

Adaptor용 압전트랜스포머 조성 $Pb(Sb_{1/2} Nb_{1/2})O_3-Pb(Ni_{1/3} Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ 세라믹스의 전기적 특성

Electrical Characteristics of Piezoelectric Transformer Composition $Pb(Sb_{1/2} Nb_{1/2})O_3-Pb(Ni_{1/3} Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ Ceramics for Adaptor

윤광희*, 오동언*, 류주현*, 윤현상**

(Kwanghee Yoon*, Dongon Oh*, Juhyun Yoo*, and Hyungsang Yoon**)

Abstract

In this study, to develop the high power piezoelectric transformer for adaptor, PSN-PNN-PZT system ceramics were formulated as a function of MnO_2 addition and its dielectric and piezoelectric characteristics were investigated. Multi-layer piezoelectric transformer using an excellent composition was also fabricated and its electrical properties evaluated. The composition ceramics added to 0.5wt%MnO₂ showed the maximum value of $k_p=0.61$ and $Q_m=1,321$. As the output power of piezoelectric transformer is increased, its temperature rise increased. At the fixed 18W output power, the transformer was stably operated.

Key Words : High power piezoelectric transformer, Output power, Temperature rise

1. 서론

현재 기존의 Rosen형[1]이나 Rosen형을 개량한 분극반전형 및 3차 길이방향진동형 등으로 압전 트랜스포머가 연구 개발되어 노트북 컴퓨터와 Camcorder, PDA 등에 이용되는 Liquid Crystal Display(LCD) Backlight 구동용 고압전원으로 실용화가 이루어졌다[2,3]. 그 외에 이러한 압전 트랜스포머는 오존발생기, DC-DC 컨버터[4], AC 어댑터[5], 모니터의 고압 전원 등으로 일부가 실용화되었으며, 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 압전 트랜스포머가 주목받게 된 이

유는 종래의 권선형 트랜스포머에 비해 여러 가지 장점을 가지고 있는데, 기존의 권선형 트랜스포머와 같이 자기 에너지를 변환하는 방법이 아니기 때문에 누설자속이 없어 노이즈 발생이 없다. 또한 압전 트랜스포머는 구동할 때 공진주파수부근을 이용하기 때문에 출력 파형이 정현파에 가까워 고조파 잡음의 영향이 적고, 세라믹 무기 재료를 사용하기 때문에 불연성인 특징을 가지고 있으며, 특히, 슬립화, 소형화, 경량화가 가능하며, 85% 이상의 높은 효율을 갖는 등 많은 장점을 가지고 있어 앞으로 응용 분야가 확산될 것으로 기대된다. 그러나 기존의 LCD backlight(냉음극관)에 사용되는 압전 트랜스포머는 출력 임피던스가 높아 고전압, 소전류를 필요로 하는 냉음극관에는 적합하나 수백 mA 이상의 높은 전류를 필요로 하는 AC 어댑터용 압전 트랜스포머로는 적용하기 어렵다. 최근 들어 대부분의 휴대용 기기는 소형, 경량화방향으로 연구개발이 진행되고 있으며, 이러한 기기에

* : 세명대학교 전기공학과
(충북 제천시 신월동
Tel: 043-649-1301
E-mail : juhyun57@semyung.ac.kr)

** : 경문대학 전기과
(경기도 평택시 장안동 산 45번지)

2002년 1월 25일 접수, 2002년 2월 19일 1차 심사 완료
2002년 3월 7일 최종 심사 완료

DC 전원을 공급하는 AC 어댑터도 소형, 경량화가 요구되고 있다. 그러나 기존의 AC 어댑터는 복잡한 구조 때문에 권선형 트랜스포머를 작고 가볍게 만들기 어렵다. 그러므로 요구되는 크기와 경량화를 만족하기 위해서 자기적인 권선형 트랜스포머 대신 어댑터용 압전 트랜스포머를 개발하기 위하여 $Pb(Sb_{1/2}Nb_{1/2})O_3-Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ 세라믹스에 MnO_2 를 첨가함에 따른 유전, 압전 특성을 조사한후, 전기기계결합계수(k_p)와 기계적품질계수(Q_m)특성이 우수한 압전 세라믹스 조성을 사용하여 압전 트랜스포머를 설계 제작하였으며 그에 대한 전기적 특성을 조사하여 어댑터로의 적용가능성을 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 시편의 제조 및 특성측정

