

## 28W(T5) 형광등 구동용 압전트랜스포머의 전기적 특성

### Electrical Characteristics of Piezoelectric Transformer for Driving A 28W Fluorescent Lamp

류주현\*, 황상모\*, 윤광희\*, 김종선\*\*, 박창엽\*

(J. H. Yoo, S. M. Hwang, K. H. Yoon, J. S. Kim, C. Y. Park)

#### Abstract

In this study, contour-vibration-mode  $Pb(Ni_{1/2}, W_{1/2})O_3$ - $Pb(Mn_{1/3}, Nb_{2/3})O_3$ - $Pb(Zr, Ti)O_3$  piezoelectric transformers for driving a 28W(T5) fluorescent lamp were fabricated to the modified filter structure with ring and dot electrodes which has been developed for application in 455kHz AM radios. The piezoelectric transformers were fabricated to the size of  $31.5 \times 31.5 \times 2.5 \text{ mm}^3$  with the variations of ring/dot electrode area ratio. Driving of piezoelectric transformer was carried out with input region for the ring electrode and output region for the dot electrode. The electrical properties and characteristic temperature rises caused by the vibration were measured at various load resistances. A 28 W fluorescent lamp, T5, was successfully driven by the fabricated transformer. The transformer with ring/dot electrode area ratio of 1.83 exhibited the best properties in terms of output power, efficiency and characteristic temperature rise, 30.95 W, 97.57% and 8.3°C, respectively.

**Key Wards(중요용어)** : Efficiency(효율), 28W fluorescent lamp(28W 형광등), ring/dot(링돗트), temperature rise(온도상승)

#### 1. 서론

최근 들어, 형광등은 단위 전력당 발광효율(Lumens/W)을 증가시키고 램프의 재료를 절약하기 위하여 40W(직경 32mm $\phi$ )에서 32W(직경 26mm $\phi$ )로 대체되고 있다. 또한, 직경 16mm $\phi$ 의 28, 14W(T5) 형광등이 개발되어 향후 보급이 확산될 전망이다.[1] 초세관형 형광램프로서는 냉음극관(직경 2mm $\phi$ -5mm $\phi$ )이 있으며, 일본등지에서는 6-7W급

의 GPS Car Navigation system의 Back light등에도 적용하고 있다. 따라서, 고출력급의 형광등과 냉음극관을 구동하기 위한 인버터개발이 필요한 실정이다. 현재 램프구동용 인버터에 압전트랜스포머를 장착한 소형이고 슬립형이면서 고효율인 안정기가 주목을 받고 있다. [2][3] 그러나 현재 압전트랜스포머를 장착한 인버터는 저출력인 2-3W정도로 노트북 LCD Backlight용 냉음극관에 이용되고 있을 뿐, 고출력을 요구하는 일반의 형광등은 적용이 안되고 있는 실정이다. 이는 사용되는 압전트랜스포머가 Rosen형으로 고전압 소전류 출력으로 어느 정도의 전류를 필요로 하는 14W급 이상의 형광등은 적용하기가 매우 어렵기 때문이다. [4] 따라서, 본 연구에서는 형광등 점등을 목표로 하여 윤곽진동모드의 고출력 압전트랜스

\* 세명대학교 전기공학과(제천시 신월동 산21-1)

Fax : 0443-648-0868

E-mail : juhyun57@chollian.net

\*\* 삼성전기 재료연구센터 세라믹팀

포머를  $Pb(Ni_{1/2}, W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}, Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr, Ti)O_3$  계 세라믹스를 이용하여 CIP (cold isostatic pressing) 방법으로 제작하고 그에 대한 전기적 특성을 분석한 후 실제로 28W(T5) 형광등을 구동하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 압전트랜스포머 제작 및 특성실험

기존의 LCD Back light 구동용으로 사용되는 압전트랜스포머는 Rosen형이나 Rosen형이 개량된 분극반전형으로 출력 임피던스가 높아 고전압, 소전류를 필요로 하는 냉음극관에는 적합하나 100mA 이상의 전류를 필요로 하는 형광등에는 적용하기 어렵다. 또한, 형광등 점등용 압전트랜스포머는 고전력을 필요로 하므로 고전력에 견디는 압전트랜스포머가 필요하다. 본 연구에서는 경방향 전기기계결합계수  $K_p$ 가 일반적으로 길이방향 전기기계결합계수  $K_{31}$ 보다 높은 점을 고려하여 정사각형 모양의 압전트랜스포머를 설계하였다.

