

유전 및 압전 특성에 따른 LCD Backlight용 압전 트랜스포머의 출력전력 특성

Output Power characteristics of the Piezoelectric Transformer for LCD Backlight with Dielectric and Piezoelectric Properties

민석규*, 류 주현*, 정 희승##, 홍재일**, 윤현상#, 손은영 ***
(Y. W. Lee, J. H. Yoo, H.S Jung, J.I.Hong, H.S.Yoon,E.Y.Son)

Abstract

In this paper, we investigated the output power, step-up ratio and efficiency properties of piezoelectric transformer with dielectric and piezoelectric characteristics of manufactured ceramics. The piezoelectric transformers with $2.0 \times 10 \times 48$ [mm³] size were fabricated and its electrical properties were measured. When output power of 6W was constantly maintained, T2 piezoelectric transformer showed the minimum temperature rise of 9(°C) at 150(kΩ) load resistance. However, T1 piezoelectric transformer showed the temperature rise of 7.2(°C) at 200(kΩ) load resistance. The 6[w] CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) was successfully driven by T1 and T2 piezoelectric transformer but, its temperature rise ΔT [°C] was generated more than 20(°C). It is concluded that we have to design the piezoelectric transformers so that its output impedance correspond to the load impedance, including any stray capacitance.

Key words(중요용어) : Dielectric and Piezoelectric property(유전 및 압전 특성), Piezoelectric transformer(압전 트랜스포머), Voltage step-up ratio(승압비), efficiency(효율)

1. 서 론

현재 전자산업계의 발전 추세는 경박 단소화 및 표면 실장화(SMD : Surface Mountain Device)이지만, 기존의 권선형 트랜스포머는 고주파에 사용할 경우 코아에서의 손실 및 전자노이즈 발생으로 인하여 효율이 감소하나 압전세라믹스를 이용한 압전트

랜스포머는 압전 세라믹스의 에너지 변환특성을 이용하는 것으로, 슬림, 소형화가 가능하며, 에너지 변환효율이 90%이상으로 높아, 권선형 트랜스포머의 한계점을 극복할 수 있는 점에서 주목받게 되었으며, 현재 실용화 되고 있는 압전트랜스포머는 2 - 3W급의 노트북 back light의 구동용으로 이용되고 있는 정도이다. 일본에서 5.6인치 TFT-LCD를 GPS CAR Navigation 시스템에 적용함에 따라 입력전압 12V로 출력전력 6(W)정도의 전력을 소모하는 LCD Panel을 Display하기 위한 냉음극관 구동용 인버터에 관한 연구가 절실히 필요시 되고 있다.

6watt 급의 고효율 압전트랜스포머의 조건으로는 무엇보다도 치밀한 입경을 갖는 고강도의 fine ceramics 여야 하며, 또한 전기기계결합계수와 기계적품질계수를 높여 에너지 변환효율을 높이고 손실

* 세명대학교 전기공학과
(충북제천시 신월동 세명대학교,
E-mail ; piezo73@orgio.net)

** 동서울대학 전기과

*** 안성여자기독교대학 전자기술학과

경문대학 전기과

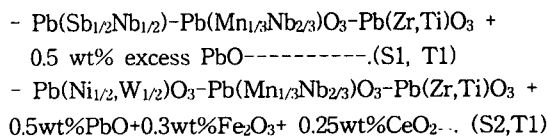
주성대학 전기전자소자전공

을 작게하여 발열을 감소시켜야 한다. 발열에 관계한 압전트랜스포머의 설계시 중요한 요건은 Back light 부하와 압전트랜스포머의 출력 임피던스를 일치시키는 일이며, 출력과 부하임피던스의 정합이 일치할 때 효율이 최대가 되며, 발열이 가장 적게 된다. 따라서, 본 연구에서는 유전 및 압전특성에 따른 최적의 압전트랜스포머 설계조건을 찾고자, PSN-PMN-PZT, PNW-PMN-PZT 조성세라믹스를 선택하여, 각각의 유전 및 압전 제반 특성을 조사하였으며, CIP(Cold Isostatic Press)법을 이용하여, 고강도, 고밀도, 고전력급의 압전트랜스포머를 제작하여, 그에 관한 효율, 승압비 특성을 조사, 유전 및 압전특성에 따른 최적의 압전트랜스포머 설계를 하고자 하였다.

