

PAN-PZT계 세라믹스를 이용한 적층형 압전변압기의 특성

Characteristics of A Multilayer Piezoelectric Transformer Using PAN-PZT Ceramics

박타리^{***}, 이동균^{*}, 최지원^{*}, 신용덕^{***}, 김현재^{*}, 고태국^{**}, 윤석진^{*}

(Ta-Ri Park^{***}, Dong-Kyun Lee^{*}, Ji-Won Choi^{*}, Chong-Yun Kang^{*}, Hyun-Jai Kim^{*}, Tae-Kuk Ko^{**}, Seok-Jin Yoon^{*})

Abstract

The characteristics of a multilayer piezoelectric transformer were investigated using 0.05Pb($Al_{0.5}Nb_{0.5}$)O₃ - 0.95Pb($Zr_{0.52}Ti_{0.48}$)O₃+0.9wt%Nb₂O₅+0.5wt%MnO₂+0.04wt%V₂O₅ ceramics. The multilayer piezoelectric transformers were developed for voltage step-up. The multilayer ceramic technology was applied in piezoelectric transformer. The electrical characteristics of the piezoelectric transformer (33×8.5×1mm) has the efficiency of above 85%, step-up ratio of 70 under the 130 kΩ load, and driving frequency of 93.5 kHz, respectively.

Key Words : multilayer piezoelectric transformer, material properties, step-up ratio, electrical characteristics

1. 서 론¹⁾

압전변압기는 기계진동을 매개로 전기적 에너지를 전달하는 소자로 승압 및 강압특성이 있으며, 고효율, 저 EMI, 불연성소자로서 권선형 변압기와 비교해 볼 때, 효율이 높고, 간단한 구조이다[1-2]. 압전변압기에 사용되는 재료로는 PZT계를 기본으로 한 3성분계나 첨가물로 변형시킨 재료가 사용되고 있으며, High-Power로 구동되는 hard계 압전 세라믹이 일반적이다[3]. 이러한 재료로의 요구되는 재료정수로는 전기기계결합계수 (k_{33} , k_{31}), 압전정수(d_{33}), 기계적품질계수(Q_m)가 큰 재료가 적합하다. 또한 압전변압기는 대진폭으로 구동하여 기계적인 변위를 이용하는 것으로, 구동시 소자에 발열이나 특성의 열화가 적은재료가 적합하다. 본 논문

에서는 기본조성으로 0.05Pb($Al_{0.5}Nb_{0.5}$)O₃-0.95Pb($Zr_{1/3}Ti_{2/3}$)O₃+0.9wt%Nb₂O₅+0.5wt%MnO₂+0.04wt%V₂O₅를 선택하여 압전체의 진동모드별로 측정하고, 그에 맞는 재료정수를 구하였다. 또한 세라믹 후막의 내부전극을 동시에 열처리해야하는 공정상의 문제로 V₂O₅를 첨가하여 소결조건을 확립하였다. 그리고 적층형 압전변압기를 제작한 다음, 변압기에 요구되는 최적의 특성을 확립 하고자 하였다[4].

2. 실험

2.1 재료상수의 측정

압전변압기용 재료는 압전정수 및 기계적품질계수가 높은 0.05Pb($Al_{0.5}Nb_{0.5}$)O₃-0.95Pb($Zr_{0.52}Ti_{0.48}$)O₃+0.9wt%Nb₂O₅+0.5wt%MnO₂+0.04wt%V₂O₅를 기본조성으로 하였으며, 저온소결조제로서 V₂O₅를 0.04wt%첨가하여 소결조건을 확립하였다. 원료분체는 0.05Pb($Al_{0.5}Nb_{0.5}$)O₃-0.95Pb($Zr_{0.52}Ti_{0.48}$)O₃+0.9wt%Nb₂O₅+0.5wt%MnO₂의 하소된 분말을 사용하였으며,

* 한국과학기술연구원 박막기술연구센터
(서울시 성북구 하월곡2동, Fax : 02-958-6851
E-mail : trpark@kist.re.kr)
** 연세대학교 전기전자공학과
*** 원광대학교 전기전자 및 정보공학부