본 연구에서는 조성식 $0.02Pb(Sb_{1/2}Nb_{1/2})O_3-0.13Pb(Ni_{1/3} Nb_{2/3})O_3-0.85Pb(Zr,Ti)O_3 + x \text{ wt\% } MnO_2$ ($x = 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0$)을 사용하여, 조성에 따라 시료를 $10^{-4}g$ 까지 평량하여 아세톤을 분산매로 볼밀에서 24시간 혼합 분쇄하였고, 건조 후 알루미나 도가니로 $850^\circ C$ 에서 2시간 하소하였다. 하소 후 재분쇄한 시료에 PVA(5wt% 수용액)을 첨가하여 $1,200[kg/cm^2]$ 의 압력으로 성형하였고, $1200^\circ C$ 에서 2시간 소결하였다. 특성 측정을 위해 두께 1mm로 연마해 Ag paste를 도포하고 $600^\circ C$ 에서 10분간 열처리하였다. 전극이 형성된 시편들은 $120^\circ C$ 실리콘유 속에서 $30[kV/cm]$ 의 전계를 인가하여 분극하였고, 24시간 후 제특성을 측정하였다. 유전 특성을 조사하기 위하여 LCR meter (ANDO AG-4304)로 1kHz에서 정전용량을 측정하여 유전 상수를 측정하였고, 압전 특성들을 조사하기 위하여 전기기계결합계수 및 기계적 품질계수 등을 IRE 규정에 따라 Impedance Analyzer(HP4194A)로 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 산출하였다.

2.2 압전 트랜스포머의 제작

어댑터용 압전 트랜스포머는 조성 실험 중 가장 우수한 특성을 나타내는 압전 세라믹스를 사용하여 제작하였고, 전기기계결합계수 k_p 가 k_{31} 보다 크기 때문에 진동모드로서 k_p 를 이용한 유평진동모드를 이용하였다[6]. 제작된 압전 트랜스포머의 크기와 구조는 그림 1에 나타내었다. 압전 트랜스포머는 입력측이 직렬로 되어 있기 때문에 입력 임피던스

가 크고, 출력측은 병렬로 되어 정전용량이 크게 되므로 출력 임피던스가 작고 출력전류를 크게 할 수 있는 구조이며, 강압되도록 설계하였다.

제작된 적층형 압전 트랜스포머는 3층 구조이며, 한 층의 두께는 0.7mm이고 에폭시 접착제를 사용하여 결합시켰다. 압전 트랜스포머의 전기적 특성을 측정하기 위해 그림 2와 같은 측정 시스템

그림 1. 제작된 압전 트랜스포머의 구조.

Fig. 1. Structure of the fabricated piezoelectric transformer.

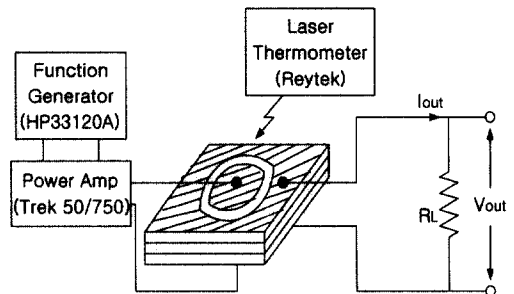


그림 2. 압전 트랜스포머의 구동 및 측정 시스템.

Fig. 2. Driving and measurement system of piezoelectric transformer.

