論 文
49C-5-1

CCFL 구동용 압전 변압기의 특성

The Characteristics of Piezoelectric Transformer for Driving CCFL

鄭 秀 鉉* · 李 鍾 燮** · 洪 鍾 國*** · 蔡 洪 仁§ · 尹 晩 淳§ · 林 基 祚§§
(Su-Hyun Jeong · Jong-Sub Lee · Jong-Kuk Hong · Hong-In Chae · Man-Soon Yoon · Kee-Joe Lim)

Abstract - In this paper, the characteristics of piezoelectric transformer is studied for driving CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp). In order to investigate the effects of geometrical dimensions, λ vibration-mode type piezoelectric transformers with different sizes in the length(l), width(w) and thickness(t) are made of ceramics with PZT-PMWS compositions. The increases in temperature and aging effect are also measured in the transformer of PT-3 sample under the condition of operation continuously for 10 hrs. As the results of dimensional effects, the output power and voltage step-up ratio are largely affected by the ratio of length to thickness(l/t) rather than that of length to width(l/w). The output power and step-up ratio are increased with increasing l/t. On case of PT-3, the output voltages are 510[V_{rms}] at 36[V_{rms}] in input voltage, 100[kΩ] in load resistance. Temperature increases and variation of output voltages are 10[℃] and less than 5[%], respectively.

Key Words : CCFL(냉음극관 형광 램프), Piezoelectric transformer(압전 변압기), λ vibration-mode(λ진동모드), Temperature increase(온도 상승)

1. 서 론

최근, 각종 정보통신 시스템은 소형화, 박형화, 경량화가 강하게 요구되고 있다. 정보통신기기에는 안정적인 전력을 공급할 수 있는 전력변환회로가 필수적이나 회로 구성에서 전통적으로 사용해 왔던 인덕터, 자기 변압기 등이 소형화, 박형화, 경량화에 걸림돌이 되고 있다. 즉, 전자식(電磁式) 변압기의 경우, 지나친 소형화시는 자기회로의 포화 등이 나타나기 때문에 소형화, 박형화에 한계가 있다. 이러한 문제점의 해결책으로 최근 압전 변압기가 주목받고 있다[1, 2].

압전 변압기는 압전 세라믹을 이용하여 입력(1차)측에 전기신호를 가하면 압전 세라믹에 기계적 진동이 생기고 이 진동이 출력(2차)측에 전달되어 다시 전기신호로 변환 출력되는 원리의 소자이다. 따라서 전통적인 전자식 변압기에 비하여 권선이 불필요하므로 구조가 간단하고 소형화, 박형화, 경량화가 가능하다. 또한 표피효과가 없어서 고주파화에 유리하고, 1, 2차측간의 전기절연을 고려할 필요가 없으며, 전자노이즈를 발생시키지 않고, 불연성이며, ferrite 변압기에 비하여 고주파에서 고효율화가 가능한 장점을 가지고 있다[3].

따라서, 최근에는 냉음극관 형광 램프(CCFL, Cold Cathode Fluorescent Lamp) 구동용 전원 공급 장치로의 응용을 시도하고 있다. 그러나, 로젠형(Resen) 압전 변압기는 출력 임피던스가 냉음극관 형광 램프보다 더 커서 고효율과 충분한 승압비를 얻을 수 없었다. 또한, 몇몇 연구자들은 다양한 형태의 압전 변압기를 고안하여 출력 임피던스를 줄일 수 있었지만, 구조가 매우 복잡하다는 단점을 가지게 되었다[4].

본 연구에서는 구조가 제일 단순한 λ 진동모드형 압전 변압기를 대상으로 길이(l), 폭(w), 두께(t)를 각각 변화시켜 4종의 압전 변압기를 제작하였고 치수에 따른 전기적 특성에 대하여 연구하였다. 또한, 고출력 압전 디바이스의 응용 중 가장 큰 문제로 지적되는 경시변화와 열 발생에 대한 특성을 측정하기 위해 4종의 압전 변압기 중 출력과 승압비가 가장 높은 것을 선택하여 10시간동안 연속 구동시 열 발생과 경시변화를 측정하였다. 이와 같은 결과를 바탕으로 본 연구에서 제작된 압전 변압기를 이용한 CCFL 구동용 압전 인버터로의 응용성을 검토하였다.

