

## Extensional 진동 모드를 이용한 압전 트랜스포머의 감압 특성

최지현, 방규석\*

경기대학교, \*전자부품연구원

### Step-Down Voltage Properties of Piezoelectric Transformer with Extensional Vibration Mode

Ji Hyun Choi, Kyu-Seok Bang\*

Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 442-760, Korea

Korea Electronics Technology Institute, Pyongtaek 451-865, Korea\*

#### Abstract

In this paper, step-down piezoelectric transformer is studied. The piezoelectric transformer, made of lead zirconate titanate solid solution ceramic, is operated by a fundamental contour-extensional vibration mode. The transformer of 14mm length, 14mm width and 4.5mm thickness was made up two shape(Type I and II). The resonant frequency ( $f_r$ ) is 144kHz and 128kHz at the load resistant of 7.5 $\Omega$  that is a similar to calculating matching impedance. The gain (G) obtained 0.19 and 0.08 at each resonant frequency, when applied input voltage is 25V. The temperature difference with the variation of load resistant was increased with increasing load resistant and was the lowest at 7.5 $\Omega$  near the matching of output impedance.

**Key Words** : piezoelectric transformer, extensional mode, step-down voltage, Type I and II

#### 1. 서론

최근에 전자 산업이 급속도로 진전됨에 따라 전자 부품의 고성능화, 초소형화, 초고주파화 및 고신뢰성이 요구되고 있다. 우수한 재료의 개발로 이러한 진보된 기술의 교체 전자 부품을 제조할 수 있다. 압전 세라믹스는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 또는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 상호 변환하게 하는데 이러한 압전효과의 응용에는 부저, 필터, 공진기, 스피커 등 저전력 소자뿐만 아니라 초음파 모터, 액츄에이터, 변압기 및 소나 등 고전력 소자까지 범위가 넓다. 압전 세라믹으로 제조된 변압기는 그 대표적인 예라고 할 수 있는데 Rosen에 의해 압전 변압기의 원리와 응용에 관한 연구가 시작된 이후 압전 변압기는 기존의 권선형 변압기와 비교하여 구조가 매우 간단하며 소형, 경량이고 전기적 손실이 적다는 장점이 있다. 최근에는 TV 및 모니터용 전원부, 이온발생기와 전기집진장치, 각종 전자산업용 컴퓨터의 LCD panel의 backlight용 인버터의 변압기등과 같은 응용에 대하여 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 응용의 변압 특성은 저전압을 입력하여 고전압을 얻는 승압으로의 변압에 관한 연구들로 주류를 이

루어 왔다. 승압의 변압과 함께 각종 Converter나 Adapter 로의 응용이 가능한 감압의 변압 응용이 필요하지만 그 연구는 매우 저조한 실정이다. Ohnishi<sup>1-2)</sup> 등은 PbTiO<sub>3</sub>의 thickness 진동 모드를 응용하여 Converter 응용 가능성을 보였다. Zaitso<sup>3-5)</sup> 등은 PZT의 longitudinal 진동 모드를 선택하여 Adapter로의 응용 가능성을 실험하였다. M. Yamamoto<sup>6)</sup> 등은 fundamental contour-extensional 진동 모드를 사용하여 converter를 제작하였다. 위의 보고된 내용을 비교하면 thickness 나 longitudinal 진동 모드보다 fundamental contour-extensional 진동 모드를 사용 시 에너지 변환 효율이 높음을 알 수 있었다. J. Navas<sup>7)</sup> 등은 소자의 중심부를 도넛 형태로 가공하였을 때 spurious mode들이 제거됨을 보고하였다.

본 연구에서는 감압용 변압기를 적층형으로 제작하였다. 진동 모드는 fundamental contour-extensional 진동 모드를 선택하였고 감압 변압기의 모형을 두 가지 형태(Fig. 1(d))로 제작하여 부하저항 및 주파수에 따른 감압 특성과 온도 변화를 조사하였다.

