

**압전 변압기를 이용한 35W(T5)급 형광등 안정기 구동 시스템 특성에 관한 연구**

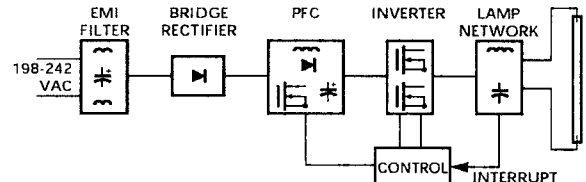
황락훈, 장진혁, 나승권, 김영수, 안익수, 조문택, 송호빈

**A Study on Drive System Characteristics of the Ballast for 35W(T5) Fluorescent Lamp using Piezoelectric Transformer**

L. H. Hwang,\* J. H. Jang,\* S. K. Na,\* Y. S. Kim,\* I. S. Ahn,\*\* M. T. Cho,\*\* H. B. Song\*\*  
Semyung Univ.\* Daewon Science College.\*\*

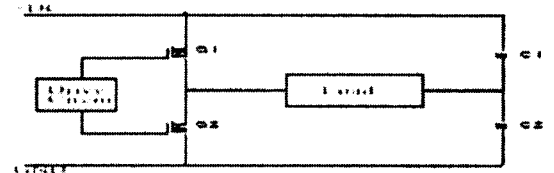
**Abstract** - In this study, in order to solve these problems, a new type of electronic ballast, which is composed of rectifier, active power factor corrector, series resonant half bridge inverter and piezoelectric transformer, was proposed for driving T5 fluorescent lamp. Driving of piezoelectric transformer was carried out with input region for the ring electrode and output region for the dot electrode. A 35W (T5) fluorescent lamp was successfully driven by the fabricated ballast with piezoelectric transformer.

고주파의 교류 전원으로 형광등을 점등하는 것으로 일반적인 전자식 안정기의 구성은 그림 1과 같이 된다.



〈그림 1〉 전자식 안정기의 구성

전자식 안정기의 인버터 회로는 하프 브릿지 방식으로 스위칭 소자의 정격전압이 높지 않아도 되고, Voltage Douber 구성으로 100/220[V] 점용 회로를 구성하기가 쉬우며, 정류된 직류전압을 고주파인 25[kHz] 이상의 구형파로 변환하는 하프 브릿지 방식의 회로로 구성된다.



〈그림 2〉 하프브릿지 인버터 회로

**1. 서 론**

압전 변압기는 전기적인 에너지를 진동 및 변형 등의 기계적인 에너지로 또는 기계적인 에너지를 전기적인 에너지로 변환시키는 기능을 가지고 있으며 최근 들어, 압전 변압기가 PDA, 캠코더, 노트북 등에 사용되는 LCD Back light용 인버터에 채용이 확산됨에 따라 국내외에서 저 출력급(5W급 미만)으로 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 형광등 안정기로서의 압전 변압기(PT)의 주된 장점은 첫째, 공진주파수에서의 무부하시 승압비가 수배에서 수십배로 매우 높아 전자기트랜스포머의 한계를 극복할 수 있다.[1][2][3][4] 둘째, 일정량의 부하가 걸리게 되면 승압비가 감소하여 형광램프의 점등 시 부하가 감소하는 특징과 유사하여 형광램프의 점등에 매우 적절하게 응용되어 질 수 있다. 셋째, 전자기트랜스포머는 만약에 있을 수 있는 2차 단락 사고 시 고열이 발생하여 화재의 염려가 있지만 압전 변압기는 단순히 파괴되어 안전하다. 특히 소형화, 강량화가 가능하고 90%이상의 높은 효율을 얻을 수 있는 우수한 특성을 나타낸다.[5][8]