* 正 會 員 : 大元工科大學 電氣科 助敎授 · 工博
** 正 會 員 : 忠北大 大學院 電氣工學科 · 博士課程
*** 準 會 員 : 忠北大 大學院 電氣工學科 碩士課程
§ 正 會 員 : 舟城大學 副敎授 · 工博
§§ 正 會 員 : 忠北大 電氣工學科 敎授 · 工博
接受日字 : 1999年 9月 20日
最終完了 : 2000年 3月 29日

2. 실 험

2.1 시편 제작

λ 진동모드형 압전 변압기를 제작하기 위해 $0.51PbZrO_3$ - $0.44PbTiO_3$ - $0.05Pb(Mn_{0.35}W_{0.05}Sb_{0.6})O_3$ 조성을 사용하였다. 원료들은 48 시간동안 볼밀을 이용하여 혼합·분쇄하였고 850[℃]에서 2 시간동안 하소하였다. 하소된 파우더는 다시 12시간동안 혼합·분쇄한 후 직사각형의 형태로 CIP(Cold Isostatic Press)를 이용하여 성형하였다. 소결은 1200[℃]에서 2 시간동안 행하였다. 제작된 시편은 표 1과 같은 치수로 diamond saw와 lapping machine을 이용하여 각각 가공하였다. 전극은 은페이스트를 이용하여 590[℃]에서 소부하였고 제 1 전극은 두께방향으로 제 2 전극은 길이방향으로 120[℃] 실리콘 오일 중에서 2[kV/mm]의 전계로 분극하였다.

그림 1은 λ 진동모드형 압전 변압기의 구조, 변위, 스트레스 분포를 보인다. 그림에서 화살표는 분극 방향을 나타낸다.

표 1 압전 변압기의 치수

Table 1 The dimension of piezoelectric transformer

Type / Dimension	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4
Length [㎜]	49	46	49	49
Width [㎜]	7.5	7.5	6	7.5
Thickness [㎜]	2	2	1	1
Electrode Area [㎟]	22.5× 7.5	20× 7.5	22.5× 6	22.5× 7.5
Ratio, *l/w*	6.53	6.13	8.17	6.53
Ratio, *l/t*	24.5	23	49	49

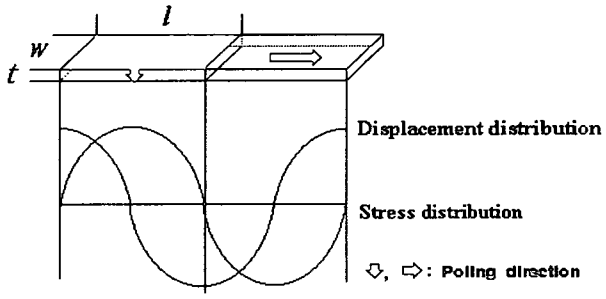

그림 1 압전 변압기의 구조, 변위 및 스트레스 분포

Fig. 1 The structure, displacement and stress distribution of piezoelectric transformer