## 2. 실험

PZT계 원료인 MPT(Hayashi Chemical Co.)를 tape casting을 통하여 두께가 65 $\mu$ m인 green sheet를 제작하였다. Sheet를 punching한 후 glue를 사용하여 dummy부분을 35 $^{\circ}$ C에서 가적층하였다. 가적층된 dummy는 Ag-Pd paste를 사용하여 내부 전극을 printing하여 glue를 사용하여 35 $^{\circ}$ C에서 적층을 하였다. 적층된 시편을 소결한 후 Ag paste를 사용하여 외부 전극을 입혀 소부하였다. 내부 전극 pattern과 적층 개략도와 소결 후 모형은 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(d)의 TypeII의 구멍 크기는 직경이 2.65mm이다. 시편의 분극 처리를 위해서 silicon oil bath에서 입력 부분에 전압 1.5kV, 출력 부분에 전압 400V를 각각 15분씩 가하였다. 분극 처리된 시편의 압전 특성과 유전 특성을 측정하기 위하여 HP Impedance analyzer(4194A)와 LCR meter를 사용하였다. 압전 특성은 공진 주파수에서 측정하였으며 유전 특성은 1kHz에서 측정하였다. 입력과 출력 부분의 유전 특성, 공진 주파수, impedance를 측정 후 감압 특성을 측정하였다. 각 시편의 감압 특성은 부하 저항을 5, 7.5, 10, 20, 50, 100 $\Omega$  으로 변화 시키면서 측정하였다. 입력 전압은 power 증폭기(NF ELECTRONIC INSTRUMENTS 4055/HIGH SPEED POWER AMPLIFIER)를 사용하여  $V_{rms}$  10V, 20V, 50V로 변화하였고 이때 사용된 함수 발생기는 WAVE FACTORY WF1944 이었으며 출력 전압은 Oscilloscope(Tektronix TDS3032 Two channel color Digital phosphor Oscilloscope)를 사용하여 측정하였다. 구동되는 시편의 온도 변화를 측정하기 위하여 공진 주파수에서 3분간 구동시킨 후 비접촉 온도계(Raytek RAYMX4PU-220V)를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Type I 과 II의 공진 주파수와 impedance와 유전 특성을 Table 1에서 비교하였다. 소자의 길이는 주파수 정수가 일정할 때 공진주파수에 대하여 반비례하기 때문에 TypeII의 공진주파수(fr)는 중심부의 구멍에 의해 길이가 길어져 Type I 보다 낮은 것을 알 수 있다. 또한 공진임피던스(Zr)도 TypeII가 더 높은 것을 알 수 있으며 구멍에 의해 면적이 줄어들어 용량값(C)도 작아짐을 알 수 있다. Matching 부하 저항( $R_L$ )은 다음과 같은 식으로 계산 하였다.

$$R_L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

TypeII가 더 높은 것을 알 수 있다.

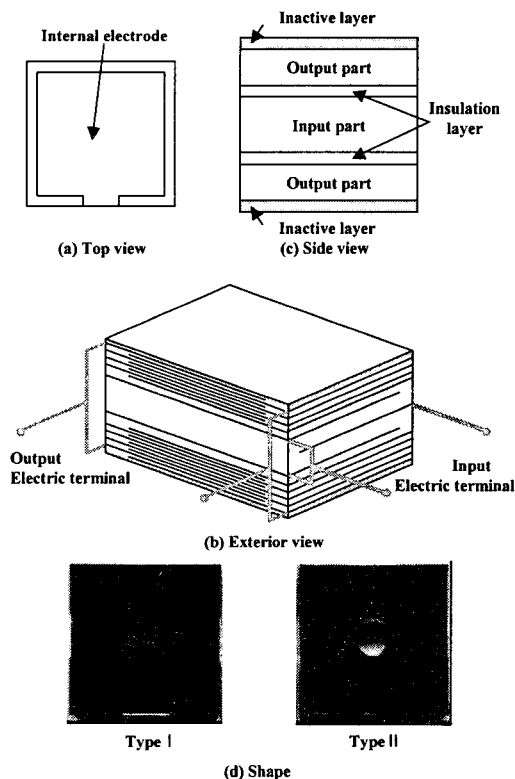


Fig. 1 감압 변압기의 모형도 :

- (a) Top view (b) Exterior view  
(c) Side view (d) Shape.

Table 1. Type I 과 II의 압전 특성 및 유전특성.

	Type I		Type II	
	입력	출력	입력	출력
fr (kHz)	150	148	134	130
fa (kHz)	159	159	139	139
Zr ( $\Omega$ )	3.24	0.26	10.9	0.39
Kp	0.37	0.42	0.31	0.41
C (nF)	3.45	149.9	3.20	144.2
$R_L$ ( $\Omega$ )	.	7.2	.	8.3

Fig. 2는 Type I 과 II의 주파수에 따른 임피던스 그래프로서 중심부의 구멍에 의해 180kHz 부근의 peak가 300kHz 부근으로 옮겨져 공진주파수 부근의 spurious mode가 제거되었음을 알 수 있다.

