

PZT 세라믹스의 전하감도와 주파수 응답특성에 대한 경시변화 효과

신병철·임종인·윤만순·박병학·백성기

산업과학기술연구소, 무기재료연구분야

(1989년 5월 24일 접수)

Aging Effect on Charge Sensitivity and Frequency Response of PZT Ceramics

B.C. Shin, J.I. Im, M.S. Yoon, B.H. Park and S. Baik

Inorganic Materials Lab.,

Research Institute of Industrial Science & Technology

(Received May 24, 1989)

요 약

PZT 압전세라믹스의 전하감도와 그 주파수 특성을 측정하였다. PZT 세라믹스의 경시변화가 진행됨에 따라 전하감도와 접촉 공진주파수가 낮아지는 현상을 관찰하고 이에 대한 해석을 시도하였다.

ABSTRACT

Charge sensitivity and its frequency response characteristics were measured in poled and aged lead zirconate titanate(PZT) ceramics prepared by sintering. Aged PZT has lower charge sensitivity and lower mounted resonance frequency than just poled PZT.

1. 서 론

압전 재료로서 폭넓게 이용되고 있는 PZT 세라믹스는 분극공정을 거친후에 제품으로 사용되기 때문에 시간경과에 따라 분극된 정도가 떨어지는 단점을 갖고 있다. 실제로 산업용 압전부품으로 설치되는 경우 초기의 압전특성이 저조하면 앰프등의 회로를 이용하여 보정할 수 있으나 시간 경과에 따라 압전특성이 변하면 이에 대한 보정이 상당히 까다로울 뿐더러 출력신호의 오차를 야기시키게 된다. 따라서 PZT 세라믹 물성의 경시변화에 대해서 많은 연구가 진행되어 왔다^{1,2)}.

그러나 실제 산업현장에서 사용될때 얻어지는 출력신호의 시간에 따른 변화는 압전소자물성의 경시변화 관찰시

에는 고려하지 않았던 특성변화, 예를들면 재료내의 음속, 탄성계수등의 변화를 함께 고려해야 한다.

그러므로 본 연구에서는 PZT 압전 세라믹스를 제조하고 여기에 진동추를 설치한 후 진동발생기(exciter)와 정현파 발생기(sine random generator), 앰프등을 이용하여 전하감도(charge sensitivity) 및 주파수 응답특성(frequency response characteristics)을 측정하였고, 시간경과에 따른 특성변화의 해석을 시도하고자 하였다.

2. 실험방법

사용된 PZT 분말의 조성은 MPB (morphotropic phase boundary) 영역이었고, 성형을 위하여 2 wt% PVA

를 첨가하였다. 원관형으로 성형하여 1300°C에서 1시간 소결하였다. 소결후 진동추와의 조립을 위하여 외경 9 mm, 내경 3 mm, 두께 2 mm의 도너츠형 모양으로 가공하였다. 전극은 silver paste(Dupont 7095)를 도포하여 590°C에서 약 10분간 소결하였다. 분극시 절연파괴 및 전계에 의한 미세균열⁹⁾의 방지를 위하여 100°C에서 10분간 4 kV/mm의 직류전계를 인가하여 분극처리하였다.

분극처리된 시편의 유전, 압전특성의 측정을 위하여 DOD-STD-1376 A에 의거, Network Analyser (HP 3577 A+35677 A), Impedance Analyser(HP 4192 A)와 d_{33} piezo-meter (Channel Co.)를 사용하였다. 전하감도의 주파수 특성을 측정하기 위하여 ISO/TC.108에 의거 Calibration Exciter (B & K 1027), Voltmeter/Amplifier (B & K 2432), Conditioning Amplifier (B & K 2626), Level Recorder(B & K 2307)등을 사용하였다. 전기적 특성의 경시변화(aging)양상을 관찰하기 위하여 50°C에서 3일간 유지한 후 재측정 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

경시변화가 일어나면서 Table 1에 정리한 바와같이 전하감도(charge sensitivity)와 집축 공진주파수(mounted resonance frequency)가 모두 감소하였다.

여기서 전하감도(Q/a)의 감소는 시간경과에 따라 depoling 되면서 압전계수 (d_{33})가 감소했기 때문인 것으로 보인다.(식 1 참조)

$$\begin{aligned}
 Q &= d_{33} F \\
 &= d_{33} m a \\
 Q/a &= m d_{33} \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

Table 1. Aging Effect on Piezoelectric Coefficient, Charge Sensitivity of PZT Ceramics and its Frequency Response.