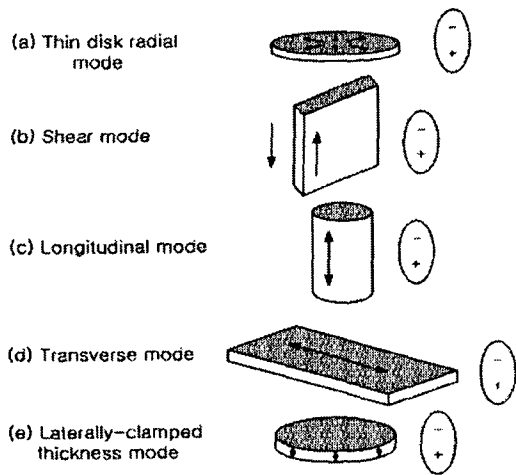


그림 1. 압전진동모드.
Fig. 1. Piezoelectric vibration mode.

이것을 저온소결 하기 위해 0.04wt%의 V_2O_5 를 첨가하여 에탄올을 분산매로 지르코니아 불과 2차 습식 혼합, 분쇄하였다. 혼합된 원료를 완전히 건조한 후, 유발로 분쇄한 후 결합조제(polyvinyl alcohol 217-C) 수용액을 5wt%첨가하여 균일하게 섞은 후 $\Phi 18\text{mm}$ mold로 $1\text{ton}/\text{cm}^2$ 의 압력을 가하여 그림 1과 같이 각각의 모드에 맞게 성형하였다. 성형시편의 결합조제를 600°C , 3시간 열처리하여 완전 연소시켰다. 탈지된 시편들은 PbO의 휘발을 억제하기 위해 시료조성과 동일한 분위기 분말을 사용하여 2중 알루미나 도가니에 넣고 소결하였다. 소결조건은 온도를 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 1100°C 에서 1시간 동안 유지하였다. 소결이 끝난 시편은 양면 연마기를 이용하여 연마한 다음 silver paste (Dupont #7095)를 도포하고 600°C 에서 10분간 열처리를 하여 전극을 형성하였으며 전극이 형성된 시편은

표 1. 진동모드에 대한 압전특성.
Table. 1. Piezoelectric properties of vibration mode.

Properties	Physical properties	Electrical properties	Elastic properties
Mode	$d: \text{g}/\text{cm}^3, Y^E_{11}: *10^{10}\text{N}/\text{m}^2$	$d_k: *10^{-12}\text{C}/\text{N}$	$s^E_{11}: *10^{-12}\text{m}^2/\text{N}, c^U_{33}: *10^{10}\text{N}/\text{m}^2$
radial	$d: 7.7, Q_m: 1650$	$k_p: 0.52, \epsilon_{33}^1: 980$	$s^E_{11}: 16.2$
shear	$d: 7.7$	$k_{15}: 0.34, d_{15}: 157$	$s^U_{35}: 23$
longitudinal	$d: 7.7$	$k_{33}: 0.57, d_{33}: 307$	$s^E_{33}: 12.2, s^U_{33}: 8.27$
transverse	$d: 7.7, Y^E_{11}: 8.27$	$k_{31}: 0.33$	$s^E_{11}: 16.2$
clamp	$d: 7.7$	$k_i: 0.53$	$c^U_{33}: 2.07$

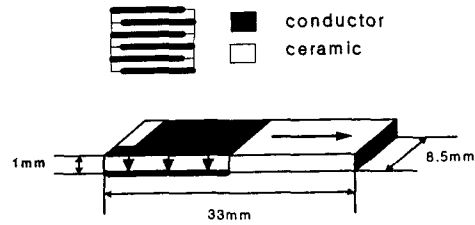


그림 2. 내부전극형태와 적층형변압기.
Fig. 2. Inner electrodes and multilayer transformer.

domain의 방향성을 부여하기 위하여 120°C 의 silicon oil속에서 $3.5\text{kV}/\text{mm}$ 의 직류전계를 가하여 분극을 하였으며, 분극 후 24시간이 경과한 후 시편의 특성을 측정하였다[5].

