

# PZN-PMN-PZT 세라믹스를 이용한 적층 압전변압기의 전기적 특성

김국진, 이창배, 류주현, 백동수\*, 윤현상\*\*  
 세명대학교, (주)이투에스\*, 경문대\*\*

## The Electrical Properties of Multilayer Piezoelectric Transformer using PZN-PMN-PZT ceramics

Kook-Jin Kim, Chang-Bae Lee, Ju-Hyun Yoo, \*Dong-Soo Paik, \*\*Hyun-Sang Yoon  
 Semyung Univ., \*E2S, \*\*Kyungmoon coll.

**Abstract :** In this study, multilayer piezoelectric transformer were manufactured using the PZN-PMN-PZT ceramic and then the electrical characteristics were investigated. The voltage step-up ratio of multilayer piezoelectric transformer showed the maximum value in the vicinity of 78.16kHz and increased according to the increase of load resistance. When the output impedance coincided with the load resistance, piezoelectric transformer showed the temperature increase of about 20°C at the output power of 12W. The results, the multilayer transformer manufactured using the low temperature sintered PZN-PMN-PZT ceramics can be stably driven for step-up transformers.

**Key Words :** multilayer piezoelectric transformer, low temperature sintering, PZN substitution, Tape casting

### 1. 서론

압전변압기용 조성 세라믹스는 높은 에너지 변환효율을 위해서 전기기계 결합계수(kp)가 커야되며, 발열에 의한 온도 상승을 억제하기 위하여 기계적 품질계수(Qm)가 큰 것이 바람직하다. 또한, 높은 전류를 발생하기 위해서는 유전상수가 커야하기 때문에 압전변압기의 출력측 정전용량을 크게 하여야 한다.[1] 따라서, 단판형 압전변압기의 출력한계를 개선하기 위해 높은 승압비와 고출력을 갖는 적층 압전변압기가 제안되었다. 하지만, 적층 압전변압기 제작시 그 구조적 특성상 내부전극과 함께 소결하여야 하는데, 이때 소결온도가 높으면 값비싼 Pd함량이 높은 전극을 사용하여야 한다. 따라서, Pd함량이 적은 Ag/Pd 전극을 사용하기 위해서는 950°C이하에서 저온소결이 가능한 조성개발이 필수적이라 할 수 있다. Pb(Mn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> - Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> 시스템은 매우 높은 기계적 품질계수를 나타내는 것으로 알려져 있으며, Pb(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> 시스템은 전기기계 결합계수가 높은 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 연구에서는 PMN-PZT시스템에 PZN을 치환한 조성을 사용하여 적층 압전변압기를 제작하였으며 적층 압전변압기의 전기적 특성을 조사하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 시편의 제조 및 특성측정

본 실험에서는 다음과 같은 조성식을 사용하여 적층 압전변압기를 제작하였다.

$Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - Pb(Zr,Ti)O_3$   
 + 0.1wt%Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.3wt%Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0.3wt%CuO  
 조성에 따른 시료의 정확한 몰비를 10<sup>-4</sup>까지 평량하였고, 아세톤을 분산매로 볼밀을 24시간동안 혼합 분쇄하였으며, 건조후 850°C에서 2시간 하소하였다. 하소 후 Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CuO를 첨가하여 24시간동안 재혼합 분쇄후, 파우더와 PVB의 비율을 72:28로 하여 혼합하여 Doctor Blade

법으로 Tape Casting을 하여 70μm로 시트를 뽑아냈다. 시트를 쌓아 70°C에서 300[kgf/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 일축성형 한 후 340°C에서 3시간동안 Burn Out 과정을 거치고, 940°C에서 1시간동안 소결하였다. 소결을 마친 후 두께 2.16mm로 연마하여 전극을 발라 600°C에서 10분간 열처리하였다. 전극이 형성된 시편을 120°C실리콘유 속에서 20[kV/cm]로 분극하였다. 24시간이 지난후에 공진 및 반공진법에 따라 유전 및 압전특성을 측정하였고, 적층 압전변압기의 전기적 특성을 측정하기 위해 입력전압에 따른 출력전압 및 출력전력은 Power Amp.(Trek50/750), Function generator (HP33120A) 및 오실로스코프 (Tektronix TDS3054)를 이용하여 측정하였고, 출력전력에 따른 온도상승은 접촉식 온도계로 측정하였다.[2]

