

압전특성 및 부하변화에 따른 압전트랜스포머의 전기적 특성

Electrical Characteristics of the Piezoelectric Transformer as a Function of Piezoelectric Properties and Load Variations

민석규, 윤광희, 류주현

(Suk-Kyu Min, Kwang-Hee Yoon, Ju-Hyun Yoo)

Abstract

The piezoelectric transformers of $2.0 \times 10 \times 48 \text{ mm}^3$ size were fabricated with PSN-PMN-PZT(T1) and PNW-PMN-PZT(T2) composition ceramics. Effects of micro structural and piezoelectric properties on the electrical characteristics of the piezoelectric transformers were investigated. Under the fixed output power of 6 W, temperature rise of T1 transformer at the optimum load was smaller than T2 one because of fine grain size effect. Voltage step-up ratio of T1 transformer showed higher value than T2 one. T1 transformer showed an excellent properties with voltage step-up ratio of 12.41, efficiency of 95.23% and temperature rise of 7.2°C at 200 k Ω load resistance. And also, T2 transformer showed an excellent properties with voltage step up ratio of 9.81, efficiency of 95.51% and temperature rise of 9°C at 150 k Ω load resistance.

Key Words : Output power, Piezoelectric transformer, Voltage step-up ratio, Efficiency

1. 서론

압전트랜스포머는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환시키고 이를 다시 전기적 에너지로 변환하는 에너지 변환특성을 이용하는 고체소자이다. 이 소자는 기존의 권선트랜스에 비해 슬림, 소형화가 가능하며, 전자적인 잡음이 발생치 않고, 에너지 변

환효율이 90% 이상인 장점을 가지고 있다. 이 소자는 국내외에서 이미 2-3 W급 노트북 컴퓨터의 LCD Backlight인 냉음극관을 구동하는 고압발생 소자로 실용화되었다.[1] 또한, 최근 들어, 일본에서 5.6 인치 TFT-LCD를 GPS 자동차 항법(car navigation) 시스템에 적용함에 따라 출력전력 6-10 W정도의 전력을 소모하는 LCD Panel을 조명하기 위한 냉음극관 구동용 인버터에 관한 연구가 절실히 요구되고 있다. 6-10 W 급의 고출력 압전트랜스포머의 요건으로서 무엇보다도 치밀한 입경을 갖는 고강도의 화인 세라믹이어야 하며, 또한 전기기계결합계수 k_{31} , k_{33} 와 기계적 품질계수 Q_m 을 높여 에너지 변환효율을 높이고 손실을 작게 하여 발열을 감소시켜야 한다.[2] 발열에 관계한 압전트랜스포머의 설계시 중요한 요건은 Backlight 부하와 압전트랜스포머의 출력

세명대학교 전기공학과
(충북 제천 신월 산21-1)

FAX : 043-648-0868

E-mail : piezo73@orgio.net)

2001년 1월 15일 접수, 2001년 2월 19일 1차심사완료

2001년 3월 19일 2차심사완료, 2001년 3월 30일 3차

심사완료

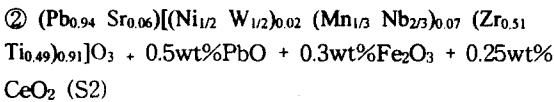
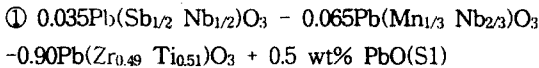
임피던스를 일치 시키는 일이며, 압전트랜스포머의 출력임피던스와 부하임피던스가 일치할 때 효율이 최대가 되고, 발열이 최소가 된다.[2]

따라서, 본 연구에서는 미세구조, 압전특성 및 부하변화에 따른 최적의 압전트랜스포머 설계조건을 찾기 위해 $Pb(Sb_{1/2} Nb_{1/2})O_3 - Pb(Mn_{1/3} Nb_{2/3})O_3 - Pb(Zr,Ti)O_3$ (이하 PSN-PMN-PZT), $(Pb, Sr)[(Ni_{1/2} W_{1/2})(Mn_{1/3} Nb_{2/3})(Zr, Ti)]O_3$ (이하 PNW-PMN-PZT) 조성 세라믹스를 선택하여, 각각의 유전 및 압전 제반 특성을 조사하고, CIP(Cold Isostatic Press)법을 이용하여, 고강도, 고밀도, 고전력급의 압전트랜스포머를 제작하여, 그에 관한 효율, 승압비 특성을 조사하고자 한다.

