

압전 변압기 특성을 이용한 35W급(T5급) 형광등용 안정기 구동에 관한 연구

황락훈^{1*}

A Study on the Driving of Ballast for 35W Class (T5 Class) Fluorescent Lamp using a Piezoelectric Transformer Characteristic

Lark-Hoon Hwang^{1*}

요 약 슬림램프의 응용은 소형으로 디자인 되는 원리를 이행하므로 작은 사이즈의 전자식 안정기가 요구된다. 하지만 기존의 50~60Hz에서 동작되는 자기식 안정기들은 현저한 플리커(깜빡거림) 현상, 높은 손실, 큰 파고율 그리고 무거운 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제들을 해결하기 위해서 35W급(T5급) 형광등을 동작시키기 위한 제안된 새로운 타입으로 구성된 전자식 안정기로 정류기, 역률개선, 직렬 공진 하프 브리지 인버터 그리고 압전 변압기를 구성한 시스템을 제안하였다. 이 같은 압전 변압기를 이용한 전자식 안정기 구성으로 35급(T5급) 형광등을 성공적으로 동작 시킬 수 있었다. 제안된 전자식 안정기를 약 75~79kHz의 주파수로 구동 시켜서 실험한 결과 25분 구동 후에 형광램프는 시스템 전체 안정기의 역률과 효율은 각각 0.95, 0.86%의 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract It is required small size electronic ballast to fulfill the design philosophy of miniaturizing in the application of slim lamps. However, the traditional magnetic ballasts operated at 50-60Hz have been suffered from noticeable flicker, high loss, large crest factor and heavy weight. In this study, in order to solve these problems, It was proposed for driving 35W Class fluorescent lamp in the new type of electronic ballast, which is composed of rectifier, active power factor corrector, series resonant half bridge inverter and piezoelectric transformer. A 35W class(T5 class) fluorescent lamp is driven to successful by the fabricated ballast with piezoelectric transformer. Experimental results, It is proposed to driving the lamp using a electronic ballast at operating frequency of 75~79 KHz approximatively. It is operated after for 25 min that were obtained good results of the input power factor of 0.95 and efficiency of 86%, respectively.

Key Words : Electronic ballast, Piezoelectric transformer, Fluorescent lamp, half bridge inverter

1. 서 론

최근 들어 전기적 에너지를 기계에너지로 또는 기계적 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 압전 변압기가 PDA, 캠코더, 노트북 등에 사용되는 LCD Black light용 인버터에 채용이 확산되고 있다. 그에 따라, 국내외에서 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 형광등 안정기에 압전 변압기를 응용함으로써 얻어지는 장점은 다음과 같다. 첫째, 공진주파수에서의 무부하시 승압비

가 수배에서 수십 배로 매우 높아 전자기식 변압기의 코어 손실에 따른 효율감소를 극복할 수 있다. 둘째 일정량의 부하가 걸리게 되면 승압비가 감소하여 형광램프의 점등 시 부하가 감소하는 특징과 유사하여 형광램프의 점등에 매우 적절하게 응용되어 질 수 있다. 셋째, 전자기 트랜스포머는 2차 단락 사고 시 고열이 발생하여 화재의 염려가 있지만 압전 변압기는 단순히 파괴되어 화재에 안전하게 된다. 특히 전자기식 변압기에 비해 용량이 증가하여도 부피가 증가하지 않아 소형화, 경량화가 가능하고 90%이상의 높은 효율, 저 EMI등의 장점을 얻을 수 있는 우수한 특성을 나타낸다.[1][2]

또한, 압전 변압기는 부하조건에 따라 변압비가 변

이 논문은 2006년 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

¹세명대학교 전기공학과

*교신저자 : 황락훈(lhhwang@semyung.ac.kr)

화하는 가변 특성을 가지고 있어 형광램프 구동에 적합합니다. 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. 하지만 압전 변압기가 구동 할 수 있는 공진 주파수를 정확히 공급하지 못한다면 압전 변압기는 변압기로서의 가치가 없어지게 된다.[3][4][5]

현재 T5 형광램프 전자식 안정기는 오슬람에서 28W 2등용까지 판매되고 있으나 35W 전자식 안정기는 각가지 규제에 아직 시판은 되지 않고 있다. 현재 사용되어지고 있는 일반적인 안정기는 상용전원 주파수를 사용하는 자기식 안정기 혹은 역률 개선이 없는 전자식 안정기로 반도체 소자를 이용하여 고주파를 사용한 전자식 안정기가 주를 이루고 있으나 에너지 절약과 효율 면에서 역률 개선 안정기로서의 대체가 반드시 필요하게 된다.[6][7]

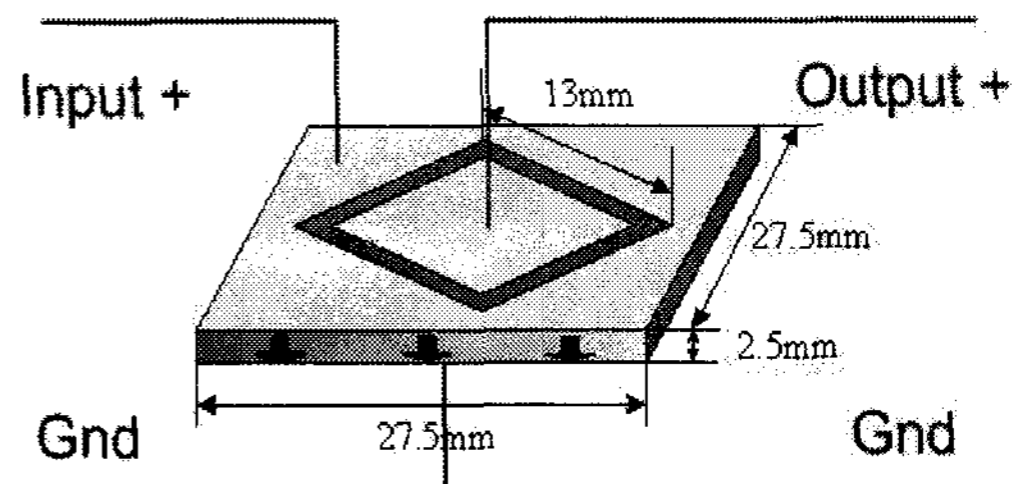
본 연구에서는 조명부하로서 큰 비중을 차지하고 있는 형광램프를 차세대 35W급 초절전형 T5 형광램프로 대체함에 있어 반드시 필요한 고효율 형광등안정기 개발 목표를 두고 있다. 이를 위해 안정기에 역률개선회로를 적용시키고, 안정기의 인버터에 압전 변압기를 채용하였다. 또한, 압전 변압기는 단순히 VCO만을 사용하여 주파수를 공급하게 되면 주위의 환경변화와 같은 물리적 변화에 쉽게 공급되는 주파수가 변하게 된다. 이를 보완하기 위해 PLL 채택하여 출력되는 주파수와 피드백 되는 주파수와의 위상을 비교하여 고정시켜 정확한 공진주파수를 압전 변압기에 공급하여 35W급 T5 형광등 안정기 구동에 가능성을 확인 하고자 한다.