2. 실험

2.1 시편의 제조 및 특성측정

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



850[°C]에서 2시간 동안 하소하였고, CIP(Cold Isostatic Press)법을 이용 20,000[psi]의 압력을 가하여 성형하고, 1250[°C], 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] 실리콘유 속에서 30[kV/cm]의 전계를 30분 동안 인가하여 분극하였다.

소결된 시편은 공기중에서의 질량과 물속에서의 질량을 측정하여 밀도를 구하였고, 또한 미세구조를 관찰하기 위해 소결된 시편들의 표면을 연마하여 10% HCl 용액에 소량의 HF가 첨가된 용액내에서 화학적 에칭을 하여 주사전자 현미경(SEM, RJ Lee Instruments)으로 관찰하였다. 유전상수의 온도에 따른 특성을 조사하기 위해서 20~400[°C]의 온도 범위내에서 LCR meter (ANDO AG-4304)로 1[kHz]에서 정전용량을 측정하여 유전상수를 구하였고, Sawyer-Tower 회로로 이력곡선을 관찰하여 항전계를 구하였다. 압전 특성을 나타내는 전기기계결합계수, 기계적 품질계수 등은 IRE 규정에 따라 Impedance Analyzer(HP4194A)로 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 산출하였다.

2.2 압전트랜스포머의 제작 및 특성측정

Rosen형 압전 트랜스포머는 CIP 방법으로 20,000[psi] 등압 성형하여 소성하였으며, 압전트랜스포머의 사이즈는 2.0mm × 10mm × 48mm로 하였다. 제작된 시편은 두께 방향으로 25[kV/cm]의 전계를 길이방향으로 15[kV/cm]의 전계 30분 동안 인가하여 분극시켰다. 압전 트랜스포머의 특성 평가를 위해 그림 2.2의 압전 트랜스포머 구동 및 측정 시스템으로 Power Amplifier (Trek50/750),HP33120A와 오실로스코프(Tektronix TDS3054)를 이용하여 구성하여 주파수와 부하저항에 따른 승압비, 효율, 인가전압에 따른 출력전력 및 출력전력에 따른 압전 트랜스포머의 발열에 의한 온도 상승 등을 측정하였다.여기서,출력전력에 따른 온도 상승은 비 접촉식 온도계인 Raytek(MX2)로 측정 하였다. 또한 실제 응용이 가능한 6watt 냉음극관을 점등시켜, 입력 전류, 전압 및 전력과 출력 전류, 전압 및 전력 특성을 측정하였다.

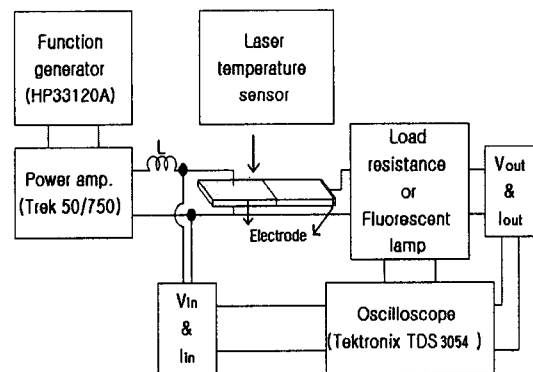


그림 1 압전 트랜스포머의 구동 및 측정 시스템
 Fig. 1 Driving and measuring system for piezo-electric transformer