	1 day at 25°C after poling	3 days at 50°C after poling
Piezoelectric Coefficient (d_{33}) (pC/N)	412	404
Charge Sensitivity (pC/g)	31.473	28.704
Mounted Resonance Frequency (kHz)	17.671	16.310

- Q : 전하량
- d_{33} : 압전계수
- F : 힘
- m : 진동추의 무게
- a : 가속도
- Q/a : 전하감도

시간경과에 따라 집축 공진주파수가 감소하였는데, 시간경과에 따라 변하는 것은 PZT 소자의 물성이므로, PZT 소자의 물성과 집축 공진주파수와 관계를 정립해야 시간경과에 따른 집축 공진주파수의 변화를 설명할 수 있다. 따라서 PZT 소자의 물성과 집축 공진주파수와 관계를 구해 보고자 한다. 전체 진동근원체의 무게를 M, 가속도를 A 라 하면, 진동시 $F=MA$ 의 힘을 전달한다. 정현파의 진동이 가해지는 경우 PZT 세라믹스 위에 놓인 무게 m인 진동추는 진동근원체와 위상이 π 만큼 다른 가속도 a를 갖게 되어 $-F=ma$ 의 힘을 아래에 놓인 PZT 세라믹스에 가해주게 된다. 이 힘은 $F=kx$ 에 의거하여 PZT 세라믹스를 탄성변형 시킨다.

진동추의 가속도 (a)와 진동근원체의 가속도 (A)의 관계는 다음과 같다.

$$a - A = \frac{d^2x}{dt^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned}
 a - A &= \frac{-F}{m} - \frac{F}{M} \\
 &= -F \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M} \right) \\
 &= -kx \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M} \right) \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

이 된다. 식(2)=(3) 이므로

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -kx \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M} \right) \dots\dots\dots (4)$$

진동근원체의 진동모드가 정현파 이므로

- $x = R \sin \omega t$
- ω : 집축 공진주파수 (mounted resonance frequency)
- R : 상대진동의 진폭

로 놓고 위 미분방정식 (4)를 풀면, $m \ll M$ 이기 때문에

$$\omega^2 = k \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M} \right) \cong \frac{k}{m} \dots\dots\dots (5)$$

이 된다.

Table 2. Seismic Mass Effect on Charge Sensitivity of PZT Ceramics and its Frequency Response.

	V_1	V_2	V_2/V_1
Number of Mass	1	2	2
Charge Sensitivity (pC/g)	21.0349	31.4732 (42.0698)	1.5 (2.0)
Mounted Resonance Frequency (kHz)	16.883	15.719 (11.938)	0.93 (0.71)

* 괄호안은 One Mass 일때의 특성치와 식 (1), (5)를 이용하여 계산한 Two Mass 일때의 예상치

식 (1)과 식 (5)의 타당성을 입증하기 위하여 m을 두 배로 증가시켜 주파수 응답 특성을 측정해본 결과 Table 2에서 보듯이 전하감도는 약 1.5 배 증가하였고, 접촉 공진주파수는 0.93 배 감소 하였다. 위 실험치의 비율은 식 (1)과 (5)의 예상치와 오차를 보이고 있는데 진동감쇠 효과(damping effect)등을 고려하여 좀더 정확한 주파수 응답식을 구한다면 이론치가 실험치에 더욱 접근할 것으로 생각된다.

PZT 세라믹스의 경우 분극처리후 시간 경과에 따라 depoling 이 진행되고, 이경우 재료내의 음속이 감소하게 되는데 이는 탄성계수의 감소를 의미한다⁵⁾. 따라서 경시 변화함에 따라 접촉 공진주파수가 감소한 것은 식(5)에서 유도된 바와같이 탄성계수의 감소에 주로 기인한 것으로 보인다.

4. 결 론

PZT 세라믹스를 제조하여 압전특성을 측정하고 진동 추를 이용하여 전하감도 및 주파수 응답특성에 대한 경시

변화를 관찰하였다. 시간경과에 따라 전하감도 및 접촉 공진주파수가 감소하였는데, 이는 압전계수 및 탄성계수의 감소에 각각 기인한 것으로 보인다.

「후 기」

본 연구는 포항종합제철주식회사의 연구비 지원 및 제철전기콘트롤주식회사의 시험협조에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드리는 바입니다.

REFERENCES

1. H.T.Chung and H.G.Kim, "Effect of Microstructure on the Electrical Properties in the Tetragonal Phase PZT," *J. Kor. Ceram Soc.*, **24** (1), 56-62 (1987).
2. S.K. Wi, G.C. Kim, "Dynamic Tensile Strength of PZT Ceramics Containing Sr^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} Ions," *J. Acoustical. Soc. Kor.*, **7** (6), 12-19 (1988).
3. B.C. Shin and H.G. Kim, "Partial Discharge, Microcracking and Breakdown in $BaTiO_3$ Ceramics," *Ferroelectrics*. **77** 161-166 (1988).
4. H.T. Chung, B.C. Shin and H.G. kim, "Grain Size Dependence of Electrically Induced Microcracking in Ferroelectric Ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.* **72** (2), 327-329 (1989).
5. C.K. Jen, C.J. Chung, G.Shapiro, J.P. Monchalin, P.L.Langlois and J.F.Bussiere, "Acoustic Characterization of Poling Effects in PZT Ceramic," *J. Am. Ceram Soc.* **70** (10), C 256-C 259 (1987).