2. 실험

2.1 시편의 제조 및 특성측정

본 실험에서는 화학물 혼합법으로 시편을 제조하였으며, 실험에 사용된 조성식은 다음과 같다.



조성에 따른 시료의 정확한 물 비율 10^{-4} g까지 평량하였고, 아세톤을 분산매로 불밀을 사용하여 24 시간 동안 혼합 분쇄한 후 건조하였다. 건조된 시료는 알루미늄 도가니로 850°C 에서 2시간 동안 하소하였다. 하소가 끝난 시료를 재분쇄한 후 PVA(5 wt% 수용액)을 5 wt% 첨가하여 직경 21 mm 물더로 CIP법을 이용 20,000 psi의 압력을 가하여 성형하고, 승하강 온도 300°C/h 로 하여 ①조성은 1250°C , ②조성은 1200°C 에서 각각 2시간 동안 소결하였다. 소결된 시편들은 특성 측정을 위해 1 mm 두께로 연마하여 실버 페이스트를 도포하고 600°C 에서 10분간 열처리하였다. 전극이 형성된 시편은 100°C 실리콘유속에서 30 kV/cm의 전계를 30분 동안 인가하여 분극하였다.

소결된 시편의 조성변화에 따른 소결성을 판단하기 위하여 공기 중에서의 질량과 물속에서의 질량을 측정하여 밀도를 구하였다. 또한 미세구조를 관찰하기 위해 소결된 시편들의 파단면을 주사전자 현미경(SEM, RJ Lee Instruments)으로 관찰하였다. 유

전상수의 온도에 따른 특성을 조사하기 위해서 $20 \sim 400^\circ\text{C}$ 의 온도 범위 내에서 LCR meter(ANDO AG-4304)로 1 kHz에서 정전용량을 측정하여 유전상수를 구하였고, Sawyer-Tower 회로로 이력곡선을 관찰하여 항전계를 구하였다. 압전특성을 나타내는 전기기계결합계수, 기계적품질계수 등은 IRE 규정에 따라 Impedance Analyzer(HP4194A)로 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 산출하였다. 공진 주파수 온도계수의 %와 ppm/ $^\circ\text{C}$ 는 각각 다음 식에 의해 계산하였다.[3]

$$TCFr(\%) = \frac{[fr(T^\circ\text{C}) - fr(25^\circ\text{C})]}{[fr(25^\circ\text{C})]} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$TCFr(\text{ppm}/^\circ\text{C}) = \frac{[fr(\text{max}) - fr(\text{min})]}{[fr(25^\circ\text{C})]} \times 1/100 \quad (\text{ppm}/^\circ\text{C}) \quad (2)$$

여기서, $fr(T^\circ\text{C})$ 와 $fr(25^\circ\text{C})$ 는 각각 $T^\circ\text{C}$, 25°C 에서의 공진주파수이다. 공진주파수는 $-20^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 사이에서 측정되었다.

2.2 압전트랜스포머의 특성측정

2.2.1 압전트랜스포머의 등가회로

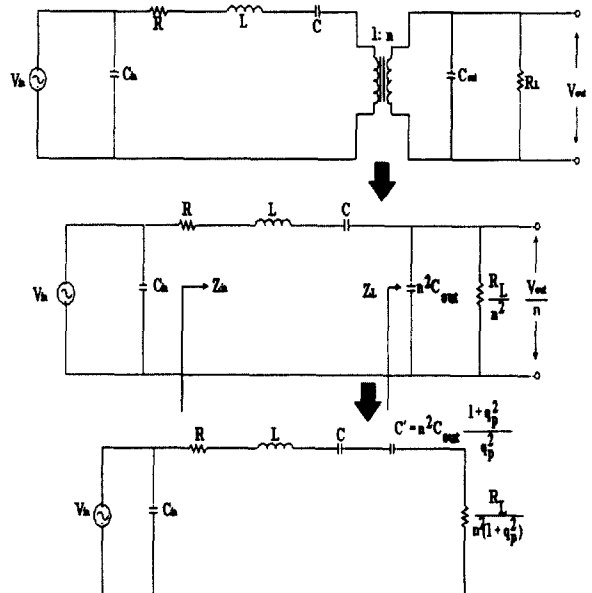


그림 1. 압전트랜스포머의 등가회로.

