

## 디스크형 압전 변압기 의 전극크기 변화에 대한 전기적 특성

김동수, 김영덕, 김광일, 도영수, 남성진, 남효덕  
 포항산업과학연구원, 영남대학교 전자공학과, 영남대학교 나노시스템공학과

### Electric Characteristics of Disk-type Piezoelectric Transformer

Dong-Soo Kim, Young-Deog Kim, Kwang-Il Kim, Yeung-Soo Do, Sung-Jin Nam, and Hyo-Duk Nam  
 RIST, Yeung Nam Univ.

#### Abstract

In this study, a step-down piezoelectric transformer was fabricated to utilize as an adapter for charging batteries of mobile electronic appliances. The ceramic part of the transformer is  $Pb[(Mn_{1/3}Sb_{2/3})_{0.06}Zr_{0.475}Ti_{0.475}]O_3$  with mechanical quality factor of 1600, electromechanical coupling coefficient 59 %, and piezoelectric constant  $d_{33}$  1300, which can be utilized as a piezoelectric transformer. A simply fabricated disk-typed test pattern of diameter 28 mm and thickness 2 mm was used to characterize resonant frequency,  $Q_m$ ,  $k_p$  according to the different input/output electrode area. efficiency and power as a function of load resistance was also investigated. The sample APT showed some spurious mode and BPT showed better frequency property. Taking all properties which are admittance, effective electromechanical coupling coefficient and mechanical quality factor most suitable for piezoelectric transformer is BPT which has 12 mm diameter electrode and the condition of 15 Vrms, 30  $\Omega$  made the maximum efficiency of 93.7 % and maximum power is 6W with 50 Vrms,.

Key Words : piezoelectric transformer, step-down, piezoelectric ceramic, disk type

### 1. 서 론

압전 변압기는 하나의 압전소자에 입력부와 출력부가 구성되어 있고, 이들은 전기적으로 절연되어 있으나 역학적으로는 서로 연결되어 있는 상태이다. 입력부에 인가된 전기에너지가 압전 역효과에 의해 역학적인 진동으로 나타나고, 이러한 역학적 진동이 출력부에서 압전 정효과에 의해 전기적인 에너지로 변환되는 것이 압전 변압기의 기본 동작 원리이다. 압전형 변압기는 권선형 변압기에 비해 에너지밀도가 높기 때문에 작게 만들 수 있고, 세라믹이므로 불에 타지 않으며, 전자기장에 의한 노이즈가 없는 장점을 갖고 있어, LCD(liquid crystal display)의 back-light unit와 FPD(flat panel display) 등에 고전압 발생용 압전 변압기가 응용되고 있다[1]. 압전 변압기 응용은 승압과 함께 강압효과로 각종 Converter나 Adapter가 있다. 휴대용 정보 처리 장비에 가장 큰 비중을 차지하는 전원부의 전자기 변압기를 압전변압기로 대체하므로 부피와 무게를 줄여 소형화하기 위해 많은 연구 개발이 진행되고 있다[2,3].

본 연구에서는 모바일 전자제품의 배터리 충전용 Adapter로서의 응용 가능성을 고찰 하고자 기계적 품질계수가 높은 Hard계 PMS-PZT계의 압전 세라믹스를 이용하여 입력부와 출력부의 분극방향을 동일하게 하여 고전계 인가시 압전체가 결함으로 파괴되지 않도록 하고 비교적 제작이 용이한 단일층의 디스크 타입의 압전변압기를 제조하였다. 제조된 압전 변압기는 입·출력 전극의 면적비와 부하의 변화에 따른 전기적 특성을 조사하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 시편 제조

입력부와 출력부의 전극 구조는 그림 1과 같이 상, 하면이 서로 대칭을 이루고 있어서 입출력이 완전히 분리된 디스크 형태로 제작된 압전변압기를 BPT라 칭하고, 아래쪽 전극을 공통단자로 사용하는 형태를 APT라 칭하였다. 제작된 압전 변압기의 기본 물성값과 치수를 표.1과 표.2에 나타내었다.

표 1. 압전 세라믹의 특성.

Table 1. Properties of Piezoelectric ceramic

| Properties                           | Value                |
|--------------------------------------|----------------------|
| Bulk density [ $\rho$ ]              | 7.7g/cm <sup>3</sup> |
| Dielectric Constant [ $\epsilon_r$ ] | 1300                 |
| coupling factor [ $k_p$ ]            | 59 %                 |
| Mechanical quality factor, [ $Q_m$ ] | 1600                 |

표 2. 압전 변압기의 치수 및 정전용량.

