

## 동일 방향으로 분극된 디스크형 압전변압기의 전기적 특성

### Electrical Characteristics of Disk-type Piezoelectric Transformer Poled with the Same Direction

이종필\*, 홍진웅

(Jong Pii Lee\* and Jin Woong Hong)

#### Abstract

For high voltage operation, a new type of piezoelectric transformer using radial vibration of disk, poled with the same direction was proposed. The piezoelectric ceramics was composed to PZT-PMN-PSN. The diameter and thickness of a disk type piezoelectric transformer were 45 [mm] and 4 [mm], respectively. The surface ratio of driving electrode and generating electrode of the piezoelectric transformer was 2:1. The resonance characteristics of input admittance, step-up voltage ratio and power transmission efficiency of the piezoelectric transformer were measured by varying the load resistance(0.1~70[kΩ]). As a result, both resonance frequency and step-up voltage ratio increased with increasing load resistance. The step-up voltage ratio was reached more than 60 times under no load resistance. The maximum efficiency of 97% at load resistance of 2kΩ was obtained.

**Key Words** : Piezoelectric transformer, Piezoelectric ceramics, Resonance characteristics, Load resistance, Resonance frequency

#### 1. 서론

Rosen type이나 이와 유사한 형태의 구조를 가진 압전변압기는 임피던스가 매우 높은 부하와의 정합면에서 우수한 특성을 지니고 있고, 권선형 변압기에 비해 고효율성, 경박단소(輕薄短小), 단순 구조, EMI가 없고, 제작의 용이성, 난연성(難練性), 승압비의 가변성 등의 장점을 갖고 있어서, TFT-LCD 모니터의 후면광원용 압전인버터에 채택되어 널리 사용되고 있다[1,2].

그렇지만 최근에는 Rosen type이 갖고 있는 저

출력의 한계를 극복하기 위해, 적층을 한다든지 또는 2개 이상의 압전변압기를 병렬 구동시킨다든지 하는 방법의 연구가 진행되어 왔으며, 한편으로는 효율을 개선하기 위해 압전변압기의 형상과 전극 패턴을 변화시키는 연구가 이루어지고 있다[3-5]. 또한, Rosen type의 압전변압기를 일반전원의 전압에서 구동하면 큰 구동전압에서 압전체가 파괴되기 쉽다는 것과 임피던스 정합이 어렵게 되므로 효율이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 일반 형광등 조명용에 적용하려는 새로운 형태의 압전변압기에 대한 연구가 일부 이루어지고 있다[6,7].

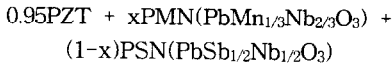
본 연구에서는 형광등용 압전변압기를 개발하기 위해, 새로운 형태의 디스크형 압전변압기를 제작하여 구동부와 발전부의 전극 패턴을 설계하고 또한 구동부와 발전부의 분극처리를 동일 방향으로 한 후, 전기적 출력 특성을 검토하고자 하였다.

\* : 광운대학교 전기공학과  
(서울시 노원구 월계동 447-1,  
Fax: 02-915-4630  
Corresponding Author : jp1212@hanmir.com)  
2003년 5월 6일 접수, 2003년 5월 27일 1차 심사완료,  
2003년 6월 16일 최종 심사완료

## 2. 실험

### 2.1 시편 제조

시편의 조성은 다음과 같이 3성분계로 하였다.



압전변압기의 적용에 앞서, 우선 압전체의 물성을 검토하고자 직경 12mm, 두께 1mm의 디스크 시편을 제작하여 분극처리하였다. 압전 정수  $d_{33}$ 의 측정에는 Piezo  $d_{33}$  meter를 사용하였으며, 다른 압전 정수는 임피던스 분석기(HP 4194A)로부터 얻은 공진-반공진 등가 어드미턴스 회로의 각 소자값을 IRE의 규정에 적용하여 구하였다.

조성계 중에서 압전변압기의 요구특성에 적합하다고 생각되는 즉, 전기기계결합계수와 기계적 품질계수 및 손실계수를 동시에 고려하여 선정하였으며, 압전세라믹의 물성은 표 1과 같다.

표 1. 압전 세라믹의 물성.

Table 1. Properties of piezoelectric ceramics.

