

## A Electrical Characteristics of Disk-type Piezotransformer with Electrode Ratio of Driving and Generating Part

李鍾弼\* · 蔡洪仁\*\* · 鄭秀鉉\*\*\* · 洪眞雄§  
 (Jong-Pil Lee · Hong-In Chae · Su-Hyun Jeong · Jin-Woong Hong)

**Abstract** - In order to develop piezoelectric transformer for the ballast of fluorescent lamp, a new shape and electrode pattern of piezoelectric transformer has been investigated in this work. The composition of piezoelectric ceramics was  $0.95\text{Pb}(\text{Zr}_{0.51}\text{Ti}_{0.49})\text{O}_3 + 0.03\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 + 0.02\text{Pb}(\text{Sb}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ . The sample prepared by this composition system showed the characteristics which has about 1200 of relative dielectric constant, 1100 of the mechanical quality factor, 0.53 of the electromechanical coupling coefficient, 320 pC/N of the piezoelectric constant  $d_{33}$ , 0.3 % of the dissipation factor. Diameter and thickness of disk-type piezoelectric transformer was 45 mm and 4 mm, respectively. The driving and generating electrode with their gap of 1mm were fabricated on the top surface. But the common electrode was fabricated on the whole bottom surface. The electrode surface ratio of driving and generating part on the top surface ranges from 1.4:1 to 3:1. We investigated the electrical characteristics with the variation of the electrode surface ratio of driving and generating part in the range of load resistance of 100  $\Omega$  ~ 70 k $\Omega$ . The set-up voltage ratio of this piezoelectric transformer increases with increasing both the electrode surface of driving part and the load resistance. The set-up voltage ratio at no load resistance was more than 60 times. On the other hand, the efficiency decreases with increasing the electrode surface of driving part. In the case of the electrode surface of both 1.4:1 and 2:1, maximum efficiency showed above 97 % at load resistance of 2 k $\Omega$ . However, in the case of the electrode surface of 3:1, maximum efficiency showed about 94 % at load resistance of 3 k $\Omega$ .

**Key Words** : piezoelectric transformer, piezoelectric ceramic

### 1. 서 론

압전변압기는 구동부에 공진주파수의 전압을 인가하여 발생된 압전세라믹의 기계적 진동이 발전부로 전달되어 기계적 진동을 일으키고 이것이 발전부에서 전기적 출력으로 변환된다. 출력특성으로서 승압비는 압전체의 길이나 두께, 전극 패턴, 전기기계 결합계수와 기계적 품질계수 등과 관련이 있으며, 그 외 압전변형정수, 유전율, 손실계수( $\tan \delta$ ) 및 입도 분포 등도 출력 특성에 영향을 미치는 요인들이다.

Rosen type이나 이와 유사한 형태의 구조를 가진 압전변압기는 임피던스가 매우 큰 부하와의 정합면에서 우수한 특성을 지니고 있어서, TFT LCD 모니터의 후면광원용 압전 인버터에 채택되어 널리 사용되고 있다[1,2].

그렇지만 최근에는 Rosen type이 갖고 있는 저출력의 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 이러한 Rosen type의 압전변압기를 일반전원의 전압에서 구동하면 압전체가 큰 구동전압에서 파괴되기 쉽다는 것과 임피던스 정합이 어렵게 되어 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, 두 부분의 분극처리는 동일 방향으로 하였다. 그리고 구동부와 발전부의 전극비를 변화시키면서 전기적 출력 특성을 측정하고 검토하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 시편제조

디스크형 압전변압기에 적용된 압전세라믹의 조성은  $0.95\text{Pb}(\text{Zr}_{0.51}\text{Ti}_{0.49})\text{O}_3 + 0.03\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 + 0.02\text{Pb}(\text{Sb}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 이며, 시편제조는 일반적인 세라믹 소성과정을 거쳤다. 조성계 중에서 압전변압기의 요구특성에 적합하다고 생각되는 즉, 전기기계 결합계수와 기계적 품질계수 및 손실계수를 동시에 고려하여 선정하였으며, 압전세라믹의 물성은 표 1과 같다.