본 연구에서는 조명부하로서의 큰 비중을 차지하고 있는 형광램프를 차세대 35W급 초절전형 삼파장 T5 형광램프로 대체함에 있어 반드시 필요한 고효율 형광등안정기 개발에 있다. 현재 사용되어지고 있는 일반적인 안정기와는 달리 에너지 절약과 효율면에서 역할 개선 안정기로서의 대체가 반드시 필요하다. 이를 위해서 안정기에 역할개선회로와 인버터 뒷단에 압전 변압기를 채용하여 T5 형광램프의 압전 변압기는 무부하시 승압비가 매우 높으며 정상상태의 T5 35W 형광램프의 등가저항(약1500Ω)에서는 1-3배 정도로 바뀌게 된다. 이때의 출력파형은 입력파형과 거의 상관없이 정현파의 형태를 취하게 된다. 또한 특성은 형광램프의 점등특성과 매우 유사하여 정현파에 가까운 형태의 전압, 전류로서 형광램프를 구동할 수 있게 된다. 압전 변압기가 구동 할 수 있는 적절한 주파수를 정확히 공급하지 못한다면 변압기로서의 가치가 없어지게 되는데, 단순히 VCO(Voltage controlled oscillator)를 사용하여 주파수를 공급하게 되면 주위의 환경변화와 같은 물리적 변화에 쉽게 변하게 된다.

이를 보완하기 위해 채택한 PLL(Phase Locked Loop)방식은 출력되는 주파수와 비교대상의 고정주파수와 위상을 비교하여 고정시켜 정확한 주파수를 출력시켜 준다. 등 실험을 조사하였다.

**2. 본 론**

**2.1 전자식 안정기**

전자식 안정기는 자기식 안정기에 비해 에너지 절약등 많은 장점을 가지므로 형광등 조명 시스템에서 사용이 점차 증가하고 있다. 이러한 전자식 안정기의 대부분은 고 주파수에서 동작하도록 설계되는데 예를 들어, 25[kHz]정도의 주파수에서 형광등의 광효율은 50-60[Hz]의 경우에 비해 약 20[%]정도 증가하게 된다. 또한 전자식 안정기는 에너지 절감 효과 외에 깜빡임이 적고, 무게 및 부피가 감소하는 장점을 가지고 있다. 반면 전자식 안정기의 단점으로는 고주파 스위칭에 대한 신뢰성, 내구성, 전자파(EMI, Electromagnetic Interference) 등의 문제점이 있으며 설계 시 이를 고려해야 한다.[11][12][13]

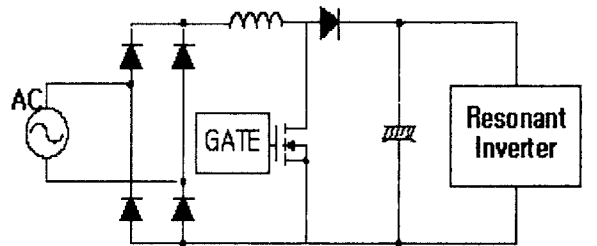
**2.1.1 전자식 안정기의 구성과 동작 원리**

전자식 안정기의 구성과 동작 순서는 상용교류전원 220[V]를 받아서 정류회로에 의해서 직류 전원으로 변환한 다음 이것을 다시 스위칭 회로에 의해서 고주파의 교류전원으로 만들고, 이렇게 만든

**2.1.2 역할 개선(PFC ; Power Factor Correction)**

전자식 안정기에서 전과정류되면서 입력전류에 돌입전류가 발생하고 이 전류에 의해 역률이 저하하고 THD(Total Harmonic Distortion: 전고조파왜음)가 발생하여 안정기에 나쁜 영향을 준다. 이의 개선에 대한 중요성이 부각되고 있으며, 역할개선회로는 크게 수동형 방식과 능동형 방식으로 나눌 수 있다. 수동형 역할개선은 입력전압의 변동과 출력전압의 조정이 어려움으로 압전 변압기를 구동하는것에 한계가 있음으로 본 논문에서는 능동형 역할개선회로와 더불어 Boost converter를 채택 하였다.

