

PZT-PMNS를 이용한 장방형 압전변압기에 대한 연구

권오덕, 유지성, 윤용진, 강성확, 임기조  
충북대학교 전기공학과, 충청대학\*

Charicteristics of a step-up piezoelectric transformer using to PZT-PMNS

O. D. Kwon, J. S. Yoo, Y. J. Yoon, S. H. Kang\*, K. J. Lim  
Chungbuk national University, Chung Cheong College\*

**Abstract** - The piezoelectric ceramics for a step-up piezoelectric transformer are desired large electromechanical coupling factor, high mechanical quality factor and good characteristic resonance frequency.

In this study, the empirical formula of specimens is used  $0.9Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3-0.1Pb(Mn_{1/3}Nb_{1/3}Sb_{1/3})O_3$  (PZT-PMNS). The piezoelectric and dielectric characteristic are investigated by sintering temperature and value of x as functions of  $Ti^{2+}$ ,  $Zr^{2+}$  mol rate. MPB(morphotropic phase boundary) is defined in the  $x=0.522$ . Because it is appeared to the best piezoelectric and dielectric characteristic in the  $x=0.522$ , it can be application of step-up transformer.

는 출력 임피던스가 수백kΩ정도로 CCFL의 점등시, 임피던스(100[kΩ]~150[kΩ])와 정합이 잘 이루어지며 고전압, 소전류용이다.

본 논문에서  $[Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3 - Pb(Mn_{1/3}Nb_{1/3}Sb_{1/3})O_3]$ 의 조성을 갖는 세라믹을 선택하여 압전, 유전 특성으로 전기기계결합계수(electromechanical coupling factor), 기계적품질계수(mechanical quality factor), 유전손실(tan δ), 유전율(permittivity) 등을 측정 평가하였다.

그리고, 압전변압기 시편을 제작하여 전극의 길이와 주파수별 공진특성과 구동시간에 대한 온도특성, 전극길이에 따른 공진주파수, 부하에 따른 효율등을 알아보았다.

2. 실험 방법 및 특성평가

2.1 시편의 제작

$Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3 - Pb(Mn_{1/3}Nb_{1/3}Sb_{1/3})O_3$  조성에서 Zr의 함량비인 x값을 변화시키며 특성평가를 하였다. 압전 및 유전 특성을 측정하기 위한 압전 세라믹 시편 제조 공정은 조성 PZT-PMNS 고용체를 합성하기 위하여 PbO, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>등의 시작원료를 화학량론적으로 환산하여 아래 표와 같은 공정을 통하여 제작하였다.

압전 및 유전 특성을 측정하기 위해 Lapping Machine을 이용하여 12[mmφ], 1[mm]의 두께로 시편을 제조하였다.

압전변압기 특성을 알아보기 위한 시편은 34~54[mm]의 크기이며, 전극길이는 17~27[mm]이며 다른 제조공정은 압전 세라믹 시편과 동일하게 하였다.

1. 서 론

압전 변압기에서 유발되는 손실은 기계적 진동 손실이 있으나 권선형에서 생기는 손실보다는 매우 적다. 궤라이트변압기와 압전변압기의 효율을 비교할 수 있는 일례를 살펴본다. 액정디스플레이(LCD)에는 backlight로 냉음극형광램프(CCFL)가 주로 사용된다. CCFL용 안정기(인버터)에 기존의 궤라이트 변압기를 채용한 경우와 압전변압기를 채용한 경우의 인버터 효율(NEC보고서, 3W급)은 각각 72%, 90%로서 압전 변압기를 채용한 경우가 월등히 높다. 이것은 비록 소용량의 경우를 비교한 것이지만 효율의에 구조면에서도 박형이 가능하며 장점이 많다. 따라서 에너지 소비효율 1등급수준의 고효율형 안정기를 갈망하는 시점에서 이것을 구현하기 위해서는 가장 손실이 큰 부품인 궤라이트 변압기의 기능을 대체할 수 있는 고효율 저손실형 변압기의 개발이 중요하다고 사료된다.