2.2 압전 변압기의특성측정

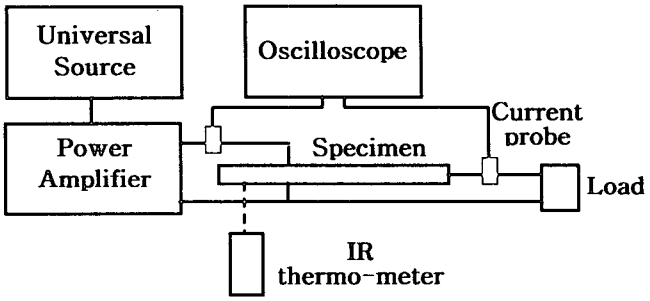

그림 2 측정 시스템

Fig. 2 Measuring system

그림 2는 압전 변압기의 입·출력 특성을 측정하기 위한 측정 시스템을 나타낸다. 압전 변압기는 신호 발생기(HP 3245)와 전력 증폭기(NF 4015)를 이용하여 구동하였고 인가 주파수와 전압을 신호 발생기에 의해 가변시켰다. 압전 변압기의 부하는 저항성 부하를 이용하였다. 또한, 입력, 출력을 각각 산출하기 위해 1000:1 전압 프로브(A6015)와 전류 프로브(P6022)를 이용하여 전압, 전류를 측정하였다. 또한, 고출력 압전 디바이스의 응용에서 가장 큰 문제점으로 되는 열 발생을 검토하기 위해 압전 변압기 자체의 온도를 비접촉식 온도계(INF 200)로 측정하였다.

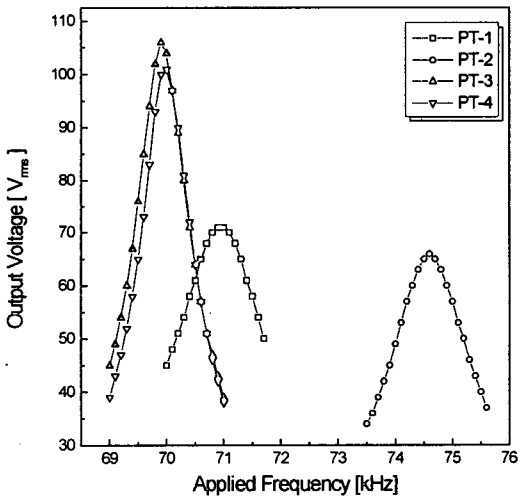

그림 3 인가 주파수에 따른 출력 전압

Fig. 3 The output voltage as a function of driving frequency

3. 결과 및 고찰

그림 3은 인가 주파수에 따른 출력 전압을 보인다. 이 때, 부하 저항은 10[MΩ], 입력 전압은 2[V_{rms}]이었다. 인가 주파수를 증가시킬수록 출력 전압이 증가하다가 감소되는 공진 특성을 보이고 있다. PT-1과 PT-2의 승압비는 약 35 정도이었

고 PT-3와 PT-4는 약 55 정도이었다. 이 그림에서 승압비는 폭에 대한 길이의 비보다는 두께에 대한 길이의 비에 더욱 의존한다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 압전 변압기의 전기적 등가회로이고 승압비 G를 식 (1)과 같이 쓸 수 있다[5, 6].

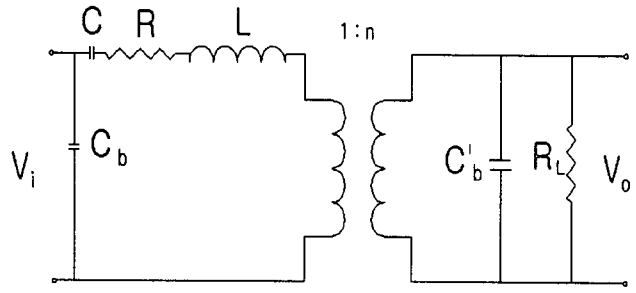

그림 4 압전 변압기의 전기적 등가 회로

Fig. 4 Electrical equivalent circuit of piezoelectric transformer

$$G = \frac{V_o}{V_i} \approx \alpha \frac{C_a}{C_b} \tag{1}$$

여기서, V_o는 출력전압, V_i는 입력전압, C_a는 입력단의 캐패시턴스, C_b는 출력단의 캐패시턴스, α는 재료상수이다.