Table 2. Dimensional specification and Capacitance of piezoelectric transformers.

| X [mm]                |     | 8     | 10   | 12   | 14    |
|-----------------------|-----|-------|------|------|-------|
| Y [mm]                |     | 10    | 12   | 14   | 16    |
| C <sub>in</sub> [pF]  | APT | 404   | 537  | 750  | 966   |
|                       | BPT | 302   | 457  | 624  | 853   |
| C <sub>out</sub> [nF] | APT | 3.11  | 2.57 | 2.44 | 2.12  |
|                       | BPT | 2.70  | 2.51 | 2.24 | 2.024 |
| area ratio            |     | 10.69 | 6.40 | 4.08 | 2.69  |

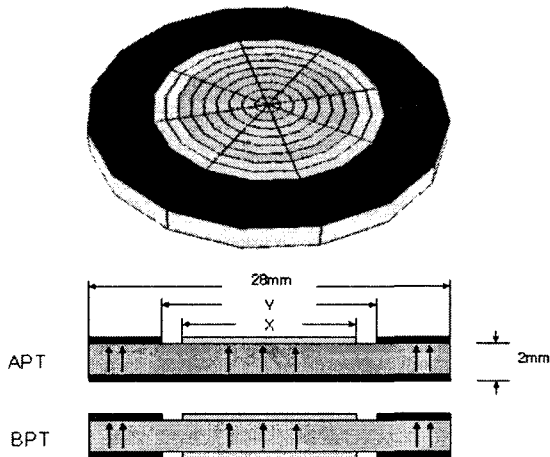


그림 1. 디스크형 압전변압기.  
Fig. 1. Disk-type piezoelectric transformer.

### 2.2 실험 방법 및 측정

분극 처리된 APT와 BPT 압전변압기는 Frequency Response Analyzer(NF, FRA5096)를 이용하여 공진, 반공진주파수 및 임피던스를 측정하였고 전기기계결합계수 및 기계적품질계수가 계산되었다. 오실로스코프(Tektronix, TDS3054B)와 Power Analyzer(PM-3300)를 이용하여 부하별 효율 및 입력전압에 따른 파워, 감압비, 효율을 측정하였다. 부하별 효율특성은 입력전압 10V<sub>rms</sub>, 출력부 부하를 10 Ω ~ 100 Ω의 범위에서 점진적으로 변화시키면서 측정하였다.

압전변압기의 입력신호는 신호발생기(NF, WF1946A Multifunction Synthesizer)에서 발생한 출력신호를 신호 증폭기(NF, HSA 4052 High speed Bipolar Amplifier)를 이용하여 10 V<sub>rms</sub>에서 50 V<sub>rms</sub>까지 5 V<sub>rms</sub> 단위로 변화시키면서 그림 2와 같이 회로를 구성하여 측정하였다.

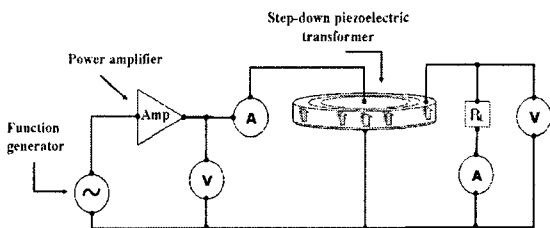


그림 2. 압전변압기 특성측정회로 블록 다이어그램.  
Fig. 2. Block diagram of piezoelectric transformer driving circuit.

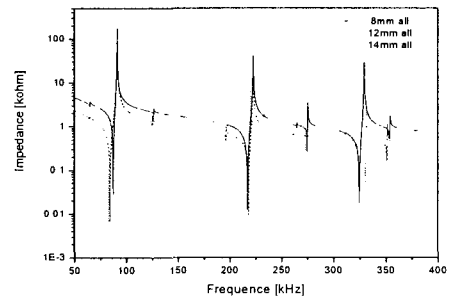
### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 사용된 PMS-PZT 세라믹의 유전, 압전특성을 표. 1에 나타내었다. 보는 바와 같이 Pb[(Mn<sub>1/3</sub>Sb<sub>2/3</sub>)<sub>0.05</sub>Zr<sub>0.475</sub>Ti<sub>0.475</sub>]O<sub>3</sub>는 압전 변압기에 사용될 수 있는 물질로서 높은 압전상수( $d_{33}$ ), 전기기계결합계수, 기계적품질 계수를 얻었다.