2. 압전 변압기 특성과 전자식 안정기 구성

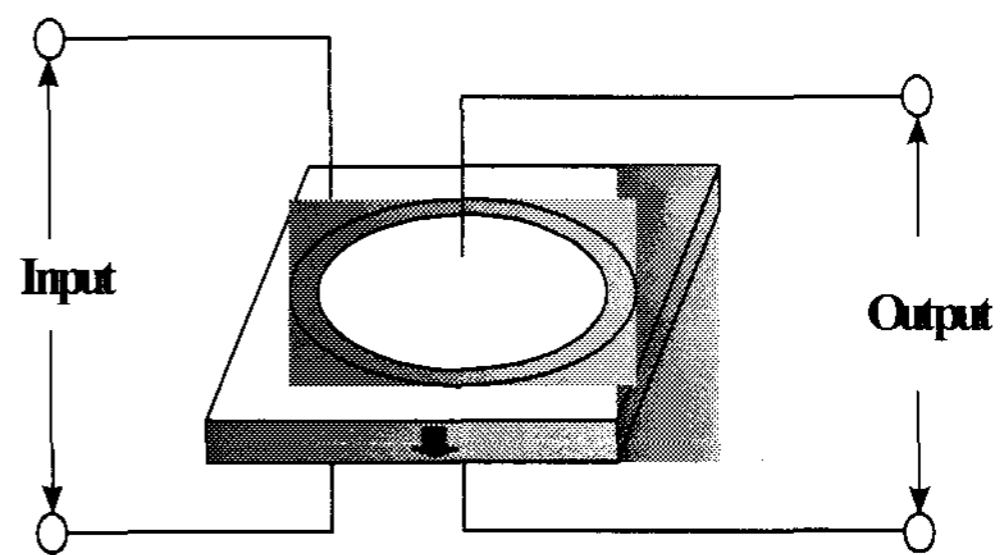
2.1 Ring-dot형 압전 변압기의 전기적 특성

실험에 사용된 압전 변압기는 그림 1과 같이 27.5mm×27.5mm×2.5mm의 링 도트(Ring-dot)형으로 제작되었다. 중앙의 다이아몬드(dot) 형태가 출력측(+), 그 외각이 링(Ring)형이며 입력측(+이다. 입력 측의 임피던스와 출력 측의 임피던스는 링과 도트의 전극 면적비를 변화시킴에 따라 조절 가능하며, 출력전류를 크게 하기 위해서는 출력 측의 전극면적을 크게 하는 것이 유리하나 너무 증가하면 상대적으로 입력 측의 전극면적이 작아 큰 진동을 유기하기가 곤란하므로 최적 전극 면적비의 설계가 필요하다. 율관진동의 기본모드를 이용할 경우 각판의 크기는 두께 대 한 변의 길이를 10배 정도로 하면

좋다. 이 압전 변압기는 압전효과의 정효과와 역효과를 모두 이용한 소자로서 입력 측에 공진주파수에 해당되는 교류전압을 인가하면 Ring전극 부근에서 강한 기계적 진동이 여기 되어 그 기계적인 진동은 출력 전극쪽으로 전달, 진동상태에 비례하는 전압이 출력 측에 여기가 된다.[7] 이 구조는 경방향 전기기계결합계수 k_p 가 일반적으로 길이방향 전기기계 결합계수인 k_{31} 보다 크기 때문에 에너지 변환 효율이 높을뿐더러 출력측 정전용량이 크게 되기 때문에 출력 측 임피던스를 떨어뜨리는 작용을 하여 출력전력을 높일 수 있다. 그러나 상대적으로 승압비는 줄게 되어 점등 시에 낮은 임피던스를 갖는 점등에 유용한 압전 변압기 형상을 갖게 된다. Ring-Dot형 압전 변압기는 공진에서 방사상 대칭구조로 사방으로 진동하는 형태를 갖는 Dilation type mode로 3차 및 4차 모드가 우세하며, 특히 전압전달 특성이 우수한 4차 모드에서 공진 주파수는 27×27×2.6mm에서 70~80kHz 근처에서 공진점으로 동작 된다. 그림 2는 적층형 도트(Ring-dot)형으로 중앙의 링(Ring)형태가 입력 측(+), 그 외각이 다이아몬드(dot)형이며 출력 측(+이다. 입력 측의 임피던스와 출력 측의 임피던스는 링과 도트의 전극 면적비를 변화시킴에 따라 조절 가능하게 되며 이 와 같은 압전 소자를 전자식 안정기에 접속하여 구동하게 된다.



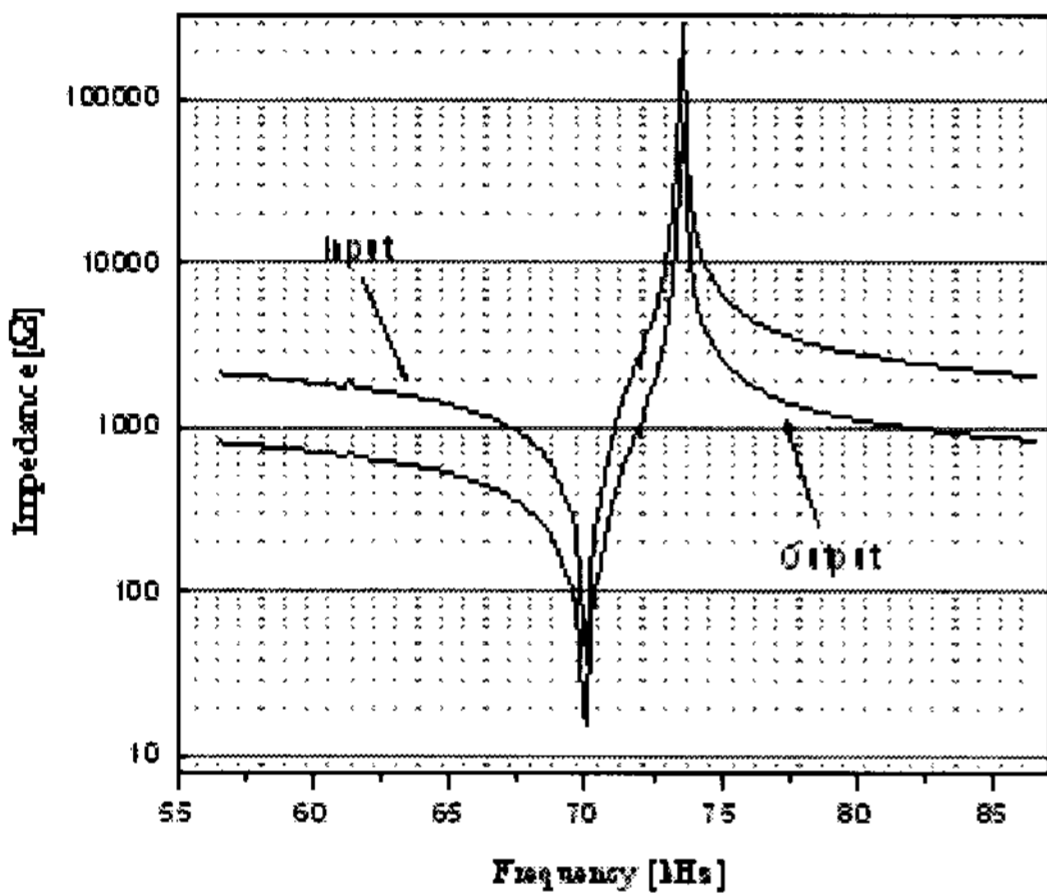
[그림 1] 압전 변압기의 구조



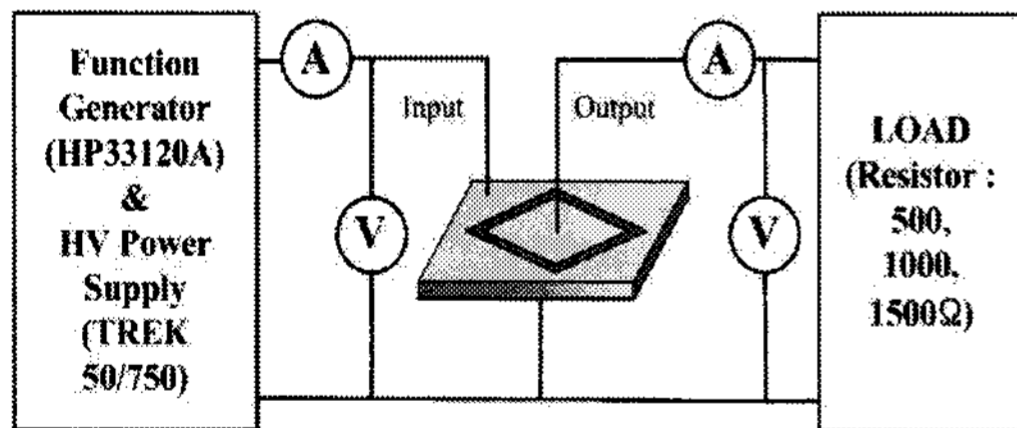
[그림 2] 적층형 압전 변압기

그림 3은 Impedance Analyzer (HP4194A)로 측정된 Ring-Dot형 압전 변압기의 임피던스 특성곡선을 나타내었다. 측정된 특성곡선에 의하여 70kHz 부근의 반공진주

파수와 75kHz부근의 공진주파수가 나타났으며, 압전 변압기는 반공진주파수와 공진 주파수의 범위 안에서 최적의 구동특성을 나타낸다. 하지만 압전 변압기는 주위 환경과 부하에 따라 구동특성이 변화하기 때문에 제작된 Ring-dot형 압전 변압기의 특성을 평가하여 시스템에 적용해야 한다. 그림4와 같은 압전 변압기의 구동 및 측정 시스템에서 오실로스코프(Tektronix : TDS3032)와 전류 프로브(Tektronix TCP202)를 사용하여 입력 및 출력 측의 전압, 전류를 측정하고 주파수와 부하저항(500, 1000, 1500Ω)에 따른 승압특성을 측정하였다.