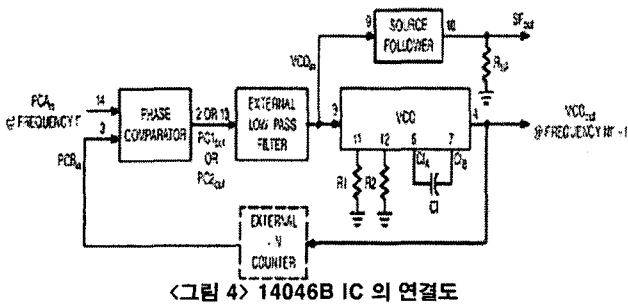
그림 3과 같이 PFC IC를 사용하여 스위칭 소자를 구동하는 능동형 역할개선회로는 보통 승압형 컨버터 회로를 많이 사용한다. 능동형 역률 개선 회로의 특징은 주 스위치로 사용되는 MOSFET의 손실이 크고, 부가적인 전력소자와 수동소자가 수동 역할 개선회로에 비해서 많이 필요하고 제어회로로 높은 삼각파 형태의 인덕터 전류를 만들어 동작을 시키기 때문에 손실이 다소 발생한다.



〈그림 3〉능동형 역률 개선회로도

**2.1.3 위상고정루프(PLL; Phase Locked Loop)**

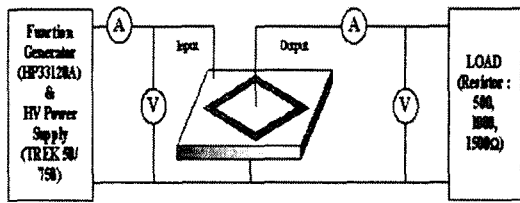
PLL은 입력된 신호를 기준주파수와 비교하여 특정 위상으로 고정시키는 제어방식이며, 주파수원(source)으로 사용되는 주파수가 흔들리는 것을 잡아주기 위해 사용된다. 그림 4은 본 실험에 사용된 PLL IC인 14046B의 일반적인 연결도를 보여준다.



<그림 4> 14046B IC 의 연결도

## 2.2 압전변압기 특성 측정

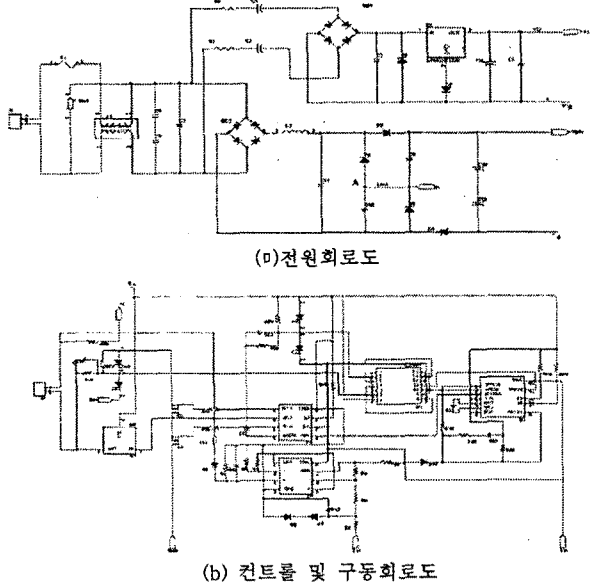
Ring-dot형 압전변압기의 특성평가를 위하여 그림 5와 같은 압전 변압기의 구동 및 측정 시스템에서 오실로스코프(Tektronix : TDS3032)와 전류 프로브(Tektronix TCP202)를 사용하여 입력 및 출력측의 전압, 전류를 측정하고 주파수와 부하저항(500, 1000, 1500, 무부하)에 따른 승압특성, 압전변압기의 입력전압에 대한 출력전력을 측정하였다.



<그림 5> 압전변압기의 모의구동 및 측정 시스템

## 2.3 전자식 안정기의 적용

압전변압기의 적절한 구동전압과 구동주파수를 찾아내어, 제작된 안정기에 적용하여 그 결과를 알아보았다. 전체 안정기의 회로는 전원회로부와 컨트롤, 구동회로로 구분되며 그림 6에 나타내었다.



<그림 6> 전체 회로도

## 2.4 압전 변압기의 전기적 특성

압전 변압기의 전기적 특성을 나타내는 PT의 기본 공진주파수는 다음 식으로 표현된다.