으로 입력전압에 따른 출력전압 및 출력전력은 Power Amp.(Trek50/750), Function generator(HP 33120A) 및 오실로스코프(Tektronix TDS3054)를 이용하여 측정하였고, 출력전력에 따른 온도상승은 비접촉식 온도계(Reytek Laser Thermometer)로 측정하였다[7]. 압전 트랜스포머는 부하저항에 따라 특성이 큰 폭으로 변화하기 때문에 여러가지 부하에 대한 출력 특성을 조사하여야 하나, 본 연구에서는 압전 트랜스포머의 출력 임피던스와의 정합을 고려해 45Ω의 부하저항으로 전기적 특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유전 및 압전 특성

MnO₂ 첨가에 따른 상온에서의 유전상수의 변화를 그림 3에 나타내었다. MnO₂ 첨가량이 작을 때는 유전상수가 크게 감소하였으나, 0.5wt% 첨가되었을 때 다시 증가하였고 그 이후 감소하는 경향

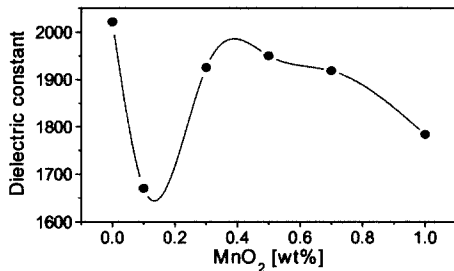


그림 3. MnO₂ 첨가량에 따른 상온에서의 유전상수.
Fig. 3. Dielectric constant at room temperature as a function of MnO₂ addition.

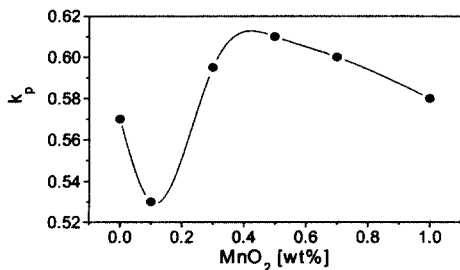


그림 4. MnO₂ 첨가량에 따른 전기기계결합계수 k_p.
Fig. 4. Electromechanical coupling factor(k_p) as a function of MnO₂ addition.

을 나타내었다. 이는 MnO₂가 첨가되면서 Mn⁺³ 이온이 치환되어 들어감에 따라 엑셀터로 작용하여 공간전하중성을 유지하기 위하여 산소공공을 유발하고, 이 산소공공이 분역벽의 움직임을 감소시켜 유전상수를 저하시키는 것으로 보인다[5]. 그러나 MnO₂ 첨가량이 0.3wt% 이상일 때는 소결성의 증가로 유전상수가 증가하다가, 너무 많은 양이 첨가되면 결정 내부로 충분히 고용되지 못하고 입계에 편석되면서 유전상수는 감소하였다.

MnO₂ 첨가에 따른 전기기계결합계수 k_p는 그림 4에 나타내었다. 전기기계결합계수는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환시켜주는 효율을 나타내는 것으로 압전 트랜스포머에서는 중요한 요소 중의 하나이다. MnO₂ 첨가에 따라 전기기계결합계수는 증가하여 0.5wt% 첨가시 최대값을 나타내었으며, 그 이상 첨가시 감소하였다.

MnO₂ 첨가에 따른 기계적 품질계수 Q_m은 그림 5에 나타내었다. MnO₂ 첨가에 따라 기계적 품질계수는 증가하다 0.5wt% 첨가시 최대값을 나타내었

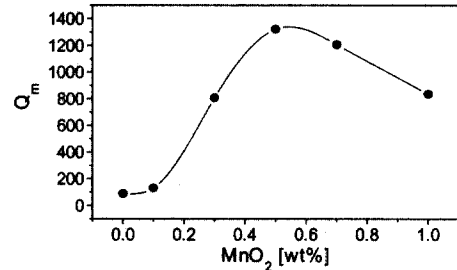


그림 5. MnO₂ 첨가량에 따른 기계적 품질계수 (Q_m).
Fig. 5. Mechanical quality factor(Q_m) as a function of MnO₂ addition.

표 1. PSN-PNN-PZT 세라믹스의 유전 및 압전 특성.

Table 1. Dielectric and piezoelectric properties of PSN-PNN-PZT ceramics.