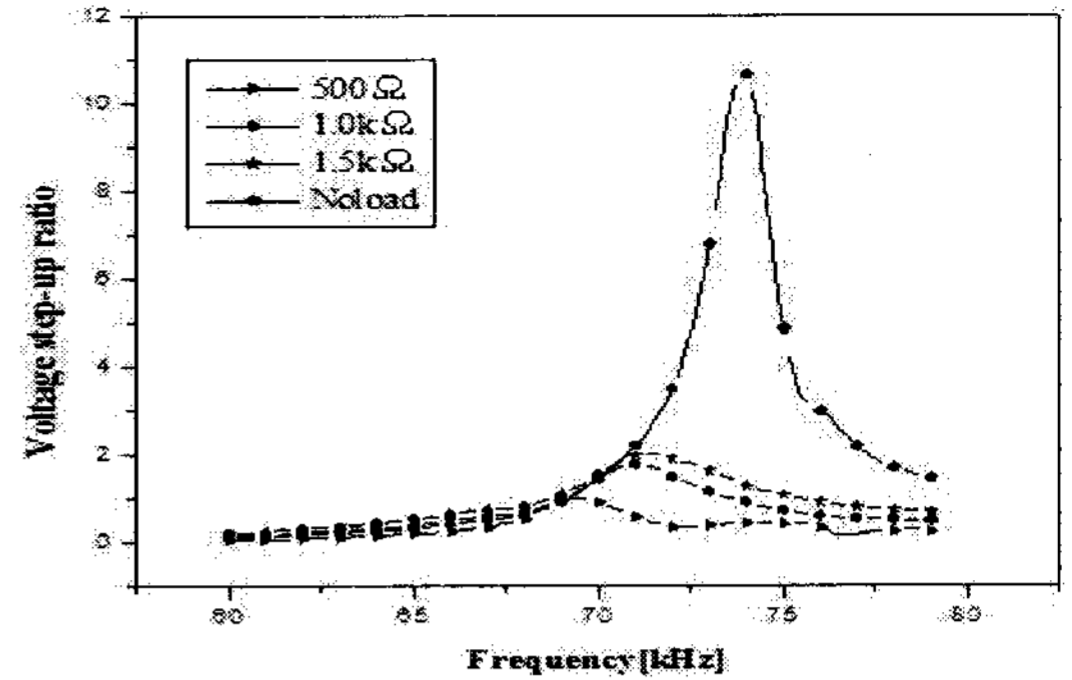


[그림 3] 압전 변압기의 임피던스 곡선



[그림 4] 본 실험 모의구동 및 측정 시스템

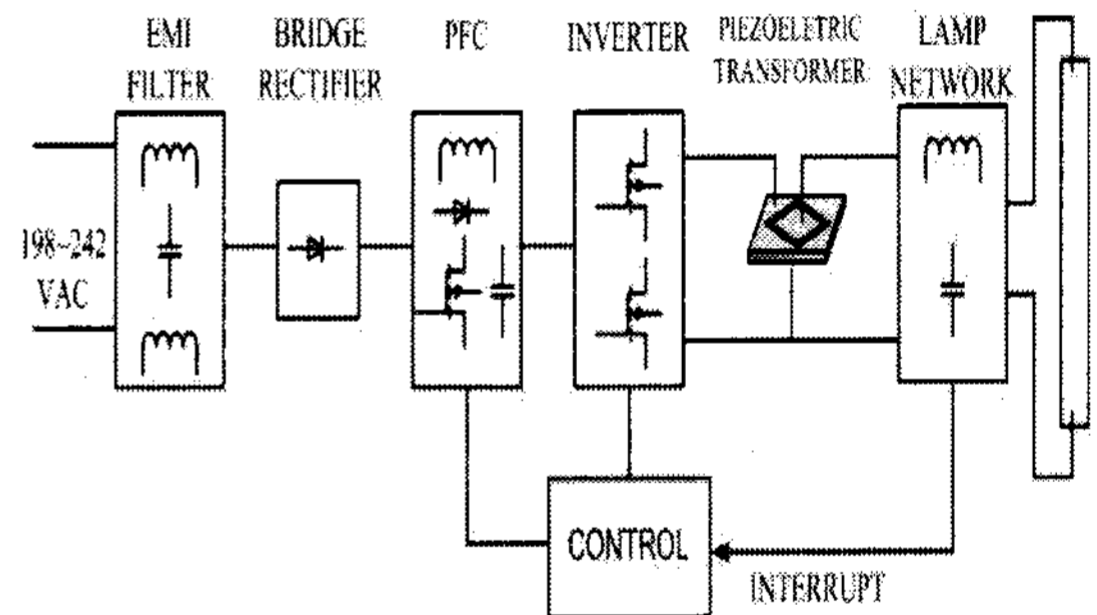
그림 4의 본 실험 모의구동 및 측정 시스템에 의한 입력전압을 일정하게 유지한 상태에서 제작된 압전 변압기의 부하저항과 주파수에 따른 승압특성을 그림 5에 나타낸 것이다. 최대 승압비는 공진주파수 부근에서 나타났으며, 부하저항의 증가에 따라 승압비는 증가하는 특성을 보였고 부하저항이 증가할수록 최대 승압비는 다소 높은 주파수에서 나타내었다. 이 특성은 형광등 부하가 점등 전에는 무부하처럼 높은 저항값을 갖고, 점등 후에는 관의 직경과 길이에 관계된 저항값을 갖는 특성과 유사한 특성을 나타내었다.



[그림 5] 압전 변압기의 주파수와 부하저항에 따른 승압비

2.2 압전 변압기의 전자식 안정기에 적용

압전 변압기의 적절한 구동전압과 구동주파수를 찾아 제작된 전자식 안정기에 적용한 결과를 알아보았다. 전체 안정기의 회로는 전원회로부와 컨트롤, 구동회로로 구분되며 전자식 안정기의 블록도는 그림 6에 나타내었다