사진 1은 설계제작된 압전트랜스포머의 구조를 나타낸 것이다. 가운데 전극 부분은 다이아몬드 및 정사각형으로도 가능하나 입·출력부의 절연을 좋게 하기 위해서 원형의 dot형으로 제작하였다.

입력측의 임피던스와 출력측의 임피던스는 링과 도트의 전극 면적비를 변화시킴에 따라 조절 가능하며, 출력전류를 크게 하기 위해서는 출력측의 전극 면적을 크게 하는 것이 유리하나 너무 증가하면 상대적으로 입력측의 전극면적이 작아 큰 진동을 유발하기가 곤란하므로 최적 전극 면적비의 설계가 필요하다. 압전트랜스포머용 세라믹스는 산화물 혼합법으로  $Pb(Ni_{1/2}, W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}, Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr, Ti)O_3$  조성으로 CIP(Cold Isostatic Pressing) 방법을 이용하여 제작하고 시편의 크기를  $31.5 \times 31.5 \times 2.5$ mm로 가공한 후 전극처리 및 25kV/cm의 전계를 30분 인가하여 분극하였고, 윤곽진동모드의 압전트랜스포머를 표1및사진1 처럼 제작한 후 24시간 경과 후에 Impedance analyzer(HP4194A)로 주파수에 따른 임피던스를 측정하여, 공진·반공진 주파수 및 제반 등가회로 정수를 측정하였으며, 압전트랜스포머의 유효전기기계결합계수 및 출력임피던스는 다음 식으로 구하였다.

$$k_{eff} = \sqrt{\frac{f_a^2 - f_r^2}{f_a^2}} \quad \text{----- (1)}$$

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

표 1 제작된 압전트랜스포머의 사양 및 특성  
Table.Specification and properties of piezoelectric transformer

| Sample No. | Dot electrode size | C <sub>in</sub> [nF] | C <sub>out</sub> [nF] | Ring/Dot electrode ratio | k <sub>eff</sub> |        | Z <sub>out</sub> |
|------------|--------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------|--------|------------------|
|            |                    |                      |                       |                          | 구동부              | 발전부    |                  |
| P1         | 17φ                | 4.22                 | 1.609                 | 2.99                     | 0.3217           | 0.3515 | 1481             |
| P2         | 18φ                | 4.11                 | 1.8                   | 2.54                     | 0.3179           | 0.3684 | 1325             |
| P3         | 19φ                | 3.95                 | 2.01                  | 2.16                     | 0.3075           | 0.3778 | 1186             |
| P4         | 20φ                | 3.77                 | 2.21                  | 1.83                     | 0.2933           | 0.3873 | 1069             |

또한, Power Amp(Trek 50/750)를 구동 전원으로 사용하여 압전트랜스포머의 전기적 특성 및 T5(28W) 형광등 구동특성을 오실로스코프(Tektronix TDS 3054)와 current Probe(Tektronix TCP 202)으로 측정하였으며, 온도상승은 비접촉식 적외선 온도계(Raytex MX2)로 측정하였다.