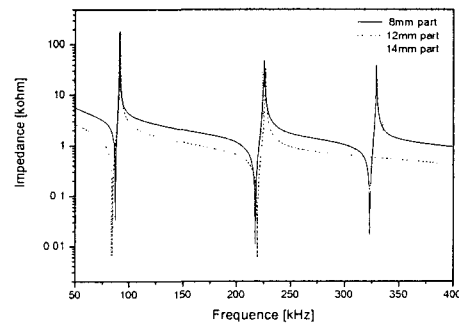
감압용 압전 변압기의 전극구조는 디스크판의 내부 전극 부분에서 발생하는 진동을 출력부인 외부 원판상에 전달 되도록 하는 구조를 지니고 있다. 이 때 내부와 외부 전극의 비는 표. 2에 나타내었으며 이에 따른 전기적 특성을 조사하기 위하여 주파수 응답 분석기(NF, FRA5096)를 이용하여 무부하시 저전력에서 측정하였다. 감압용 압전 변압기의 경우 압전변압기의 부피에 대한 출력비는 주파수의 크기에 비례하므로 높은 주파수에서 구동시킬수록 높은 출력전력과 효율을 얻을 수 있으므로[4], 본 연구에서는 2차 모드를 사용하였다.

그림 3의 임피던스 커브에서 APT와 BPT의 공진주파수는 없었으나, 아래쪽 전극을 공통으로 한 APT에서는 불필요한 모드가 나타났다.

입력전극의 면적에 대한 공진임피던스( $Z_r$ ), 기계적품질계수( $Q_m$ ), 전기기계결합계수( $k_p$ )를 그림 4에 나타내었다. 공진임피던스는 전극의 면적에 대해서는 차이가 크지 않았으나, 부분전극이 낮게 나타났다. 기계적품질계수는 전체적으로 큰 차이를 볼 수 없었으며 그 값은 대략 2000정도 이다. 또한 전기기계결합계수는 부분전극이 전체전극보다 높게 나타났으며, 12mm 까지는 일정하다가 그 이상에서 전극의 면적이 증가함에 따라 감소하였다.

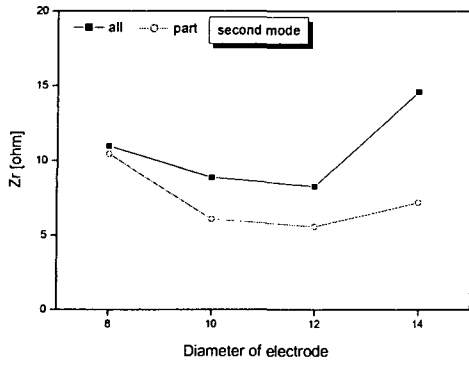


(a)

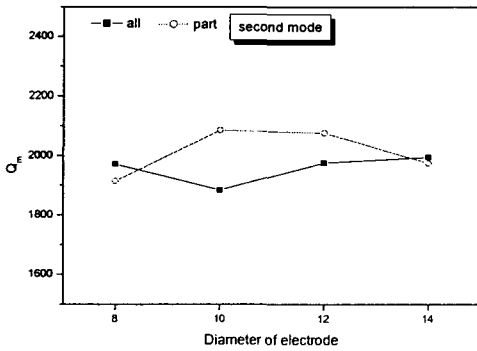


(b)

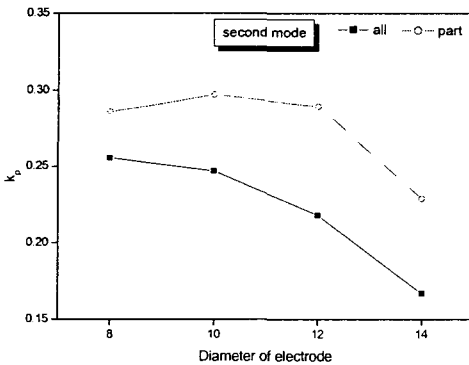
그림 3. 압전 변압기의 입력부 임피던스  
Fig. 3. Input part impedance curve of piezoelectric transformer with no load resistance



(a)



(b)



(c)

그림 4. 각 샘플의 공진임피던스, 기계적 품질계수( $Q_m$ ) 및 전기기계결합계수( $k_p$ )  
 Fig. 4. Resonance impedance, mechanical quality factors and planar electromechanical coupling coefficient of sample piezoelectric transformers

8 mm 부분전극과 12 mm 부분전극에서 저항변화에 대한 효율 검토결과 30 옴이 가장 양호한 결과를 나타내었으며, 12 mm 부분전극이 8 mm 부분전극보다 높게 나왔다. 12mm에 대한 효율 및 주파수 변화를 그림 5에 나타내었다. 측정결과 부하저항 30 옴일 때 91.8%로 최대효율을 보였고 그 이상 부하가 증가함에 따라 효율은 점진적으로

감소하였다. 또한 공진주파수는 부하가 증가함에 따라 주파수 높은 쪽으로 이동하였다. 이때 각 부하에서 전압값을 측정하여 감압비를 계산하여 그림 6에 나타내었다. 부하저항이 10 옴일 때 감압비가 가장 크고 그 이상의 부하에서는 일정하였다.