식 (1)로부터 알 수 있듯이 승압비는 입력단과 출력단의 캐패시턴스에 크게 의존한다. 또한, 식 (1)은 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$C_a \propto \frac{w \times l}{t}, \quad C_b \propto \frac{w \times t}{l} \tag{2}$$

이므로 식 (1)은 (3)과 같이 된다.

$$G \approx \alpha \frac{C_a}{C_b} \approx \alpha \left(\frac{l}{t}\right)^2 \tag{3}$$

식 (3)으로부터 승압비는 l/w보다는 l/t에 더 크게 영향을 받는다는 그림 3의 결과를 이해할 수 있다. 단, 여기서는 압전 변압기의 치수의 영향만을 고려하기 위해 다른 파라미터를 상수 α로 취급하였다.

그림 5는 인가 주파수에 따른 효율을 보이고 있다. 이 때, 인가 전압은 10[V_{rms}], 부하 저항은 100[kΩ]이었다. 효율은 PT-1이 가장 우수한 효율을 나타내었고 약 93[%]이었다. 그림 3에서 PT-1에 비해 승압비가 더 높은 PT-3, 4의 경우는 효율이 87 ~ 90[%]정도로 PT-1에 비해 효율은 약간 떨어지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 두께가 서로 다른 압전 변압기에 동일한 전압을 인가함으로서 즉, 두께가 PT-1, 2에 비해 절반인 PT-3, 4에는 두 배의 전계가 걸리게 된다. 이에 따라, PT-3, 4는 진동속도가 PT-1, 2에 비해 두 배가 된다. 진동속도가 높아질수록 기계적 품질 계수는 감소하게 되고 기계적 손실이 커지므로 효율이 상대적으로 낮아진 것으로 생각할 수있다

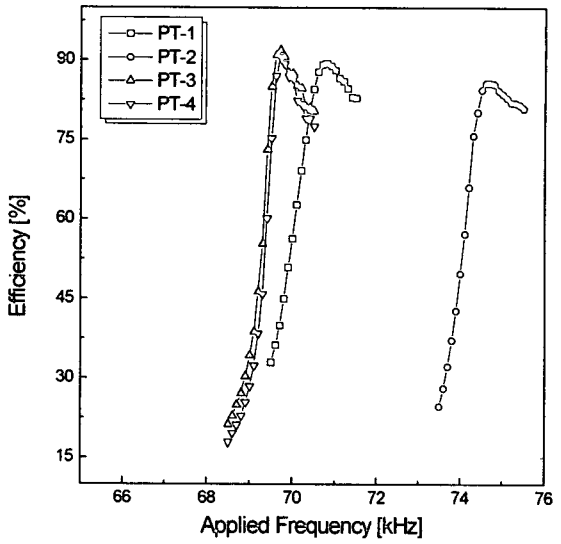

그림 5 인가 주파수에 따른 효율

Fig. 5 The efficiency as a function of driving frequency

그림 6은 입력 전압에 따른 출력 전압의 변화를 보이고 있다. 이 때, 부하 저항은 10[MΩ] 이었다. 그림에서 알 수 있듯이, 입력 전압이 증가함에 따라 출력 전압은 거의 선형적으로 증가하였다. 그러나, PT-3, 4의 경우 입력 전압이 10[V_{rms}] 이상일 때 출력 전압은 포화하는 경향을 보였는데 이와 같은 이유는 진동 속도가 높아짐에 따라 기계적인 손실이 증가함에 따른 것으로 생각된다[7, 8].

