

## 버스트 디밍 압전인버터의 전기적 특성 및 온도 특성

### Electrical and Thermal Characteristics of a Burst Dimming Piezoelectric Inverter

신훈범<sup>1,a</sup>, 안형근<sup>1</sup>, 한득영<sup>1</sup>  
(Hoonbeom Shin<sup>1,a</sup>, Hyungkeun Ahn<sup>1</sup>, and Deuk-Young Han<sup>1</sup>)

#### Abstract

This paper explains the design and fabrication of an inverter for LCD backlight using a multilayer piezoelectric transformer. That inverter is operated by the burst dimming method whose dimming signal is controlled by the duty ratio of rectangular switching signal to a PWM controller. The brightness of CCFL's are investigated according to the various dimming signals, and when those CCFL's are turned on, the temperature distributions on the piezoelectric transformer and circuit components of the inverter are also investigated by a thermo-camera.

**Key Words** : Piezoelectric inverter, Push-pull inverter, Burst dimming, CCFL, Thermal characteristics

#### 1. 서론

압전변압기는 동작 과정이 압전 액츄에이터와 트랜스듀서를 혼합한 형태로 전기적인 에너지가 기계적인 에너지로 변환되고, 그 기계적인 에너지가 전기적인 에너지 형태로 출력되는 과정을 갖으며, 기존의 권선형 변압기와는 달리 구조가 간단하고 소형이며 전기적 손실이 적다는 장점을 가지고 있다. 이를 이용해 이온발생기나 전기집진장치 등의 고전압 저전류원을 필요로 하는 전자기에 응용이 가능하며 특히 액정표시장치의 backlight용 인버터에 대한 응용이 확대되어왔다. 또한 액정표시장치가 점진적으로 대형화가 됨에 따라 출력이 높은 압전변압기가 필요하게 되었고 이를 위하여 적층형 압전변압기를 제작하여 압전인버터에 적용하게 되었다[1,2].

압전인버터는 기존의 권선형 인버터와는 달리 직류전압이 인가되면 압전변압기 구동부의 정전용량과 외부 인덕터와의 공진에 의해 교류의 입력전

압을 발생시키고 그 교류입력 전압이 압전변압기에 인가되면 그 전기적 입력이 기계적 진동을 매개로 하여 다시 전기적 출력으로 출력단에 연결된 냉음극관(CCFL)을 점등하게 된다. 압전인버터에서 피드백 전압은 내부 회로의 비교기에 의해 일정 전압이 유지되는데 입력되는 직류 전압에 따라 피드백 전압과 구동주파수가 변하게 된다. 구동 주파수에 따라 압전변압기의 입출력 전압과 진동상태가 변하게 되고 압전변압기와 주변 회로의 온도 변화에 영향을 미치게 된다[3-7].

본 논문에서는 적층형 압전변압기를 이용한 backlight 인버터 회로를 설계 제작하였다. 압전인버터에 의한 CCFL의 밝기 조절은 연산 증폭기로 구형파를 발생시키고 이 구형파가 PWM 제어기에 입력되어 duty비에 따라 출력되는 스위칭 신호를 제어하는 버스트 디밍(burst dimming) 방식으로, 연산증폭기에 입력되는 전압에 따라 조광신호 및 스위칭 신호를 측정하고 냉음극관의 점등상태를 비교하였다. 또 냉음극관 점등 시 적층형 압전변압기와 인버터 회로의 온도 변화에 대해 실험하였다. 동일한 압전변압기와 인버터에서 냉음극관의 길이를 달리 하여 점등 했을 때 압전인버터의 동작 상태를 비교하고 열화상카메라로 점등 시 온도를 측정하여 압전변압기와 인버터 회로의 온도 특성에 관해 실험하였다.