$\epsilon^T_{33}/\epsilon_0$	$\tan \delta$	$k_p$	$d_{33}$	$Q_m$
1200	0.3%	0.53	320	1100

새로운 형태의 디스크형 압전변압기의 제작은 위 물성을 가진 조성으로 하였으며, 그림 1과 같이 디스크형 압전세라믹을 소성하고 연마한 후, 은전극 및 분극처리를 행하였다.

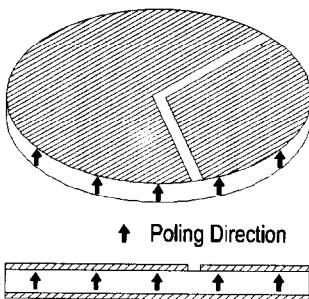


그림 1. 디스크형 압전변압기.

Fig. 1. Disk-type piezoelectric transformer.

그림 1의 압전변압기의 크기와 형상은 직경 45mm, 두께 4mm인 디스크이다. 위면의 전극 패턴은 원의 중심에서 전극 면적비가 2:1이 되도록

은전극을 도포하였으며, 전극간 간격은 1mm로 하였다. 한편, 아래면은 전극간 간격이 없는 전체를 은도포하였다. 이렇게 전극 패턴을 한 후, 구동부는 위면의 면적비가 2인 부분과 아래면을 그리고 발전부는 위면의 면적비가 1인 부분과 아래면을 각각 입출력단자로 사용하였다. 분극 조건은 120℃의 온도하에서, 3kV/mm의 전계를 30분 동안 시편에 인가하였으며, 구동부와 발전부의 분극방향은 같다.

### 2.2 특성 측정

디스크형 압전변압기의 전기적 입출력 특성인 입출력전압과 전류 및 위상차의 측정에는 그림 2와 같이 회로를 구성하여, 오실로스코프(Tektronix, TDS1002)로 측정하였으며, 이 때 부하저항의 변화 범위는 100Ω~70kΩ로 하였다. 그리고 구동부의 인가 전압은 3.65V<sub>rms</sub>로 고정하였고, 구동주파수는 부하저항 변화에 따른 각각의 공진주파수를 인가하였다.

부하저항별 구동부의 어드미턴스의 공진 특성은 그림 3과 같이 구성하여 부하저항을 변화시키면서 임피던스분석기(HP 4194A)로 측정하였다.

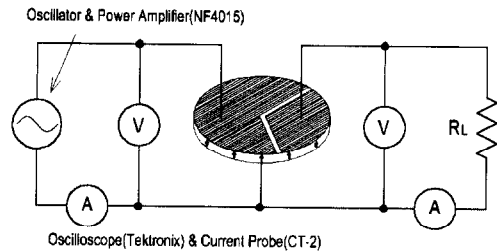


그림 2. 압전변압기의 전기적 특성 측정회로.

Fig. 2. Measuring apparatus for electrical properties of piezoelectric transformer.

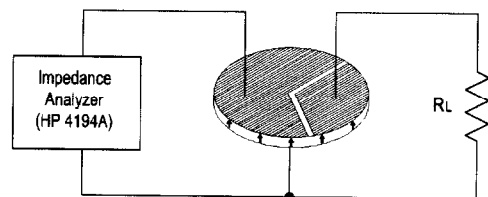


그림 3. 부하저항별 압전변압기의 공진특성 측정회로.

Fig. 3. Measuring apparatus for resonance properties of piezoelectric transformer.

### 3. 결과 및 고찰

그림 4와 5는 100Ω~70kΩ의 범위에서 부하저항을 변화시킬 때, 구동부의 어드미턴스 등가회로의 공진 근처에서 나타난 각종 주파수를 임피던스 분석기에 의해 측정된 것이다.

그림 4에서 보듯이 부하저항이 증가함에 따라 최대 서셉턴스주파수( $f_1$ )는 약간 다른 경향을 보이지만, 최대 어드미턴스주파수( $f_m$ ), 직렬공진주파수( $f_s$ ) 및 공진주파수( $f_r$ )는 증가하고 있으며,  $f_1 < f_m < f_s < f_r$  순으로 측정되었다. 또한 약 500Ω 이하 또는 10kΩ 이상의 부하저항 범위에서는 각각의 주파수 차이의 폭은 감소하고 있다.

