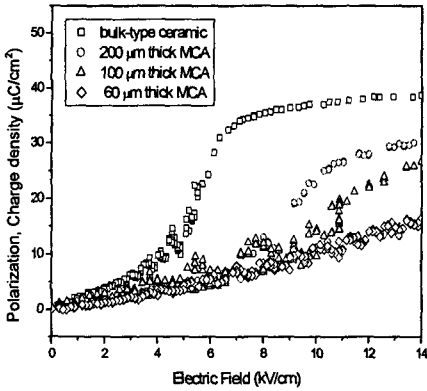
(b) 100 μ m



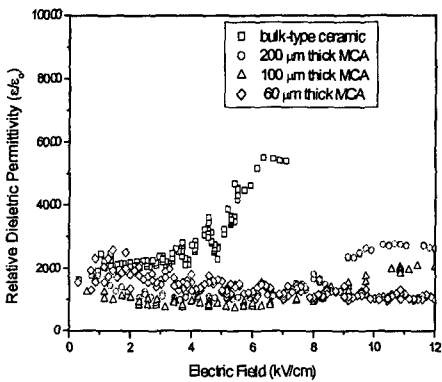
(c) 200 μ m

그림 1. 분극과 적층형 세라믹 액츄에이터의 전계.

그림 (a) ~ (c)에서 알 수 있듯이 자발분극 (P_s)값이 두께가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있지만 잔류분극(P_r)과 항전계(E_c)값은 거의 변화가 없다.



(a) 전계와 분극

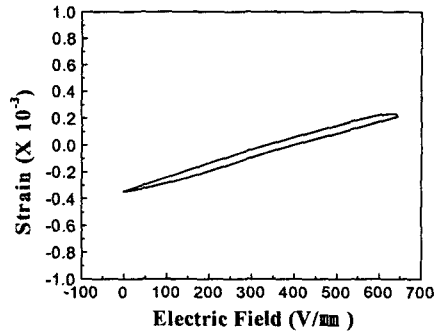


(b) 전계와 유전율

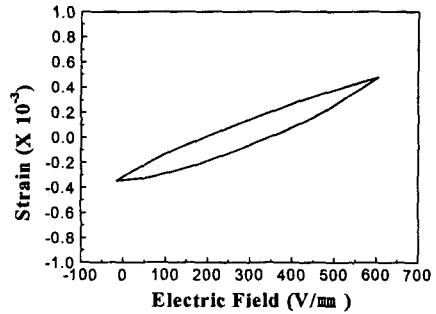
그림 2. 전계에 따른 분극과 유전율과의 관계.

그림 2 는 전계에 따른 분극과 유전상수의 관계를 두께별로 보여주고 있다. 두 그림에서 볼수있듯이 전계가 증가함에 따라 분극값도 증가함을 알 수 있고 그림 2 (a)는 벌크타입과 200 μ m 두께 액츄에이터의 경우는 60 μ m와 100 μ m 액츄에이터에 비교했을때 저전계에서 포화됨을 알 수 있다. 그림 2 (b)는 전계와 유

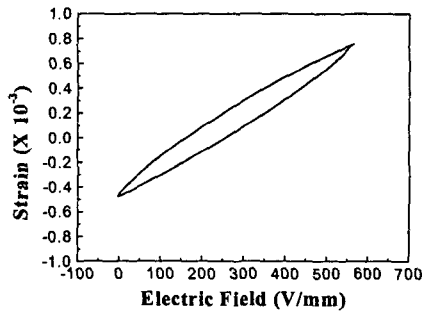
전상수의 관계를 보여주고 있는데 그림(a)의 전계와 분극과의 비에 의해서 결정된다. 반면에 60 μ m와 100 μ m 액츄에이터는 인가되는 전계 강도와 관계없이 유전상수값을 가지고 액츄에이터는 전계에 따라 유전율이 다르게 나타남을 분명히 보여주고 있다.



