

육각형 압전변압기의 제조 및 전기적 출력 특성

(Fabrication and Electrical Characteristics of a hexagon-type piezoelectric transformer)

이종필* · 홍진웅

(Jong - Pil Lee · Jin - Woong Hong)

요 약

본 연구에서는 출력측 전극비를 보다 증가시킬 목적으로 새로운 형상인 육각형 압전변압기를 제작하여 전극 패턴을 설계하고, 전기적 출력 특성을 검토하였다. 이 때 육각형 압전변압기의 한변의 길이가 각각 14[mm]와 17.5[mm]로 하였으며, 압전변압기에 적용된 세라믹의 성분계는 PZT-PMN-PSN이 있으며, 기계적 품질계수가 1200, 전기기계결합계수는 55%, 압전정수 d_{33} 은 $320 \times 10^{-12} \text{C/N}$, 손실계수는 0.3%이었다. 부하저항의 증가에 따라 승압비는 증가하였으며, 육각형 압전변압기의 한 변의 길이가 증가함에 따라서도 증가하는 경향을 보였다. 최대 효율은 10~20[k Ω]근처에서 약 93%가 얻어졌다.

Abstract

In this paper, a hexagon-type piezoelectric transformer was investigated to increase the output power. The length of its side was 14mm and 17.5[mm], respectively. The piezoelectric ceramics was composed to PZT-PMN-PSN. This composition showed the characteristics which had an about 1200 of the mechanical Q-factor, 0.55 of the electromechanical coupling coefficient, $320 \times 10^{-12} \text{C/N}$ of the piezoelectric constant d_{33} , 0.3% of the dissipation factor, etc. The voltage step-up ratio increased with increasing the load resistance, R_L , so it reached 80 with R_L of 1[M Ω] and was proportion to the length of side of the hexagon-type piezoelectric transformer.

Key Words : Piezoelectric Transformer, Piezoelectric Ceramic

1. 서 론

압전변압기는 임피던스가 매우 높은 부하와의 정

합면에서 우수한 특성을 지니고 있으며, 권선형 변압기에 비해 고효율성을 실현할 수 있을 뿐만 아니라 경박단소(輕薄短小), 단순 구조, EMI가 없음, 제작의 용이성, 난연성(難練性), 승압비의 가변성 등의 장점을 갖고 있어서[1][2], 노트북 PC용 TFT LCD(thin film transistor liquid crystal display) 모니터의 후면광원용 압전인버터에 채택되어 널리 사용되고 있다[3].

* 주저자 : 광운대학교 전기공학과 박사과정
Tel : 043-275-9462, Fax : 043-275-9463
E-mail : jp1212@hanmir.com
접수일자 : 2003년 8월 1일
1차심사 : 2003년 8월 5일
심사완료 : 2003년 8월 25일

육각형 압전변압기의 제조 및 전기적 출력 특성

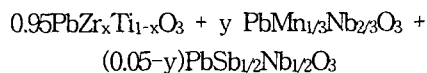
최근, 압전변압기의 형상과 전극 패턴을 변화시켜 2차측 전극비를 증가시키거나[4][5], 2개 이상의 압전변압기를 병렬 구동시켜[6] 고출력을 얻으려는 연구가 이루어지고 있으며, 또한 적층 방법으로써, T. Inoue와 S. Hirose 등은 적층형 압전세라믹을 이용한 3차 진동 모드형과 두께 진동 모드형 압전변압기의 실험적 특성에 대한 연구를 행하였고, 일부는 실용화되고 있다.

본 연구에서는 출력측 전극비를 보다 증가시킬 목적으로 새로운 형상인 육각형 압전변압기를 제작하여 전극 패턴을 설계하고, 전기적 출력 특성을 검토하고자 한다.

2. 실험

2.1 시편제조

시편의 조성은 다음과 같다.