또한 그림 5에서 보듯이, 최소 어드미턴스주파수( $f_n$ ), 병렬공진주파수( $f_p$ ) 및 반공진주파수( $f_a$ )도 부하저항이 증가하면서 증가하였으며, 최소서셉턴스주파수( $f_2$ )는 증가하다가 부하저항이 커지면서 감소하는 경향을 보였다. 그리고  $f_2 < f_a < f_p < f_n$  순으로 측정되었다.

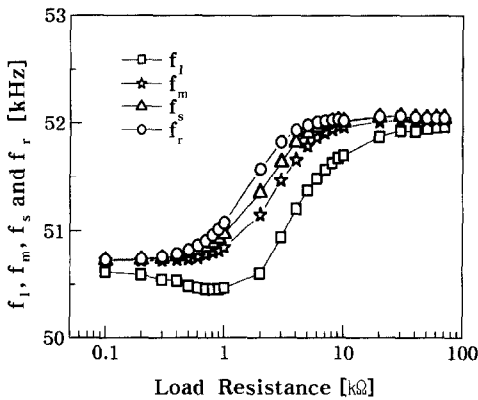


그림 4. 부하저항별 구동부의 최대 서셉턴스 주파수( $f_1$ ), 최대 어드미턴스 주파수( $f_m$ ), 직렬공진주파수( $f_s$ ) 및 공진주파수( $f_r$ )의 변화.

Fig. 4. The variation of the frequency of maximum susceptance( $f_1$ ) and maximum admittance( $f_m$ ), serial resonance frequency( $f_s$ ) and resonance frequency( $f_r$ ) of generating part with load resistance.

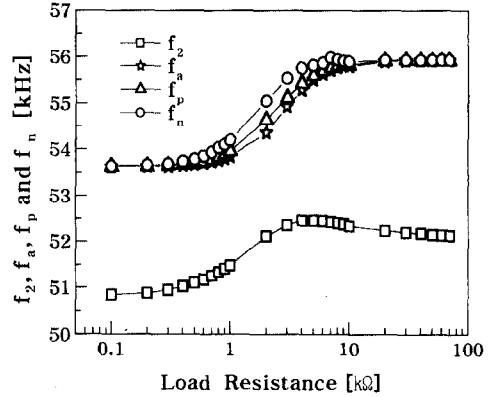


그림 5. 부하저항별 최소서셉턴스주파수( $f_2$ ), 최소 어드미턴스주파수( $f_n$ ), 병렬공진주파수( $f_p$ ) 및 반공진주파수( $f_a$ )의 변화.

Fig. 5. The variation of the frequency of minimum susceptance( $f_1$ ) and minimum admittance( $f_m$ ), parallel resonance frequency( $f_p$ ) and antiresonance frequency( $f_a$ ) with load resistance.

그림 6과 7은 구동부에 부하저항별 각각의 공진 주파수를 인가하면서 측정된 입출력 전류 및 전력을 나타낸 것이다.

그림 8은 승압비 및 효율을 나타낸 것이다.

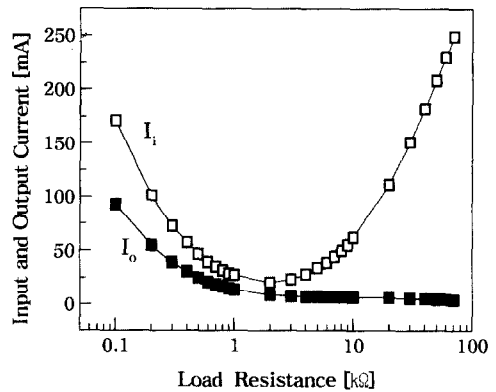


그림 6. 부하저항별 입력전류( $I_i$ ) 및 출력전력( $I_o$ ).

Fig. 6. Input current( $I_i$ ) and output current( $I_o$ ) with load resistance.

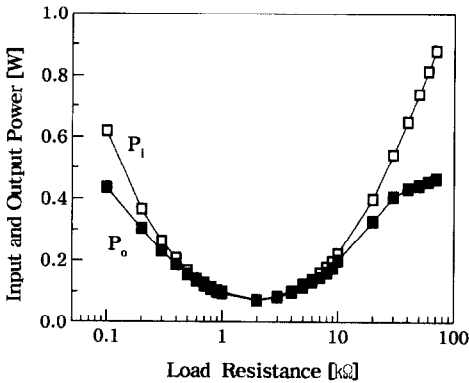


그림 7. 부하저항별 입력전력( $P_i$ ) 및 출력전력( $P_o$ ).  
Fig. 7. Input power( $P_i$ ) and output power( $P_o$ ) with load resistance.