(a) 60 μ m 세라믹 액츄에이터



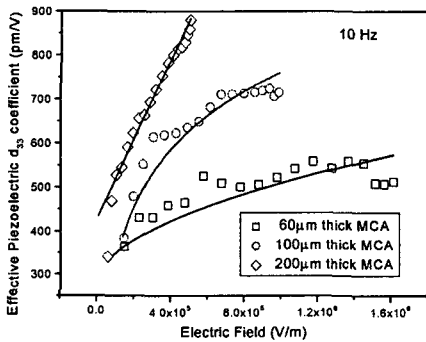
(b) 100 μ m 세라믹 액츄에이터



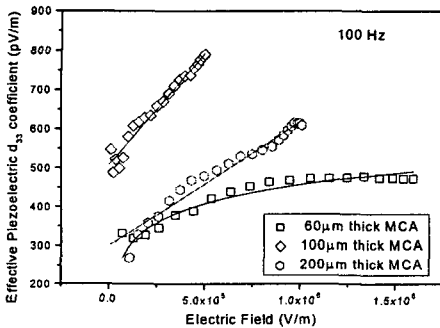
(c) 200 μ m 세라믹 액츄에이터

그림 3. 세라믹 액츄에이터 두께에 따라 전계와 변형률과의 관계.

그림 3은 전계와 변형률의 관계를 보여주고 있는데 두께가 증가할수록 인가전계와 함께 변형률도 증가함을 보여주고 있다. 변형률은 전계에 따른 압전 d_{33} -상수로 바꾸어 나타낼 수 있고 전계와 압전 d_{33} -상수의 관계는 그림 4에서 10Hz와 100Hz의 주파수에서 보여주고 있다.



(a) 10 Hz



(b) 100 Hz

그림 4. 10Hz, 100Hz에서 전계에 따른 압전 d_{33} 상수

전계가 증가함에 따라 d_{33} 값이 증가하지만 두께가 다른 액츄에이터에서는 그 경향이 약간 다르게 나타났다. 200 μm 액츄에이터는 전계와 d_{33} 의 관계가 선형적임을 보여주고 있다. 그림

에서 보는 바와 같이, 이러한 액츄에이터의 선형적인 동작특성은 비가역적인 domain wall 거동에 기인한다[5]. 반면에 60 μm 액츄에이터의 전계와 d_{33} 의 기울기는 전계가 증가함으로써 낮게 나타났다. 비선형 압전 상수는 전계에 따라 변하고, 인가되는 내부 stress는 domain wall 거동을 방해하는 힘으로 작용함을 알 수 있다.

4. 고찰

PT-PZ-PMN 세라믹층과 Ag-Pd 전극층이 교대로 적층된 세라믹 액츄에이터는 분극과 전계유기 변형률두께와 함께 증가하는 것은 압축응력에 의한 비180°/180° 도메인 비율이 증가하기 때문이며 그 이상의 압력인가시 발생하는 액츄에이터 내부 응력이 증가되어 비 180° 도메인이 180°도메인으로 전환시 요구되는 에너지가 증가되어 보다 적은 변형률을 나타내기 때문이다. 또한 압전특성과 액츄에이터의 움직임은 전체두께와 세라믹층의 두께에 의존함을 보여주었고 압전과 유전특성도 전계가 증가함에 따라 증가함을 보였다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] D. Damjanovic, Nonlinear piezoelectric response in ferroelectric ceramics, *Piezoelectric Materials: Advances in Science, Technology and Applications*, 123-135, 2000, kluwer Academic Publishers.
- [2] D. Damjanovic and M. Demartin, *J. phys.: Condens. Matter* 9 (1997) 4943.
- [3] M. Massuda, K.Bridger, J.D. Prodey, S.M. Pilgrim, *Ferroelectrics*, 158 (1994) 337
- [4] E.I. Bondarenko, V. Yu. Topolov, A.V. Turik, *Ferroelectrics* 110 (1990) 53.
- [5] G. Artl, *Ferroelectrics* 187 (1997) 103.