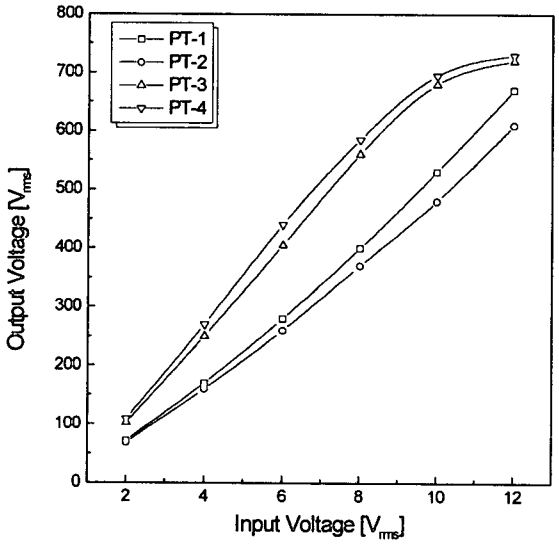

그림 6 입력 전압에 따른 출력 전압

Fig. 6 The output voltage as a function of input voltage

그림 7은 입력 전압에 따른 출력 특성을 나타낸다. 이 때 부하 저항은 100[kΩ] 이었고 인가 주파수는 각각의 압전 변압기의 공진 주파수이었다. 입력 전압이 증가함에 따라 출력은 거의 선형적으로 증가하였고 l/t비와 l/w비가 증가할수록 출력 또한 거의 선형적으로 증가하였다. 입력 전압이 45[V_{rms}]일 때 PT-4는 출력이 약 2.5[W]정도이었고 입력 전압이 50[V_{rms}]일 때는 약 3[W]정도로서 일반적인 CCFL의 구동전력인 2.5[W]를 만족시킬 수 있다고 생각된다.

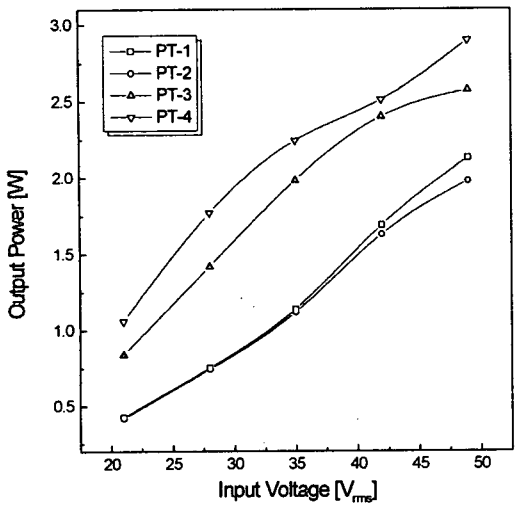

그림 7 입력 전압에 따른 출력 전력

Fig. 7 The output power as a function of input voltage

그림 8과 9는 부하저항에 따른 출력 전압과 효율의 관계를 나타낸다. 이 때, 입력 전압은 10[V_{rms}] 이었다. 그림에서 알 수 있듯이, 부하저항이 증가함에 따라 출력 전압은 거의 선형적으로 증가하였고 l/t이 클수록 승압비도 증가하였다. 부하 저항에 따른 효율은 70[kΩ]까지 증가하여 70[kΩ]에서 최대 피크를 보이고 다시 감소하는 특성을 보이고 있다. PT-1과 2는 약 87 ~ 90[%], PT-3과 4는 약 90 ~ 92[%]정도이고 이와 같은 결과는 그림 5에서 설명한 것과 같이 이해할 수 있다. 또한, CCFL의 안정된 방전상태의 임피던스 크기인 70[kΩ]정도에서 효율이 90[%]이상이므로 CCFL 구동용 압전 인버터용으로 충분히 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

그림 10은 부하 저항이 각각 100[kΩ]일 때 출력에 따른 승압비의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 출력이 증가할수록 승압비는 거의 변화없이 일정하게 유지되었으나, 출력이 2[W]이상으로 증가함에 따라 승압비는 감소하는 경향을 나타내었다