3. 결과 및 고찰

고출력 압전트랜스포머의 요구되는 요건으로는 무엇보다도 치밀한 입경을 갖는 고강도의 fine ceramics 여야 하며, 전기기계결합계수와 기계적품질계수를 높여 에너지 변환효율을 높이고 손실을 작게하여 발열을 감소시켜야 한다. 표1에서 S1과 S2를 비교할 때 S1은 전기기계결합계수와 항전계, 큐리온도, 입경의 면에서 S2보다 좋은 특성을 보이며 S2는 유전상수 기계적품질계수면에서 S1보다 우수한 특성을 나타내었다. 공진주파수의 온도안정성에서는 서로 비슷한 특성을 나타내었다.

표. 1 유전 및 압전특성의 비교

Table 1 Dielectric and piezoelectric properties of S1, S2 compositions

SAM PLE	Dielectric constant	Density (g/Cm ³)	K ₃₁	Q _m	E _c (kV/cm)	T _c (°C)	T _{c-trf} [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

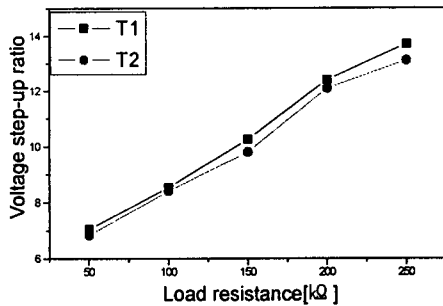


그림 2 부하저항에 따른 최대 승압비
Fig. 2 Maximum voltage step-up ratio with load resistance

그림 2는 압전트랜스포머의 공진주파수에서의 최대 승압비를 나타낸 것이다. 압전트랜스포머의 대표적인 특성중의 하나는 부하에 따라 압전특성이 큰 폭으로 변한다는 점이며 부하저항이 클수록 승압비가 증가하는 경향을 갖고 있다. 승압비 특성으로만 보면 T1의 경우가 T2의 경우보다 약간 높은 승압특성을 나타내었는데, 무부하때의 승압비는 식(1)과 같으나, 부하가 있을 경우 승압비는 Q_m이 K₃₁과 K₃₃보다는 주요한 factor라고 할수 있다. grain size가 1.79μm로 매우 미세한 S1쪽에서는 Q_m 감소의 정도가 작고, Q_m이 크면 승압비가 증가하나, 승압비 측정의 조건은 1[W]로 고정하여 측정하였으므로 표 4-3의 소신호 측정치와는 차이가 있을 수 있다. 즉, 대신호 입력에서는 Q_m이 하강되며, 기계적품질계수가 높고, grain size가 큰 S2쪽에서 Q_m이 더욱 하강되었다고 생각된다.

$$G_{\infty} = \frac{4}{\pi^2} Q_m K_{31} K_{33} \frac{L}{T} \dots\dots\dots(1)$$

그림3은 압전트랜스포머의 최대 효율을 갖는 부하저항값을 알기위하여 부하저항에 따른 압전트랜스포머의 효율을 측정 한 것이다. T1과 T2에서 각각 200(kΩ)에서 95.23[%], 150(kΩ)에서 95.51[%] 최고 효율이 나타났는데, 이는 압전트랜스포머의 출력단의

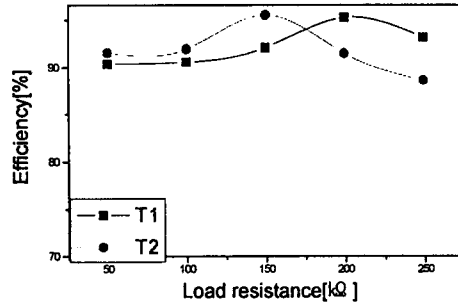


그림 3 부하저항에 따른 효율
Fig. 3 Efficiency with load resistance

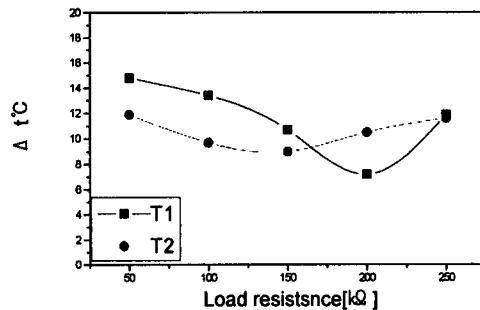


그림 4 부하저항에 따른 발열
Fig. 4 Temperature increase with load resistance

임피던스와 부하저항의 임피던스 정합이 근사적으로 가까웠기 때문이다.