2.2 적층형압전변압기의 제작

변압기용 재료는 $0.05\text{Pb}(\text{Al}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-0.95\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})+0.9\text{wt}\%\text{Nb}_2\text{O}_5+0.5\text{wt}\%\text{MnO}_2$ 의 하소된 분체를 사용하였으며, V_2O_5 를 첨가하여 에탄올을 분산매로 지르코니아 불과 함께 2차 습식 혼합, 분쇄하여 이것을 완전히 건조한 후, 유발로 재분쇄 하여 분체를 얻었으며, 이것을 slurry용 세라믹분말로 사용하였다. 적층형압전변압기의 slurry조성은 mixed solvent(Ferro, #B73210)에 세라믹분말을 무게비 37/63로 평량하였으며, 지르코니아불과 함께 24시간동안 불밀링하여 제조하였다. 불밀링 후에 slurry를 SiO_2 가 코팅된 폴리에틸렌 필름위에 doctor blade방법으로 tape casting하여 green sheet를 얻었다. 이때 green sheet의 두께는 약 0.15mm 였다. green sheet에 그림 2와 같이 내부전극(Ag/Pd, 대추정밀)을 인쇄한 후 건조시키고, 11층 적층하여 45°C 에서 $140\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로 열압착 하

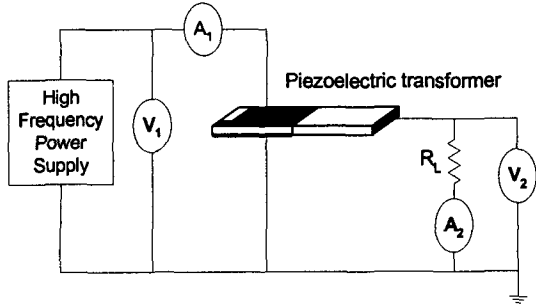


그림 3. 압전변압기의 측정회로.
Fig. 3. Measuring system of piezoelectric transformer.

였으며, 백금기판위에서 30시간 동안 burn-out후, 1100℃에서 1시간동안 소성 하였다. 소성이 끝난 변압기에 은 전극을 도포한 다음, silicon oil속에서 길이방향과 두께방향으로 약 3kV/mm로 분극하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1은 각각의 모드별 정수의 특성을 나타낸 것이다. 전기기계결합계수 k_{31} 과 k_{33} 는 각각 32.6%, 57%이고, 기계적품질계수 Q_m 은 1648이다. 모드별 정수의 특성을 이용하여 세라믹소자의 진동속도를 구할 수 있었으며, 이를 식(1)에 대입하여 구동주파수를 알 수 있었다[6]. 압전변압기의 진동형태는

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

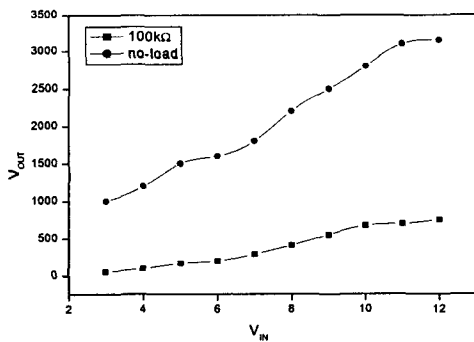


그림 4. 적층형압전변압기의 부하특성
Fig. 4. Load characteristics of the transformer.

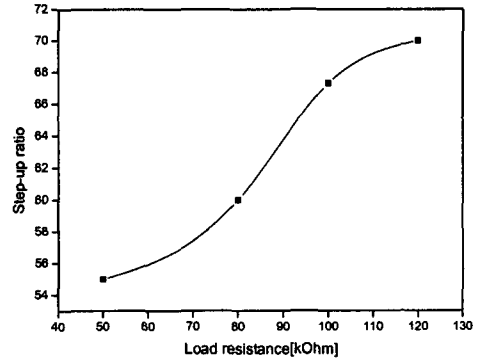


그림 5. 압전변압기의 전압이득특성.
Fig. 5. Step-up ratios of the transformer.