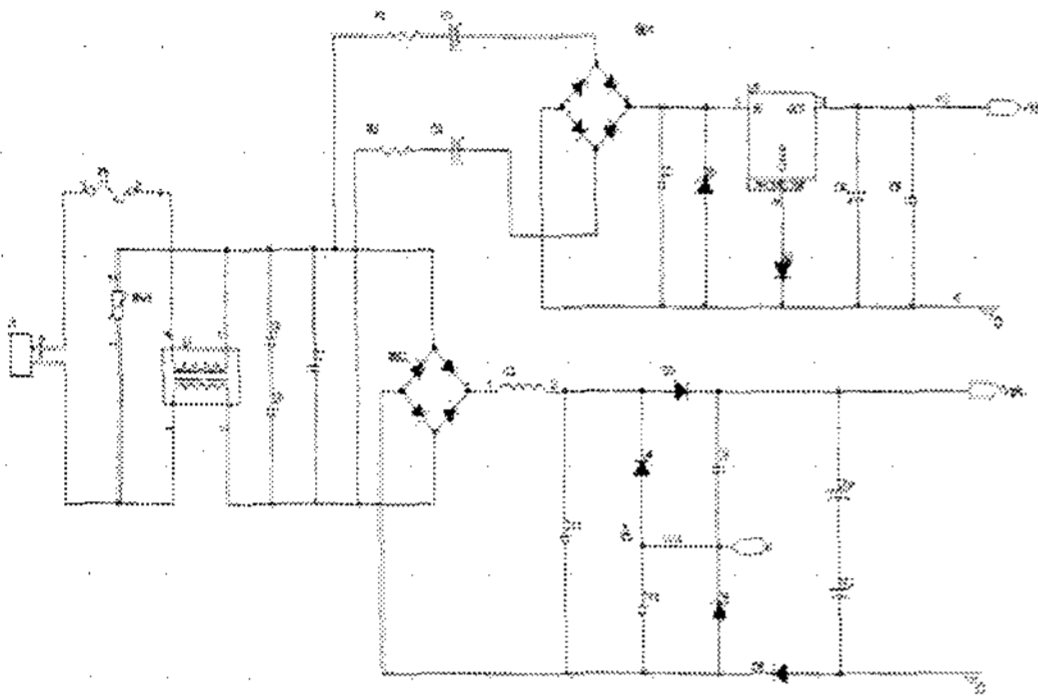


[그림 6] 전자식 안정기의 블록도

역률개선 회로는 PFC(Power Factor Correction) IC로 ST사의 L6561을 사용하였다. 위상고정루프 PLL(Phase Locked Loop) IC 14046B는 입력된 신호를 기준주파수와 비교하여 특정 위상으로 고정시키는 제어방식이며, 주파수원으로 사용되는 주파수가 흔들리는 것을 고정하기 위해 사용된다. 전자식 안정기는 VCO를 통해 주파수원을 만들어 내지만 출력주파수가 주변 상황에 많은 영향을 받게 된다. 회로적 영향 및 주변 장비의 영향, 온도와 날씨의 영향 등에 의해 출력주파수는 미세하게 흔들려서 다른 주파수로 바뀌게 된다. 전자식 안정기에 특정주파수에서 구동하는 압전 변압기를 적용하자면 2~3[kHz]대역의 특정주파수에서 도 구동이 가능하지만, 적절한 승압비를 갖고 구동하는 주파수 대역은 더욱 좁아지게 된다. 따라서 본 시스템에서 PLL은 주파수원을 흔들리지 않도록 고정해주며 주파수원을 정확하게 가변 해 주는 역할을 한다.

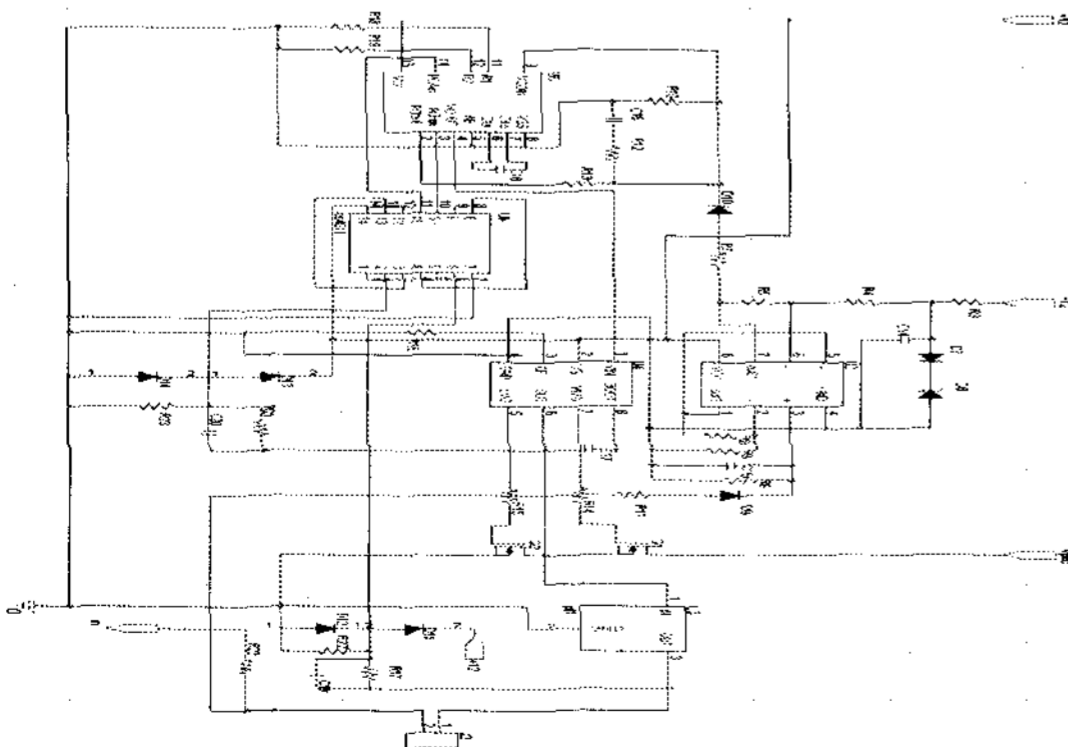
2.3 전자식 안정기의 구성과 동작 원리

전자식 안정기의 구성과 동작 순서는 상용교류전원 220[V]를 받아서 정류회로에 의해서 직류 전원으로 변환한 다음 이것을 다시 인버터 회로에 의해서 고주파의 교류전원으로 만들고, 이렇게 만든 고주파의 교류 전원으로 형광등을 점등하는 것으로 일반적인 전자식 안정기의 구성으로 전원회로를 그림 7에 나타내었다.



[그림 7] 전원 회로도

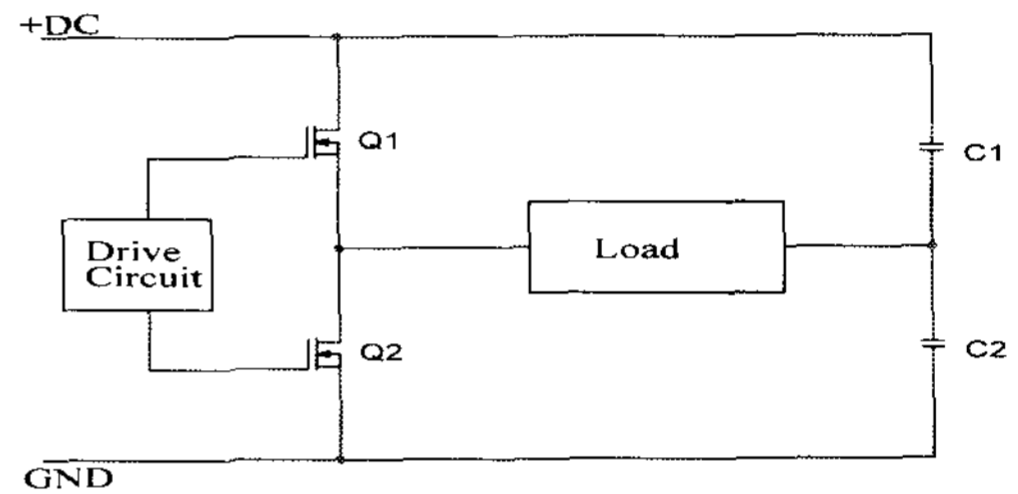
교류 입력 전원을 통해 들어오는 잡음을 제거하기 위한 잡음제거 필터와 전원 입력 측으로부터 낙뢰나 순간적인 과전압 등 써지가 인입될 경우 이를 제거시켜 2차측 회로를 보호하는 써지 전압 억제를 위한 바리스터, 빠른 스위칭 동작으로 발생하는 내부 노이즈를 인입 전원 측에 흘러들어가거나 발산되지 않도록 필터와 콘덴서의 X, Y형 회로 구성으로 EMI를 제거하는 라인필터, 그리고 교류를 직류로 변환시켜주기 위한 다이오드 및 캐패시터 등으로 이루어진 정류, 필터회로로 구성된다.



