

강유전체 세라믹스를 이용한 전자식 안정기용 절전모듈 (Power-saving Module using Ferroelectric Ceramics for Electronic Ballast)

신 현 용(Hyun-Yong Shin)¹⁾

요 약

형광램프용 전자식 안정기의 효율개선 및 램프의 수명연장을 위하여 강유전체 커패시터와 시간지연스위칭회로로 구성된 절전모듈을 개발하고 적용하였다. 절전모듈에 사용된 강유전체 세라믹스를 이용하여 형광램프의 부저항특성과 최적화를 시키고, 시간지연회로를 통하여 점등초기 예열형에서 비예열형으로 스위칭시켜 점등 중 필라멘트에서 소비되는 전력을 제거함으로써 약 2W의 소비전력을 감소시켜 효율개선을 실현하였으며, 역기전력 제거기능을 통하여 점등 초기 형광램프 필라멘트에 가해지는 충격을 최소화함으로써 형광램프의 수명을 연장시켰다.

Abstract

Power saving module which is consisted of ferroelectric ceramic capacitor and time delay switching circuit was installed into electronic ballast in order to enhance energy efficacy and extend life time of fluorescent lamp. The impedance matching of negative resistance characteristics of F/L was optimized with the characteristics of ferroelectric ceramics capacitor to increase the light efficiency of the electronic ballast. The high light efficiency of the electronic ballast was achieved by minimizing wasted power at the filament of F/L during the lighting by using the switching function of time delay circuit from preheating mode to non-preheating mode. The life time of F/L was also extended by eliminating the reverse electromotive force using time delay circuits to minimize the impacts to the filament of F/L from unwanted high voltage peaks during light-up period. As the results, the electronic ballast with the first grade energy efficiency was developed using ferroelectric ceramics and time delay module.

1) 정회원 : 남서울대학교 전자정보통신공
학부

논문접수 : 2005. 11. 30.

심사완료 : 2005. 12. 22.

본 연구는 2004학년도 남서울대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

1. 서론

백열등에 비하여 조도 및 휘도가 높으면서도 소비전력을 크게 절감할 수 있는 형광등을 점등하기 위한 안정기는 과거 자기식에서 지속적으로 발전을 이루어왔다. 그리고 최근에는 고효율의 전자식 안정기가 주류를 이루고 있다. 이러한 고효율 전자식 안정기는 자기식 안정기에 비해 소비전력을 25% 이상 절감할 수 있어 국내외적으로 에너지 절약의 차원에서 지속적으로 시장규모가 성장하고 있다[1]. 특히 국가의 에너지효율 등급제의 실시에 따라 효율등급이 전자제품의 기능 및 기술력을 나타내는 척도의 일부로 사용되고 있으며 뿐만 아니라 고효율 제품의 사용이 적극 권장되고 있는 실정이다.

현재 출시되어 있는 전자식 안정기에 대한 에너지효율 등급의 최고치는 2등급으로 아직까지 1등급 제품은 개발되어 있지 않은 상태이다. 현재의 2등급 전자식 안정기가 1등급으로 등급 up-grade 되기 위해서는 제품별도 약간의 차이가 있으나 같은 광속을 낼 경우 약 2~3W 정도의 전력이 절감되어야만 한다. 이러한 고효율화를 위하여 LCD의 back-light로 사용되는 CCFL용 인버터에 사용되고 있는 압전 트랜스포머를 이용한 안정기[2]에 관한 연구도 국내외에서 활발히 연구되고 있다.

일반적으로 전자식 안정기는 형광등의 발광 효율을 높이기 위하여 수십 kHz의 고주파를 발생시키기 위한 인버터와 주변회로로 구성되어 있다.[3] 본 연구에서는 전자식 안정기의 점등부에 강유전체 및 절전모듈을 적용하여 형광등에서 소비되는 전력을 극대화함으로써 비교 효율 1.18 이상인 전자식 안정기를 개발하고자 하였다.

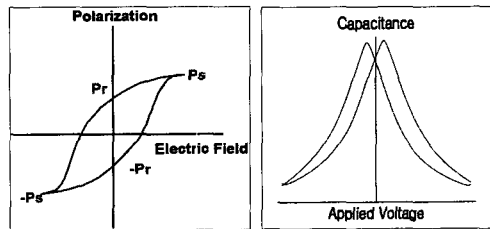
2. 안정기의 구조 및 절전모듈

일반적으로 전자식 안정기는 크게 입력부, 인버터, 출력부의 3 부분으로 이루어져 있다. 본 연구에서는 에너지효율의 극대화 및 형광램

프의 수명연장을 위하여 L/C 소자로 대표되는 기존 전자식 안정기의 출력부를 절전모듈로 대체하였다. 적용된 절전모듈은 크게 두 부분으로 구성되어 있다. 그 중 하나는 강유전체 세라믹이며, 다른 하나는 시간지연모듈 (Time Delay Module, TDM)이다. 시간지연모듈은 시간지연스위칭회로와 역기전력제거회로가 포함되어 있다. 시간지연스위칭회로는 전자식 안정기가 형광램프를 점등할 때 예열형에서 비예열형으로 전환될 수 있도록 구성된 스위칭 기능을 가진 회로이다. 시간지연회로와 역기전력제거회로를 하나의 기판에 구성하여 하나의 모듈로 구성하였다. 따라서 시간지연모듈은 구조적으로는 크게 두 부분으로 나뉘어져 있으며, 기능상으로는 세 가지 기능이 복합되어 있으며 주된 역할은 에너지 절약을 통한 고효율화 및 역기전력제거를 통한 램프의 수명연장에 있다. 절전모듈의 구조적, 기능적 역할 및 효과는 다음과 같다.