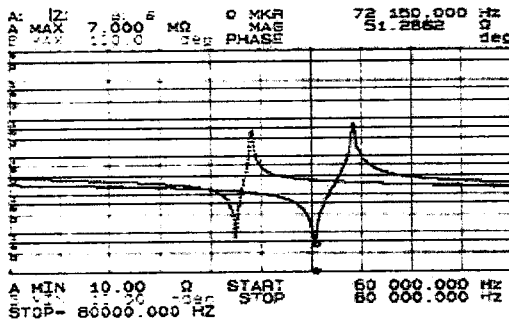
그림 4는 부하저항에 따른 발열특성을 나타낸 것이다. T1, T2는 각각 임피던스의 매칭이 근접한 부분, 즉, 200[kΩ]에서 7.2°C, 150[kΩ] 9°C에서 가장 적은 발열특성을 보였으며, T1의 경우 미세한 grain size(1.79μm)의 특성을 갖고 있으므로 단분역 구조로 볼수 있으며, 이로 인한 발열 현상이 억제 된 것으로 보여진다. 표 1에서 보듯이 S1과 S2의 유전상수는 각각 1,228, 1680이다. 따라서 T2의 경우 유전상수가 T1의 경우보다 크기 때문에 상대적으로 낮은 전압으로서 출력전력을 만들어낼 수 있고, T1의 경우 T2보다 부하저항 200(kΩ) 이외에는 온도상승이 증가하였는데 이는 임피던스 매칭이 맞지 않은 원인도 있지만, T1의 경우 유전상수가 상대적으로 작으므로 T2와 같은 출력을 발생하려면 입력전압이 증가해야 하므로 높아진 입력전압에 기인한 구동부의 진동속도의 증가로 인하여 발열현상이 50[kΩ], 과 100 [kΩ]에서 비교적 크게 나타났다.

그림 6은 부하저항 100(kΩ)에서의 승압비를 나타낸 것이다.

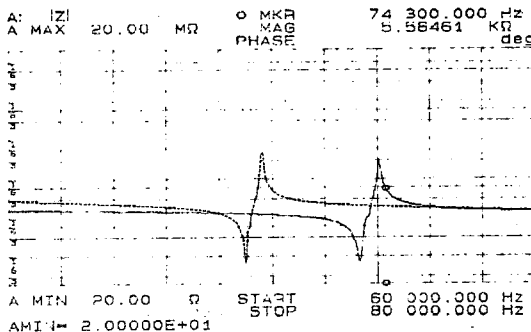
표 2 압전트랜스포머의 특성

Table 2 Characteristics of piezoelectric transformer

Sample No.	부하 공진주파수 (kHz)	C _{in} [nF]	C _{out} [nF]	S ₁₁ ^E [$\times 10^{-12}$ m ² /N]	k _{eff}		Q _m		Z _{out}
					구동부	발전부	구동부	발전부	
T1	72.65	1.33	12.4	11.52	0.200	0.207	1021	980	176
T2	72.8	1.65	16.4	11.60	0.151	0.308	1604	1293	135



(a) T1 (실선: 구동부, 점선:발전부)



(b) T2 (실선: 구동부, 점선:발전부)

그림 5 압전트랜스포머의 임피던스 특성
Fig 5 Impedance characteristics of piezoelectric transformer