[그림 8] 제어 및 구동 회로도

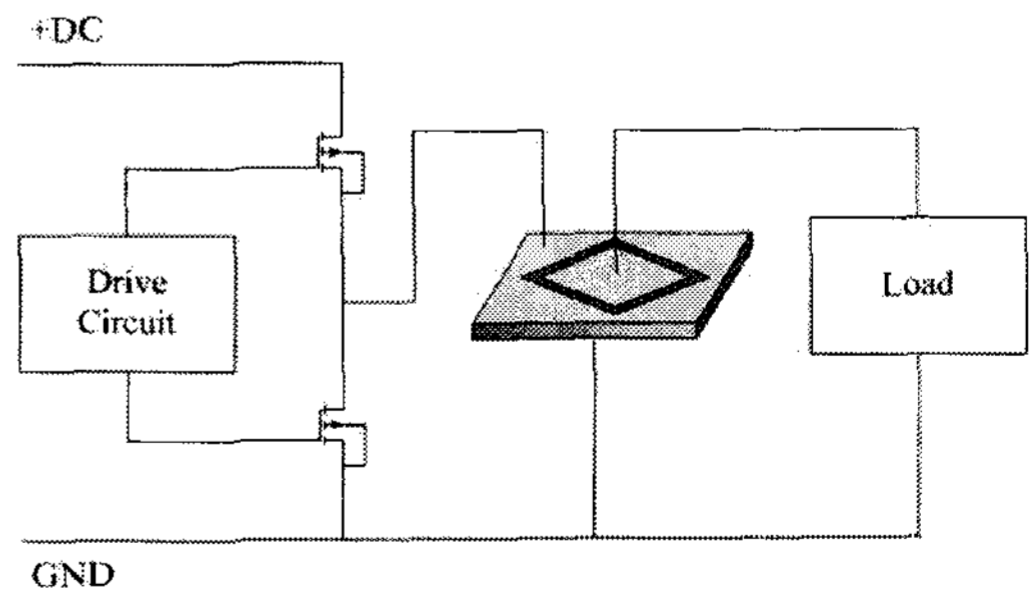
그림 8은 제어 및 구동 회로도를 나타내고 있으며, 역

를 개선 회로는 PFC(Power Factor Correction) IC로 ST사의 L6561을 사용하였으며, 입력된 신호를 기준주파수와 비교하여 특정 위상으로 고정시키는 제어방식인 PLL(Phase Locked Loop) IC 14046B를 사용하여 주파수로 사용되는 주파수가 흔들리는 것을 고정 시켜준다. 주 회로에 사용은 국내에서 상용되는 전자식 안정기의 인버터 회로 대부분이 하프 브리지방식을 많이 사용하고 있다. 하프 브리지방식은 스위칭 소자의 정격전압이 높지 않아도 되고, 전압 체배기(doubler)구성으로 100/220[V] 겸용 회로를 구성하기가 쉬우며, 정류된 직류전압을 고주파인 25[kHz] 이상의 구형파로 변환하는 특징을 갖는 하프 브리지방식을 전자식 안정기로 채택하였다.



[그림 9] 하프 브리지 인버터 일반 구성도

본 연구에서 사용된 전자식 안정기의 인버터 회로를 그림 10의 하프 브리지(Half Bridge) 방식을 사용하였고 상용되는 전자식 안정기의 인버터 회로는 대부분 하프 브리지 방식을 많이 사용하는데 스위칭 소자의 정격전압이 높지 않아도 되고, 겸용 회로를 구성하기가 쉬우며, 정류된 직류전압을 고주파인 25[kHz] 이상의 구형파로 변환하는 방식으로 회로는 구성 되었다.



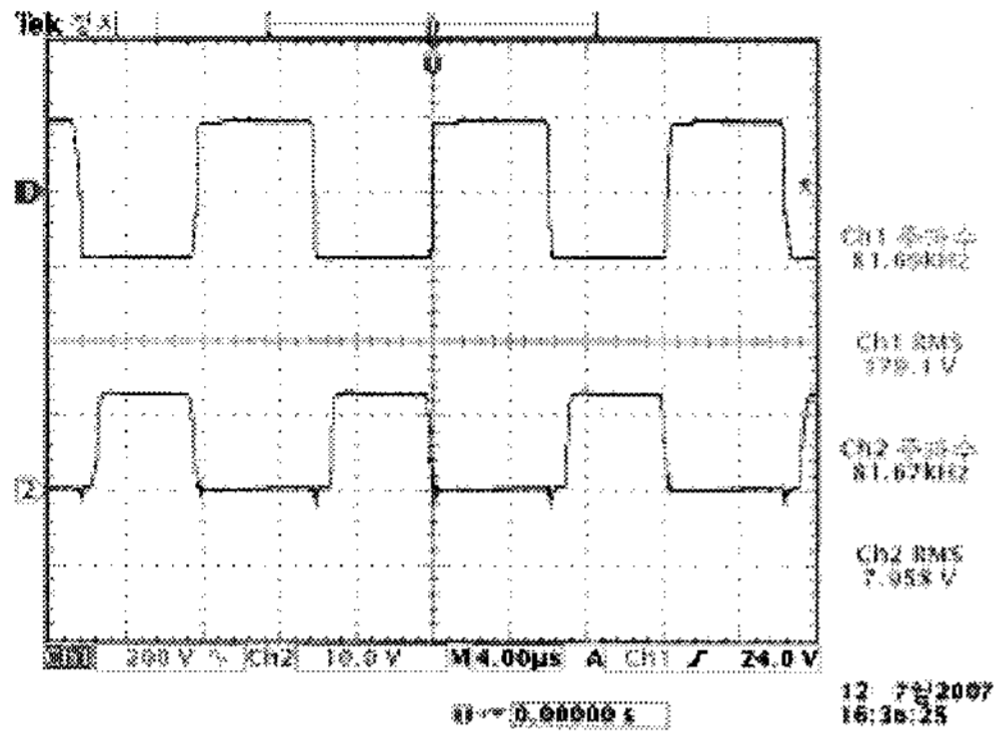
[그림 10] 하프 브리지 인버터와 압전 변압기 구성도

3. 실험결과

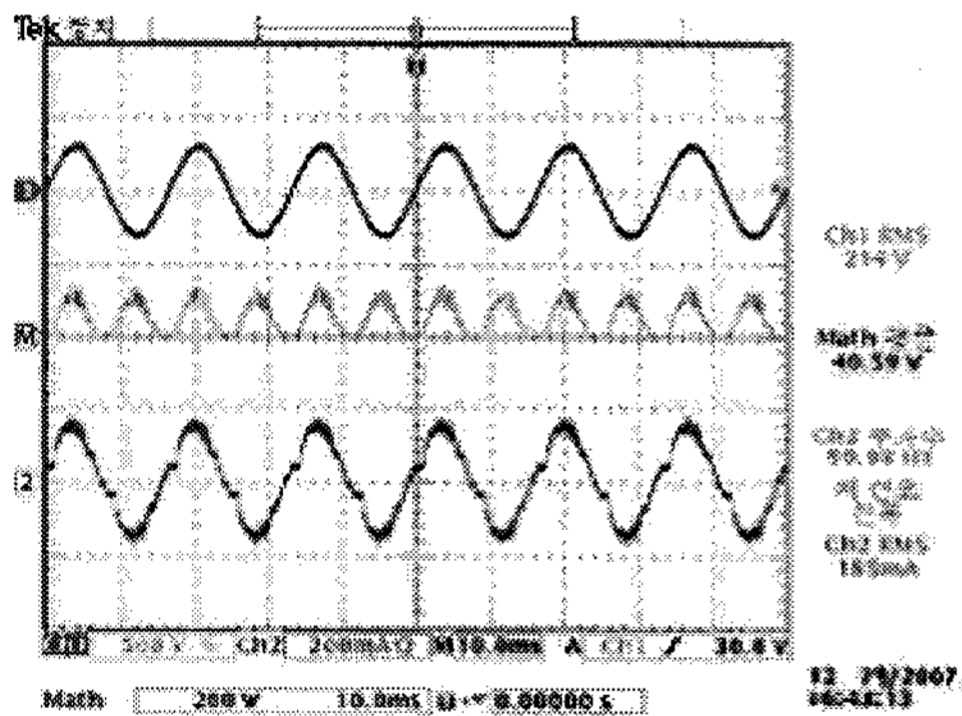
3-1 제작된 전자식 안정기의 특성

제작된 회로로 압전 변압기를 약 79kHz의 구동주파수

로 동작을 시켰으며, 형광램프의 점등 후 안정화 되었을 때 두개의 MOSFET의 드레인 소스 간 측정 한 파형을 그림 11에 나타내었다. 적당한 데드타임(0.1us)을 주어 두개의 스위치가 동시에 턴 온 되는 동작을 방지 할 수 있게 구성하였다.