$\frac{\lambda}{2}$ 및 λ 공진이 있는데, 본 실험에서는 승압비가 높은 λ 공진형태에 대하여 전기적특성을 조사하였다. 그림 3은 적층형압전변압기의 전기적특성을 측정한 회로이다. 입력전원으로 High Frequency Power Supply(SEIDEN KOGYO CO, LTD)를 사용하였으며, 출력특성을 측정하기 위해 냉음극관(Cold Cathod Fluescent Lamp, CCFL,100kΩ)을 부하로 사용하였다. 그림 4는 제작된 적층형변압기의 무부하 및 부하특성을 나타낸 것으로 변압기의 무부하승압비는 입력전압 10V_{RMS}에서 약 280배로 측정되었으며 100kΩ부하에서의 승압비는 약 70배를 보였다. 이 때의 동작 주파수는 약 93.5kHz이다. 그림 5는 10V_{RMS}의 입력전압을 인가했을 때 출력측 부하에 따른 전압이득을 나타낸 것으로 부하의

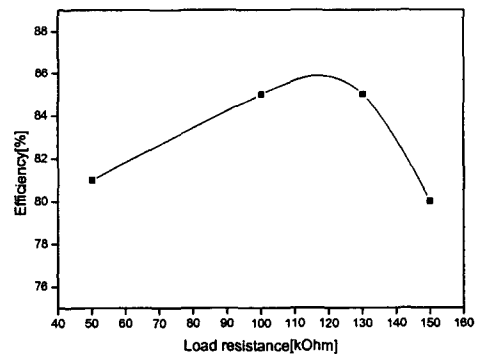


그림 6. 압전변압기의 효율.
Fig. 6. Efficiencies of the transformer.

크기가 증가함에 따라 전압이득이 증가함을 알 수 있었는데, 이것은 부하저항의 증가에 따라 침예한 공진특성을 나타내는 것으로, 압전변압기의 단성진동 때문에 생기는 결과이다. 그림 6은 적층형압전변압기의 효율을 나타낸 것으로서, 100kΩ에서 최대 88%를 보였으며, 그 이상의 부하 증가할수록 저하되는 특성을 보였다. 위의 실험에 근거하여 입력전압 10V_{RMS}에서 CCFL(Φ2×291mm)을 점등하였으며, 이때, 출력전압, 입력전류, 출력전류는 각각 673V, 415mA, 5.25mA이고, 약 3.5W의 출력특성과 85%의 효율을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 우수한 압전재료의 개발에 의한 압전변압기의 특성향상을 목적으로 하였다. 압전변압기용 재료로는 0.05Pb(Al_{0.5}Nb_{0.5})O₃-0.95Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})+0.9wt%Nb₂O₅+0.5wt%MnO₂를 기본재료로 사용하여, tape caster를 이용하여 Rosen형의 적층형압전변압기를 제작하였다. 본 실험에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 진동모드별 압전특성을 조사하였으며, 압전변압기에 적합한 재료임을 증명하였다. 대표적인 압전상수는 $d_{33}=307 \times 10^{-12} \text{C/N}$, 전기기계결합계수 $k_{33}=0.57$, $k_{31}=0.33$ 기계적품질계수 $Q_m=1650$ 를 얻었다.
2. 세라믹 적층기술을 이용하여 11층 압전변압기(33×8.5×1mm)를 제작하였으며, 130kΩ 부하에서 3.5W의 출력특성과 85%의 효율을 보였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어연구개발사업의 일환인 '차세대소재성형기술개발사업단'의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] H. W. Katz, "Solid State Magnetic and Dielectric Devices", John Wiley & Sons, INC., p. 170-197, 1959.
- [2] Li Long Tu, et al, "Lead Zirconate Titanate Ceramics and Monolithic Piezoelectric Transformer of Low Firing Temperature", Ferroelectrics, Vol. 101, p.193-200, 1990.
- [3] B. Jaffe, R. S. Roth, and S. Marzullo, "Properties of Piezoelectric Ceramic in the

Solid Solution Series Lead Titanate-Lead Zirconate-Lead Oxide : Tin Oxide and Titanate Lead Hafnate", J. Res. Natl. Std., Vol. 55, No. 5, 239, 1955.

- [4] 임인호, 박종주, 정희승, 이영희, "적층형 압전 변압기의 내부전극에 따른 구조적 특성", 전기전자재료학회논문지, 14권, 11호, p. 898-903, 2001.
- [5] 이동균, 윤석진, 김현재, 안형근, 한득영, "PMS-PZT, PMN-PZT계 세라믹스를 이용한 압전변압기의 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 3호, p.220-226, 2000.
- [6] 정수태, 조상희, "적층압전변압기의 전기적 특성", 전기전자재료학회논문지, 9권, 2호, p.138-145, 1996.