1. 건국대학교 전기공학과  
(서울시 광진구 화양동 1)

a. Corresponding Author : sino70@empal.com

접수일자 : 2006. 6. 29

1차 심사 : 2006. 7. 18

심사완료 : 2006. 7. 28

## 2. 압전인버터

압전변압기의 인버터 응용 시 공진 주파수에서 구동을 하면 출력전압이 불안정하고 제어하는데 어려움이 있다. 또 압전변압기의 주파수 특성이 필터와 같이 일정 대역폭을 가지고 특성이 나타나기 때문에 구동주파수를 수 %만 벗어나도 구동 주파수에 따른 출력 특성이 변화하게 되어 변압기로서의 역할을 못하게 된다. 따라서 출력전압만을 고려할 때 압전변압기의 공진 주파수를 중심으로 한 구동 주파수만이 유효하게 된다. 이런 이유로 압전 변압기는 기존의 권선형 변압기와는 변압 원리가 상이하기 때문에 구동회로에 차이가 있다.

압전인버터에 사용한 적층형 압전변압기는 13층으로 길이가 31.3 mm, 폭 4.7 mm, 두께 1.3 mm이고 공진주파수는 103 kHz이다. 제작한 압전인버터는 push-pull 방식을 선택하여 회로를 설계하였고 PWM 제어기는 UCC3977를 사용하였다. PWM 제어기에서 출력되는 50 %의 duty비와 180°의 위상차가 나는 두개의 펄스 신호가 두 개의 트랜지스터의 gate에 교대로 제어신호를 인가하고 이에 따라 각각의 트랜지스터는 서로 교대로 On, Off 한다. 이 과정에서 전원 사이의 인덕터와 압전변압기의 정전 용량에 의한 LC 공진에 의해 교류전압이 발생되어 압전변압기의 입력전압이 된다. 압전변압기의 입력 전압을 위한 LC공진에서 LCR meter (HP 4263A)로 측정한 압전변압기 구동부의 정전 용량은 70 nF으로 이 값과 압전인버터의 구동주파수를 105 kHz로 하여 공진을 위한 인덕턴스 값은 30 uH로 계산 되었다. 공진주파수 계산식은 식 (1)과 같다. 그림 1은 압전인버터의 회로를 그림으로 나타낸 것으로 여러 구동 방식 중 push-pull 방식을 기본으로 한 인버터 회로이다. 그림 2는 그림 1과 같은 방식으로 설계 제작한 압전인버터 모듈 사진이다. LC 공진에 의해 그림 3과 같이 각각 반파의 정현파를 만들고 이 정현파가 압전변압기 상하면의 전극에 인가되도록 한다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}} \quad (1)$$

( $f_r$  : 공진주파수,  $C$  : 정전용량,  $L$  : 인덕턴스)

냉음극관의 밝기 조절을 위한 압전인버터의 조광신호(dimming signal)는 duty비에 따라 밝기를 조절하는 버스트 디밍(burst dimming) 방식으로써 연산증폭기에서 발생된 구형파가 PWM 제어기에

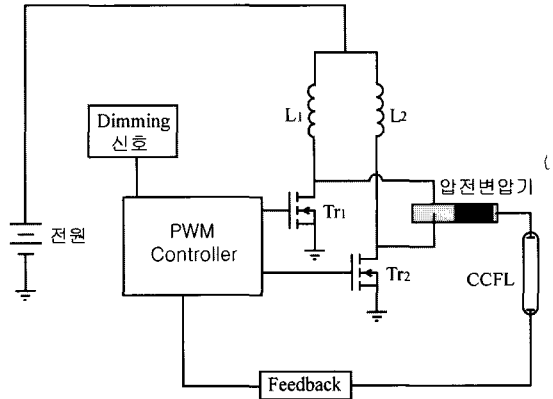


그림 1. 압전 인버터 회로.

Fig. 1. Circuit of piezoelectric inverter.

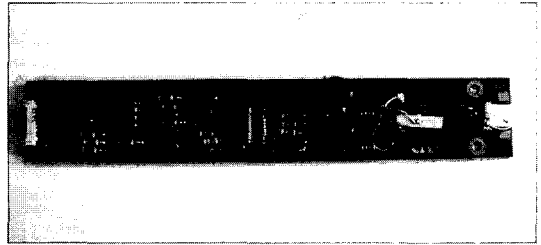


그림 2. 압전 인버터.