단, $0.48 \leq x \leq 0.53$, $0 < y < 0.05$

압전 변압기의 제조 공정은 다음과 같다. 순도 99.9% 이상의 PbO, TiO₂, ZrO₂, MnO₂, Sb₂O₃, Nb₂O₅ 화합물을 출발 원료로 하여 조성식에 따라 칭량한 후, 에탄올을 분산매로 하여 16시간 동안 볼밀에서 혼합하였다. 이 때 알루미늄 불순물의 혼입을 억제하기 위해 지르코니아계 용기 및 불을 이용하였다. 건조시킨 후, 750°C에서 2시간 동안 하소를 행하였다. 하소된 분말을 재분쇄한 후, 2 wt% PVA를 첨가하고, 2[ton/cm²]의 압력을 가하여 우선 직경 15[mm]의 디스크로 성형하였다.

이것을 전기로내에서 1150~1250°C, 2시간 동안 소결을 행하였는데, 노내의 온도상승율을 3[°C/min]로 제어하였다. 압전변압기의 적용에 앞서, 우선 압전체의 물성을 검토하고자 직경 12[mm], 두께 1[mm]의 디스크 시편을 제작하여 분극처리하였다. 압전 정수 d_{33} 의 측정은 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.

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

표 1. 압전세라믹의 특성
Table 1. Properties of Piezoelectric ceramic

$\epsilon^T_{33}/\epsilon_0$	$\tan \delta$	k_p	d_{33}	Q_m
1200	0.3%	0.55	320	1200

한변의 길이가 14[mm]와 17.5[mm]의 두 종류이며, 두께는 각각 2[mm]로 하였다. 은 전극은 실크 스크린을 이용하여 그림 1과 같이 도포한 후 소부시켰다.



그림 1. 육각형 압전변압기의 전극패턴
Fig. 1. The electrode pattern of a hexagon piezoelectric transformer

분극은 100~150°C의 온도 범위에서 두께 방향으로 3[kV/mm], 길이 방향으로 2[kV/mm]의 전계를 ~30 분 동안 시편에 인가하였다.

그림 1에서 보듯이 구동부 전극은 위면과 아래면의 삼각형에 해당하는 부분이고, 발전부 전극은 삼각형 각각의 변과 대향하는 부분으로 3개의 출력단자를 갖고 있다.

2.2 특성 측정

압전변압기의 전기적 출력 특성은 그림 2와 같이 회로를 구성하여 부하저항을 변화시키면서 측정하였다.

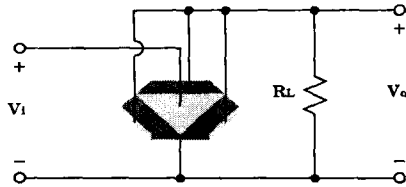


그림 2. 압전변압기 특성 측정회로.
Fig. 2. The driving circuit of a hexagon piezoelectric transformer

구동부 인가전원은 함수발생기(Agilent, 33120A)와 전력증폭기(NF, NF4015)를 사용하였으며, 구동부와 발전부의 전압 및 전류 측정은 오실로스코프(Tektronics, TDS 3032)로 측정하였다. 전력측정은 고주파 전력계(Yokogawa, WT1600)로 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

육각형 압전변압기의 인가전압은 5V_p와 10V_p, 인가 주파수는 부하저항별 임피던스 분석기로 측정된 공진주파수를 인가하였는데, 육각형 한번 길이가 14[mm]인 경우는 부하저항에 따라 약간의 차이가 있었으며, 약 91[kHz] 근처이었으며, 17.5[mm]인 경우는 약 70[kHz] 근처이었다.

그림 3은 육각형 압전변압기의 크기 및 입력전압에 따른 부하저항별 승압비를 나타낸 것으로써, 부하저항이 커질수록 한번의 길이가 클수록 승압비는 증가하고 있다. 한편, 인가전압이 클수록 부하저항이 큰 쪽에서는 오히려 감소하고 있는데 이는 그림 4에서 측정된 구동부의 공진저항이 감소하면서 입력전류가 증가함에 따른 손실 성분의 증가때문이라 생각된다.