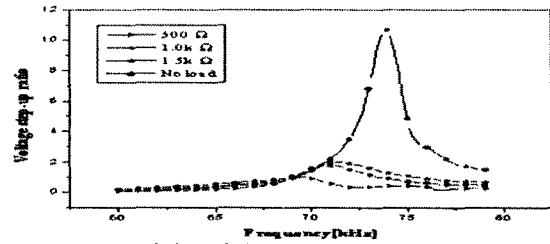
$$f_r = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Y}{\rho(1-\sigma^E)}}$$

(여기서,  $Y$ =영률,  $l$ =한변길이,  $\rho$ =밀도,  $\sigma^E$ =poisson ratio)

입력 측의 임피던스가 크고, 출력 측의 임피던스가 작기 때문에 감압형이며, 출력 측의 정전용량이 커서 출력전류를 크게 할 수 있는 구조를 갖고 있다.

그림 7은 입력전압을 일정하게 유지한 상태에서 제작된 압전 변압기의 부하저항과 주파수에 따른 승압특성을 나타낸 것이다. 최대 승압비는 공진주파수 부근에서 나타났으며, 부하저항의 증가에 따라

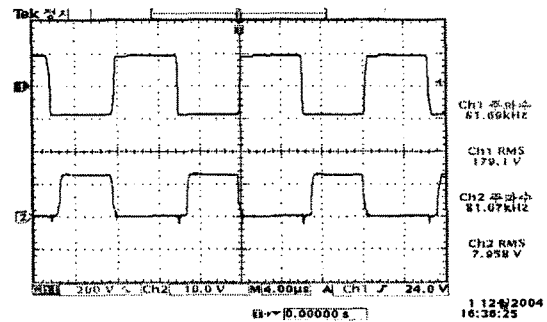
승압비는 증가하는 특성을 보였고 부하저항이 증가할수록 최대 승압비는 다소 높은 주파수에서 나타났으며, 형광등과 같은 고출력을 요하는 부하는 점등전에는 무부하와 같이 높은 저항값을 보이고, 점등후에는 관의 직경과 길이에 관계된 저항값을 나타낸다.



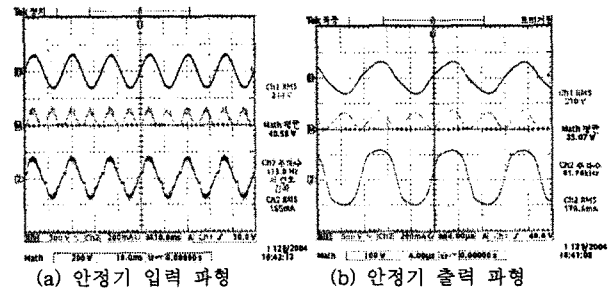
<그림 7> 압전 변압기의 주파수와 부하저항에 따른 승압비

## 2.5 제작된 전자식 안정기의 특성

압전 변압기의 구동주파수로 동작을 시켰으며 형광램프의 점등 후 안정화 되었을 때 두개의 MOSFET의 스위칭 파형을 그림 8에 나타내었다. 적당한 Dead time(0.1us)을 주어 두개의 스위치가 동시에 턴온되는 것을 방지됨을 볼 수 있다.

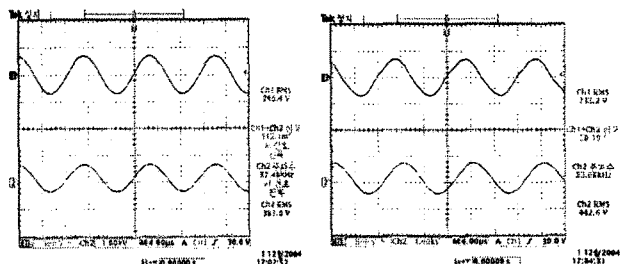


<그림 8> 하프 브릿지 인버터의 지연시간 파형



<그림 9> 안정기의 입, 출력 특성

그림 9은 T5형형광램프가 점등 시 전체안정기에 입력되는 전력과 압전 변압기의 출력을 나타낸 파형으로 안정기의 입력전력과 출력전력은 40.59와 35.07W로서 전체 안정기의 효율은 86%로 측정되었다. 또한, 압전 변압기 자체의 효율은 87.5%로 측정되었다.