Fig. 1. Equivalent circuit of piezoelectric transformer.

그림 1은 압전트랜스포머의 등가회로를 나타낸 것이다. 그림에서의 화살표는 압전트랜스포머 2차측을 1차측으로 변환하는 과정을 나타낸 것이다. 여기서,

$$q_p = wR_L C_{out} \quad (3)$$

으로 나타내었다.

그리고, 등가회로에서의 입력 임피던스 Z_{in} 과 전압이득 V_{gain} 은 다음과 같이 된다.

$$Z_{in} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + Z_L \quad (4)$$

$$V_{gain} = \left| \frac{Z_L}{Z_{in}} \right| = \left| \frac{\frac{R_L}{n^2(1+q_p^2)} + \frac{q_p^2}{j\omega n^2 C_{out}(1+q_p^2)}}{Z_{in}} \right| \quad (5)$$

또한, 효율 η 는 다음 식으로서 계산된다.

$$\eta = \frac{\text{Re}[Z_L]}{\text{Re}[Z_{in}]} = \frac{R_L}{(1+q_p^2)n^2 R + R_L} \quad (6)$$

따라서, $q_p = 1$ 일때 공진주파수에서 최적효율 $\eta(\text{optimum})$ 은

$$\eta(\text{optimum}) = \frac{R_L(\text{opt})}{2n^2 R + R_L(\text{opt})} \quad (7)$$

이 된다. 따라서, $q_p = 1$, 즉 $R_L = \frac{1}{2n^2 C_{out}}$ 일때 최적효율이 얻어지므로 압전트랜스포머의 출력임피던스와 부하저항과의 임피던스가 같아질 때 압전트랜스포머의 효율이 최대가 되며, 그 때 온도상승은 최소가 된다.

2.2.2 압전트랜스포머의 제작 및 특성측정

Rosen형 압전트랜스포머는 CIP 방법으로 20,000 psi 등압 성형하여 소성 하였으며, 압전트랜스포머의 사이즈는 2.0 mm×10 mm×48 mm로 하였다. 제작된 시편은 두께 방향으로 25 kV/cm의 전계를 길이 방향으로 15 kV/cm의 전계를 30분 동안 인가하여 분극하였다. 제작된 압전트랜스포머 구동부의 유효 전기기계결합계수 k' 와 기계적품질계수 Qm' 및 출력임피던스 Z_{out} 은 각각 다음 식에 의해 계산하였다.[2][4]

$$k' = \sqrt{\frac{fa^2 - fr^2}{fa^2}} \quad (8)$$

$$Q'_m = \frac{1}{2\pi fr(1 - (\frac{fr}{fa})^2)RC} \quad (9)$$

$$Z_{out} = \frac{1}{2\pi f_r C_{out}} \quad (10)$$

여기서, fr , fa 는 각각 압전트랜스포머 구동부의 공진 및 반공진 주파수이며, R 은 공진저항, C 는 1 kHz에서의 정전용량이다. 또한 C_{out} 은 출력부의 damping capacitance이다.

식 (10)의 Z_{out} 은 부하가 변환에 따라 공진주파수 f_r 이 변하기 때문에 다소 변화가 일어난다. 무부하나 부하를 달았을 때의 공진주파수가 2 kHz 정도 변화한다고 가정할 때 Z_{out} 이 $\pm 10 \text{ k}\Omega$ 정도 밖에 변화하지 않기 때문에, 본 실험에서는 무부하 공진 주파수를 대입하여 Z_{out} 을 계산하였다. 또한, 압전트랜스포머의 특성 평가를 위해 그림 2처럼 전력증폭기(Trek50/750), 함수발생기(HP33120A)와 오실로스코프(Tektronix TDS3054)를 이용하여 압전트랜스포머 구동 및 측정시스템을 구성하였다. λ 모드에서의 주파수와 부하저항에 따른 승압비 및 효율특성을 측정하였으며, 인가전압에 따른 출력 전압특성을 측정하였다. 또한, 출력전력에 따른 압전트랜스포머의 온도 상승은 발열이 가장 심한 소자의 구동부 중앙에서 측정하였다. 여기서, 출력전력에 따른 온도 상승은 비접촉식 적외선 온도계인 Raytek(MX2)로 측정하였다.