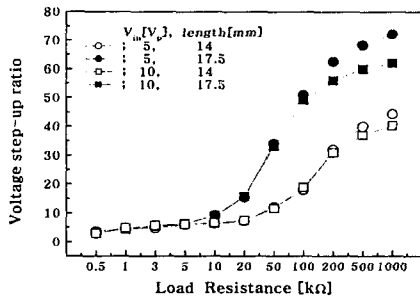


그림 3. 압전변압기의 크기 및 입력전압에 따른 부하저항별 승압비
Fig. 3. Voltage step-up of piezoelectric transformer with its size, input voltage and load resistance

Rosen type의 압전변압기에서 승압비와 관계된 식은 다음 식 (1)과 같으며, 본 육각형 압전변압기에서도 이와 마찬가지로 구동부와 발전부사이의 길이가 증가할수록 승압비가 증가하는 현상은 일치하고 있다.

$$\left(\frac{V_o}{V_i}\right)_{\infty} = \frac{4}{\pi^2} Q_m \cdot k_{31} \cdot k_{33} \cdot \frac{L}{T} \quad (1)$$

여기서, Q_m 은 기계적 품질계수, k_{31} 와 k_{33} 는 전기기계결합계수, L 은 길이, T 는 두께이다.

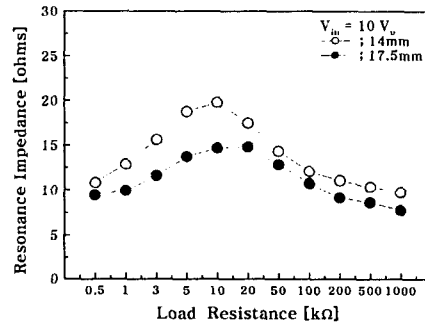


그림 4. 부하저항별 구동부의 공진저항.
Fig. 4. Resonance impedance of driving section with load resistance

그림 5는 육각형 압전변압기의 출력단자에 각각 1개, 2개 또는 3개를 부하저항에 연결시켜 측정된 승압비를 나타낸 것으로써, 출력단자 수가 증가할수록 승압비는 증가하고 있다. 이는 압전변압기의 병렬구동효과와 같음을 알 수 있었다.

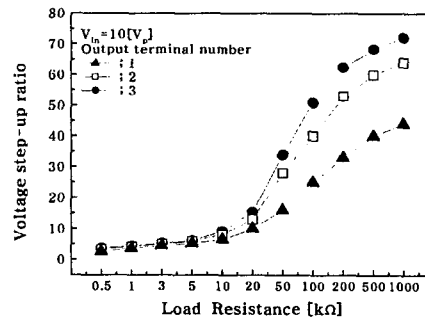


그림 5. 발전부의 출력단자수에 따른 승압비
Fig. 5. Voltage step-up ratio with output terminal number of generating section

육각형 압전변압기의 제조 및 전기적 출력 특성

그림 6과 7은 각각 압전변압기의 크기별, 인가전압별 효율을 나타낸 것이다. 압전체의 크기가 증가하면서 부하저항별 효율은 약간 저하하는 경향이 있었으며, 최대효율을 보이는 부하저항 값은 약간 증가하여 압전체의 한변의 길이가 14[mm]인 경우 약 10[kΩ]의 근처이었으며, 17.5[mm]인 경우는 약 20[kΩ] 근처로 나타났다.

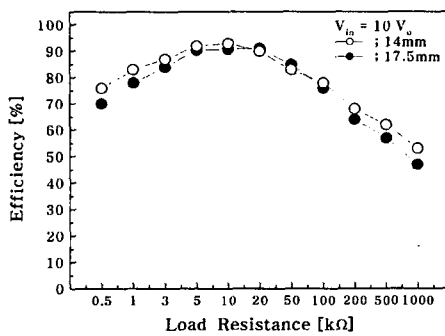


그림 6. 부하저항별 육각형 압전변압기의 크기에 따른 효율.