MnO ₂ [wt%]	Density [g/cm ³]	Dielectric constant	k _p	Q _m
0	7.80	2,021	0.571	88
0.1	7.78	1,670	0.535	130
0.3	7.73	1,925	0.595	807
0.5	7.64	1,950	0.610	1,321
0.7	7.68	1,918	0.601	1,207
1.0	7.69	1,784	0.582	835

으며, 그 이상 첨가시 감소하였다. MnO_2 를 첨가할 때 기계적 품질계수가 크게 증가하는 이유는 ABO_3 구조인 PZT계 압전 세라믹스의 소결온도 범위에서 Mn 이온이 +3가로 존재하여 Mn^{+3} 이온이 +4가인 B자리에 치환되어 들어감에 따라 역셀터로 작용하여 분역벽의 움직임을 감소시켜 분역벽의 안정화 작용을 하기 때문으로 판단된다[8]. 표 1은 MnO_2 첨가에 따른 유전 및 압전 제특성을 나타낸 것이다.

3.2 어댑터용 압전 트랜스포머의 전기적 특성

제작된 압전 트랜스포머의 1kHz에서 측정한 입력측 정전용량 $C_{in}=2.2nF$, 출력측 정전용량 $C_{out}=48nF$ 이다. C_{in} 이 클수록 입력전압을 낮출 수 있으며, C_{out} 은 출력단 부하저항과의 임피던스 정합을 고려할 때 중요한 변수가 된다. 그림 6은 입력전압에 따른 출력전압을 나타낸 것이다. 입력전압 증가에 따라 출력전압이 증가하였다. 압전 트랜스포머의 구동주파수에서 입력전압에 따른 출력전력은

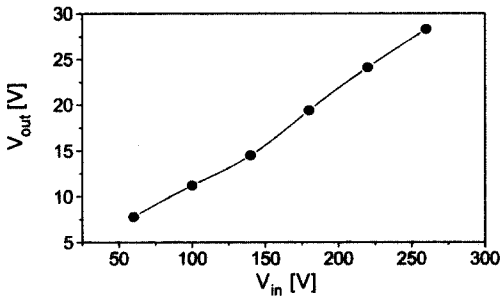


그림 6. 입력전압에 따른 출력전압.
Fig. 6. Output voltage as a function of the input voltage.

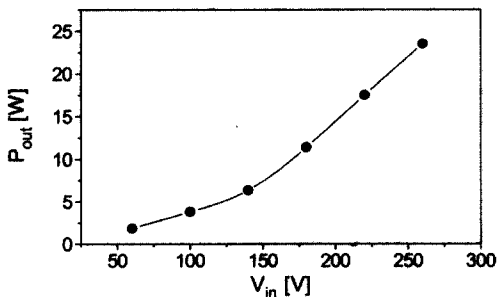


그림 7. 입력전압에 따른 출력전력.
Fig. 7. Output power with the input voltage.

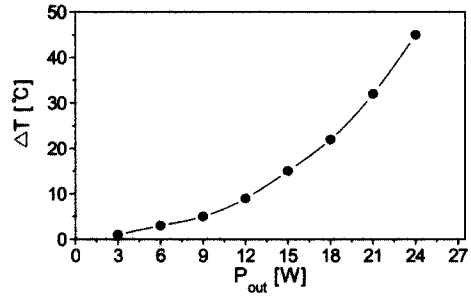


그림 8. 출력전력에 따른 온도상승.
Fig. 8. Temperature rise as a function of the output power.

그림 7에 나타내었다. 입력전압이 증가함에 따라 출력전력은 증가하였는데, 이는 입력전압이 증가할때 출력전압과 출력전류가 증가하였기 때문이다. AC 어댑터에 적용하기 위한 압전 트랜스포머의 특성으로 정격출력을 20W로 고정할때 입력전압 230V에서 출력전압 25.7V, 출력전류 778mA를 각각 나타내었다.