압전변압기의 구성은 크게 구동부와 발전부로 구분되고, 구동부는 압전 역효과, 발전부는 압전 정효과를 각각 이용한다. 즉, 구동부에 교류전압을 인가하면 압전체는 기계적 진동을 하고, 구동부의 기계적 진동은 다시 발전부에 입력되어 교류 전압을 출력하게 된다. 이와 같은 압전 변압기는 코일과 코어를 사용하지 않으므로 경박단소, 난연성, 고효율, 제작 용이성, 단순한 구조 및 부하에 따른 승압비의 가변성 등과 같은 특징을 가지고 있다. CCFL구동용으로 사용되는 압전 변압기는 Rosen이 제안한 형태의 λ/2진동모드, λ진동모드 및 3λ/2진동모드의 장방형 압전 변압기이다. 이와 같은 장방형 압전 변압기

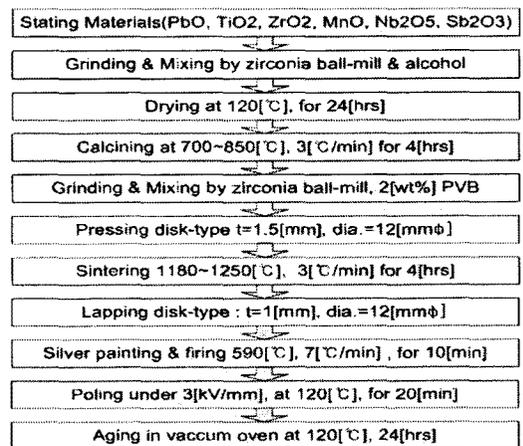


Fig. 1 시편 제조 공정

## 2.2 유전 및 압전 정수 측정

다른 압전 및 유전 정수의 측정은 Impedance Analyzer(HP 4194A)로부터 얻은 공진-반공진 동가 어드미턴스 회로의 각 회로 정수를 IRE 규정을 적용하여 계산하였다. 식(1)과 (2)는  $k_p$ 와  $Q_m$ 의 값을 구하는 공식이다.

$$\frac{1}{k_p^2} = 0.395 \times \frac{f_r}{(f_a - f_r)} + 0.574 \quad (1)$$

$$Q_m = \frac{f_a}{2\pi f_r R C (f_a^2 - f_r^2)} \quad (2)$$

( $f_r$ : 공진주파수,  $f_a$ : 반공진주파수, R: 공진저항, C: 1[kHz]에서의 자유 커패시턴스)

## 2.3 압전변압기의 일반적 특성

표 1. 다양한 변압기 type들의 일반적 특성

Type	Rosen type	Thickness mode	Contour mode
Items	High voltage, Small current	Low voltage, Large current	Low voltage, Large current
Characteristics	High voltage, Small current	Low voltage, Large current	Low voltage, Large current
Output impedance	~ 200 kΩ	~ 100 Ω	~ 1 kΩ
Step-up ratio	> 100	< 10	< 10
Efficiency	High	Low	High
Mechanical strength	Good	Good	Bad

## 3. 결과 및 고찰

$Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3 - Pb(Mn_{1/3}Nb_{1/3}Sb_{1/3})O_3$  조성에서 Zr의 함량을  $x$ 라 하고 이  $x$ 를 변화시키며 측정된 전기기계 결합계수( $k_p$ ), 비유전율( $\epsilon^{T_{33}}/\epsilon_0$ ) 및 기계적 품질 계수( $Q_m$ ), 유전 손실( $\tan\delta$ )을 Fig.4 ~ Fig. 7에 나타내었다.

하소온도에 따른 압전 및 유전 특성은 큰 차이를 보이지 않았으나 소결온도에 따라서는 결과에서도 확인 되듯이 소결온도가 높을수록 특성이 향상되었다. 이는 고온일수록 세라믹의 결정화가 잘 일어남을 보여주는 결과라 할 수 있다.

Fig. 4 ~ Fig. 7을 보면 Zr의 함량  $x$ 가 0.522일 때 전기기계 결합계수( $k_p$ )는 65[%], 비유전율( $\epsilon^{T_{33}}/\epsilon_0$ )은 1250으로 각각 최대를 보였으며, 기계적품질계수( $Q_m$ )는 약 1350정도로 최소를 보였다. 이와 같은 결과들로 보면  $x$ 가 0.522일 때 압전 및 유전 특성이 가장 좋은 특성을 보이므로  $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3 - Pb(Mn_{1/3}Nb_{1/3}Sb_{1/3})O_3$  조성에서의 MPB(상경계 영역)이라 결론지었다.