Fig. 6. The efficiency of a hexagon piezoelectric transformer with its size and load resistance

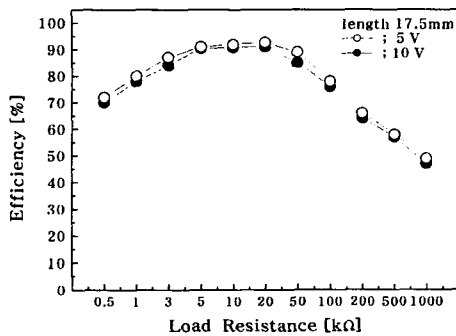


그림 7. 부하저항별 육각형 압전변압기의 입력전압에 따른 효율

Fig. 7. The efficiency of a hexagon piezoelectric transformer with input voltage and load resistance

효율은 구동부의 공진저항과 연관성이 있으며, 그림 4에서 보듯이 압전변압기의 크기가 증가함에 따라 공진저항은 감소하는 경향을 보였으며, 구동부의 공진저항이 작게 되면 그 만큼 열 손실의 수반을 초

래하게 될 것이므로 효율의 저하를 예상할 수 있다. 이와 같은 견지에서 입력전압에 따른 경향이나 최대 효율을 보이는 현상도 이해될 수 있다.

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

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

여기서 w 와 C_d 는 각각 발전부의 공진주파수와 제지용량이다.

발전부의 제지용량은 압전변압기의 한변의 길이가 14[mm], 17.5[mm]인 경우 각각 119.5pF와 141.3pF로 측정되었다. 이 값을 식 (2)에 의해 구한 결과, $R_{optimal}$ 이 약 14.5[kΩ]과 16.2[kΩ]으로 계산되었는데, 10[kΩ]~20[kΩ]의 부하저항 구간을 세분화하여 측정한 결과 근사값을 가짐을 확인하였다. 즉, 발전부의 출력임피던스가 부하저항과 매칭될 때 구동부의 입력전력이 출력부로 최대로 이루어짐을 의미한다고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 PZT+PMN+PSN계의 세라믹 조성으로 새로운 형태의 육각형 압전변압기를 제작하여 전기적 출력 특성을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 압전변압기에 적용하기 위해 제작된 세라믹의 특성은 $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0 = 1200$, $Q_m = 1500$, $\tan \delta = 0.3\%$, $k_p = 0.55$ 이었다.

부하저항이 클수록, 압전변압기의 크기에 따라 승압비는 증가하고 있으며, 1[MΩ]인 경우 약 80배의 승압비를 얻을 수 있었다.

효율은 압전변압기의 크기가 증가하면서 부하저항별 효율은 약간 저하하는 경향이 있었으며, 최대 효율을 보이는 부하저항 값은 약간 증가하여 압전체의 한변의 길이가 14[mm]인 경우 약 14[kΩ]의 근처이었으며, 17.5[mm]인 경우는 약 16[kΩ] 근처로 나타났다. 최대효율은 약 93% 값을 보였다.

References

- [1] Ishii K, Akimoto N, Tashirio S, and Igarashi H, "Influence of Load Resistance on Higher Harmonic Voltages Generated in a Piezoelectric Transformer", JJAP Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol.37, No.9B, pp.5330-5333, 1998.
- [2] 김용혁 외, "압전세라믹 변압기의 승압특성에 관한 연구", 한국전기전자재료학회, Vol.2, No.2, pp.53~61, 1989.
- [3] 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, 1995.
- [4] Hirose S, Magami N, and Takahashi S, "Piezoelectric Ceramic Transformer using Piezoelectric Lateral Effect on Input and on Output", JJAP Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol.35 No.5B, 1996.
- [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] Sakurai K, Nakazawa T, Shindou S, Ohnishi K, and Tomikawa Y, "Experimental Investigation of a Piezoelectric Ceramic Transformer using Radial Vibration of Disks Combined with a Coupling Element", JJAP Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol.37, No.5, 1998.

◇ 저자소개 ◇

이종필 (李鍾弼)

1962년 1월 21일생. 1990년 원광대학교 전기공학과 졸업. 1998년 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 광운대학교 전기공학과 박사과정 수료.

홍진웅 (洪眞雄)

1955년 2월 23일생. 1982년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1984년 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 광운대학교 전기공학과 박사졸업(박사). 1989~2003 현재 광운대학교 전기공학과 교수.