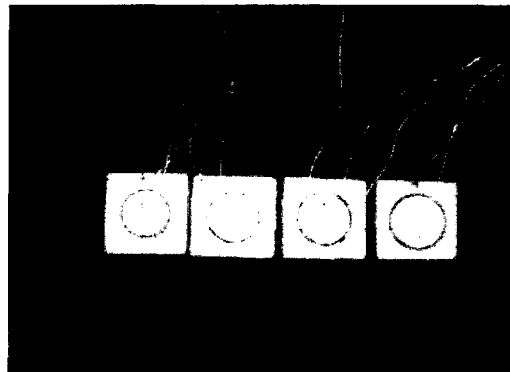


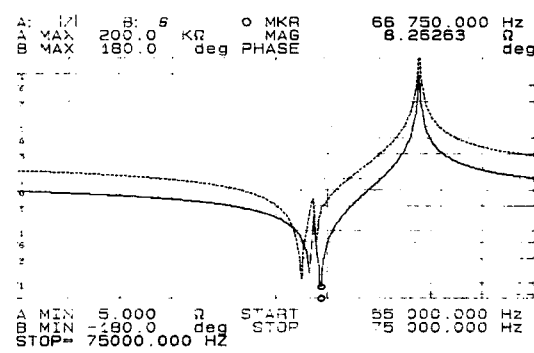
사진 1 제작된 압전트랜스포머

Photo.1 Manufactured piezoelectric transformer

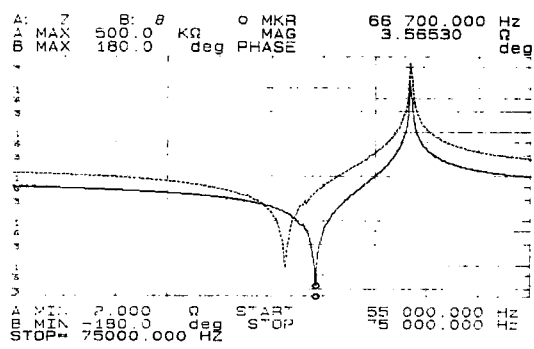
### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 Impedance analyzer(HP4194A)로 측정한 각 트랜스포머의 임피던스 특성곡선을 나타낸 것이다. 여기서 실선은 입력부이고, 점선은 출력부의 임피던스 특성곡선이다. 반공진 주파수는 입력부와 출력부 모두 일치하였으나, 공진 주파수는 입·출력부가 일치하지 않았다.

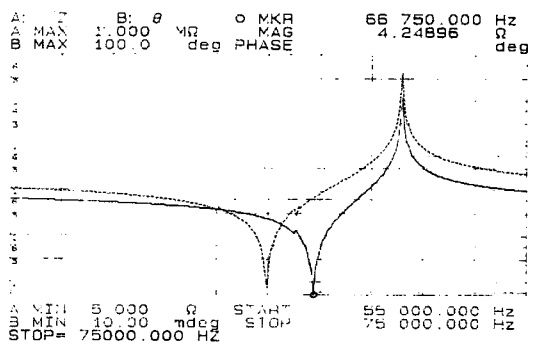
입·출력부의 공진 주파수의 일치는 공진 주파수에서 구동시에는 입력부와 출력부가 같은 주파수에서 공진이 일어나기 때문에 에너지 변환 효율면에



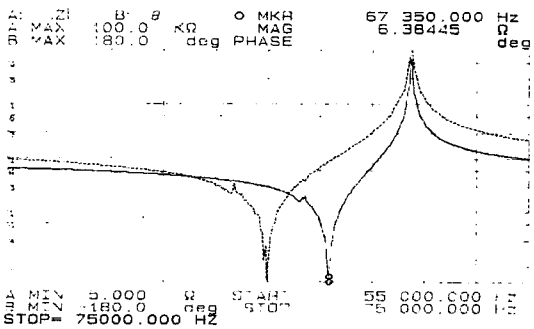
(a) P1



(b) P2



(c) P3



(d) P4

그림 1 압전트랜스포머의 임피던스 특성 커브

Fig.1 Impedance characteristic curves of piezoelectric transformers

서 대단히 중요하다. 본 압전트랜스포머의 형광등 구동 시에는 공진과 반공진 주파수 사이에서 구동하므로 꼭 일치시킬 필요는 없다. 그림 1에서 나타난 것처럼 dot부의 전극면적이 증가함에 따라 입력부(ring부)의 공진 주파수는 점차 우측으로 이동하였다. 입력부의 전극면적이 감소하면 압전트랜스포머의 구동부의 유효 전기기계결합계수는 다소 감소하나 발전부는 오히려 증가하게 된다. Dot부의 전극사이를 20 $\phi$ 로 하였을 때에도 구동부의 유효 전기기계결합계수가 0.2933으로 유효관직동을 여기하기에 충분한 값을 가졌다. 28W(T5)형광등의 정격은 시동전압이 357V, 램프전류 170 $\pm$ 10mA, 전압 167V를 갖고 있다. 본 실험 결과 P4 압전트랜스포머가 우수한 형광등 구동특성을 보이기에 이 트랜스포머에 대하여 주파수 변화와 부하저항에 따른 승압비를 측정하였다. 그 결과 그림 2에서 알 수 있듯이 형광등 구동 주파수에서 무부하시의 승압비가 3.1이고 1.0k $\Omega$ 에서의 승압비가 약 0.65를 나타내었다. 따라서, 점등 후에 램프 전압이 감소해야 하나 입력전압 171V에서의 점등 후에 램프전압이 187V로 증가되어 일치하지 않았다. 이것은 입력전압 30V에서 측정된 값으로 대전류 및 전압 인가시에는 다소 승압비가 변화되기 때문인 것으로 생각된다. 그림 3은 압전트랜스포머의 공진 주파수에서의 입력전압에 따른 출력전력을 나타낸 것이다. 입력전압이 증가함에 따라 출력전력이 모든 부하저항에서 거의 변화가 없이 증가하였다.