#### 2.2 적층 압전변압기의 제작

적층 압전변압기의 크기와 구조, 모양을 그림 1에 나타내었다. 적층 압전변압기는 입력측이 직렬로 되어 있기 때문에 입력 임피던스가 크고, 출력측은 병렬로 되어 정전용량이 크게 되므로 출력 임피던스가 작고 출력전류를 크게 할 수 있는 구조이며, 강압되도록 설계하였다.[3]

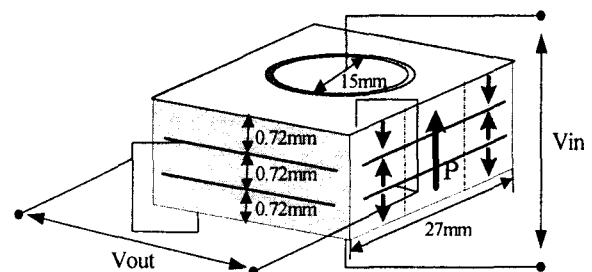


그림 1. 적층 압전변압기 구조

### 3. 결과 및 고찰

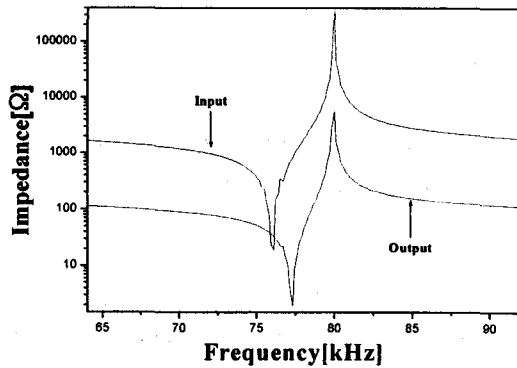


그림 2. 적층 압전변압기의 임피던스특성.

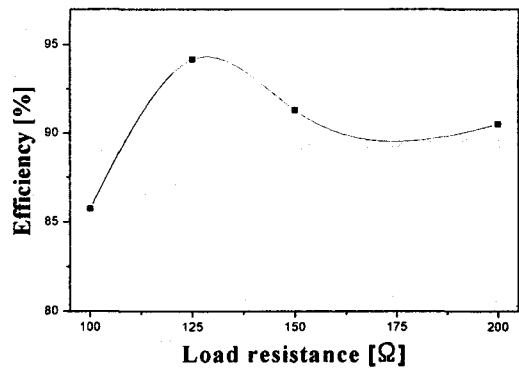


그림 4. 부하저항에 따른 효율

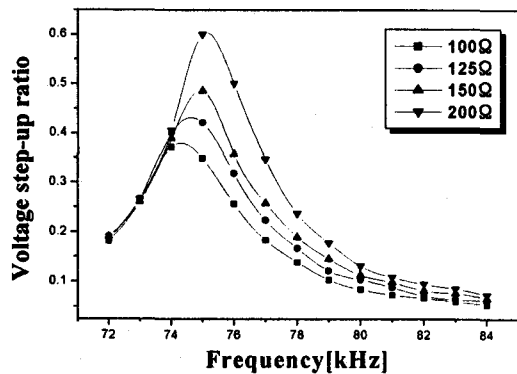


그림 3. 주파수와 부하저항에 따른 승압비

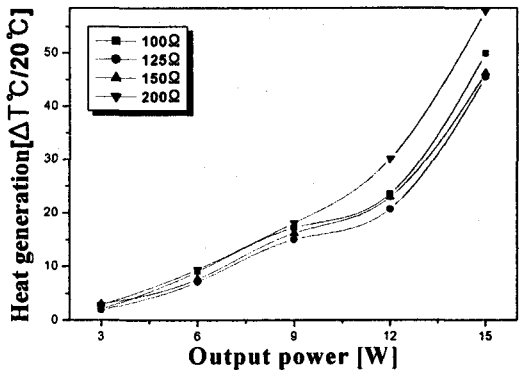


그림 5. 출력전력에 따른 발열.