\* 正會員 : 光云大 工大 電氣工學科 博士修了  
 \*\* 正會員 : 舟城大 電子新素材工學科 副教授 · 工博  
 \*\*\* 正會員 : 大元科學大 電氣電子科 副教授 · 工博  
 § 正會員 : 光云大 電氣工學科 教授 · 工博  
 接受日字 : 2003年 7月 25日  
 最終完了 : 2003年 9月 4日

표 1 압전세라믹의 물성

Table 1 Properties of piezoelectric ceramics

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

위의 물성을 가진 조성계를 이용하여 디스크형 압전변압기를 그림 1과 같이 제작하였으며, 직경 45mm, 두께 4mm로 연마하였다. 위면의 구동부와 발전부의 전극비를 그림 2와 같이 1.4:1, 2:1, 3:1이 되도록 하였으며, 전극간 간격은 1mm이며, 아래면은 공통으로 전극간 간격이 없도록 하였다. 분극 조건은 120°C의 온도하에서, 3kV/mm의 전계를 30분 동안 시편에 인가하였으며, 구동부와 발전부의 분극방향은 그림 1과 같이 같은 방향이 되도록 처리하였다.

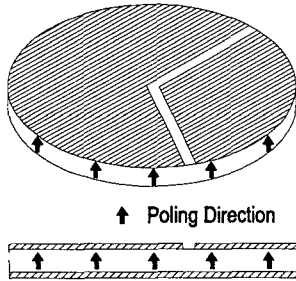


그림 1 디스크형 압전변압기.  
Fig. 1 Disk-type piezoelectric transformer

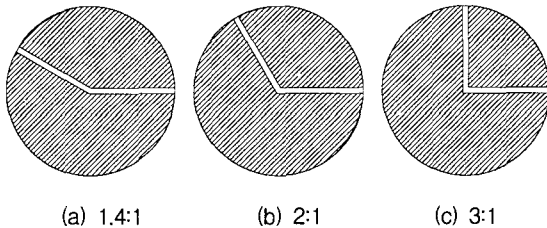


그림 2 구동부와 발전부의 전극 패턴  
Fig. 2 Electrode pattern of driving and generating part

2.2 특성 측정

디스크형 압전변압기의 전기적 입출력 특성인 입·출력 전압과 전류 및 위상차의 측정은 그림 3과 같이 측정회로를 구성하여, 오실로스코프(Tektronix, TDS1002)로 측정하였으며, 이 때 부하저항의 범위는 100Ω~70kΩ로 하였다. 그리고 구동부의 인가전압은 3.60V<sub>rms</sub>로 고정하였고, 구동주파수는 부하저항 변화에 따른 각각의 공진주파수를 인가하였다.

부하저항별 구동부의 어드미턴스의 공진 특성은 그림 4와 같이 구성하여 부하저항을 변화시키면서 임피던스 분석기(HP 4194A)로 측정하였다.

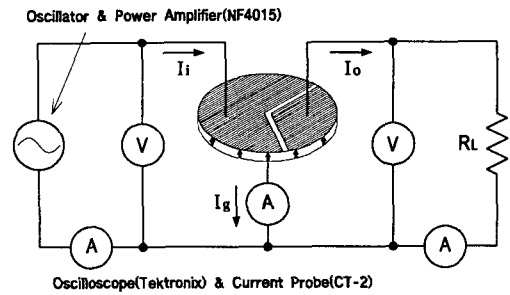


그림 3 압전변압기 전기적 특성 측정회로  
Fig. 3 Measuring apparatus for electrical properties of piezoelectric transformer