Fig. 2. Piezoelectric inverter.

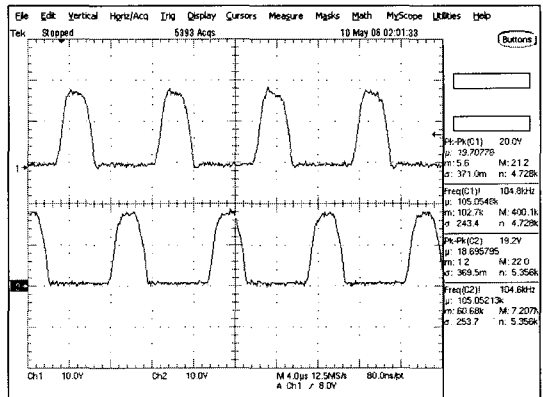


그림 3. 압전변압기의 입력 전압 파형.

Fig. 3. Input voltage applied to the piezoelectric transformer.

입력되면 duty비에 따라 스위칭 신호가 변하는 방법이다. 연산증폭기(OP amp)에서 발생된 2.5 V 이

상의 직류 전압을 인가하면 연산증폭기에서 100 Hz의 구형파가 발생되고 전압이 증가하면 duty비가 증가하면서 PWM 제어기에서 출력되는 구동주파수를 조정하게 된다.

### 3. 실험

본 논문에서는 13층 압전변압기를 이용한 압전 인버터로 냉음극관(CCFL)을 점등하는 실험을 하였다. 길이 265 mm의 냉음극관을 완전 점등한 후 연산증폭기에 입력되는 전압에 따라 조광신호의 duty비의 각 단계별 변화와 공진에 의한 교류입력 전압의 발생을 검증하기 위해 두 개의 트랜지스터에 입력되는 스위칭 신호의 출력을 측정하고 점등 상태를 비교하였다. 연산증폭기에 입력되는 전압이 0 V에서 2.5 V까지는 출력되는 조광 신호가 없이 0 V를 유지하다가 2.5 V이상부터 구형파가 발생하므로 입력전압을 2.7 V와 3.3 V로 하여 신호 변화를 비교하였다.

12" 모니터용 길이 265 mm, 15" 모니터용 길이 316 mm의 냉음극관을 압전인버터에 연결한 후 입력 전압을 265 mm 냉음극관인 경우 직류 5 V, 316 mm는 8 V를 각각 인가하였을 때 완전 점등되었다. 냉음극관의 완전점등 상태에서 열화상 카메라 ThermoCAM P25로 압전변압기와 인버터 회로의 온도 분포를 촬영하였다.

그림 4는 열화상 카메라의 촬영 부분으로 냉음극관 점등 시 압전인버터의 압전변압기와 주변 회로의 온도를 보여 준다.

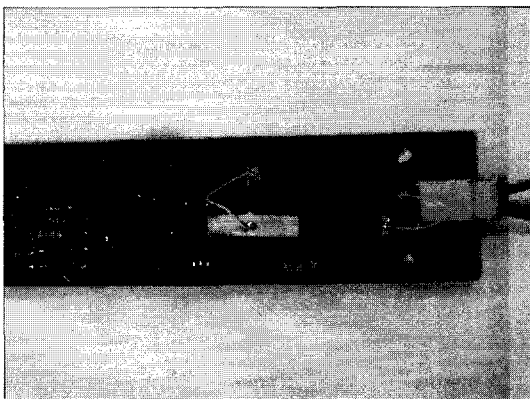
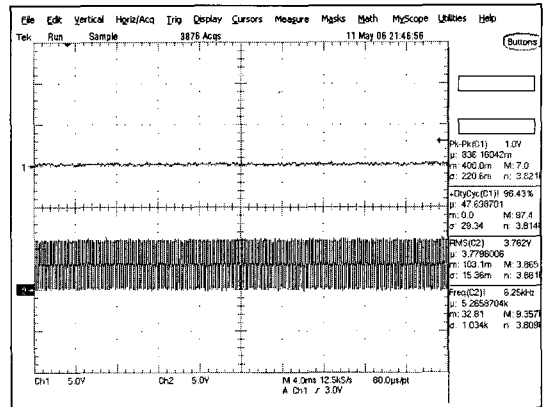
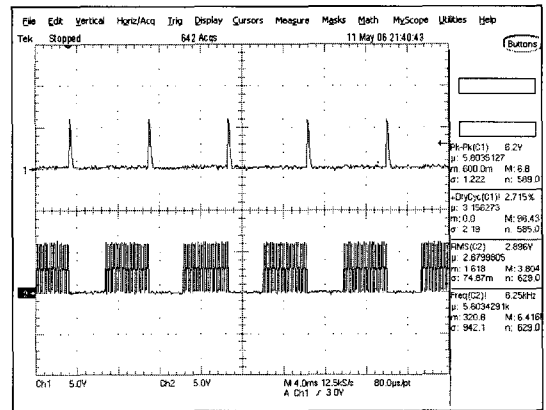