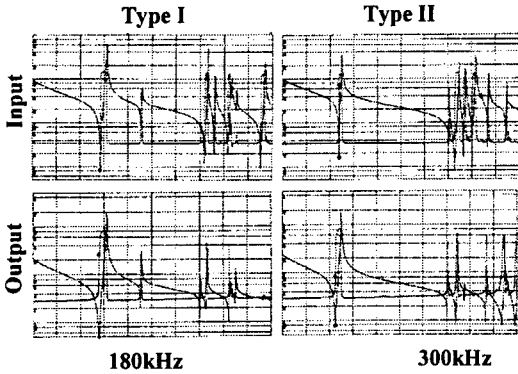


Fig. 2. Type I 과 II의 주파수에 따른 임피던스 특성

J. Navas<sup>7)</sup> 등이 보고한 바에 따르면 spurious mode 제거에 의해 300kHz에서 큰  $K_p$ 를 얻어 그 주파수를 구동 주파수로 사용하였다. 본 실험의 Type II에서 spurious mode를 제거 하여 300kHz에서 구동 시키려 했지만 이 주파수 부근의 spurious mode를 제거하지 못하였다. 그러나 peak들의 형상이 변하기 모형에 기인하는 것 같아 그 형상을 잘 제어 할 수 있다면 300kHz에서 큰  $K_p$ 를 얻을 수 있을 것이라 생각되어진다.

Fig. 3는 입력 전압 20V일 때 주파수와 부하 저항에 따른 Type I, II의 감압 특성을 나타낸 것이다. 공진주파수에서 최대의  $gain(V_2/V_1)$  G를 얻었으며 부하 저항이 증가 할수록 공진 주파수가 증가하는 것을 알 수 있었으며 M. Yamamoto<sup>6)</sup> 등이 보고한 것과 같은 결과를 얻었다.

Fig. 4는 입력 전압 25V에서 부하 저항에 따른 온도 변화를 각 구동 주파수에서 측정된 것을 나타낸 것으로 계산에 의한 matching 부하 저항에 근접한 7.5Ω에서 온도 변화가 낮았으며 matching 부하 저항보다 낮거나 높은 부하 저항에서는 온도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 7.5Ω에서 Type II가 Type I 보다 높은 것은 Table 1에서 Type II의 matching 부하 저항이 Type I 보다 높아 7.5Ω에서 그 차이 역시 크므로 온도가 더 높았다. 부하 저항이 높은 영역에서는 Type II의 온도

변화가 낮은 것을 알 수 있었다.

입력 전압의 변화에 대해서도 거의 일정한 감압 특성을 얻을 수 있음을 Fig. 5에서 알 수 있었다. Type I 과 II의 감압 특성이 차이가 나는 것은 Table 1에서  $K_p$ 가 다르기 때문이다.

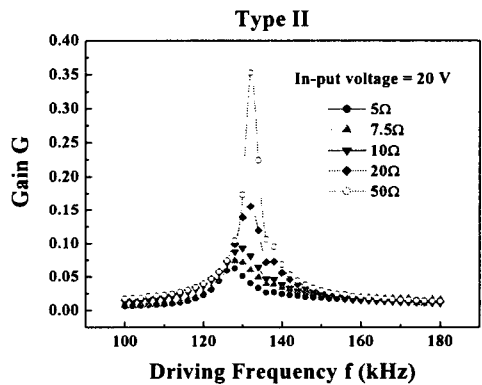
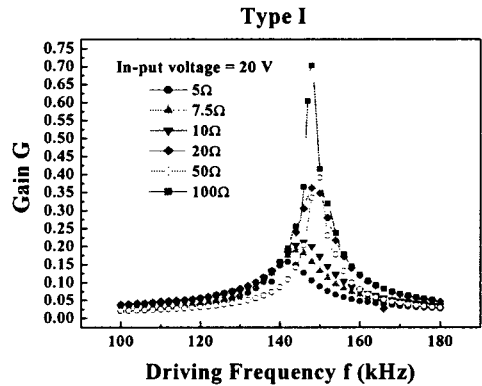


Fig. 3. 부하 저항에 변화에 따른 감압 특성.