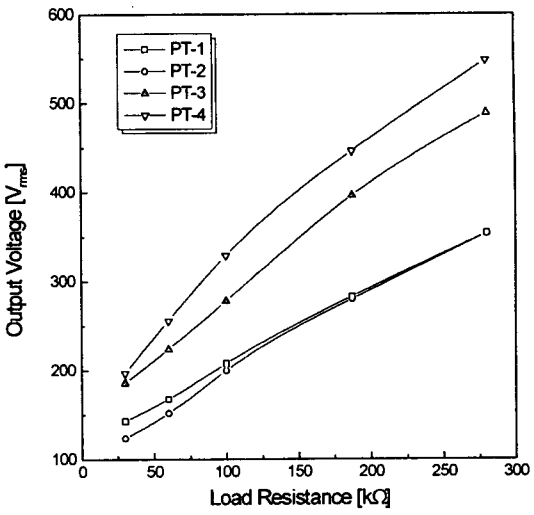

그림 8 부하 저항에 따른 출력 전압

Fig. 8 The output voltage as a function of load resistance

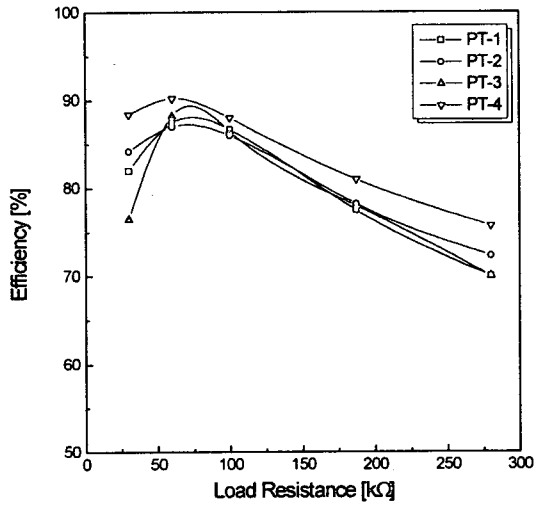

그림 9 부하 저항에 따른 효율

Fig. 9 The efficiency as a function of load resistance

그림 11은 부하 저항이 100[kΩ]일 때 출력에 따른 압전 세라믹의 온도 상승(ΔT)을 나타낸 그림이다. 일정 전압을 인가하고 한 시간후의 압전 세라믹의 온도를 비접촉식 적외선 온도계를 이용하여 각각 5회씩 측정하여 평균을 나타낸 것이다. 온도 상승 또한 출력에 따른 승압비와 같이 2[W]까지는 거의 일정하다가 3[W]이상에서 갑자기 증가하는 경향을 보이고 있으며 이것은 전술한 바와 같이 기계적 손실이 크게 증가됨을 의미한다고 생각된다.