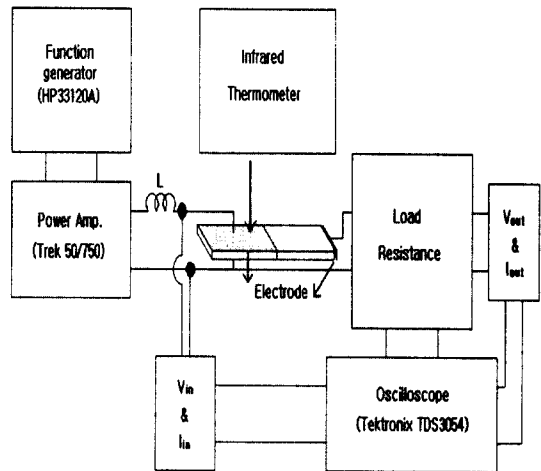
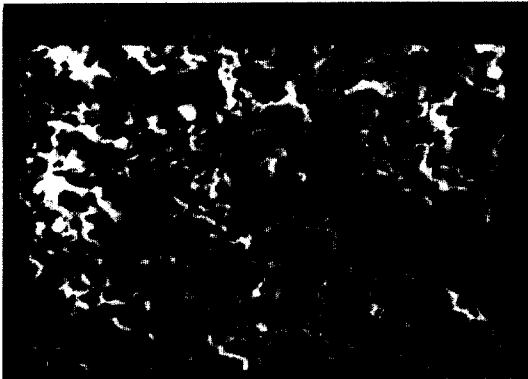


그림 2. 압전트랜스포머의 구동 및 측정 시스템.
Fig. 2. Driving and measuring system for piezoelectric transformer.

3. 결과 및 고찰

고출력 압전트랜스포머의 요구되는 요건으로는 무엇보다도 치밀한 입경을 갖는 고강도의 화인 세라믹이어야 하며, 또한, 전기기계결합계수와 기계적 품질계수를 높여 에너지 변환효율을 높이고 손실을 작게 하여 발열을 감소시켜야 한다. 또한, 큐리온도가 높아 열적인 가혹한 조건에서 분극의 풀림현상인 소극이 되지 않아야 한다. 그림 3 및 표 1에서 S1인 PSN-PMN-PZT 조성 과 S2인 PNW-PMN-PZT 조성을 비교할 때, S1은 전기기계결합계수(k_p)와 항전계(E_c), 큐리온도(T_c), 입경면에서 S2보다 좋은 특성을 보이며, S2는 유전상수, 기계적품질계수(Q_m)면에서 S1보다 우수한 특성을 나타내었다. 공진 주파수의 온도안정성에서는 S1이 약간 나은 특성을 나타내었다.



(a) S1



그림 3. 시편의 미세구조.

Fig. 3. Microstructure of specimens.

그림 4는 공진 주파수의 온도계수(%)를 나타낸 것이다. 압전트랜스포머는 공진 주파수 부근에서 구동되기 때문에 이 공진 주파수가 온도에 따라 심한 변화를 수반하게 되면, 압전트랜스포머를 구동할 때에 발열에 의한 온도상승시 공진 주파수가 변화하게 되어 공진 주파수를 조절해 주지 않으면 공진주파수가 아닌 다른 주파수에서 구동되는 결과를 초래하게 된다. 결국 이 소자의 구동주파수가 공진주파수보다 많이 벗어나게 되면 공진저항이 증가하게 되어 손실이 증가하고 발열이 심하게 발생하게 된다. 따라서, 압전트랜스포머 구동회로 설계시 온도상승에 의한 공진주파수 변화는 부하전류 변화를 탐지하여 조절해 줄 수 있으나, 가능한 한 공진 주파수의 온도계수가 낮으면 낮을수록 좋다. 두 조성 모두 -20~80°C에서 0.6% 미만의 우수한 특성을 나타냈으며, 이 두 조성을 비교할 때, 입경이 커서 한 개의 입(grain)안에 많은 분역이 존재하는 다분역 구조인 S2보다는 입경이 1.79 μm 로 매우 미세한 S1 조성이 단분역에 가깝고 입 경계면적이 커 이 경계에 많이 존재할 수 있는 공간전하분극에 의한 분역 속박효과에 의해 상대적으로 온도변화시에 분역(domain)이 안정화되어 공진 주파수의 온도계수가 낮은 것으로 생각된다. 그림 4에서 알 수 있는 것처럼 공진 주파수의 온도계수(%)는 온도의 증가에 따라 -에서 +로 이동하는 positive 특성을 보였으며, 이를 negative 방향으로 이동시켜 온도변화에 따라 거의 일정한 특성을 얻기 위해서는 소결온도나 분극강도(kV/cm)를 조절하면 가능하다.[5]