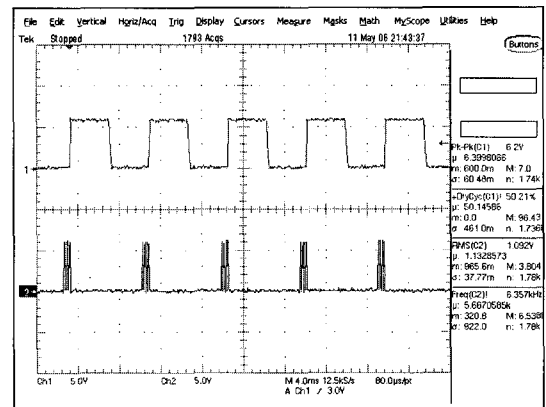
그림 4. 열화상 카메라 촬영부분.  
Fig. 4. Thermal CAM photographing part of piezoelectric inverter.



(a)



(b)

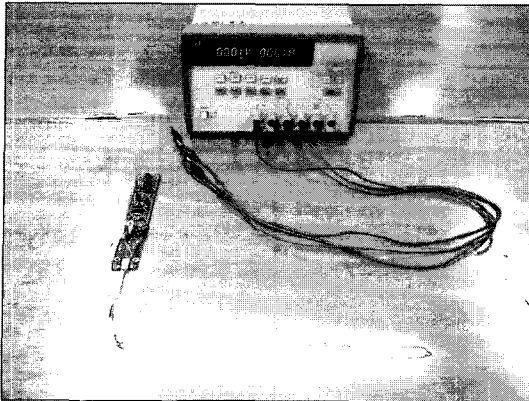


(c)

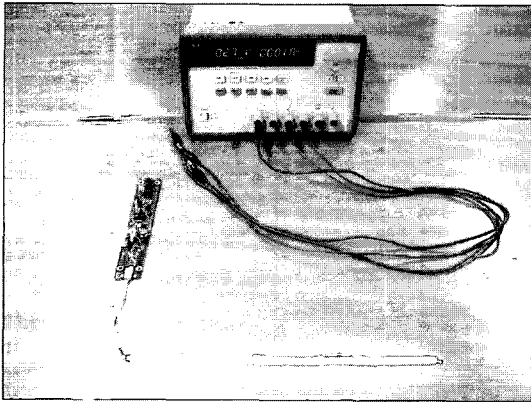
그림 5. 전압에 따른 조광신호 및 스위칭 신호 변화. (a) 전압 0 V (b) 2.7 V (c) 3.5 V

Fig. 5. Change of dimming and switching signal according to the voltage.

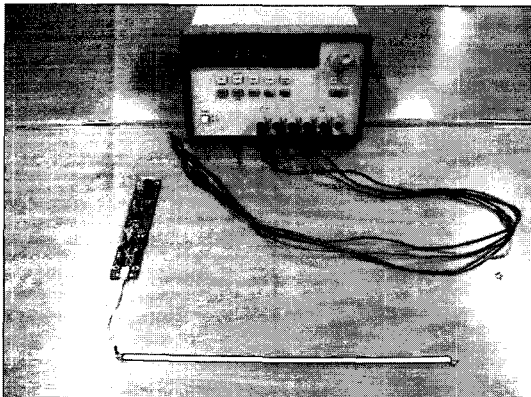
(a) Voltage 0 V (b) 2.7 V (c) 3.5 V



(a)



(b)



(c)

그림 6. 조광신호에 따른 냉음극관 휘도.  
(a) 전압 0 V (b) 2.7 V (c) 3.3 V

Fig. 6. Brightness of CCFL according to the dimming signal.