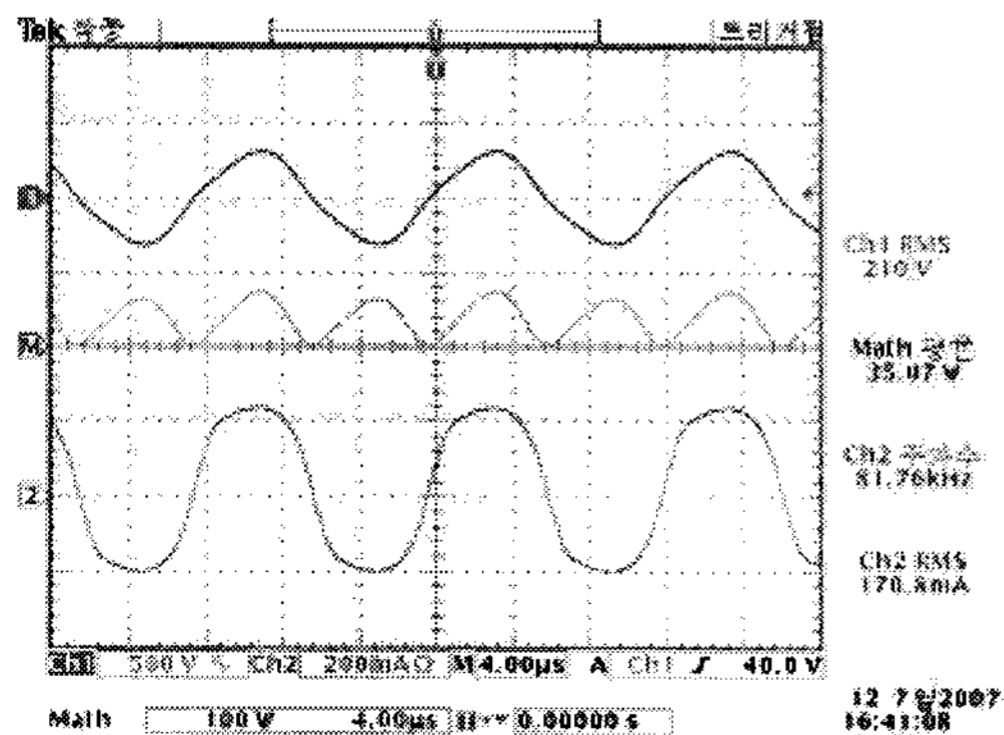


[그림 11] 하프 브리지 인버터의 지연시간 파형



(a) 안정기 입력 파형

(상: 전압, 중: 입력전력, 하: 전류)

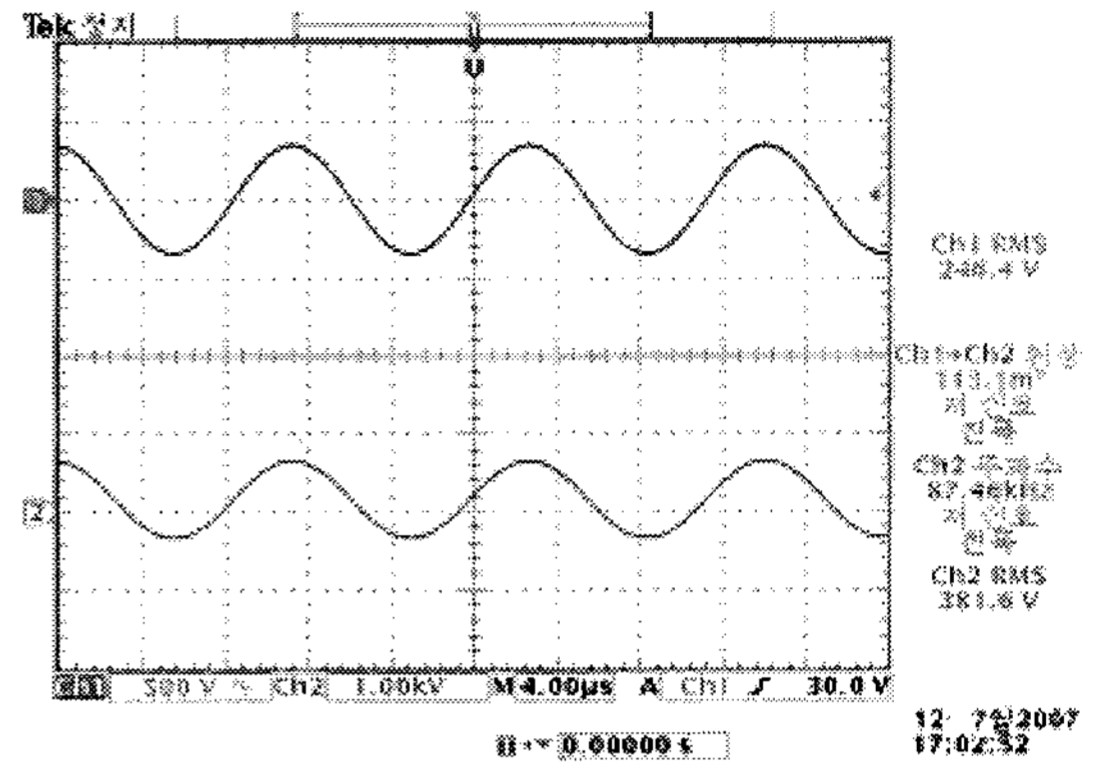


(b) 안정기 출력 파형

(상: 전압, 중: 출력전력, 하: 전류)

