

Ring-dot형 감압형 압전변환기의 제작과 특성

남성진*, 이영민*, 남효덕**, 손준호***, 이준형****

*영남대학교 나노시스템공학과, **영남대학교 전자정보공학과, ***에스테크, ****경북대학교 무기재료공학과

Fabrication and Characteristics of Ring-Dot type Piezoelectric Transformer

Sung-Jin Nam*, Yeung-Min Lee*, Hyo-Duk Nam**, Joon-Ho Sohn***, Joon-Hyung Lee****

*Yeungnam Univ., **Yeungnam Univ., *** S Tech, ****Kyungpook Univ.

Abstract

Voltage step-down characteristics in Ring/Dot type piezoelectric transformer were examined as a function of the area of input electrode when the area of output electrode is fixed. The effects of driving frequency and load resistance on the voltage step-down characteristics were also examined. Voltage gain was greatly dependent on the driving frequency and load resistance, and showed a maximum gain at resonance frequency of the step-down transformer. The frequency where the maximum output voltage appears increased about 0.2% as the load resistance increased from 10 to 150 Ω . As the area of input electrode increased, the voltage gain and the efficiency of the transformer increased. Frequency dependence of efficiency of the step-down transformer revealed a similar tendency with the voltage gain curves. The maximum efficiency remarked 94% when the input voltage and the load resistance were 20 V_{PP} and 120 Ω , respectively.

Key Words : Piezoelectric transformer, step-down transformer, ring/dot type

1. 서론

전기적 에너지를 기계적 에너지로 1차 변환시킨 후 다시 전기적 에너지로 2차 변환시키는 압전 변압기는 권선형 변압기에 비하여 소형, 저 손실, 고 절연성, 고 효율 및 불연성 등의 장점을 가지고 있기에 차세대 전기-전자부품으로 기대되고 있다.

전기전자기기에는 승압 못지않게 AC-DC adapter 등과 같이 감압을 해야 할 필요성도 상당히 있다. 압전 변압기의 입·출력 단자를 반대로 연결하여 전압을 인가하면 감압이 이루어지지만 대표적인 승압 변압기인 Rosen type의 장방향 압

전 변압기의 경우 단자를 반대로 연결하면 구동 전계가 매우 작아 만족할 만한 감압효율을 얻기 어렵다. 따라서 효율 및 성능면에서 우수한 감압 변압기의 개발을 위해서는 Rosen type이 아닌 새로운 구조의 감압형 압전 변압기에 대한 연구가 필요하다 하겠다.

저자들은 입·출력부의 크기가 일정한 변형 ring/dot type의 전극구조를 가진 압전 변압기가 감압특성을 나타냄을 보고 한 바 있다[1]. 이는 cylinder wall electrode 형태의 radial 진동모드와 원판상의 두께 모드진동을 동시에 이용한 것이다.

본 연구에서는 압전 세라믹스의 감압특성을 조사하기 위한 기초 연구로써 구조가 비교적 간단한 변형 ring/dot type의 압전 세라믹스를 제조하고 입력부의 크기를 변화시킨 동일한 형태의 압전 변압기에서 부하저항과 구동 주파수를 변화시킴에 따른 감압용 변압기의 효율과 전압이득에 대한 특성을 조사하였다.