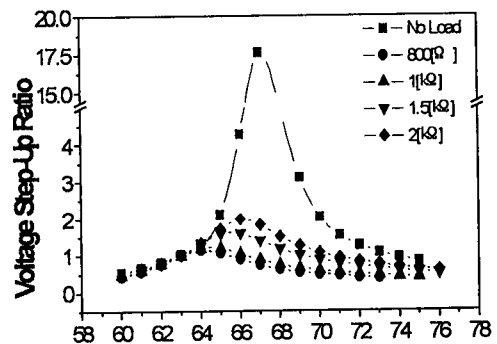


그림2. P4 압전트랜스포머의 주파수와 부하저항에 따른 승압비

Fig.2. Voltage step-up ratio as a function of frequency and load resistance in P4

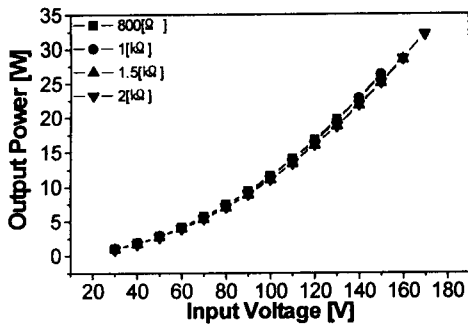


그림 3 P4 압전트랜스포머의 입력전압 및 부하저항에 따른 출력 전력  
Fig.3 Output power as a function of input voltage and load resistance in P4

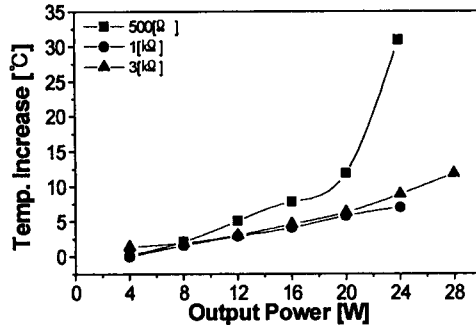


그림 4 P4 압전트랜스포머의 출력 전력에 따른 온도 특성  
Fig.4 Temperature increase characteristics as a function of output power in P4

그림 4는 출력전력에 따른 온도상승 특성을 나타낸 것이다. 부하저항 1kΩ에서 온도상승이 가장 적게 나타났는데, 그 이유는 압전트랜스포머의 출력 임피던스와 점등 후의 형광등의 부하 임피던스와 matching이 비교적 잘 되었기 때문으로 생각된다. 표 3은 T5형광등(28W)을 구동 후 20분 경과된 다음에 특성을 조사한 것이다. P4 압전트랜스포머가 출력전력 30.95[W]에서  $\Delta T[^\circ C]$ 가 8.3°C로 가장 우수한 특성을 나타내었다. 역시, 압전트랜스포머의 온도상승을 형광등 부하와 압전트랜스포머의 출력 임피던스와의 matching이 주요한 역할을 하며, 정확히 임피던스 matching이 일어나면 온도상승이 크게 발생하지 않는다.[4]

표 3에서 P1의  $Z_{out}=1481 [Ω]$ 인 것에 비하여 P4의  $Z_{out}= 1069[Ω]$ 이었기에 면적에 비례하여 출력 임피

던스가 감소하기 때문에 형광등 부하 임피던스를 1kΩ정도로 계산되었을 때 압전트랜스포머의 출력임피던스가 1069[Ω]이므로 서로 임피던스가 가깝기 때문이라 사료된다. 효율은 모두 90% 이상의 높은 값을 나타냈으며 P4 압전트랜스포머가 97.57%으로 가장 우수한 특성을 나타내었다. 압전트랜스포머의 입력전압은 Ring/Dot 전극면적이 감소함에 따라 감소하였으며 입력전류는 증가하였다.그림 5는 P1, P4 압전트랜스포머를 이용하여 28W 형광등을 구동시켜 시간 변화에 따른 압전트랜스포머의 온도상승을 측정 한 것이다. 20분이 경과한 후에는 온도증가가 거의 포화됨을 이루었으며 P4 압전트랜스포머가 온도상승이 10°C 미만으로 매우 우수한 특성을 나타내었다.또한, 사진2는 형광등 구동 시스템 및 압전트랜스포머로 점등된 형광등을 나타낸 것이다.