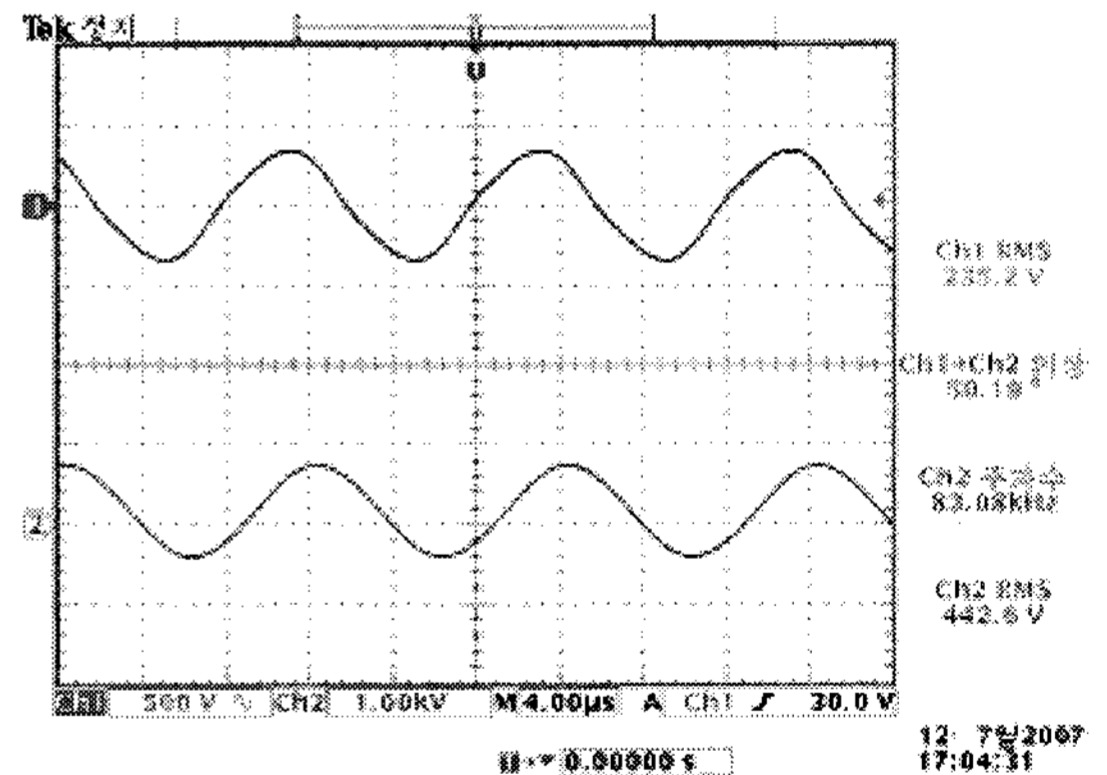
[그림 12] 안정기의 입, 출력 특성

그림 12(a)는 T5 형광램프가 점등 시 전체 안정기에 입력되는 전력, 그림 12(b)는 안정기의 출력을 나타낸 파형으로 안정기의 입력전력과 출력전력은 40.59W와 35.07W로서 전체 안정기의 효율은 86%로 측정되었다. 또한, 압전 변압기 전체의 효율은 87.5%로 측정되었다.



(a) 점등 전 압전 변압기 입, 출력 전압 파형

(상: 입력 전압, 하: 출력전압)



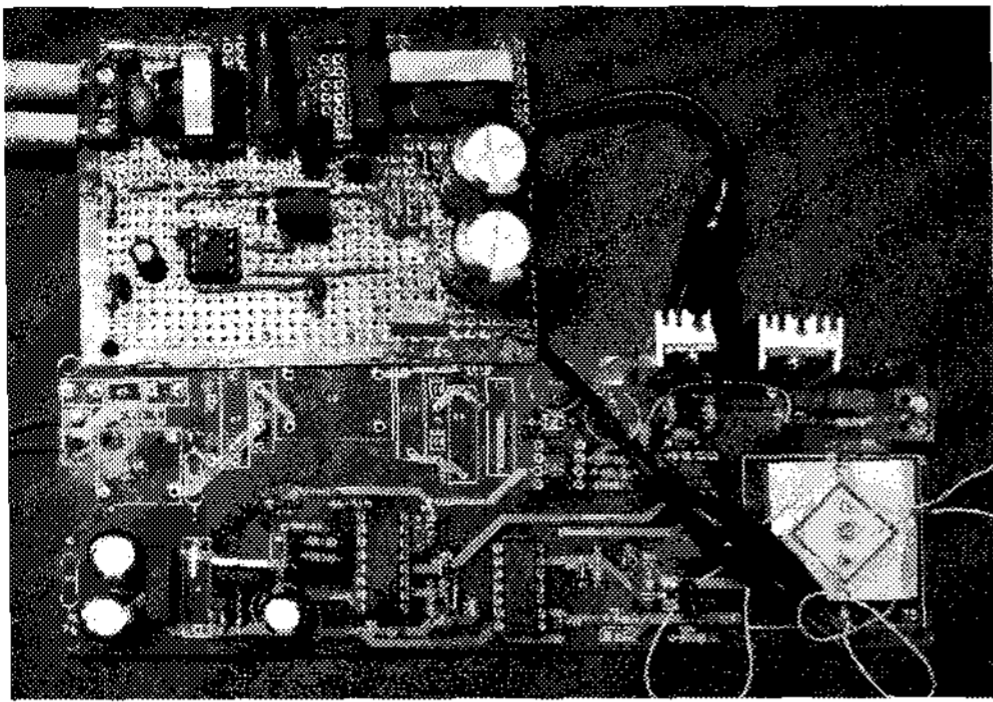
(b) 점등 후 압전 변압기 입, 출력 전압 파형

(상: 입력 전압, 하: 출력전압)

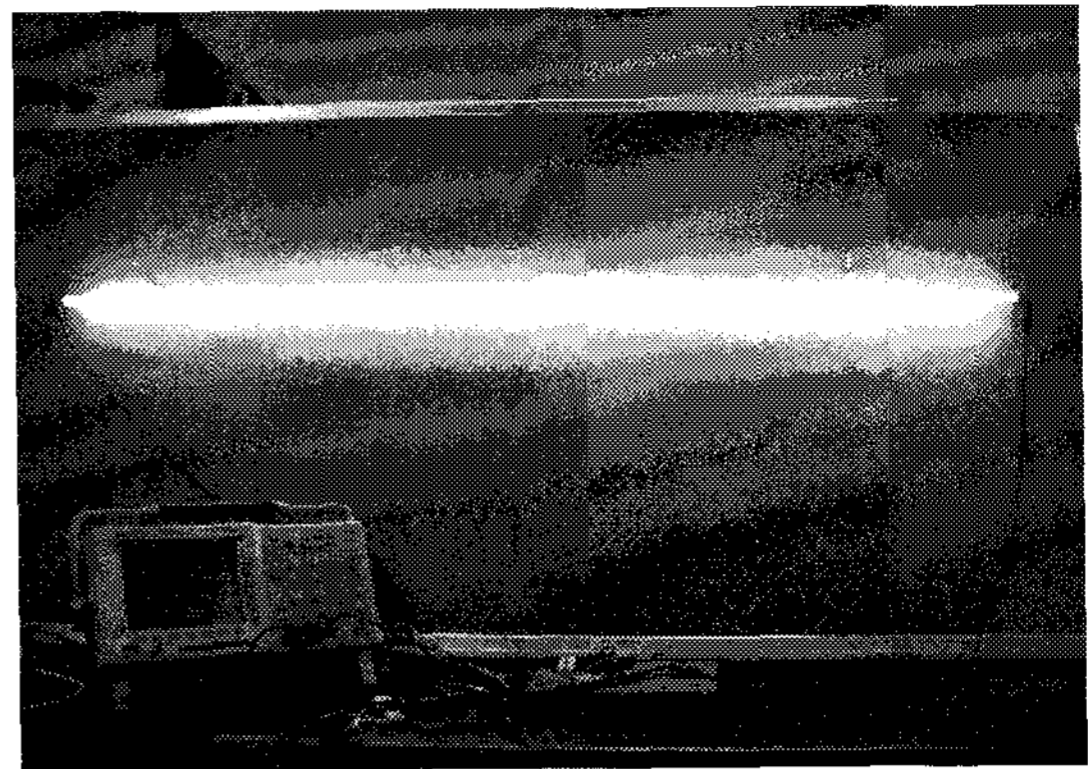
[그림 13] 압전 변압기의 입, 출력 전압 특성

그림 13(a)은 형광등 점등 전, 그림 13(b)는 점등후의 압전 변압기의 입력과 출력의 전압파형을 나타낸 것으로 PLL동작으로 점등 전에는 위상이 거의 0°에 가깝다가 점등 후에는 50°로 위상이 고정됨을 볼 수 있다.