2. 실험방법 및 측정

본 실험에서는 정방정상과 능면체상의 상경계 지점인 $Pb[(Mn_{1/3}Sb_{2/3})_{0.05}Zr_{0.475}Ti_{0.475}]O_3$ 을 기본조성으로 선택하였다. 고순도의 PbO , ZrO_2 , TiO_2 , Mn_3O_4 및 Sb_2O_3 를 출발물질로 하여 원료분말을 24시간 습식 혼합한 후 건조하였다. 건조된 분말은 $850^\circ C$ 에서 2시간 동안 하소하였다. 하소한 분말을 재분쇄한 후, 2 wt% PVA를 첨가하고, 2 ton/cm^2 의 압력을 가하여 원판형으로 성형하였다. 성형체에 포함된 유기물은 $550^\circ C$ 에서 5시간 동안 유지하여 제거하였다. 소결은 $1200^\circ C$ 에서 2시간 동안 분위기분말 속에서 행하였다. 소결된 시편의 직경은 28 mm였으며 두께는 1.5, 2.0, 3.0 mm로 조절한 후 이들을 각각 PT-1, PT-2, PT-3로 칭하였다. 은 전극(dupont #7095)은 실크 스크린을 이용하여 Fig. 1과 같이 도포한 후 열처리 하였다. 입력부와 출력부의 전극구조는 그림에 나타난 것처럼 압전 변압기의 상·하면이 서로 대칭을 이루고 있는 변형 ring/dot type(변형 Rosen type)이다. 분극은 상하 출력부를 단락시킨 상태에서 시편의 반경 방향으로 2.5 kV/mm의 직류전계를 20분 동안 인가하여 1차 분극처리한 후 같은 조건으로 두께 방향으로 2차분극 하였다. 이때 온도는 $150^\circ C$ 로 하였다. 분극 처리된 시편은 24시간 경과 후, 저 전력에서 각 시편의 유전특성, 공진주파수 및 임피던스를 Impedance gain/phase analyzer(HP 4194A)를 이용하여 측정하였다. 출력부의 부하는 무유도성 저항을 이용하여 저항값을 10-150 Ω 으로 변화시키면서 감압특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

감압용 압전 변압기의 전극구조는 입력부의 tube wall 전극에서 발생하는 경방향 진동을 출력부인 원판상에 전달하게 설계되었다. 그 결과 출력부인 원판상에 2차 전압이 발생하게 된다. 이러한 전극형태는 일종의 변형 ring/dot 형이라 할 수 있다.

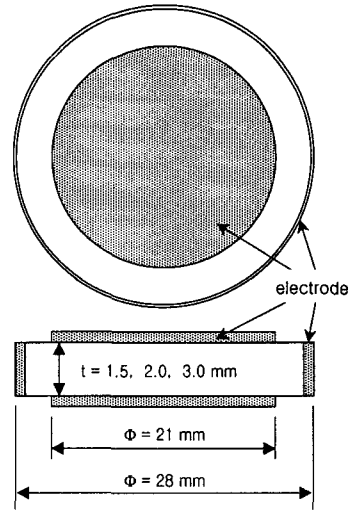


그림 1. 감압용 압전 변압기의 모식도.

Fig. 1. Schematic diagram of step-down piezoelectric transformer.

즉, ring 전극부에 인가된 교류전원에 의한 기계적 진동이 dot 전극부에서 전기적 출력 신호로 전달되도록 한 것이라 할 수 있다. 입력부에 압전 변압기의 공진주파수에 해당되는 교류신호를 인가하게 되면, 그때의 경방향 진동 변위는 인가전압과 d_{31} 의 곱으로 나타나며, 또한 두께 방향의 진동 변위는 d_{33} 과 인가전압에 비례하고, tube wall의 두께에 반비례한다. 이러한 진동이 출력부의 원판상 전극에서 전압으로 나타나게 되는 것이다 [2]. Table 1은 감압용 압전 변압기에서 저 전력 신호를 인가하였을 때, 입·출력단자의 전극면적, 전기용량, 유효 전기기계 결합계수(k_p') 및 기계적 품질계수(Q_m')를 나타낸 것이다. 여기서 f_r 과 f_s 의 측정은 상하 출력부를 단락한 상태에서 입력부와 출력부 사이의 측정값으로 하였고, 전기용량의 측정주파수는 1 kHz였다. 시편의 직경을 고정하고 두께를 증가시킴에 따라 출력단자의 전극면적은 일정한 반면 입력단자의 전극 면적은 PT-1에서 PT-3으로 갈수록 증가하였다. 출력 전력은 k_p' 및 Q_m' 가 상대적으로 조화롭게 큰 값일수록 증가하기 때문에 출력 전력의 크기는 Table 1에 나타난 k_p' 및 Q_m' 에 의해 추정할 수 있다.

Fig. 2는 입력전압을 20 Vpp로 고정하고 부하저항을 변화시킨 경우에 출력전압의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 출력전압은 부하저항에 크게 의존하였는데 부하저항이 증가함에 따라 전반적으로 증가하였다. 또 최대전압을 나타내는 주파수는 부

하저항이 증가함에 따라 증가하였다. 그리고 입력단의 전극면적이 클수록 출력전압이 증가하였다. 이것은 저 전력 특성에서 측정된 Table 2의 k_p' 의 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 3은 부하저항에 따른 최대 전압이득의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 전압이득이란 입력전압에 대한 출력전압(V_{out})의 비를 나타낸 것으로서, $G_v = V_{out}/V_{in}$ 이다. 이때 입력전압은 20 Vpp였다. 전체적으로 부하저항이 증가함에 따라 전압이득은 선형적으로 증가하다가 포화됨을 알 수 있고, 이는 Wada 등[3]에 의해서 3영역으로 해석한 경우와 잘 일치하고 있다.