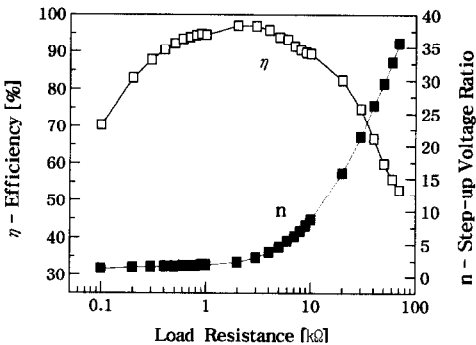


그림 8. 부하저항별 효율 및 승압비.  
Fig. 8. The efficiency and step-up voltage ratio with load resistance.

승압비는 부하저항이 100Ω ~ 1kΩ까지는 1.3 ~ 1.9로 서서히 증가하다가 그 이후의 부하저항부터는 점점 큰 폭으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 한편 무부하에서의 승압비는 약 60배로 나타났다.

일반적으로 승압비는 식 (1)로 표현되는 유효 전기기계결합계수  $k_{eff}$ 와 기계적 품질계수  $Q_m$ 와 관계가 있으며[8], 즉,  $k_{eff}$ 와  $Q_m$ 에 비례하여 승압비는 증가하게 된다.

$$k_{eff}^2 = \frac{f_p^2 - f_s^2}{f_p^2}, \quad Q_m = \frac{f_s}{f_2 - f_1} \quad (1)$$

여기서,  $f_s$ 는 직렬공진주파수,  $f_p$ 는 병렬공진주

파수,  $f_1$ 은 최대 서셉턴스일 때의 주파수,  $f_2$ 는 최소 서셉턴스일 때의 주파수이다.

그림 9는 식 (1)로부터 계산된 유효 전기기계결합계수  $k_{eff}$ 와 품질계수  $Q_m$ 를 부하저항의 변화에 따라 나타낸 것이다. 이 때  $f_s$ ,  $f_p$ ,  $f_1$  및  $f_2$ 는 그림 4와 그림 5에 측정된 값을 적용하였다.

그림 9에서 보듯이, 전기기계결합계수는 부하저항이 증가함에 따라 증가하므로 승압비의 증가경향과 일치하고 있음을 알 수 있다.

그러나 기계적 품질계수  $Q_m$ 은 부하저항이 1kΩ 이상에서는 승압비와 마찬가지로 증가하고 있지만, 1kΩ 이하의 부하저항에서는 반대경향을 보여주고 있다. 이것은 압전변압기의 밀면을 공통으로 사용함에 따라 저저항에서는 구동부와 더불어 발전부도 공진의 영향을 받고 있다고 생각된다. 또한 구동부와 발전부간의 커패시터 성분이 존재할 수 있다는 것을 생각해 볼 수 있다. 이는 그림 10에서 보듯이 구동부에 1kHz에서의 정전용량을 부하저항을 변화시키면서 측정한 구동부의 정전용량 값으로서, 1kΩ에서의 급격한 감소를 나타내는 사실과 연관성이 있다고 생각된다. 그리고 임피던스분석기의 어드미턴스 곡선에 hump와 같은 작은 진동모드가 공진주파수와 반공진주파수 사이에 존재하는데 이 사이는 유도성이므로 용량성이 존재해야 생길 수 있는 것으로서, 구동부와 발전부 사이에 커패시터 성분이 존재한다고 생각된다.

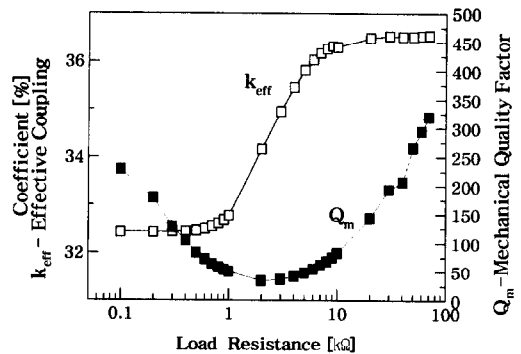


그림 9. 부하저항별 유효 전기기계결합계수 및 기계적품질계수.

Fig. 9. The effective coupling factor and mechanical quality factor with load resistance.