(a) Voltage 0 V (b) 2.7 V (c) 3.3 V

#### 4. 결과 및 고찰

압전인버터의 버스트 디밍에서 입력전압이 2.5 V에서 톱니파 형태로 구형파가 시작되고 전압이 증가함에 따라 구형파의 duty비가 증가하게 된다. 그에 따라 PWM 제어기에서 출력되는 스위칭 신호는 일정한 간격으로 구형파가 발생 소멸하면서 밝기를 조절하게 된다. 그림 5는 전압에 따른 조광 신호와 PWM 제어기의 스위칭 신호 변화를 보여주는 그림으로 (a)는 조광회로에 전압을 인가하지 않았을 때이고 (b)는 전압이 2.7 V일 때 (a)와 비교하여 조광신호의 duty비가 2.7 %로 구형파 발생이 시작되고 PWM 제어기의 신호가 일정한 간격으로 반복된다. 전압이 증가하면 duty비는 증가하고 PWM 제어기에서 발생하는 신호의 폭이 작아지다가 (c)와 같이 전압이 3.5 V이고, duty비 50 % 이상일 때 냉음극관을 소등한 것과 같은 상태가 된다. 그림 6은 13층 압전변압기를 이용한 압전인버터로 265 mm의 냉음극관을 점등했을 때 조광신호의 직류전압에 따라 밝기를 비교한 사진이다. (a)는 전압을 인가하지 않았을 때이고 (b), (c) 각각 2.7 V, 3.3 V를 인가했을 때의 사진으로 조광신호 전압이 증가함에 따라 duty비가 증가하면서 밝기가 어두워짐을 보인다. 전압이 3.5V 이상일 때는 완전히 소등되고 반대로 전압을 감소시키면 다시 점등된다.

냉음극관은 길이에 비례하여 더 큰 소비전력이 필요하게 된다. 압전인버터에 길이가 다른 냉음극관을 연결하여 완전 점등했을 때 냉음극관의 길이에 따라 압전변압기와 압전인버터의 온도 특성을 비교하였다. 실험 전 압전인버터의 온도는 실온에서 중심이 25.8 °C이고 압전변압기는 28 °C로 그림 7은 점등 전 온도 분포를 보여주는 사진이다. 265 mm의 냉음극관을 압전인버터에 연결하여 직류 5 V를 입력했을 때 그림 8과 같이 완전 점등되고 점등 상태가 유지되었다. 그 때의 압전인버터의 최고 온도는 46 °C이다. 그림 9는 265 mm 냉음극관의 점등 시 온도 특성을 보여주는 것으로 압전변압기의 온도가 가장 높고 그 주변 소자들의 온도는 실온에 가깝게 유지됨을 보인다. 그림 10는 316 mm의 점등 상태이고 그림 11은 316 mm 점등 시 압전인버터의 온도분포이다. 316 mm의 냉음극관은 직류 8 V에서 완전 점등되었고 압전변압기의 온도는 65 °C 이상으로 급격히 상승하였다. 이는 PWM 제어기 내부 비교기의 기준전압보다 높은 피드백 전압에 의해 압전인버터의 구동 주파수가 압전변압기의 공진주파수까지 도달하면서 발생하

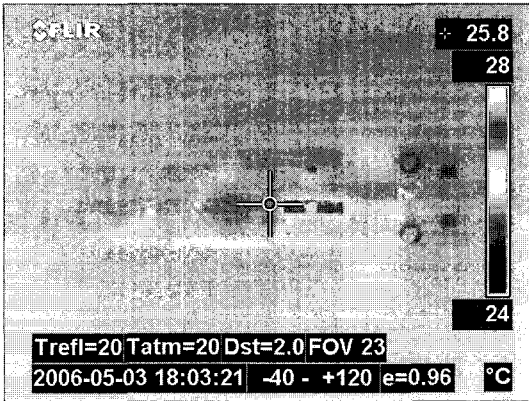


그림 7. 냉음극관 점등 전 온도 특성.  
Fig. 7. Thermal characteristics before lighting.