T1과 T2의 승압비가 최대인 주파수는 T2의 경우가 더 낮게 나타났다. 이때의 압전트랜스포머의 공진주파수 f_r 은

$$f_r = \frac{1}{2L\sqrt{\rho S_{11}^E}} \quad (1)$$

여기서 L : 트랜스포머의 길이, ρ : 밀도, S_{11}^E : compliance 이다. 무부하시에는 ρS_{11}^E 가 T2가 더 작아 f_r 이 더 크다. 부하를 걸었을 때는 부하와 압전트

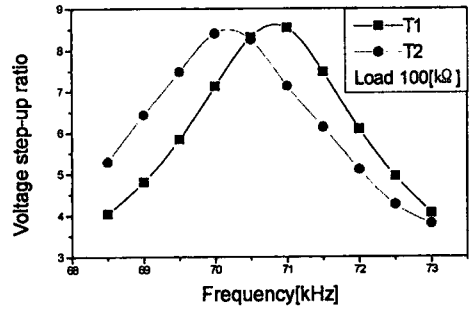


그림 6 부하저항 100[kΩ]에서의 승압특성
Fig 6 Voltage step-up ratio at Load 100[kΩ] load resistance

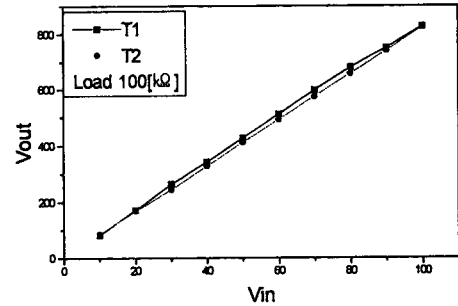


그림 7 부하저항 100[kΩ]에서의 입력전압에 따른 출력전압
Fig. 7 Output voltage of piezoelectric transformer as a function of input voltage at 100[kΩ] load resistance

랜스포머의 복합작용으로 오히려 최대승압비를 나타내는 주파수가 감소하였다.

그림8에서 100[kΩ]에서 T2의 경우 온도상승이 더 적게 일어난 것은 T1은 승압비 면에서 T2보다 약간 우수하였으나, 이는 T2의 Z_{out}이 약135[kΩ]으로 T2의 경우가 더 근사적으로 임피던스 정합이 잘 이루어 졌기 때문이다.

표 3은 6watt 형광등을 구동하였을 때 측정된 전기적 특성을 나타낸 것이다. 각각의 압전 트랜스포머를 20분 이상 구동하여 형광등을 점등시 효율은 T1과 T2에서 각각 89.11%, 90.14%를 나타내었으며, 10분이상 구동시 입력전압이 점차로 하강되는 특성이 나타났다. 온도 상승은 T2에서 24 [°C]로 더 이상 증가되지 않았으며, 이러한 온도상승 현상은 냉음극관 자체의 stray capacitance값에 의한 영향으로 임피던스의 매칭이 잘 이루어지지 않아 발생하였으며, 이러한 발열이 일어나면 이로인한 C값의 상승으로 입력 전압이 하강되는 것으로 여겨진다.

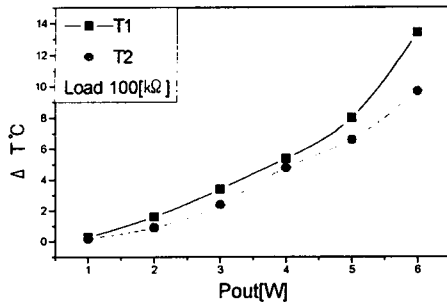


그림 8 부하저항 100[kΩ]에서의 출력 전력에 따른 발열

Fig 8 Temperature increase of piezoelectric transformer as a function at 100(kΩ) load resistance