그림 5는 λ 모드에서의 압전트랜스포머의 최대 승압비를 나타낸 것이다. 그림에서 S1 및 S2 조성으로 제작된 압전트랜스포머가 각각 T1, T2이다. 압전트랜스포머의 대표적인 특성 중의 하나는 부하에 따라 공진주파수 및 승압비가 큰 폭으로 변한다는 점이며, 본 실험에서는 부하저항에 따라 변화된 공진주파수에서의 승압비 특성을 구하였다.

무부하때의 승압비 G_∞ 는 [6]

$$G_\infty = \frac{4}{\pi^2} Q_m K_{31} K_{33} \frac{L}{T} \quad (11)$$

로 구해지며, 여기서, L은 압전트랜스포머의 전체길이의 1/2이며, T는 압전트랜스포머의 두께이다. 승압비 특성으로만 보면 PSN-PMN-PZT 조성으로 제조된 T1의 경우가 PNW-PMN-PZT 조성으로 제조된 T2의 경우보다 약간 높은 승압 특성을 나타내었는데, 부하가 있을 경우 승압비는 Q_m 의 값이 k_{31} 과

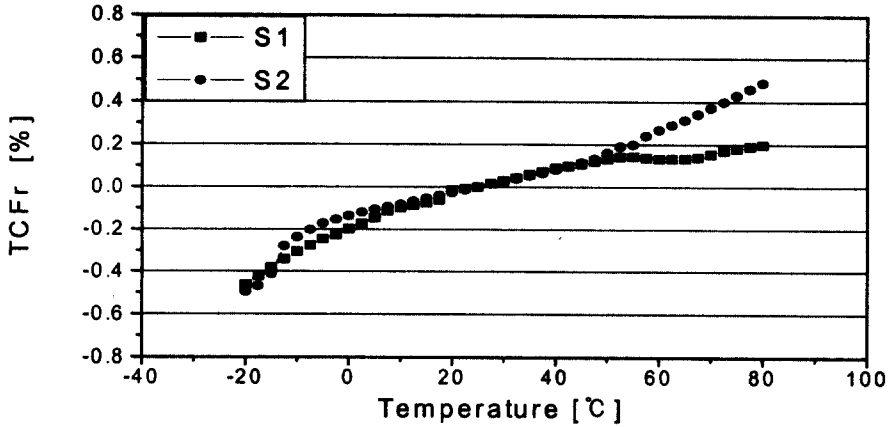


그림 4. 공진 주파수의 온도계수(%).

Fig. 4. Temperature coefficient of resonant frequency(%).

표 1. 유전 및 압전특성.

Table 1. Dielectric and piezoelectric properties of S1 and S2 compositions.

Sample No.	Dielectric constant	Density [g/cm ³]	kp	Qm	Ec [kV/cm]	Tc [°C]	TCFr [ppm/°C]	Grain size [μm]
S1	1,228	7.82	0.555	1,214	12.06	322	84	1.79
S2	1,680	7.68	0.523	1,814	9.15	272	88	4.09

k_{33} 보다 매우 크기 때문에 큰 영향을 미치게 된다. Q_m 이 크면 승압비가 증가하나, 승압비 측정의 조건은 출력전력을 1W로 고정하여 측정하였으므로 표 1의 소신호 측정치와는 차이가 있을 수 있다. 즉, 대신호 입력에서는 Q_m 이 크게 하강되며, Q_m 이 높고, 입경이 큰 S2 조성에서 Q_m 의 감소폭이 더욱 커졌으리라 생각된다. 이는 위에서 언급한 것처럼, 입경이 커서 한 개의 입경안에 많은 분역이 존재하는 다분역 시스템으로 되기 때문에 대신호 인가 시에도 도메인벽 마찰에 의한 손실이 증가하게 된다. 그러나 입경이 1.79 μm로 매우 미세한 S1 조성은 단분역에 가깝기 때문에 도메인벽의 마찰손실이 상대적으로 감소하게 되므로 Q_m 의 감소의 정도가 작았던 것으로 생각된다.[7]그림 6은 압전트랜스포머의 최대 효율을 갖는 부하저항값을 조사하기 위하여 부하저항에 따른 압전트랜스포머의 효율을 λ모드 공진주파

수에서 측정된 것이다.