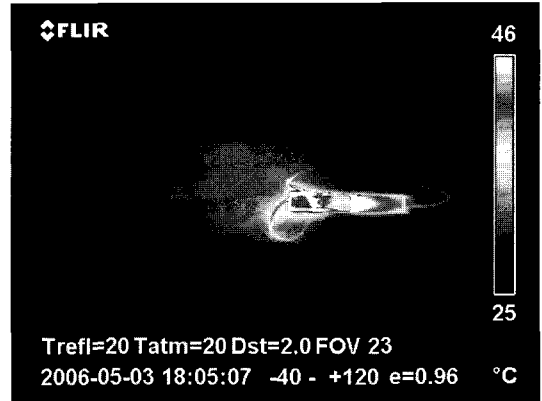


그림 9. 265 mm의 온도 특성.  
Fig. 9. Thermal characteristics of 265 mm CCFL.

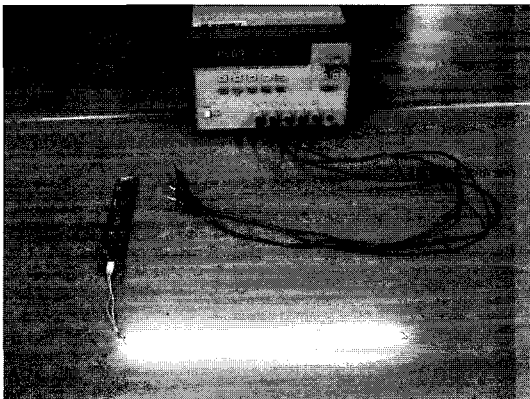


그림 8. 265 mm 냉음극관 점등 상태.  
Fig. 8. Lighting of 265 mm CCFL.

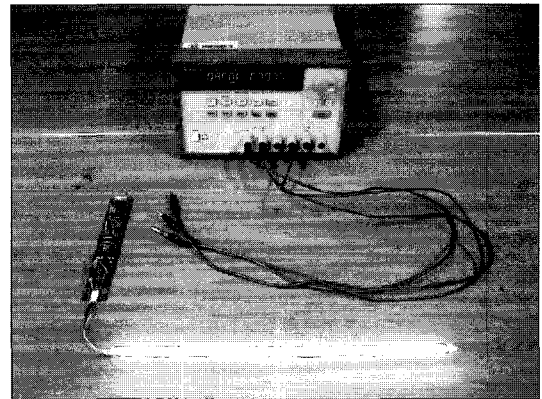


그림 10. 316 mm 냉음극관 점등 상태.  
Fig. 10. Lighting of 316 mm CCFL.

는 손실에 의한 온도 상승이 원인으로 추정된다. 압전변압기의 기계적 손실은 내부 마찰이 원인으로 강하게 진동하는 공진주파수에서 최대가 되고 공진주파수에서 진동에 따른 탄성에너지와 함께 손실도 증가하면서 온도가 상승하게 된다.

이러한 압전인버터의 온도는 정격을 구분하는 기준이 된다. 압전변압기의 정격용량은 압전변압기 크기와 사용된 재료의 상수에 따라 차이가 있으므로 압전변압기의 정격용량을 설명할 때는 주로 작동 시 동작 온도를 기준으로 정격을 표현한다. 압전인버터를 생산하는 회사의 경우 0~60 °C의 동작온도를 기준으로 하고 있다[8,9]. 제작한 적층형 압전변압기를 압전인버터에 적용할 경우 12" 모니터용 265 mm 냉음극관은 동작온도가 46 °C로 적용