한편, Fig. 7에서는  $x=0.522$ 에서  $\tan\delta$ (유전손실)이 가장 높게 나타나고,  $x$ 값이 증가하는 능면정계 쪽이 정방정계 쪽보다 다소 높게 나타나고 있다. 이는 MPB영역에서는 정방정계와 능면정계의 결정의 공존하는 결정 상전이 영역이므로 분역벽의 이동도가 매우 자유로워짐으로써 유전 손실( $\tan\delta$ )값이 상승하는 것으로 사료된다.

Fig. 8~Fig. 11에서는 전극의 길이가 길어질수록 공진점이 상승함을 보였으며,  $L=23[mm]$ 이상에서 온도 안정성을 가짐을 나타냈다. 그래서,  $L$ (전극의 길이)가

23[mm]인 샘플의 부하에 대한 특성을 알아본 결과, 100[kΩ]~150[kΩ]에서 임피던스 정합이 잘 되어서 효율이 높게 나타남을 알 수 있었다.

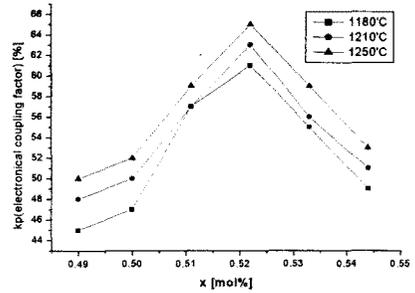


Fig. 4 x에 따른  $k_p$ 의 변화

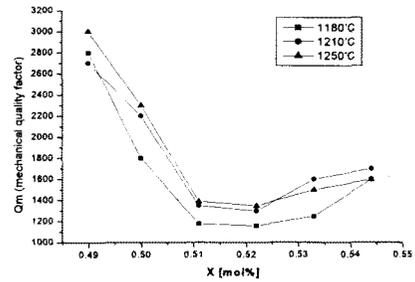


Fig. 5 x에 따른  $Q_m$ 의 변화

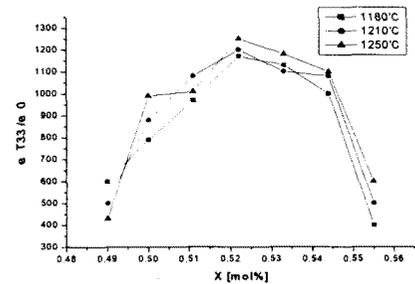


Fig. 6 x에 따른  $\epsilon^{T_{33}}/\epsilon_0$ 의 변화

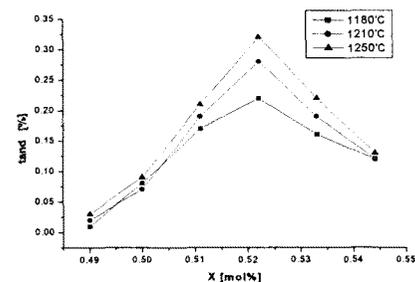


Fig. 7 x에 따른  $\tan\delta$ 의 변화

#### 4. 결 론

본 논문은 승압형 압전변압기 제작이 가능한 압전 세라믹 개발을 위해 PZT-PMNS의 3성분계 압전 세라믹스 조성에서의 전기기계결합계수, 기계적 품질계수, 유전손실, 유전율을 측정, 평가하기 위해서 Zr과 Ti의 몰비에 따른 상전이 거동과 압전 및 유전 특성에 대해 살펴보았으며 소결온도의 변화에 대하여 특성을 조사하였다.

0.9PbZr<sub>1-x</sub>PbTiO<sub>3</sub> + 0.1Pb(Mn<sub>0.20</sub>Nb<sub>0.30</sub>Sb<sub>0.33</sub>)O<sub>3</sub> 조성에서 하소온도는 800℃, 소결온도는 1250℃일 때 x를 0.522로 하고 전기기계결합 계수(k<sub>p</sub>) 및 비유전율 ( $\epsilon^T_{33}/\epsilon_0$ )은 각각 65%, 1250을 보였으며 기계적 품질 계수(Q<sub>m</sub>)는 1350을 나타내었다. 이 결과로 삼성분계의 MPB는 x=0.522 몰비에서 나타남을 확인 할 수 있었다.