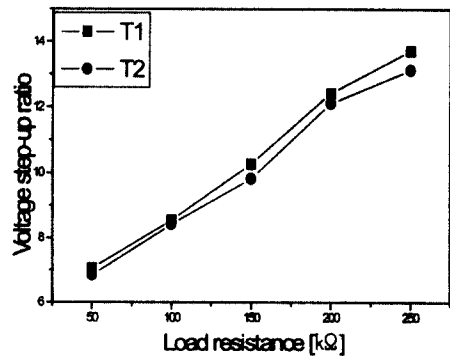


그림 5. 출력전력 1 W로 고정된 상태에서의 부하저항에 따른 최대 승압비.

Fig. 5. Maximum Voltage step-up ratio with load resistance under the fixed 1 W output power.

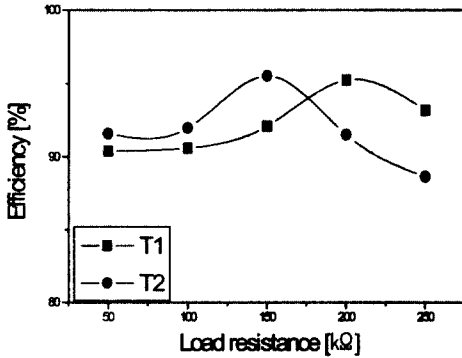


그림 6. 출력전력 6 W로 고정한 상태에서의 부하저항에 따른 효율.
 Fig. 6. Efficiency with load resistance under the fixed output power of 6 W.

T1은 200 kΩ에서 95.23%, T2는 150 kΩ에서 95.51%의 최대 효율이 나타났는데, 이는 압전트랜스포머의 출력단의 임피던스와 부하저항의 임피던스 사이의 정합이 근사적으로 가까웠기 때문이라 생각된다.

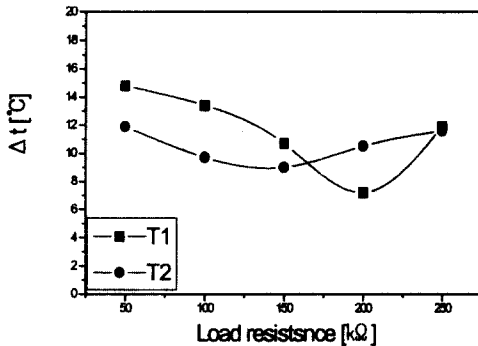


그림 7. 출력전력 6 W로 고정한 상태에서의 부하저항에 따른 온도상승.
 Fig. 7. Temperature rise with load resistance under the fixed output power of 6 W.

그림 7은 출력전력 6 W에서의 부하저항에 따른 온도상승 특성을 λ모드 공진주파수에서 측정된 것을 나타낸 것이다. T1, T2에서 온도상승이 최소가 되는 점은 각각 압전트랜스포머의 출력임피던스 (Zout)와 부하임피던스가 서로 매칭이 된 부분으로

생각된다. T1은 200 kΩ에서 7.2°C의 온도상승을 보였으며, T2는 150 kΩ에서 9°C의 온도상승을 나타내었다. T1이 50 kΩ 과 100 kΩ에서 비교적 온도상승이 크게 나타난 이유는 표 2에서 알 수 있는 것처럼 T1의 Zout이 176±10 kΩ이고, T2는 Zout이 133±10 kΩ이므로 부하저항이 Zout과 상대적으로 큰 차를 나타내기 때문으로 생각된다. 또한, 압전트랜스포머 T1과 T2의 공진주파수는 표 2에서 알 수 있듯이 T1의 경우가 더 낮게 나타났다. 그 이유는 밀도가 T1이 크기 때문이다.

압전트랜스포머의 λ모드의 공진주파수 fr은

$$f_r = \frac{1}{2L\sqrt{\rho S^E_{11}}} \quad (12)$$

이고, 여기서, L은 전체 압전트랜스포머 길이의 1/2, ρ는 밀도, S₁₁^E는 compliance이다.