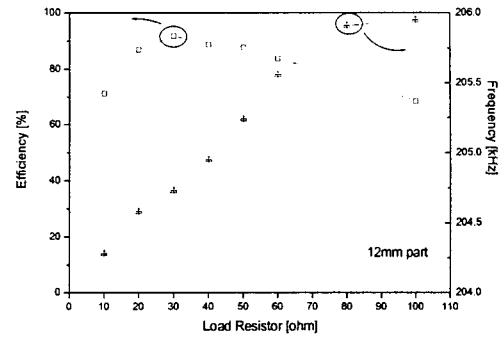


그림 5. 부하저항에 대한 효율 및 공진주파수변화  
 Fig. 5. Efficiency and resonant frequency as a function of load resistance

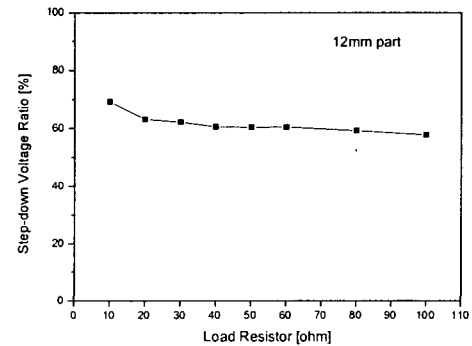


그림 6. 부하저항에 대한 감압비  
 Fig. 6. Step-down voltage ratio as a function of load resistance

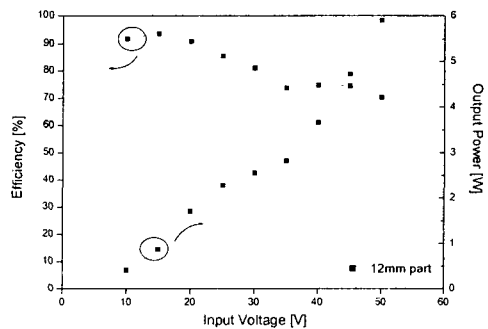


그림 7. 입력전압에 대한 출력과 및 효율  
 Fig. 7. Output power and efficiency of the transformer as a function of input voltage(resistant: 30 Ω)

입력전압에 대한 출력파워 및 효율을 그림 7에 나타내었다. 입력전압이 20 Vrms일 때 까지는 효율이 90%이상 높게 나타났으나 전압이 더욱 증가함에 따라 효율은 점차 감소하여 50 Vrms에서는 70%정도로 낮아졌고, 이때 출력파워는 6 W였다

#### 4. 결 론

1. 입력전극의 면적에 대한 공진임피던스는 전극의 면적에 대해서는 차이가 크지 않았으나, 부분전극이 낮게 나타났다. 기계적품질계수는 전체적으로 큰 차이를 볼 수 없었으며 그 값은 대략 2000정도 이다. 또한 전기기계결합계수는 부분전극이 전체전극보다 높게 나타났으며, 12mm 까지는 일정하다가 그 이상에서 전극의 면적이 증가함에 따라 감소하였다.
2. 입력전극 면적이 12 mm인 부분전극 일 때 30 Ω의 부하저항에서 가장 양호한 결과를 나타내었으며, 이때 효율은 91.8 %였다.
3. 부하가 증가함에 따라 공진 주파수는 높은 쪽으로 이동하였고, 감압비는 60%정도로 일정하였다.
4. 입력전압이 15 Vrms일 때 효율은 93.7%로 최대였고, 50 Vrms에서 출력파워는 6 W였다

#### 참고 문헌

- [1] M. Shoyama, K. Horikoshi, T. Ninomiya, T. Zaitso, and Y. Sasaki, "Steady - state characteristics of the push - Pull piezoelectric transformer inverter", IEEE PESC '97 Record, p. 715, 1997.
- [2] S. Hamamura and Toshiyuki Zaitso, "AC- DC converter using piezoelectric transformer", NEC Technical Journal, Vol. 51, No. 4, p. 92,, 1998.
- [3] T. Zaitso, Y. Fuda, Y. Okabe, T. Ninomiya, S. Hamamura, and M. Kat suno, "New piezoelectric transformer converter for AC- adapter", IEEE APEC '97 Proc., p. 568, 1997.
- [4] J. h. Hu, "A study on the rectangular- bar-shaped multilayer piezoelectric transformer using length extensional vibration mode", J. J. Applied Physics, Vol. 38, No. 5B, p. 3208, 1999.