압전 변압기 샘플을 제작하여 특성들을 알아본 결과, 전극의 길이가 길어질수록 공진점이 상승함을 보였으며, L=23[mm]이상에서 온도 안정성을 가짐을 나타냈다. 그래서, L(전극의 길이)가 23[mm]인 샘플의 부하에 대한 특성을 알아본 결과, 100[kΩ]~150[kΩ]에서 임피던스 정합이 잘 되어서 효율이 높게 나타남을 알 수 있었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] B. Jaffe, W.R. Cook, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press (1971)
- [2] Sridhar S, Giannakopoulos AE, Suresh S, Ramamutry U, "Electrical response indentation of piezoelectric material characterization", Journal of applied physics, Vol 85, No.1, pp.380-387, 1999.
- [3] 金護基, 申炳鐵 박사 編著, "압전.전왜 세라믹스" 羊鳥出版社, 1991.
- [4] IRE Standards Committee, "Standard on Piezoelectric Crystals. 1949" Proc. of the IRE, (1949), pp.921-930
- [5] Fernandez JF, Moure C, Villegas M, Duran P, Korec M, Drazic G, "Compositional fluctuations and properties of fine-grained acceptor-doped PZT Ceramics", J. of the European ceram. Soc., Vol.18, No.12, pp. 1695-1705, 1998.
- [6] H. Sasaki, "Development of high voltage DC power supply using piezoelectric transformer", NEC技術報告, Vol. 50, No. 10, pp. 80-83, 1997.
- [7] T. Zaitzu, *et al.*, "2MHz power converter with piezoelectric transformer", Proc. of IEEE INTELEC, pp. 430-437, 1992.
- [8] N. Hagiwara, "A ceramic transformer inverter for driving liquid crystal backlight lamps", Ferroelectrics, Vol. 195, pp. 127-130, 1997.
- [9] I. Jiro, *et al.*, "A compact high brightness LCD data projector", J. Jpn. Soc. for Precision Engineering, Vol. 6, No. 8, pp. 1096-1100, 1999.

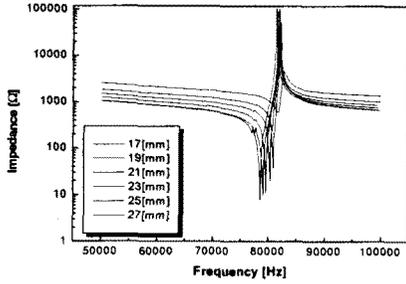


Fig. 8 주파수와 전극길이에 따른 공진특성

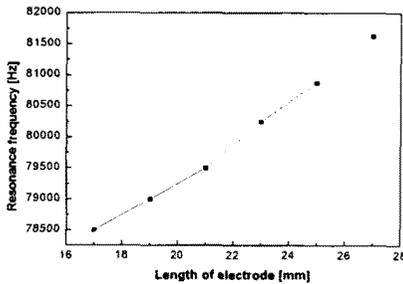


Fig. 9 전극길이에 따른 공진주파수

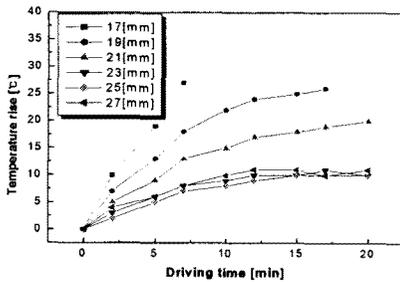


Fig. 10 구동시간에 따른 온도상승

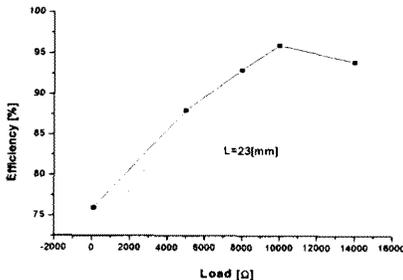


Fig. 11 전극길이 L=23mm인 압전변압기의 부하에 따른 효율