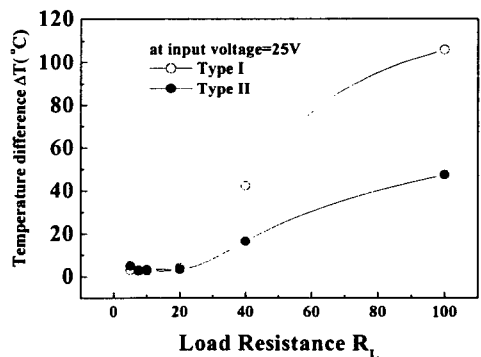


Fig. 4. 부하 저항에 따른 온도 변화.

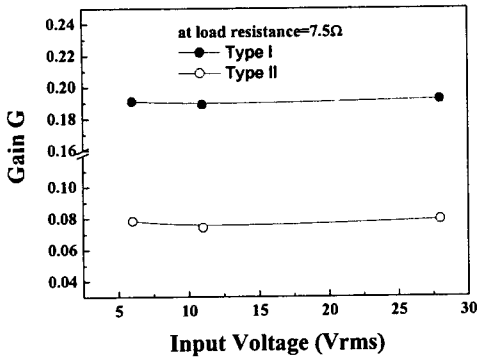


Fig. 5. 입력 전압에 따른 감압 특성.

#### 4. 결론

Fundamental contour-extensional 진동 모드를 가진 감압 변압기는 모형을 Type I 과 II로 제작하여 주파수 특성과 부하 저항에 따른 감압특성과 온도 변화를 조사하였다. Type II를 제작하여 spurious mode를 제거효과를 확실히 볼 수는 없었지만 형상 제어에 의해 300kHz에서 큰 kp값을 얻을 수 있다는 가능성을 확인 하였다. Type I 과 II 모두 부하 저항이 커질수록 공진 주파수는 높아진다는 것을 알 수 있었다. 입력되는 여러 전압에 대하여 감압 특성은 변하지 않았다. 부하 저항에 따른 각 공진 주파수에서 온도 변화는 matching 부하 저항에서 가장 낮았으며 부하 저항이 matching 부하 저항보다 낮거나 높을 경우에 온도 변화는 높아지는 것을 알 수 있었다. 부하 저항이 높아질수록 Type II의 온도 변화가 Type I 보다 낮은 것을 알 수 있었다. Type II의 감압 특성은 matching 부하 저항(=8.3Ω)과 비슷한 7.5Ω에서 25V의 입력 전압을 공급했을 때 공진 주파수는 128kHz이고 감압 특성은  $G=0.08$ 을 얻었으며 이때의 온도 변화는 3°C였다.

#### 참고 문헌

- [1] T. Zaitso, O. Ohnishi, T. Inoue, M. Shoyama, F. C. Lee, and G. C. Hua, "Piezoelectric Transformer operation in Thickness Extensional Vibration and Its Application to Switching Converter", IEEE, 585-589 (1994)
- [2] O. Ohnishi, Y. Sasaki, T. Zaitso, H. Kishie and T. Inoue, "Piezoelectric Ceramic

Transformer for Power Supply Operating in Thickness Extensional Vibration Mode", IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, VOL. E77-A, NO. 12 1994, 2098-2104

- [3] T. Zaitso, T. Ninomiya and M. Shoyama, "Piezoelectric Transformer Converter with PWM Control" IEICE TRANS. COMMUN. VOL. E80 B, NO. 7 1997, 1035-1043
- [4] T. Zaitso, T. Shigehisa, M. Shoyama and T. Ninomiya, "Piezoelectric Transformer Converter with PWM Control" IEEC. 279-283
- [5] T. Zaitso, Y. Fuda, Y. Okabe, T. Ninomiya, S. Hamamura and M. Katsuno, "Piezoelectric Transformer Converter for AC-adpater", IEEC 1997, 568-572
- [6] M. Yamamoto, Y. Sasaki, A. Ochi, T. Inoue and S. Hamamura, "Step-Down Piezoelectric Transformer for AC-DC Converters", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 40 No. 5B (2001) pp. 3637-3642
- [7] J. Navas, T. Bove, J. A. Cobos, F. Nuno and K. Brebol, "Miniaturised Battery Charger using Piezoelectric Transformers", APEC 2001, 16th Annual IEEE, Vol. 1, 2001, pp.492-496