그림 2는 적층 압전변압기에 대한 임피던스특성을 나타낸 것이다. 입출력의 유효 전기기계결합계수  $k_{eff}$ 가 각각 0.33, 0.27을 나타내어 우수한 압전특성을 나타내었다.

그림 3은 적층 압전변압기의 출력전력을 3W로 일정하게 유지한 상태에서 주파수와 부하저항에 따른 승압비를 나타낸 것이다. 부하저항의 증가에 따라 승압비는 증가하는 특성을 보였고 부하저항이 높으면 최대 승압비는 다소 높은 주파수에서 나타났다. 부하저항 100Ω을 연결시 74kHz에서 0.37배, 125Ω연결시 75kHz에서 0.42배, 150Ω연결시 75kHz에서 0.48배, 200Ω연결시 75kHz에서 0.6배의 최대 승압비를 나타내었다.

그림 4는 출력전력을 12W로 일정하게 유지한 상태에서 부하저항에 따라 20분 구동 후 적층 압전변압기의 효율을 측정한 것이다. 부하저항 125Ω에서 94.2%의 가장 높은 효율을 나타내었다. 이 결과로 볼 때, 적층 압전변압기의 출력측 임피던스가 부하저항과 일치할 때 최대의 효율을 나타낼 수 있다. 따라서 최대전력전달 효율을 얻기 위해 적층 압전변압기의 출력측 임피던스와 부하저항과의 정합이 중요할 것으로 판단된다.

그림 5는 부하저항에 따른 각 출력전력에서 20분간 구동 후 측정된 온도상승의 결과를 나타낸 것이다. 적층 압전

변압기의 온도는 출력전력이 증가함에 따라 증가하는 특성을 나타내었고, 부하저항이 증가할수록 온도상승폭이 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 출력전력의 증가에 따른 출력전류의 증가에 의해 일반적으로 출력전류에 비례하는 진동변위의 크기가 증가하여 이에 따른 진동속도의 증가에 의한 기계적 손실이 증가한 것으로 사료된다. 압전변압기의 허용 발열량을 20°C이내의 범위로 볼 때, 125Ω의 부하저항에서 12W까지 안정적인 구동이 가능할 것으로 사료된다.

표 1은 적층 압전변압기의 압전특성을 나타낸 것이며, 출력 임피던스  $Z_{out}$ 와 유효 전기기계결합계수  $k_{eff}$ 는 다음식으로 계산하였다.

$$Z_{out} = \frac{1}{2\pi f_r C_{out}} \quad (1)$$

$$k_{eff} = \sqrt{\frac{f_a^2 - f_r^2}{f_a^2}} \quad (2)$$

표 1. 적층 압전변압기의 압전특성

|        | $F_r$ [kHz] | $F_a$ [kHz] | $R$ [ $\Omega$ ] | $C$ [nF] | $k_{eff}$ | $Q_m$ | $Z_{out}$ [ $\Omega$ ] |
|--------|-------------|-------------|------------------|----------|-----------|-------|------------------------|
| Input  | 76          | 80.05       | 14.8             | 1.89     | 0.33      | 755   | -                      |
| Output | 77.25       | 80.1        | 1.35             | 18.7     | 0.27      | 1168  | 112                    |