그러나, 그림 8에서 알 수 있는 것처럼 부하저항을 연결하였을 때는 부하효과에 의하여 최대 승압비를 나타내는 공진주파수는 오히려 T2가 낮게 나타났다. 또, 표 2에서 Cin은 트랜스포머의 입력부의 damping capacitance이며, Cout은 출력부의 damping capacitance를 나타낸 것으로 T2가 유전상수가 높은 값을 보였다. 정확한 Cin, Cout값은 압전트랜스포머의 원선도를 측정하여 집중등가회로 해석[8]을 이용하여 구해야 하나, 1 kHz에서 측정된 정전용량값과 큰 차이가 없으므로 압전트랜스포머의 입,출력부의 정전용량으로 근사화시켰다. k'는 T1이 Qm'은 T2가 높은 값을 보인 것은 표 1에서의 kp 및 Qm과 서로 관련이 있다.

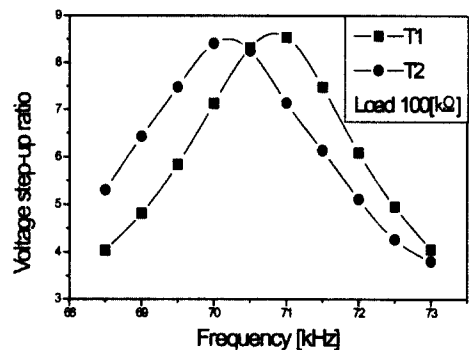


그림 8. 출력전력 6 W로 고정한 상태에서의 부하저항 100 kΩ에서의 주파수에 따른 승압특성.
 Fig. 8. Voltage step-up ratio as a function of frequency at load resistance 100 kΩ under the fixed output power of 6 W.

표 2. 소신호에서의 압전트랜스포머의 특성.

Table 2. Characteristics of piezoelectric transformer at small signal.

	무부하 공진주파수 [kHz]	Cin[nF]	Cout[pF]	Zout [kΩ]	S_{11}^E [$\times 10^{-12}$ [m ² /N]]	k'	Qm'
T1	72.65	1.33	12.4	176±10	11.52	0.225	1048
T2	72.8	1.65	16.4	133±10	11.60	0.170	1480

즉 kp, Qm이 높으면 k', Qm'도 따라서 높게 된다. 압전트랜스포머의 온도상승을 억제하기 위해서는 k', Qm'을 동시에 높게 하고, 더불어 부하 임피던스와 압전트랜스포머의 출력임피던스를 일치시키는 것이 중요하다.

그림 9는 부하저항 100 kΩ에서의 입력전압에 따른 출력전압을 나타낸 것으로 그림 5에서의 결과와 같이 T1이 T2보다 출력전압이 약간 높게 나타났다.

그림 10은 그림 2의 압전트랜스포머 구동 및 측정시스템을 이용하여 LCD Backlight의 점등시의 등가저항이 약 100 kΩ이므로, 부하저항 100 kΩ에서의 20분 동안 구동한 후 출력전력에 따른 온도상승을 측정하여 나타내었다. T2의 경우 온도상승이 더 적게 일어난 것은 T1은 Zout이 176±10 kΩ, T2는 Zout이 133 ±10 kΩ으로 T2의 경우가 더 근사적으로 부하

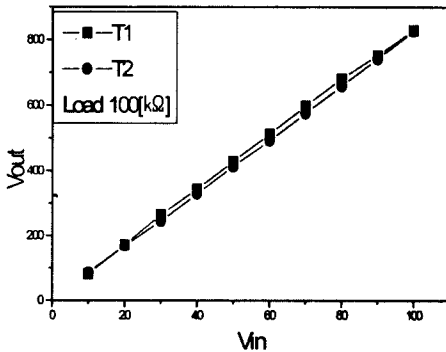


그림 9. 부하저항 100 kΩ에서의 입력전압에 따른 출력전압.

Fig. 9. Output voltage as a function of input voltage at 100 kΩ load resistance.

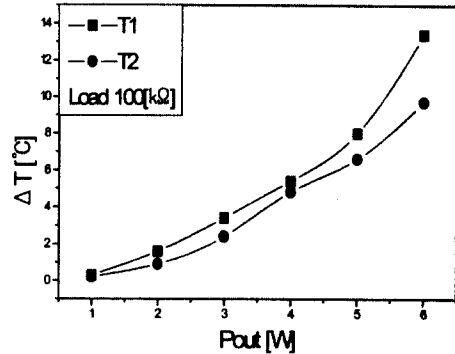


그림 10. 부하저항 100 kΩ에서의 출력전력에 따른 온도상승.