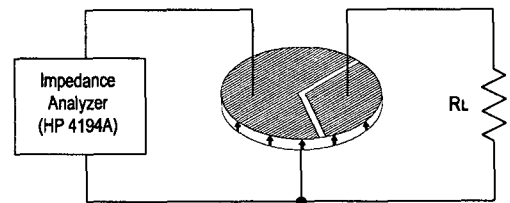


그림 4 압전변압기의 공진특성 측정회로  
Fig. 4 Measuring apparatus for resonance properties of piezoelectric transformer

3. 실험결과 및 고찰

그림 5는 100Ω~70kΩ 부하저항의 변화에 따른 구동부의 공진 및 반공진주파수를 그림 4의 임피던스 분석기에 의해 측정된 것이다. 공진주파수는 구동부의 전극면적이 커짐에 따라 감소하였으며, 또한 부하저항이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

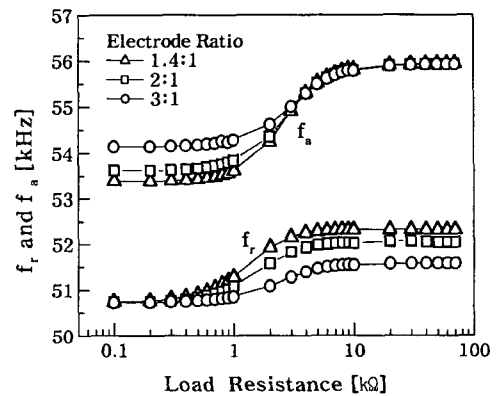


그림 5 전극비별 부하저항별 압전변압기의 구동부의 공진주파수( $f_r$ ) 및 반공진주파수( $f_a$ )  
Fig. 5 The variation of resonance frequency( $f_r$ ) and anti-resonance frequency( $f_a$ ) with electrode ratio and load resistance

그림 6은 구동부에 입력전압 3.60V<sub>rms</sub>, 그림 5에서 측정된 부하저항별 각각의 공진주파수를 인가하면서 오실로스코프로 측정된 승압비를 나타낸 것이다.

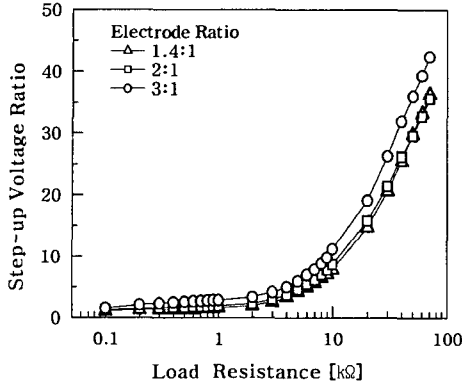


그림 6 전극비별 부하저항별 승압비  
Fig. 6 Step-up voltage ratio with electrode ratio and load resistance

그림 6에서 보듯이, 구동부의 전극면적이 커질수록 승압비는 증가하고 있다. 이는 구동부의 전극면적이 커질수록 기계적 변형은 크게 발생할 것이며, 아울러 발전부로 전달되는 기계적 변형이 크게 작용하기 때문이라 생각된다. 또한, 구동부의 전극면적이 클수록, 발전부의 전극면적이 작을수록 압전세라믹 고유의 공진 특성은 양호해짐으로 인해 승압비는 증가하는 것으로 생각된다. 또한 부하저항별 승압비의 경향은 부하저항이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여주고 있는데 이는 일반적인 압전 변환기에서 나타나는 현상과 같음을 알 수 있었다.

그림 7은 입력전압과 출력전압의 위상차를 측정하는 것인데, 구동부 전극면적이 감소함에 따라 또한 부하저항이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다.