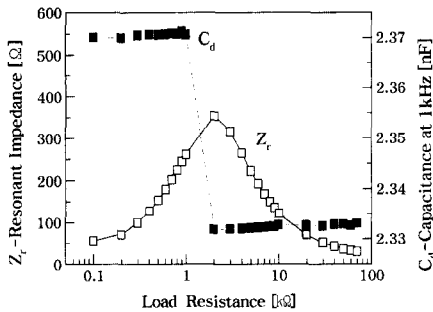


그림 10. 부하저항별 공진임피던스 및 세지용량의 변화.

Fig. 10. The variation of resonance impedance and capacitance at 1 kHz with load resistance.

한편, 최대 효율은 식 (2)와 같이 부하저항과 출력임피던스가 같을 때 얻어진다.

$$R_{optimal} = \frac{1}{\omega C_d} \quad (2)$$

여기서  $\omega$ 와  $C_d$ 는 각각 발전부의 공진주파수 및 세지용량이다.

발전부의 세지용량은 1.3715 nF이었으며, 그림 4의 구동부의 부하저항별 공진주파수를 식 (2)에 의해 구한 결과 약 2.2 kΩ으로 계산되었으며, 그림 8에 나타낸 측정결과 2 kΩ의 부하저항에서 최대 97% 정도를 보이고 있다. 즉, 발전부의 출력임피던스가 부하저항과 매칭될 때 구동부의 입력전력이 출력부로 최대로 이루어짐을 확인할 수 있었다. 그 이하의 부하저항에서도 95~93%를 유지하고 있다. 향후 구동부와 발전부의 전극비 변화에 따른 전기적 출력 특성에 관한 연구가 진행되면 부하저항과의 매칭부분에 대한 개선이 더 이루어 질 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 디스크형 압전변압기를 제작하여 동일방향으로 분극한 후, 전기적 출력 특성을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

구동부와 발전부를 동일방향으로 동시에 분극처리할 수 있었으며, 분극시 높은 인가전계를 가할

수 있었다.

부하저항이 클수록 승압비는 증가하고 있으며, 특히 1 kΩ 이상에서 승압비의 증가폭은 크게 나타났으며, 무부하 승압비는 약 60배 이상이었다. 효율은 2 kΩ의 부하저항에서 최대 97%로 나타났다.

#### 참고 문헌

- [1] Y. Shimada, S. Kawashima, N. Furuhashi, M. Sugimoto, Y. Sato, H. Suzuki, and K. Isobe, "LCD backlight inverter using piezoelectric transformer", NEC Technical Journal, Vol. 48, No. 10, p. 122, 1995.
- [2] Fuda Y, Kumasaka K, Katsuno M, Sato H and Ino Y, "Piezoelectric transformer for cold cathode fluorescent lamp inverter", JJAP Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol. 36, No. 5B, 1997.
- [3] Yasuhiro Sasaki, Koichi Zama, Atsushi Ochi, Mitsuru Yamamoto, and Susumu Saito, "Multilayer piezoelectric transformer for 10W use", NEC Technical Report, Vol. 51, No. 10, p. 81, 1998.
- [4] Hoy-Seung Jeong, Byung-Cheul Choi, Ju-Hyun Yoo, In-Ho IM, and Chang-Yup Park, "Pararell Driving of Piezoelectric Transformers", JJAP, Vol. 38, No. 9A, p. 5166, 1999.
- [5] Sakurai K, Shindou S, Ohnishi K, and Tomikawa Y, "Characteristics of a 1st radial-vibration-mode-disk coupler-type piezo-electric ceramic transformer", JJAP Part1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol. 37, No. 9B, p. 5326, 1998.
- [6] Katsutoshi Sakurai, Kazumasa Ohnishi, and Yoshiro Tomikawa, "Presentation of a new equivalent circuit of a piezoelectric transformer under high-power operation", JJAP, Vol. 38, No. 9B, p. 5592, 1999.
- [7] 황상모, 류주현, 황락훈, 김주래, 홍재일, 박창엽, 김종선, "압전트랜스포머를 이용한 T5(28W) 형 광등 안 전기 회로의 전기적 특성", 전기전자재료 학회논문지, 14권, 9호, p. 736, 2001.
- [8] Masatosi Imori, Takashi Taniguchi, and Hiroshi Matsumoto, "A photomultiplier high-voltage power supply incorporating a ceramic transformer driven by frequency modulation", IEEE Trans. on Nuclear Science, Vol. 45, No. 3, 1998.