Fig. 10. Temperature rise as a function of output power at 100 kΩ load resistance.

저항 100 kΩ과 임피던스 정합이 잘 이루어졌기 때문이다. 결론적으로, 20℃ 온도상승을 최대 허용 전력으로 볼 때 두 압전트랜스포머 모두 부하저항 100 kΩ, 6 W 출력전력하에서 온도상승이 15℃미만이므로 6 W에 사용하여도 문제가 없으리라 생각되나 Zout과 부하저항을 일치시키면 효율이 더욱 개선되리라 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 높은 승압비와 효율, 저 발열 특성을 갖는 압전트랜스포머를 개발하기 위하여 PSN-PMN-PZT, PNW-PMN-PZT의 두 조성 세라

믹스의 미세구조 및 압전특성을 조사하고, Rosen형 압전트랜스포머를 제작하여 주파수와 부하저항에 따른 승압비, 효율, 온도상승 특성 등을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PSN-PMN-PZT, PNW-PMN-PZT 조성의 유전 및 압전특성을 조사한 결과 압전트랜스포머에 적합한 응용가능성을 보였다.
2. 공진주파수의 온도계수 특성은 항전계가 큰 S1 조성이 S2 조성 보다 다소 좋은 특성을 나타내었다.
3. 입경이 1.79 μm 로 매우 미세한 S1조성으로 제작된 T1이 4.09 μm 로 입경이 큰 S2 조성으로 제작된 T2 보다 승압비가 다소 컸으며, 최적부하에서의 온도상승도 입경이 작은 T1이 작았다.
4. 출력전력을 6W로 고정한 상태에서의 PSN-PMN-PZT 조성으로 제조된 T1은 부하 저항 200 k Ω 일때가 승압비 12.41, 효율 95.23%, 7.2 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도상승으로 적합하였다.
5. 출력전력을 6W로 고정한 상태에서 PNW-PMN-PZT 조성으로 제조된 T2는 부하저항 150 k Ω 일때가 승압비 9.81, 효율 95.51%, 9 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도상승으로 적합하였다.
6. 부하저항 100 k Ω 에서의 출력전력에 따른 온도상승은 T2의 경우 출력입피던스가 133 \pm 10 k Ω 으로 임피던스 정합이 잘 이루어져 온도상승이 적게 발생하였다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 에너지관리공단의 학진과제 연구비로 이루어진 것으로 에너지관리공단에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] 이용우, 류주현, 윤광희, 정희승, 서성재, 김종선, "PSN-PZT계 세라믹스를 이용한 고출력 압전 트랜스포머의 전기적 특성", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 13, No.4, pp.286-293, 2000.
- [2] Juhyun Yoo, Kwanghee Yoon, Yongwoo Lee, Sungjae Suh, Jongsun Kim and Chungsik Yoo, "Electrical characteristics of the Contour Vibration Mode Piezoelectric Transformer with

- Ring/Dot Electrode Area Ratio", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, pp. 2680-2684, 2000.
- [3] Long Wu and Yi-Yeh Lee "Piezoelectric HF Resonator with Zero Temperature Coefficient", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, pp. 5024-5028, 1993.
- [4] Y. Sasaki, M. Yamamoto, A. Ochi, T. Inoue and S. Takahashi" Small Multilayer Piezoelectric Transformers with High Power Density", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.38, pp. 5598-5602, 1999.
- [5] 류주현, 윤광희, 민석규, 이명수, 서성재, "PSN-PMN-PZT 세라믹스의 Zr/Ti비에 따른 전기적 특성과 공진주파수의 온도안정성", 전기전자재료학회논문지, Vol. 13, No. 8, pp. 675-680, 2000.
- [6] H. W. Katz, Solid State Magnetic and Dielectric Devices, John Wiley & Sons, London, 1959.
- [7] K. Uchino, Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors, Kluwer Academic Publishers, 1997, USA.
- [8] 류주현, 이용우, 윤광희, 정희승, 정영호, 박창엽, "집중등가회로를 사용한 압전 변압기의 승압비 및 효율 해석", 전기전자재료학회논문지, Vol. 11, No. 10, pp. 849-854, 1998.