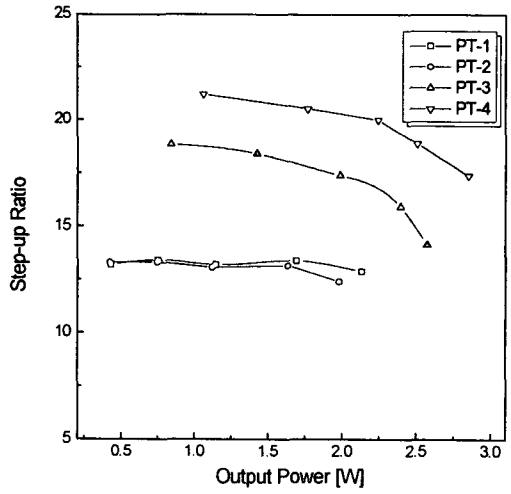

그림 10 출력에 따른 승압비
Fig. 10 The step-up ratio as a function of output power

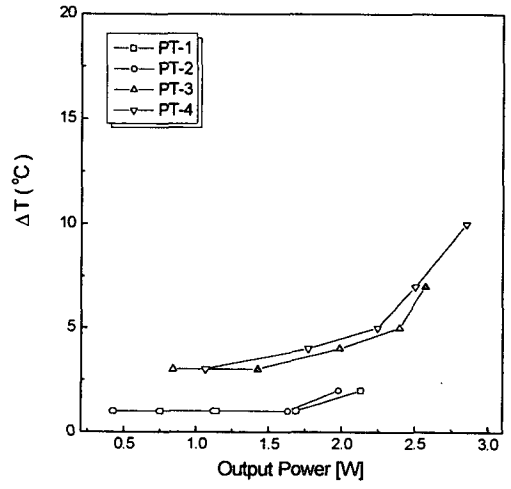

그림 11 출력에 따른 온도 상승
Fig. 11 The temperature rise as a function of output power

그림 12는 압전 변압기 PT-3에서 출력을 2[W], 부하 저항을 100[kΩ]으로 고정한 후 10 시간 구동하였을 때, 구동 시간에 따른 온도 상승과 출력 전압의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 출력 전압과 온도 상승은 거의 변화가 없었다. CCFL 구동용 압전 인버터로 응용하기 위해서는 CCFL의 수명을 고려하여 10,000 시간 연속 구동하여 성능과 신뢰성을 평가하는 것이 바람직하나 온도 상승이 초기 영역을 제외하고는 거의 일정한 값을 보이는 것에 주목한다면 10,000 시간 연속 구동까지 최대 허용 온도 상승치로 채용되고 있는 20[℃]를 초과하지 않을 것으로 추측된다. 앞으로 보다 장시간 구동시의 특성변화에 대한 검토가 요구된다.

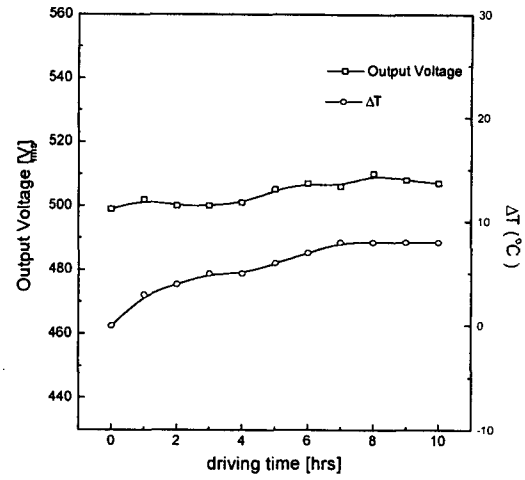

그림 12. 구동 시간에 따른 출력 전압과 온도 상승
Fig. 12. The temperature rise and output voltage as a function of driving time

4. 결 론

본 논문에서는 압전 변압기를 CCFL 구동용 인버터로 응용하기 위해 압전 변압기의 치수에 따른 특성에 대하여 연구하였다. 치수에 따른 특성을 검토하기 위해 두께, 길이, 폭이 각각 다른 4가지의 λ 진동모드형 압전 변압기를 제작하였다. 압전 변압기는 PZT-PMWS를 이용하여 제작하였다.

압전 변압기의 치수에 따른 특성 측정 결과, 최대 출력 및 승압비를 l/w 비보다 l/t 비에 크게 의존하였다. 그러나, 효율은 l/t 비에 반비례하였다. 이와 같은 이유는 두께가 서로 다른 시편에 동일 전압을 가하므로서 압전 변압기에 인가되는 전계가 다르게 된다. 보다 높은 전계가 인가되면 입력 전류도 증가하여 진동속도가 증가한다. 이에 따라, 기계적 품질계수가 저하되고 진동 손실이 증가하게 되므로 효율이 낮아지게 된다. 따라서, 압전 변압기를 CCFL 구동용 인버터로 응용하기 위해서는 l/w 에 비해 l/t의 비를 특히 고려하여야 한다.

또한, 압전 변압기를 이용하여 CCFL 구동용 압전 인버터를 구성하였을 때 가장 큰 문제로 되는 온도 상승을 검토하기 위해 출력 특성이 가장 우수한 PT-3을 이용하여 10 시간 연속 구동하면서 출력 전압 및 온도 상승을 측정하였다. PT-3에 36[V_{rms}]를 인가하였을 때 출력 전압은 520[V_{rms}]정도 이었고 온도 상승은 약 5[℃]정도로 안정적이었다.