<그림 10> 압전변압기의 입, 출력 전압 특성

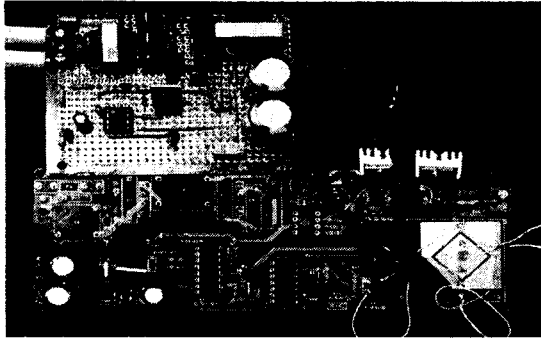
그림 10은 형광등 점등전과 점등후의 압전 변압기의 입력과 출력의 전압파형을 나타낸 것으로 PLL동작으로 점등 전에는 위상이 거

의 0°에 가깝다가 점등 후에는 50°로 위상이 고정됨을 볼 수 있다.

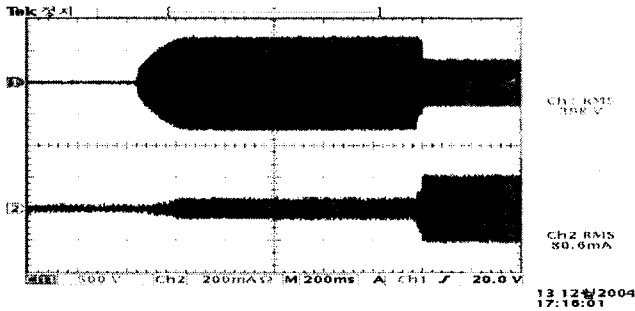
### 3. 결 론

본 연구에서는 T5 형광램프 구동을 위해 제작된 압전 변압기를 이용한 전자식 안정기의 실험을 통하여 다음과 같은 것을 확인할 수 있었다.

1. 공진점 부근에서의 압전 변압기의 입력에 대한 출력비(승압비)는 무부하시 가장 크며 정상상태에는 적절한 값으로 바뀌어 형광램프의 점등특성과 유사함을 알 수 있었다.
2. PLL 방식을 채택하여 압전변압기의 입력에 대한 출력 위상을 고정하였다.
3. 형광램프 20분 구동후 전체 안정기 역률과 효율은 각각 0.95, 86%였으며, 출력전압, 전류, 전력과 온도상승은 35.07W, 86%, 20.5°C로 측정되어 정상상태의 T5 35W 형광램프의 정격인 210V 170mA를 만족하였다.

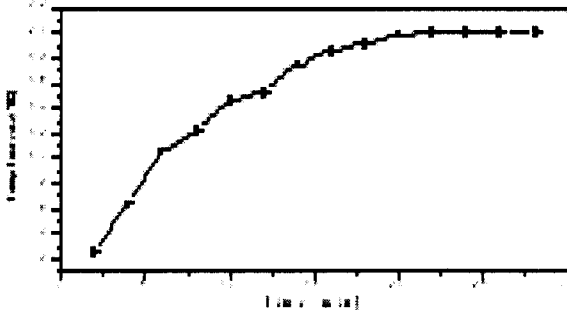


<그림 11> 제작된 전자식 안정기의 사진

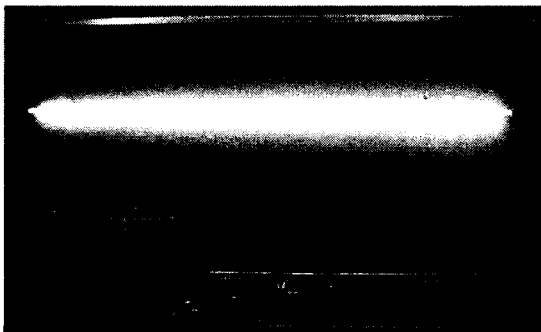


<그림 12> 램프의 점등 특성

그림 11은 제작된 전자식 안정기의 사진으로 Ring-dot형 압전 변압기가 부착되어진 모습이며, 그림 12 초기 방전부터 점등까지의 시간을 보여주고 있다. 관경이 작은 T5형광램프의 특성을 고려, 점등 예열 시간(약 1s)을 충분히 하여 램프의 전극의 무리가 감소됨을 보여주고 있다. 그림 13은 램프 시동 후 30분 까지 2분 간격으로 압전 변압기의 온도상승을 측정한 곡선으로 약 20분 지날 무렵에 온도상승은 더 이상 나타나지 않았다. 그림 14는 T5 35W형광등의 정상 상태에서의 구동 사진이다.