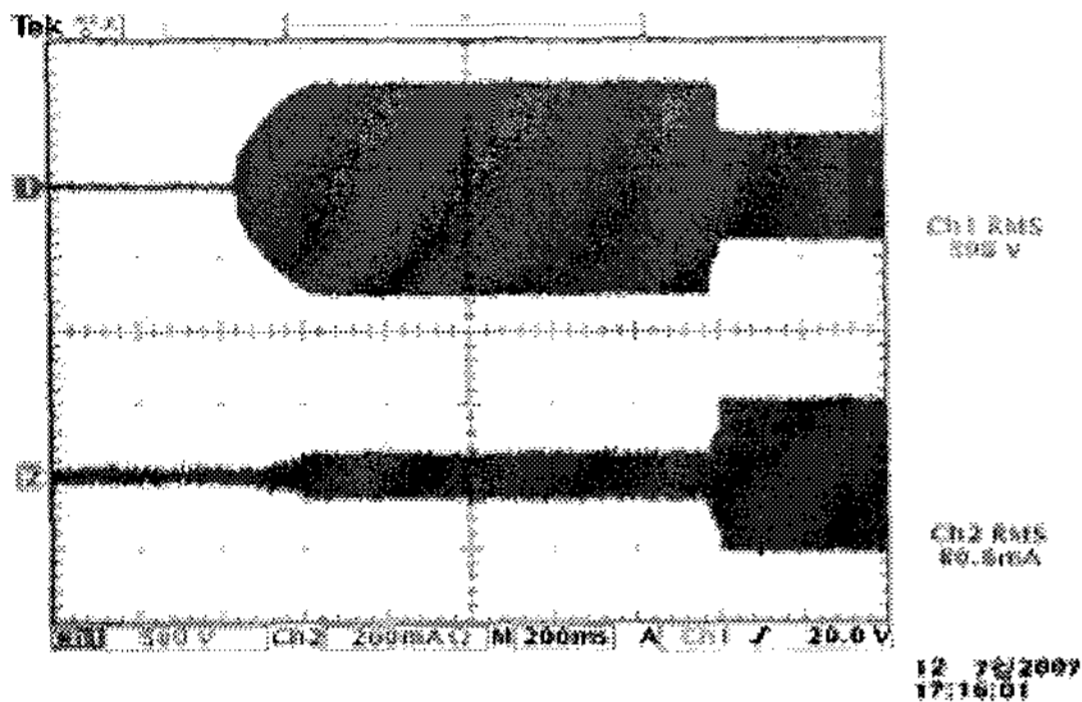
그림 14는 제작된 전자식 안정기의 시스템으로 링 도트(Ring-dot)형 압전 변압기가 부착되어진 모습을 나타내고 있으며, 그림 15는 초기 방전부터 점등까지의 시간과 전압전류 파형을 보여주고 있다. 환경이 작은 T5형광램프의 특성을 고려, 점등예열 시간(약 1s)을 충분히 하여 램프의 전극의 무리가 감소됨을 보여주고 있다



[그림 14] 제작된 전자식 안정기의 사진

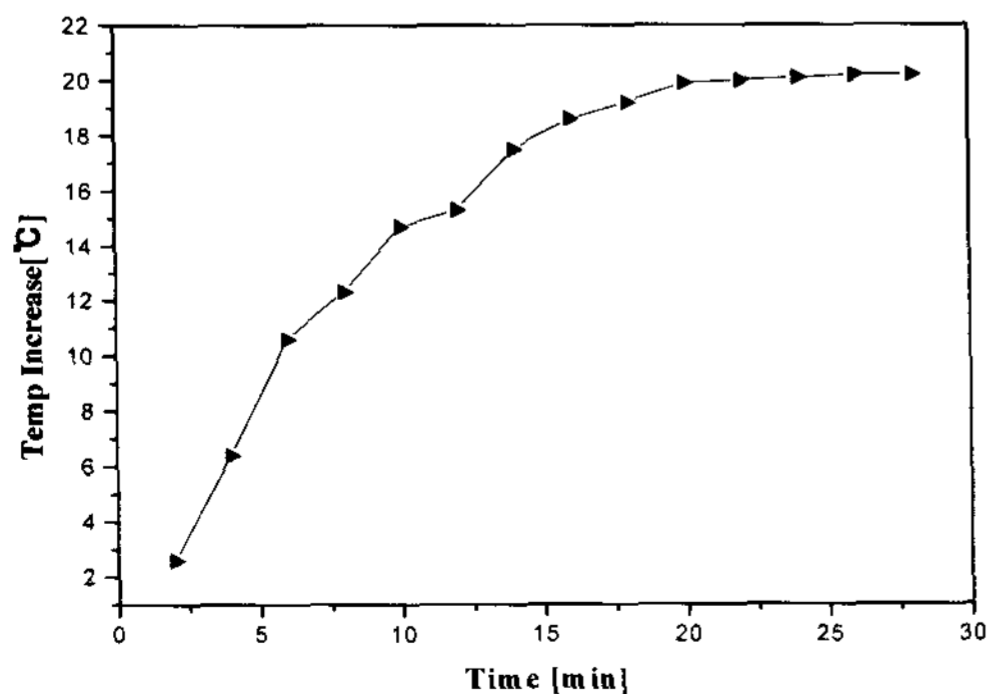


[그림 17] 전자식 안정기 구동 사진



[그림 15] 램프의 점등 특성
(상: 전압, 하: 전류)

그림 16은 상온에서(압전 변압기의 주위온도는 약 20°C 로 비접촉식 온도계에 의한 측정) 램프 점등 후 30분 까지 2분 간격으로 압전 변압기의 온도상승을 측정한 곡선으로 약 20분 지날 무렵에 온도상승은 더 이상 나타나지 않았다. 그림 17은 35W(T5)형광등의 점등 후상태의 구동 사진을 나타낸 것이다.



[그림 16] 구동시간에 따른 압전 변압기의 온도 상승 곡선

4. 결론

링 도트(Ring-dot)모드 압전 변압기와 능동형 역률개선회로를 사용한 전자식 안정기를 이용하여 형광등을 실험한 결과, 온도 상승이 예상된 값보다 다소 높게 측정되었는데, 이러한 결과는 압전 변압기의 출력 임피던스와 램프의 등가저항과의 정합이 이루어지지 않았기 때문으로 생각된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 압전 변압기의 출력 측 임피던스를 부하램프의 등가저항과 정합되도록 압전 변압기를 설계하는 것이 중요할 것으로 판단되며, 보다 안정적인 형광등램프의 동작을 위해서는 램프의 예열을 위한 안정기 회로의 추가설계가 필요할 것으로 생각된다.

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

1. 공진 점 부근에서의 압전 변압기의 입력에 대한 출력비(승압비)는 무부하시 가장 크며 정상상태에는 적절한 값으로 바뀌어 형광램프의 점등특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다.
2. 제작된 압전 변압기는 길이 27.5mm, 폭 27.5mm, 두께 2.5mm이며, 높은 승압비 특성을 가지고 있어 이를 이용한 전자식 안정기회로는 소형화, 경량화가 가능하였으며 높은 효율을 보였다.
3. PLL 방식을 채택하여 압전 변압기의 입력에 대한 주파수를 고정하였으며, 입력에 대한 출력 위상을 고정하여 위상차가 50°도 근처에서 고정되며 압전 변압기 효율을 증가 시켰다.
4. 제작된 안정기로 형광램프를 25분 구동 후 안정기는 0.95역률, 86%효율, 35.07W의 출력전력 그리고 20.5°C의 온도상승을 나타내었으며 정상상태에서

의 35W(T5) 형광램프의 정격인 210V, 170mA로 동작하는 특성에 만족할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] T. Zaitzu, "AC/DC Converter with a Piezoelectric transformer", US Patent, No.5969954, 1999.
- [4] 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.
- [5] Shyama and Masahito, "Steady-state characteristics of the push pull piezoelectric inverter", IEEE. PESC Record, pp.715-721, 1997.
- [6] 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.
- [7] J. Yoo, K. Yoon, Y. Lee, S. Suh, J. Kim and C. Yoo, "Electrical Characteristics of the Contour-Vibration-Mod Piezoelectric Transformer with Ring/Dot Electrode Area Ratio", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39, No.5A, pp.2680-2684, 2000.

황 락 훈(Lark-Hoon Hwang)

[정회원]



- 1981년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학사)
- 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 1991년 2월 충남 전문대학 (현 대덕대학) 전기과 조교수
- 1991년 3월 ~ 2008년 현재 세명대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

에너지 변환, 전동기 제어, 대체에너지(태양광), 전력전자 응용 분야