위와 같은 결과들을 바탕으로 본 논문에서 제작된 압전 변압기를 CCFL 구동용 압전 인버터에 충분히 응용할 수 있을 것으로 판단된다

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 지원에 의하여 이루어진 결과이며 지원에 감사 드립니다.(과제번호 : 핵심전문연구 과제 981-0904-012-2)

참 고 문 헌

[1] Hiroshi Sasaki et al, "Development of High Voltage DC Power Supply Using Piezoelectric Transformer", NEC Technical Journal, Vol. 50, No. 10, pp. 80 - 84, 1997.

[2] Fuda Y et al, "Piezoelectric Transformer for Cold Cathode Fluorescent Lamp Inverter", Japan Journal of Applied Physics, Vol. 36, No. 5B, pp.3050 - 3052, 1997.

[3] Zaitsu T et al, "Piezoelectric Transformer Converter with PWM Control", IEICE Transactions on Communications, Vol. E80-B, No. 7, pp. 1035 - 1044, 1997.

[4] Kawai H et al, "High Power Transformer Employing Piezoelectric Ceramics", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35, No. 9B, pp. 5015 - 5017, 1996.

[5] H. Fukunaga et al, "Effect of Dimension in Characteristics of Rosen-Type Piezoelectric Transformer", Proc. of the Record of the 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 2, pp. 1504 - 1510, 1998.

[6] Anita M.Flynn et al, "Fundamental Limits on Energy Transfer and Circuit Considerations for Piezoelectric Transformers", Proc. of the Record of the 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 2, pp. 1463 - 1471, 1998.

[7] Sadayuki Takahashi et al, "Vibration-Level Characteristics for Iron-Doped Lead-Zirconate-Titanate Ceramic", Japan Journal of Applied Physics, Vol. 32, No. 5B, pp. 2422 - 2425, 1993.

[8] Sadayuki Takahashi et al, "Electro-Mechanical Characterstics of Lead- Zirconate-Titanate Ceramics Under Vibration-Level Change", ISAF '94 Proc. of The Ninth IEEE, pp. 377 - 382, 1994.

저 자 소 개

정 수 현 (鄭 秀 鉉)

1962년 4년 8일 생, 1985년 충북대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학교 전기공학 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 대원공과대학 전기과 조교수

Tel : 0443-649-3211

E-mail : shjeong@yongdu.daewon.ac.kr

이 종 섭 (李 鍾 燮)

1997년 충북대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 박사과정

Tel : 0431-261-2424

E-mail : jslee@power.chungbuk.ac.kr

홍 종 국 (洪 鍾 國)

1973년 8월 10일 생. 1992년 충북대 전기공학과 졸업. 1992년~현재 동 대학 전기공학과 석사과정

Tel : 0431-261-2424

E-mail : jkhong@engine.chungbuk.ac.kr

채 홍 인 (蔡 洪 仁)

1960년 12월 2일생. 1984년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 주성대학 제1공학부 부교수

Tel : 0431-210-8204, Fax : 0431-214-6296

E-mail : hichae@ns.jsc.ac.kr

윤 만 순 (尹 晩 淳)

1958년 4월 1일생. 1981년 고려대 공대 금속공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 금속공학과 졸업(석사). 1995년 포항공대 재료금속학과 졸업(공박). . 현재 주성대학 제1공학부 부교수

Tel : 0431-210-8205, Fax : 0431-214-6296

E-mail : msyoon@ns.jsc.ac.kr

임 기 조 (林 基 祚)

1973 한양대 공대 전기공학과졸. 1980 한양대 대학원 전기공학과(석사). 1986 한양대 대학원 전기공학과(공박). 1977 국방과학연구소 현재 충북대 전기전자공학부 교수

Tel : 0431-261-2424, Fax :0431-261-2424

E-mail : kjlim@trut.chungbuk.ac.kr