표 3 6watt 냉음극관 구동시의 전기적 특성
Table 3 Electrical characteristics when driving 6watt cold cathode fluorescent lamp is driven

sample No	f_r [kHz]	V_{in} [V]	I_{in} [mA]	V_{out} [V]	I_{out} [mA]	P_{out} [W]	ΔT [°C]	efficiency [%]
T1	71.3	152	44	765	7.8	5.96	29	89.11
T2	70.3	121	56	736	8.3	6.108	24	90.14

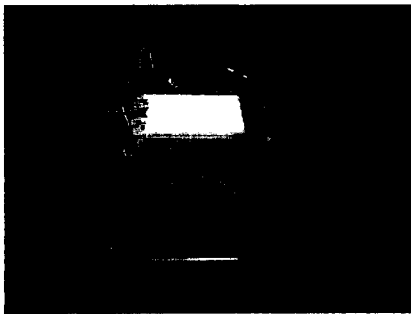


그림 9 압전 트랜스포머로 점등된 6watt 형광등
Fig. 9 6watt cold cathode fluorescent lamp driven by piezoelectric transformer

4. 결 론

본 연구에서는 높은 승압비와 효율, 저 발열 특성을 갖는 압전트랜스포머를 개발하기 위하여 PSN-PMN-PZT, PNW-PMN-PZT의 두 조성세라믹스의 유전 및 압전특성을 조사하고, Rosen형 압전트랜스포머를 제작하여 주파수와 부하저항에 따른 승압비, 효율, 발열특성 및 6watt 냉음극관을 점타하여 출력

특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. S1, S2 조성의 유전 및 압전특성을 조사한 결과 S1 조성에서 유전상수 : 1,228, 전기기계결합계수(Kp) : 0.555, 기계적품질계수(Qm) : 1,214, 큐리온도 : 322°C, 그레인사이즈: 1.79 μ m, 밀도 : 7.82g/cm³, TCFr: 84[ppm/°C], 항전계 : 12.06[kV/cm]를 나타내었고, S2 조성에서는 유전상수 : 1,680, 전기기계결합계수(Kp) : 0.523, 기계적품질계수(Qm) : 1,814, 큐리온도 : 272°C, 그레인사이즈: 4.09 μ m, 밀도 : 7.68g/cm³, TCFr: 88[ppm/°C], 항전계 : 9.15[kV/cm]의 특성을 나타내었으며 압전트랜스포머에 적합한 응용 가능성을 보였다.
2. 출력전력을 1[w]로 고정하였을 때 T1은 부하저항 200[kΩ]에서 승압비는 12.41, 효율 95.23%, 7.2°C의 온도상승으로 가장 적합함을 알 수 있었으며, T2는 부하저항 150[kΩ]에서 승압비 9.81, 효율 95.51%, 9°C의 온도상승으로 가장 적합함을 확인하였다.
3. 6watt 냉음극관 구동시 T1과 T2의 임피던스와 냉음극관의 임피던스의 정합이 잘 이루어지지 않아 온도상승과 입력전압이 가해지는 현상이 발생하였으며, T2의 경우 온도상승이 24°C로 다소 높았으나, 입력전압 121(V), 입력전류 56(mA), 출력전압 736(V), 출력전류 8.3(mA) 출력전력 6.108(W), 효율 90.14(%)로서 그 응용 가능성을 나타내었다.

[감사의 글]

본 연구는 99 에너지관리공단의 학술진흥사업 연구비로 이루어진 것으로 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] M.Shoyama,K,Hirikoshi, T.NinomiyaT. Zaitso, Y.Sasaki, IEEE PESC Record PP.715-721, 1997.
- [2] S. Kawashima, O. Ohnishi. S. Tagami, A. Fukuoka, T. Inoue and S.Hirose., IEEE Ultrasonic symposium, pp. 525-530, 1994.
- [3] C.A.Rosen, "Ceramic transformer and filters", Electronic comp. Symposium. proc., pp. 205-111, 1956.
- [4] J. H. Yoo, Y. W. Lee, K. H. Yoon, S. J. Suh, J. S. Kim, C. S. Yoo, J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) pp.5A33-37