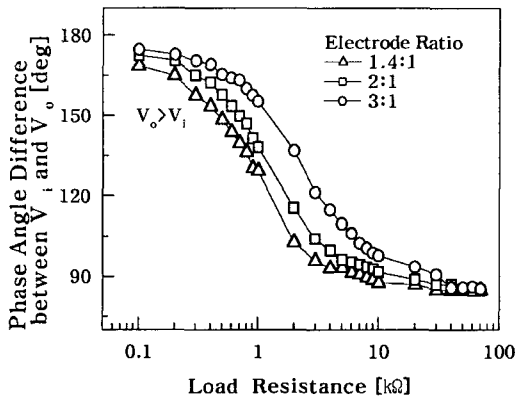


그림 7 전극비별 부하저항별 입출력전압간의 위상차  
Fig. 7 Phase angle difference between input and output voltage with electrode ratio and load resistance

한편, 부하저항이 0Ω(short)인 경우, 입·출력전압간의 위상차를 측정하는 결과 약 180도 차이가 발생했는데 이는 압전

변압기의 공진특성 및 분극과 연관성이 있다고 볼 수 있다. 즉, 구동부 전극에 공진주파수의 전압을 인가하여 발생된 압전세라믹의 기계적 변형이 발전부측으로 전달되어 기계적 변형을 일으키고 이것이 발전부에서 전기적 출력으로 변환되는 과정에서 구동부의 위면에 + 반주기의 전압이 인가되었을 때, 발전부는 - 전하가 유기되었음을 의미한다. 그리고 그림 7에서 보듯이 부하저항이 증가함에 따라 위상차가 점점 감소하는 것은 발전부를 일정한 크기의 전류원으로 보았을 때, 부하저항이 증가할수록 부하저항을 통해 흐르는 출력전류의 크기가 감소할 것이며, 이에 따라 발전부 전극에 남아있는 전하의 양이 점점 증가함으로써 위상차가 점점 감소되는 것으로 보여진다. 또한, 이러한 측면에서 볼 때 구동부의 전극면적비가 감소하고 발전부의 전극면적비가 증가하면 발전부에 남아있는 전하의 양은 증가될 것이므로 구동부의 전극면적이 감소할수록 위상차는 증가한다고 볼 수 있다. 발전부에 남아있는 전하의 양이 부하저항의 크기에 비례한다는 사실은 임피던스 분석기를 통해 얻은 어드미턴스의 공진-반공진 특성곡선에서 확인할 수 있었다. 또한, 부하저항이 3kΩ 이 후부터는 미소하지만 뚜렷한 hump가 관찰되었는데, 공진과 반공진 주파수 곡선 사이의 약 52kHz(전극비가 3:1인 경우) 부근에서 발생했으며, 공진주파수부터 반공진주파수 사이의 범위는 유도성이므로 용량성 성분이 존재해야 hump가 발생할 수 있다. 부하저항이 커지면서 이 hump의 크기도 증가하였는데, 이는 발전부의 전하의 양이 점점 증가하여 구동부의 전극과 발전부의 전극사이에 점점 용량성이 증가하였기 때문으로 볼 수 있다. 그리고 출력전류와 출력전압사이의 위상차도 부하저항이 3kΩ 이 후부터 생겨 점점 커짐을 확인할 수 있었다.

그림 8~11은 오실로스코프로 측정된 구동부의 입력전류  $I_i$ , 발전부의 출력전류  $I_o$ , 아랫면인 공통 전극에 흐르는 전류  $I_g$  및  $I_i$ 와  $I_g$ 사이의 위상차  $\theta$ 를 나타낸 것이다.

그림 8에서 입력전류  $I_i$ 는 부하저항이 100Ω에서 2 또는 3kΩ까지는 감소하다가 그 이후는 증가하는 경향을 보였다. 한편, 출력전류  $I_o$ 는 그림 9에서 보듯이 부하저항이 증가하면서 비례적으로 감소하고 있다.