<그림 13> 구동시간에 따른 압전 변압기의 온도상승 곡선



<그림 14> 전자식 안정기 구동 사진

Ring-dot형 압전변압기와 능동형 역률개선회로를 사용한 형광등 안정기를 실험한 결과, 온도 상승이 예상된 값보다 다소 높게 측정되었는데, 이러한 결과는 압전변압기의 출력 임피던스와 램프의 등가저항과의 정합이 이루어지지 않았기 때문으로 생각된다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 압전변압기의 출력측 임피던스를 부하램프의 등가저항과 정합되도록 압전변압기를 설계하는 것이 중요할 것으로 판단되며, 보다 안정적인 형광등램프의 동작을 위해서는 램프의 예열(pre-heating)을 위한 안정기 회로의 추가설계가 필요할 것으로 생각된다.

### [참고문헌]

- [1] T. Zaitzu, "AC/DC Converter with a Piezoelectric transformer", US Patent, No.5969954, 1999.
- [2] N. Hagiwara, "A Ceramic Transformer Inverter for Driving Cold Cathode Fluorescent Lamps", 電子情報通信學會論文誌, Vol.J80-C-II, No.12, pp.448-453, 1997.
- [3] H.S. Jeong, B.C. Choi, J.H. Yoo, I.H. Im and C.Y. Park, "Parallel Driving of Piezoelectric Transformer", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.38, No.9A, pp.5166-5169, 1999.
- [4] J. Yoo, K. Yoon, S. Hwang, S. Suh, J. Kim and C. Yoo, "Electrical characteristics of high power piezoelectric transformer for 28W fluorescent lamp", Sens. Actu., Vol.A90, pp.132-137, 2001.
- [5] L. Hwang, J. Yoo, E. Jang, D. Oh, Y. Jeong, I. Ahn and M. Cho, "Fabrication and characteristics of PDA LCD backlight driving circuits using piezoelectric transformer", Sens. Actu., Vol.115, pp.73-78, 2004.
- [6] Shyama and Masahito, "Steady-state characteristics of the push pull piezoelectric inverter", IEEE. PESC Record, pp.715-721, 1997.
- [7] J. Yoo, K. Yoon, Y. Lee, S. Suh, J. Kim and C. Yoo, "Electrical Characteristics of the Contour-Vibration-Mode Piezoelectric Transformer with Ring/Dot Electrode Area Ratio", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39, No.5A, pp.2680-2684, 2000.
- [8] 이용우, 류주현, 윤광희, 정희승, 서성재, 김종선, "PSN-PZT계 세라믹스틀 이용한 고출력 압전트랜스포머의 전기적 특성", 한국전기전자재료 학회지, vol.13, No.4, pp. 286-293, 2000.
- [9] 황상모, 류주현, 황락훈, 김주래, 홍재일, 박창엽, 김종선, "압전트랜스포머를 이용한 T5(28W) 형광등 안정기 회로의 전기적 특성", 한국전기전자재료학회지, vol.14 No.9, p. 736-743, 2001.
- [10] www.feelux.com.
- [11] 박성목, "초세관형 T5(16[mm])형광램프 및 안정기", 한국조명. 전기설비학회지 vol.15, No.5, p.3-11 1225-1135, 2001
- [12] S.T. Henderson and A.M. Marsden, "Lamps and Lighting" 2nd Edition
- [13] R.L. Steigerwald, "A comparison of half-bridge resonant converter topologies". IEEE Trans. Power Electronics, vol.3 No.2. pp.174-182, 1988