표 3 압전트랜스포머의 28W형광등 구동 특성  
Table3. Driving characteristics of piezoelectric transformer for 28W fluorescent lamp

| Sample No. | $f_d$ [kHz] | $V_{in}$ [V <sub>rms</sub> ] | $I_{in}$ [mA <sub>rms</sub> ] | $P_{in}$ [W] | $V_{ou}$ [V <sub>rms</sub> ] | $I_{out}$ [mA <sub>rms</sub> ] | $P_{out}$ [W] | 효율 [%] | $\Delta T$ [°C] |
|------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------|---------------|--------|-----------------|
| P1         | 69.14       | 181                          | 231                           | 31.95        | 186                          | 168                            | 30.4          | 95.14  | 18.1            |
| P2         | 69.01       | 176                          | 235.9                         | 31.24        | 185.7                        | 165.6                          | 30.26         | 96.86  | 15.6            |
| P3         | 68.19       | 175                          | 239                           | 30.9         | 185                          | 166                            | 30.04         | 97.21  | 11.5            |
| P4         | 68.66       | 167                          | 242                           | 30.95        | 187                          | 166                            | 30.95         | 97.57  | 8.3             |

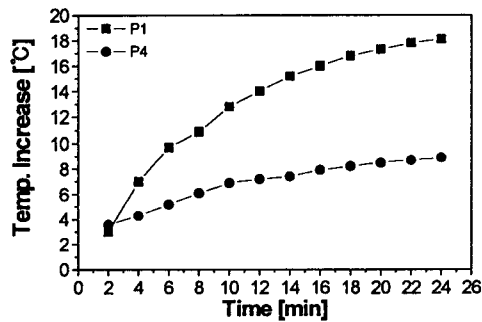


그림 5. P1과 P4 압전트랜스포머의 시간에 따른 온도상승  
Fig.5 Temperature increase characteristics as a function of time in P1 and P4

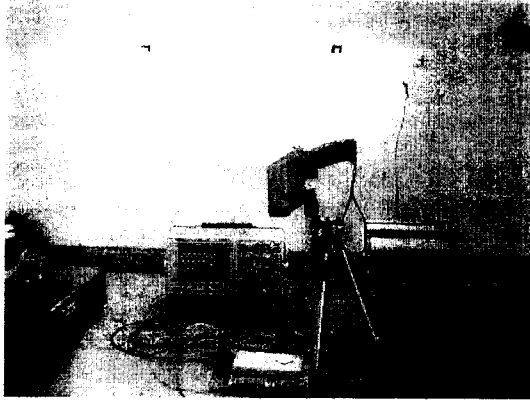


사진 2 형광등 구동 시스템 및 압전트랜스포머로 점등된 형광등

Photo.2. Lit 28W fluorescent lamp and systems for driving the fluorescent lamp

#### 4. 결론

본 연구에서는 형광등 점등을 목표로 하여 윤탁진 동모드의 고효율 압전트랜스포머를  $Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}, Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr, Ti)O_3$  세라믹스를 이용하여 Ring/Dot 전극면적을 변화시켜  $31.5 \times 31.5 \times 2.5 \text{ mm}^3$ 으로 제작하고 그에 대한 전기적 특성을 분석한 후 실제로 28W(T5) 형광등을 구동하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Dot 전극면적이 증가함에 따라 공진 주파수는 점차 우측으로 이동하였다.
2. 압전트랜스포머의 입력전압이 증가함에 따라 출력전력이 모든 부하저항에서 거의 변화없이 증가하였다.
3. T5 형광등(28W)를 구동 후 20분 경과된 다음에 특성을 조사한 결과, P4 압전트랜스포머가 출력전력 30.95[W]에서  $\Delta T[^\circ\text{C}]$ 가  $8.3^\circ\text{C}$ 로 가장 우수한 특성을 나타내었다.
4. T5 형광등(28W)를 구동 후 20분 경과된 다음에 압전트랜스포머의 효율은 모두 90%이상의 높은 값을 나타냈으며 P4 압전트랜스포머가 97.57%으로 가장 우수한 특성을 나타내었다.
5. T5 형광등(28W)를 구동 20분 이후에는 온도 증가가 거의 포화를 이루었으며 P4 압전트랜스포머가 온도상승이  $10^\circ\text{C}$  미만으로 매우 우수한 특성을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(과제번호 : 1999-1-302-004-3)의 연구비로 이루어졌으므로 한국과학재단에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] J. H. Yoo, M. S. Lee, C. Y. Park : Piezoelectr. Transform. Bull. KIEEME 12(1999) No.5. 26.
- [2] S. Kawashima, O. Ohnishi, H. Hakamata, S. Tagami, A. Fukuoka. T. Inoue and S.Hirose : Proc.1st Int. IEEE Ultrasonic Symp.(1994) p.525.
- [3] J. H. Yoo, Y. W. Lee, K. H. Yoon, H. S. Jung, Y. H. Jung, C. Y. Park : J. Kieeme 11 (1998). p. 849.
- [4] J. H. Yoo, K. H. Yoon, Y. W. LEE, S. J. Suh, J. S. Kim, C. S. Yoo, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39, (2000) pp. 2680-2684.