Fig. 4는 부하저항을 90 Ω으로 한 경우의 입력전압에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. 입력전압이 증가함에 따라 출력전압은 선형적으로 증가하고 있으며, 40 Vpp에서 약간 포화됨을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3에서와 마찬가지로 PT-1과 PT-2에 비하여 PT-3의 출력전압이 전반적으로 높게 나타났다.

20 Vpp를 인가할 경우 PT-3의 부하저항 변화에 대한 출력전류와 효율을 Fig. 5에 나타내었다. 출력 전류는 공진주파수에서 최대치를 보였으며 부하저항이 증가할수록 감소하였다. 그러나 출력전류의 감소정도는 부하저항이 증가할수록 감소하여 120Ω 과 150Ω에서의 큰 차이를 나타내지 않았다. 여기서 얻은 출력전류를 근거로 20 Vpp를 인가한 경우의 출력전력은 약 2 W 정도로 나타났다.

표 1. 감압 변압기의 입출력단에서의 측정값.

Table 1. Designated values at input/output terminals of step-down piezoelectric transformer.

Item		PT-1	PT-2	PT-3	
Area of electrode	input	mm ²	132	176	264
	output	mm ²	346	346	346
Capacitance, C	input	pF	290	317	530
	output	pF	2660	2000	1340
Resonant frequency, f_r		kHz	329.40	324.55	311.98
Anti-resonant frequency, f_a		kHz	339.90	336.65	338.71
Effective coupling factor, k_p'		%	24.7	26.6	38.9
Effective quality factor, Q_m'			1750	1720	1740

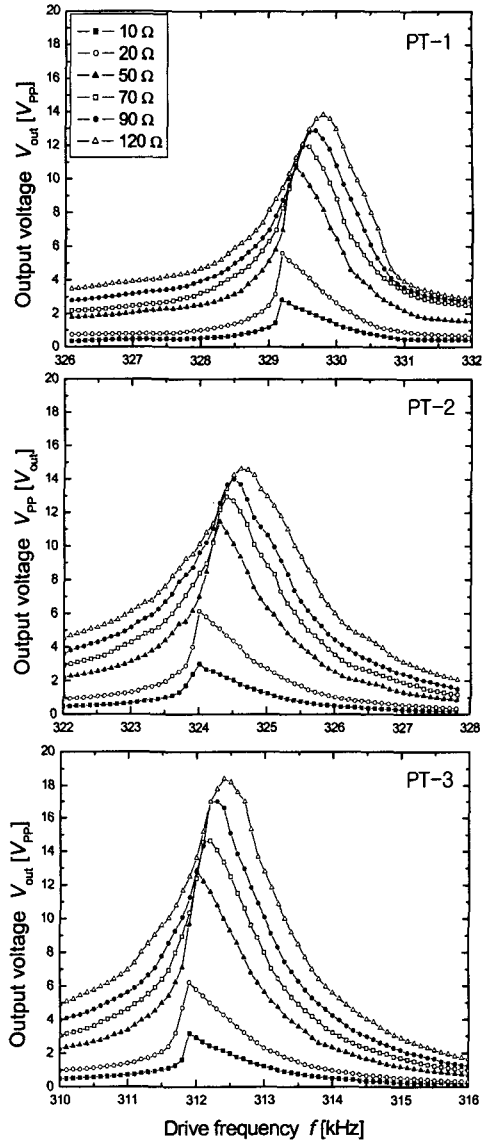


그림 2. 구동 주파수 및 부하저항에 따른 감압 변압기의 출력전압.

Fig. 2. Output voltage of step-down transformer as functions of drive frequency and load resistance.

효율은 부하저항이 120 Ω 정도에서부터 포화치를 나타내었는데 이때의 최고 효율은 약 94%의 높은 값을 보이고 있다.