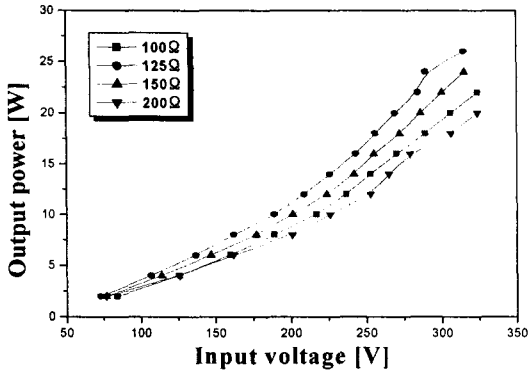


그림 6. 입력전압과 부하저항에 따른 출력전력

그림 6는 적층 압전변압기의 공진주파수에서 입력전압과 부하저항에 따른 출력전력을 나타낸 것이다. 인가된 입력전압에 따른 출력특성은 인가전압이 높아질수록 출력 또한 높아졌으며, 공진저항 부근인 125 $\Omega$ 에서 가장 높은 출력전력을 나타내었다. 200 $\Omega$ 과 100 $\Omega$ 에서 비교적 낮은 출력전력을 나타냈는데, 이러한 결과는 그림 4의 결과에서 보였듯 발열이 커지면서 손실이 커졌기 때문으로 사료된다. 표 2는 출력 임피던스의 매칭저항 부근인 125 $\Omega$ 을 사용하여 12W로 20분간 구동 후 그에 따른 특성을 나타낸 것이다.

표 2. 적층 압전변압기의 구동 특성

| $F_d$ [kHz] | $V_{in}$ [V] | $V_{out}$ [V] | $I_{out}$ [mA] | $P_{out}$ [W] | $\eta$ [%] | $\Delta T$ [ $^{\circ}C$ ] |
|-------------|--------------|---------------|----------------|---------------|------------|----------------------------|
| 78.16       | 224          | 35.35         | 340            | 12            | 94.2       | 20.7                       |

#### 4. 결론

본 연구에서는 적층 압전변압기의 개발을 위하여 기계적품질계수가 높은 것으로 알려진 PMN-PZT 세라믹스에 전기기계결합계수를 높이기 위해 PZN을 치환하고, Doctor Blade 방법으로 Tape-Casting 하여 27×27×2.16mm 크기의 적층 압전변압기를 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 적층 압전변압기의 임피던스 특성곡선의 입력단은  $f_r=76$ kHz,  $f_a=80.05$ kHz 출력단은  $f_r=77.25$ kHz,  $f_a=80.1$ kHz의 공진 및 반공진 주파수를 나타내었다.
2. 주파수와 부하저항에 따른 승압비를 측정된 결과 100 $\Omega$ , 125 $\Omega$ , 150 $\Omega$  그리고 200 $\Omega$ 에서 주파수 74kHz~75kHz에

서 최대승압비가 나타났으며, 각각 0.37, 0.42, 0.48 그리고 0.6배의 최대승압비를 나타내었다.

3. 부하저항에 따른 효율을 측정된 결과 125 $\Omega$ 에서 94.2%의 효율을 나타내었다.
4. 부하저항에 따른 출력전력에서 20분간 구동 후 온도상승 변화를 측정된 결과 125 $\Omega$ 의 부하저항에서 가장 낮은 온도상승폭을 나타내었다.
5. 입력전압과 부하저항에 따른 출력을 측정된 결과 입력전압이 증가할수록 출력전력이 증가하였으며, 공진저항 부근인 125 $\Omega$ 에서 12W까지 약20 $^{\circ}C$  이내의 온도상승을 보임으로써 적층 압전변압기로의 적용 가능성을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년도 전력산업연구개발사업 (과제번호: R-2004-0-114)의 연구비로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] 황상모, 류주현, 황락훈, 김주래, 홍재일, 박창엽, 김종선 “압전 트랜스포머를 이용한 T5(28W)형광등 안정기 회로의 전기적특성”, 전기전자재료학회논문지, Vol.14, No.9, p736, 2001
- [2] 윤광희, 오동언, 류주현, 윤현상 “Adaptor용 압전트랜스포머 조성  $Pb(Sb_{1/2}Nb_{1/2})O_3-Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$  세라믹스의 전기적 특성”, 전기전자재료학회논문지, Vol.15, No. 6, p.499, 2002
- [3] 이창배, “AC-DC converter용 고효율 강압형 적층 압전변압기의 전기적 특성에 관한 연구”, 세명대학교 석사논문, 2006