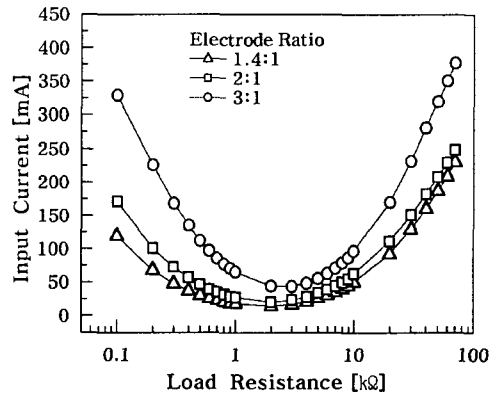


그림 8 전극비별 부하저항별 구동부의 입력전류  
Fig. 8 Input current with electrode ratio and load resistance

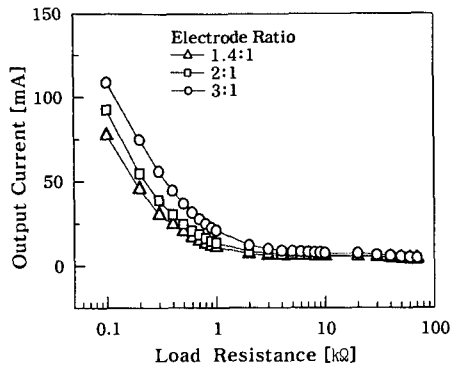


그림 9 전극비율 부하저항별 발전부의 출력전류  
 Fig. 9 Output current with electrode ratio and load resistance

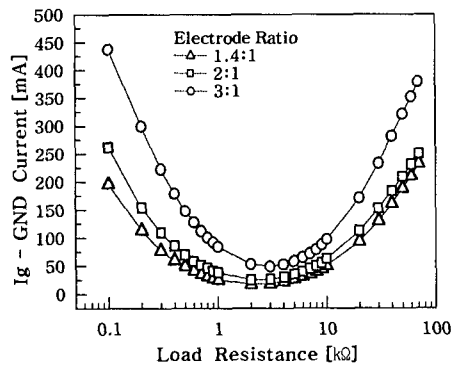


그림 10 전극비율 부하저항별 공통 전극에 흐르는 전류  
 Fig. 10 Current of common terminal with electrode ratio and load resistance

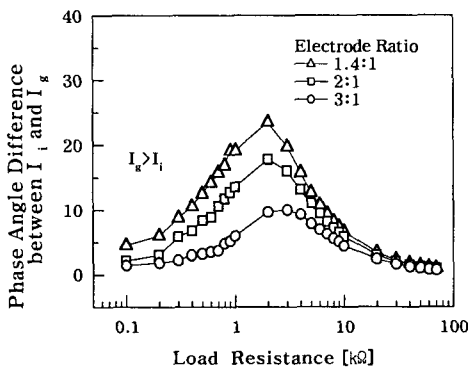


그림 11 전극비율 부하저항별 입력전류와 공통전극에 흐르는 전류의 위상차  
 Fig. 11 Phase angle difference between input current and current of common terminal with electrode ratio and load resistance

부하저항이 100Ω~2 또는 3kΩ인 범위에서의 입력전류는 출력전류가 부하저항이 증가하면서 감소하는 것과 더불어 감소하고 있다. 그러나 2 또는 3kΩ 이 후의 부하저항부터는

입력전류의 크기가 다시 증가하고 있는데, 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 부하저항이 클수록 부하저항을 따라 흐르는 출력전류의 크기가 감소하여 발전부 전극에 남아있는 전하의 양이 점점 증가한 것에 기인된다고 보여진다. 발전부에 전하가 많이 남아 있을수록 기계적 공진을 일으키는 구동부는 발전부의 영향을 덜 받게 될 것이며 공진특성은 양호해질 것이다. 그림 5의 측정 데이터에서도 보듯이 공진주파수도 증가하게 된다. 따라서 공진의 첨예도가 증가하면서 구동부의 공진저항은 감소하게 되어 입력전류의 증가를 초래한다고 생각된다. 그림 12는 임피던스 분석기에서 측정된 부하저항별 공진저항값을 나타낸 것으로써 위와 설명을 뒷받침하고 있다.