출력전력에 따른 압전 트랜스포머의 온도상승 ($\Delta T^{\circ}C$)은 그림 8에 나타내었다. 모든 전기적 소자에 있어서 발열은 그 소자의 사용한계점을 나타내는 중요한 요소로, 압전트랜스포머의 적용시 구동상태의 발열량이 크면 사용상의 제한을 받게 된다. 출력전력이 증가함에 따라 발열량이 증가하였으며, 이는 출력전류의 증가에 따른 진동변위의 증가로 인한 진동속도의 증가에 의한 것이다. 압전트랜스포머의 발열량 $\Delta T^{\circ}C$ 가 $20^{\circ}C$ 이내의 범위에서 나타나는 출력을 최대출력이라 할 때, 18W 이내에서 구동시 안정적이었다. 다만, 본 실험에서 제작된 압전트랜스포머는 접착방식으로 제작되었기 때문에 실용화하는 데는 문제가 있으며, 추후에 Ag-Pd 내부전극을 사용한 저온소결방식으로 제작할 예정이다. 이는 또한, 세라믹스 소결을 저온($900-1100^{\circ}C$)에서 해야하므로 저온소결에서의 압전 유전특성이 우수한 시편을 제작해야 하는 것도 해결해야 할 과제이다.

4. 결 론

본 연구에서는 유전상수, 전기기계결합계수 및 기계적 품질계수가 큰 압전 트랜스포머용 조성 세라믹스를 개발하기 위하여 PSN-PNN-PZT 계에 불순

물로 MnO₂를 첨가하여 유전 및 압전 특성을 조사하였으며, 여기서 가장 우수한 특성을 나타내는 조성으로 어댑터용 적층 압전 트랜스포머를 제작하여 전기적 특성을 측정 한 결과는 다음과 같다.

1. MnO₂ 첨가에 따라 유전상수는 감소하였다가 0.5 wt% 첨가시 1,950으로 증가하였다가 다시 감소하였다.
2. MnO₂ 첨가에 따라 전기기계결합계수 k_p 와 기계적 품질계수 Q_m 은 증가하다가 0.5wt% 첨가시 각각 0.61, 1,321로 최대값을 나타내었으며, 그 이상 첨가시 감소하였다.
3. 입력전압에 따라 출력전압 및 출력전력은 증가하였으며, 출력을 20W로 고정할 때 입력전압 230V에서 출력전압 25.7V, 출력전류 778mA를 각각 나타내었다.
4. 출력전력이 증가함에 따라 발열량이 증가하였으며, 압전트랜스포머의 발열량 $\Delta T^{\circ}C$ 가 20 $^{\circ}C$ 이내의 범위에서 나타나는 출력을 최대출력이라 할 때, 18W 이내에서 구동시 안정적이었다.

참고 문헌

- [1] C. A. Rosen, "Ceramic transformers and filters", Proc. Electronic Component Symp., p. 205, 1956.
- [2] 이동균, 윤석진, 김현재, 안형근, 한득영, "PMS-PZT, PMN-PZT계 세라믹스를 이용한 압전 트랜스포머의 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 3호, p. 220, 2000.
- [3] 이용우, 류주현, 윤광희, 정희승, 서성재, 김종선. "PSN-PZT계 세라믹스를 이용한 고출력 압전트랜스포머의 전기적 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 4호, p. 286, 2000.
- [4] O. Ohnishi, H. Kishie, A. Iwamoto, Y. Sasaki, T. Zaitso, and T. Inoue, "Piezo-electric ceramic transformer operating in thickness extensional vibratin mode for power supply", Proc. IEEE Ultrasonics Symposium, p. 483, 1992.
- [5] T. Zaitso, Y. Fuda, Y. Okabe, T. Ninomiya, A. Hamamura, and M. Katsuno, "New piezoelectric transformer converter for AC adapter", Proc. IEEE APEC'97, p. 568, 1997.
- [6] J. H. Yoo, Y. W. Lee, K. H. Yoon, S. J.

Suh, J. S. Kim, and C .S .Yoo, "Electrical characteristics of the contour-vibration-mode piezoelectric transformer with ring/dot electrode area ratio", J. Appl. Phys., Vol. 39, p. 2680, 2001.

- [7] 황상모, 류주현, 황락훈, 김주래, 홍재일, 박창엽, 김종선, "압전트랜스포머를 이용한 T5(28W)형광등 안정기회로의 전기적특성", 전기전자재료학회논문지, 14권, 9호, p. 736, 2001.
- [8] Y. Xu, "Ferroelectric Materials, and Their Application", North-Holland, p. 136, 1991.