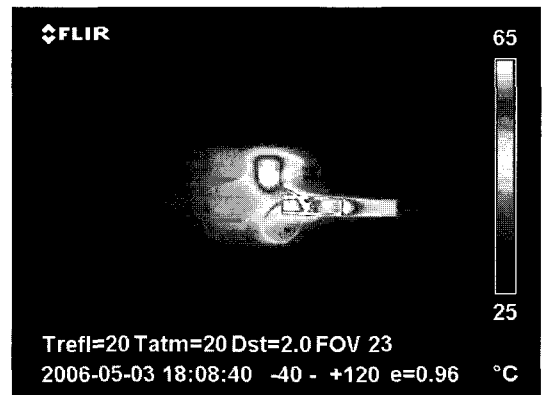


그림 11. 316 mm 냉음극관 온도 특성.  
Fig. 11. Thermal characteristics of 316 mm CCFL.

이 가능하나 15" 모니터용 316 mm의 냉음극관은 동작 온도의 상승으로 인해 적용할 수 없음을 알 수 있다.

따라서 압전인버터 설계 시 고전력의 재료와 발열이 적고 기계적 피로가 적은 재료를 이용하여 냉음극관의 정격용량에 적합한 크기의 압전변압기를 사용하고 또 다른 회로소자의 발열특성도 고려하여 적절한 인버터를 설계 제작해야 한다.

### 5. 결론

적층형 압전변압기를 이용하여 냉음극관을 구동하기 위한 압전인버터 회로를 설계 제작하였다. 압전인버터에 의한 냉음극관의 밝기는 버스트 디밍 방식을 응용하였으며 입력되는 구형파의 duty비에 따라 PWM 제어기에 출력되는 트랜지스터의 스위칭 신호에 변화를 주어 조절하였다. 압전인버터에 265 mm, 316 mm 길이의 냉음극관을 연결하여 점등 실험을 한 결과 길이 265 mm의 냉음극관은 입력전압 5 V에서 완전 점등되어 안정된 상태를 보였다. 반면에 길이 316 mm의 냉음극관은 입력전압 8 V에서 완전 점등되었으나 압전변압기와 인버터 회로소자의 온도가 상승하고 점등 상태에서 떨림 현상등 불안정한 상태를 보였다. 이는 압전인버터 설계 시 냉음극관의 정격용량에 맞는 적절한 압전변압기와 인버터회로의 설계가 필요함을 의미한다.

### 감사의 글

이 논문은 2005년도 건국대학교 연구비 지원에 의한 논문임.

### 참고 문헌

- [1] Y. Shimada, S. Kawashima, N. Furuhashi, M. Sugimoto, Y. Sato, H. Suzuki, and K. Isobe, "LCD backlight inverter using piezoelectric transformer", NEC Technical Report, Vol. 48, No. 48, p. 10, 1995.
- [2] C. Y. Lin, "Development of piezoelectric transformer converter", VPEC Power Electron. Sem. Proc, p. 79, 1993.
- [3] H. Kawai, Y. Sasaki, T. Inoue, T. Inoi, and S. Takahashi, "High power transformer employing piezoelectric ceramics", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, p. 5015, 1996.
- [4] 박지식, "압전 세라믹 변압기의 구동회로 기술", 전기전자재료, 12권, 5호, p. 17, 1999.
- [5] S. Hamamura and T. Zaitzu, "AC-DC converter using piezoelectric transformer", NEC Technical Report, Vol. 51, No. 4, 1998.
- [6] C. Y. Lin and F. C. Lee, "Piezoelectric transformer and its applications", VPEC Power Electron. Sem. Proc., p. 607, 1995.
- [7] M. Shoyama, K. Horikoshi, T. Ninomiya, T. Zaitzu, and Y. Sasaki "Operation Analysis of the Push-pull Piezoelectric Transformer Inverter", IEEE APEC'97 Record, p. 573, 1997.
- [8] "Piezoelectric ceramics items", Tamura Corporation catalog, p. 72, 2003.
- [9] "DC/AC Inverter\_Piezoelectric Inverter for Cold Cathode Fluorescent Lamp", Empro Technology Corporation catalog.