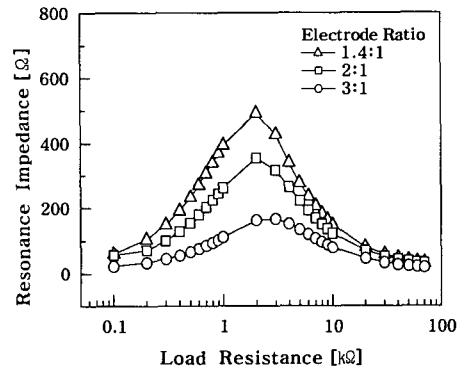


그림 12 전극비율 부하저항별 공진 임피던스  
 Fig. 12 Resonance impedance with electrode ratio and load resistance

한편, 공통 전극에 흐르는 전류  $I_g$ 의 경향은 입력전류의 경향과 유사함을 보였다. 이들 전류값들도 구동부의 전극면적이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그림 7과 같이 입력전류  $I_i$ 와 출력전류  $I_o$ 는 위상차가 있으므로, 공통 단자에 흐르는 전류  $I_g$ 는 두 전류의 페이저 합과 같으며, 크기와 위상차에 대한 계산 결과와 측정값과 거의 일치하고 있음을 확인하였으며, 계산된  $I_g$ 의 값과 위상차  $\theta$  값을 그림 10과 11에 나타냈다.

그림 13은 전극비율 부하저항별 효율을 측정하여 나타낸 것으로서, 구동부의 전극면적비가 클수록 약간씩 감소하는데, 최대효율은 전극비가 1.4:1과 2:1인 경우 부하저항 2kΩ에서 일어졌으며, 3:1인 경우는 3kΩ에서 일어졌다.

전극비율 효율은 그림 12의 구동부의 공진저항과 관계가 있으며, 즉, 공진저항이 작으면 구동부에 열의 발생이 수반되어 효율이 저하될뿐더러 안정적인 구동을 하기가 어렵게 된다. 최대 효율은 식 (1)과 같이 부하저항과 발전부의 출력 임피던스가 같을 때 얻어진다.

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

여기서,  $\omega$ 와  $C_d$ 는 각각 인가공진주파수 및 발전부의 정전용량이다.

각각의 전극비율 압전변압기의 발전부의 정전용량을 임피던스 분석기로 측정된 결과, 구동부와 발전부의 전극비가

1.4:1, 2:1, 3:1인 경우 각각 1.540, 1.371, 1.044nF이었으며, 이것과 인가 공진주파수를 식 (1)에 넣고  $R_{optimal}$ 를 계산하면 1.4:1인 경우 1.97k $\Omega$ , 2:1인 경우 2.23k $\Omega$ , 3:1인 경우 2.99k $\Omega$ 이었다. 그림 13의 측정결과에서 보면, 전극비가 1.4:1과 2:1인 경우 2k $\Omega$ 의 부하저항에서 최대 효율이 97% 이상으로 나타났으며, 3:1의 전극비에서는 2k $\Omega$ 의 부하저항에서 94%의 최대 효율을 보였다. 즉, 발전부의 출력입피던스가 부하저항과 매칭될 때 구동부의 입력전력이 발전부로 최대 전달됨을 확인할 수 있었다.

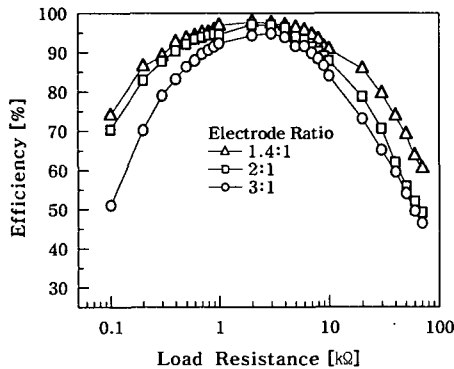


그림 13 전극비별 부하저항별 효율  
Fig. 13 The efficiency with electrode ratio and load resistance

#### 4. 결 론

본 연구에서는 새로운 타입의 디스크형 압전변압기를 제작하여 구동부와 발전부를 동일방향으로 분극한 후, 전기적 출력 특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

구동부와 발전부의 분극방향을 동일하게 처리함으로써 분극시 고전계를 인가하여도 압전체의 파괴가 수반되지 않았으며, 한꺼번에 분극처리를 행함으로써 분극시간도 단축시킬 수 있었다.