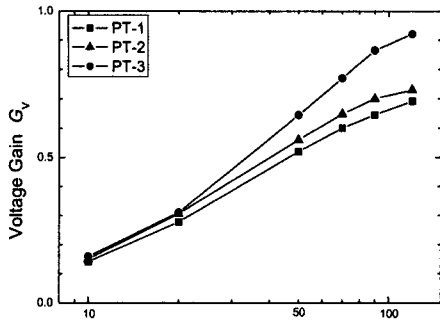


그림 3. 부하저항에 따른 전압이득.
 Fig. 3. Voltage gain as a function of load resistance.

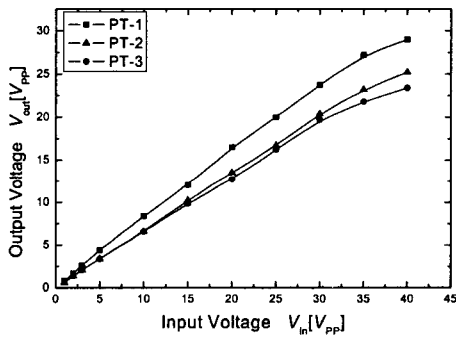


그림 4. 입력 및 출력전압의 상관관계.
 Fig. 4. Relationship between input and output voltage.

4. 결론

1. 입력전압이 증가함에 따라 출력전압은 선형적으로 증가하였다. 전압이득은 구동주파수 및 부하저항에 크게 의존하며, 공진주파수에서 전압이득이 최대가 되었다.
2. 최대전압을 나타내는 주파수는 부하저항이 증가함에 따라 주파수가 증가하는 쪽으로 이동하였고, 주파수 편이량은 10 Ω의 부하저항을 기준으로 하여 120 Ω에서 0.2%였다.
3. 변압기 효율의 주파수 의존성은 전압이득곡선과 같은 양상을 나타내었다. 입력전압 20 V_{PP}, 부하저항 120 Ω일 경우 최고 효율은 94%였다.
4. 출력단의 크기를 고정한 경우, 입력부의 전극면적이 클수록 전압이득이 증가하였고 효율도 증가하였다.

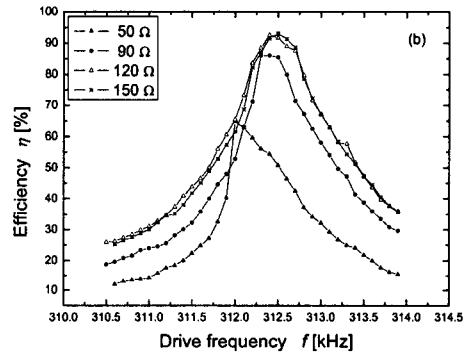
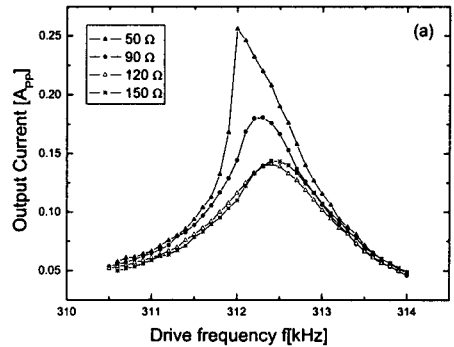


그림 5. 부하저항에 따른 감압 변압기의 (a) 출력 전류 및 (b) 효율의 주파수 특성.
 Fig. 5. Efficiency of the transformer as functions of (a) output current and (b) load resistance.

참고 문헌

- [1] 김 오수, 손 준호, 이 준형, 손 정호, 남 효덕, 조 상희, "PZT계 압전 세라믹 변압기의 감압특성", 전기전자재료학회논문지, 14권 11호, p.885, 2001.
- [2] 壓電 セラミックスとその應用, 電波新聞社, p.159, 1974.
- [3] 和田利彦, 萩原述史, 三枝武男, "磁器變壓器の基礎特性の三領域表現法とひずみ波驅動," 電氣學會論文誌 A, 104(4), p.7, 1984.
- [4] K. Ishii, N. Akimoto, S. Tashiro and H. Igarashi, "Analysis of Nonlinear Phenomena in Piezoelectric Ceramics under High-Power Vibration", J. Ceram. Soc. Jpn., Vol. 106, No. 6, p.555, 1998.