구동부 전극면적이 클수록 또한 부하저항이 클수록 승압비는 증가하는 경향을 보였다. 특히 2k $\Omega$  또는 3k $\Omega$  이상에서 승압비의 증가폭은 점점 크게 나타났으며, 무부하 승압비는 모두 약 60배 이상이었다.

입력전압과 출력전압의 위상차는 구동부 전극면적이 증가할수록 또한 부하저항이 커질수록 감소하였으며, 압전변압기 아래면의 공통전극을 통해 흐르는 전류는 입력전류와 출력전류의 합임을 알 수 있었다.

효율은 구동부와 발전부의 전극비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 전극비가 1.4:1과 2:1인 경우 2k $\Omega$ 의 부하저항에서 그리고 3:1인 경우는 3k $\Omega$ 의 부하저항에서 최대 효율을 나타냈다.

#### 참 고 문 헌

- [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, pp.122-126, 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, pp.81-84, 1998.
- [4] Hoy-Seung Jeong, Byung-Cheul Choi, Ju-Hyun Yoo, In-Ho IM and Chang-Yup Park, "Pararell Driving of Piezoelectric Transformers", JJAP Part 1, Vol.38, No.9A, pp.5166-5169, 1999.
- [5] Sakurai K, Shindou S, Ohnishi K, and Tomikawa Y, "Characteristics of a 1st Radial-Vibration-Mode-Disk Coupler-type Piezoelectric Ceramic Transformer, JJAP Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol.37, No.9B, pp.5326-5329, 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, pp.5592-5597, 1999.
- [7] Masatosi Imori, Takashi Taniguchi and Hiroshi Matsumoto, "A Photomultiplier High-Voltage Power Supply Incorporating a Ceramic Transformer Driven by Frequency Modulation", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.45, No.3, 1998.

저 자 소 개



**이 중 필 (李 鍾 弼)**

1962년 1월 21일생. 1990년 원광대 전기 공학과 졸업. 1998년 광운대 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기 공학과 박사과정 수료. 2003년 현재 청주 한국전기학원 원장

Tel : 043-275-9462

E-mail : jpl212@hanmir.com



**채 홍 인 (蔡 洪 仁)**

1960년 12월 2일생. 1984년 충북대 전기 공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 박사졸업(공학). 1993~2003년 현재 주성대 전자신소재공학과 부교수.

Tel : 043-210-8204, Fax : 043-214-6296

E-mail : hichae@jsc.ac.kr



**정 수 현 (鄭 秀 鉉)**

1962년 4월 8일생. 1985년 충북대 전기과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 박사졸업(공학). 1995~2003년 현재 대원과학대 전기전자과 부교수.

Tel : 043-649-3211

E-mail : shjeong@daewon.ac.kr



**홍 진 응 (洪 眞 雄)**

1955년 2월 23일생. 1982년 한양대학교 전기 공학과 졸업, 1982년~1987년8월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학), 1989년3월~현재 광운대학교 전자정보대학 전기공학과 교수, 1992년7월~1993년7월 일본나고야대학 전기공학과 해외공동

연구원, 2000년7월~2001년7월 일본큐슈공대 전기공학과 객원교수, 2003년2월~2005년1월 광운대학교 정보과학교 육원 원장.

Tel : 82-02-940-5145, Fax : 82-02-915-4630

E-mail : ealab@daisy.kw.ac.kr