2.1. 강유전체 세라믹스 소자

강유전체 세라믹스 소자는 3성분계 PMN-PZT 세라믹스를 사용하였다. PMN-PZT 세라믹스는 다층원판형 구조를 갖도록 제작하였다. 강유전체 세라믹스 소자가 일반 커패시터와 다른 점은 소자의 커패시턴스가 주파수뿐만 아니라 외부로부터 인가된 전압에 대해 비선형적인 부저항특성을 보인다는 것이다.



(a) 히스테리시스, (b) C-V 특성
 [그림 1] 강유전 세라믹스의 비선형 특성:

(a) 히스테리시스, (b) C-V 특성

[그림 1]은 강유전체 세라믹스의 대표적인 비선형적 특성을 보여주는 히스테리시스 특성 및 C-V 특성을 나타낸 것이다. 특히 형광램프의 관전압에 해당하는 130~150V 범위 내에서 비선형적으로 급격히 커패시턴스가 변화하는 조성의 세라믹스를 선택할 경우 동일한 입력전류에 대하여 일반 커패시터에 비해 충전에너지를 감소시킬 수 있으므로 그만큼 많은 양의 전류가 형광램프로 흘러가게 될 뿐만 아니라 전계하에서의 세라믹스 거동이 형광램프의 부저항특성과 가장 유사한 특성을 나타내기 때문에 최적의 임피던스 매칭에 따른 광효율의 증가를 가져올 수 있다.

2.2. 시간지연모듈 (TDM)

시간지연모듈은 예열형에서 비예열형으로 전환시키는 아날로그 스위칭 회로와 역기전력을 제거하기 위한 회로로 구성되어 있다.

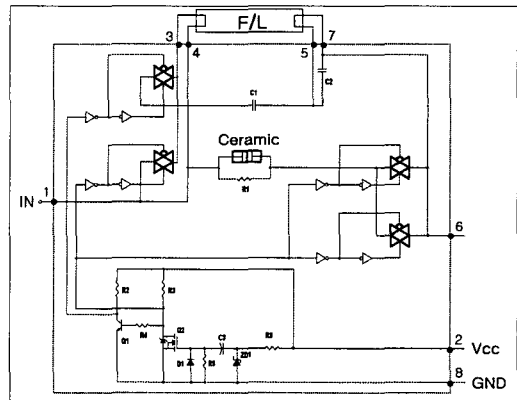
2.2.1. 스위칭회로

전자식 안정기의 기동방식은 예열기동방식과 비예열기동방식으로 나뉘어진다. 예열기동방식은 점등초기 충분한 예열전류를 형광램프의 필라멘트에 흘려줌으로써 점등전압을 낮추어 초기 필라멘트에 가해지는 스트레스를 최소화하여 형광램프의 수명을 연장시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 점등 중에 필라멘트에 흐르는 항시 예열전류에 의한 소비전력으로 인하여 효율의 저하를 가져온다는 단점이 있다. 이와는 반대로 비예열기동방식 혹은 순시기동형으로 일컬어지는 안정기의 구동은 필라멘트에 예열전류를 흘려주지 않아 냉음극관 형태로 기동되는 방식이므로 점등 중에 불필요한 소비전력이 없는 대신에 순간기동전압이 높기 때문에 램프 양단의 흑화현상이 빠르게 발생할 뿐만 아니라 형광램프의 수명을 크게 단축시키는 단점을 가지고 있다. 그러나 형광램프의 점·소등 횟수가 작은 경우에는 램프의 수명이 크

게 단축되지 않기 때문에 미국 등에서는 순시기동형이 널리 사용되고 있다. 그러나 에너지 절약차원에서 점·소등이 잦은 국내에서는 비예열형이 거의 사용되고 있지 않다. 이러한 두 기동방식의 장점을 혼합하여 초기 일정시간 동안 예열형으로 동작하다가 수 초 내지 수십 초 후 램프가 안정된 시점에서 비예열형으로 전환되어 동작한다면 효율 및 수명에 대한 장점을 공유할 수 있는 안정기 시스템을 구현할 수 있다. 따라서 스위칭회로는 예열형에서 비예열형으로 전환되는 아날로그 스위칭시스템으로 구성되어 있다. 이용 가능한 스위칭시스템으로 여러 가지 방식이 있으며, [그림 2]는 강유전체 세라믹스와 역기전력제거회로 및 스위칭회로가 포함된 시간지연모듈의 일례를 보여주는 것이다.

2.2.2. 역기전력제거회로

점등초기에 형광램프 및 세라믹스에 가해질 수 있는 과도한 피크전압과 같은 이상신호를 감지하여 제거함으로써 형광램프 수명의 단축을 최소화하기 위해 구성되었으며, 또한 과부하시 강유전체세라믹스와 스위칭회로를 보호하기 위한 회로로 구성되어 있다.



[그림 2] 강유전체 세라믹스가 포함된 시간지연모듈

3. 절전모들의 동작원리

개발된 전자식 안정기의 형광램프 점등방식은 예열기동방식으로 점등한 후 일정시간이 지나면 비예열형으로 스위칭되는 기능을 갖는 순간예열방식을 채택하고 있다. 따라서 구동모드의 전환을 위한 시스템이 필요하며, 예열형과 비예열형으로 구동될 때 동작할 수 있는 무부하 및 과전류 보호회로가 부가되어야 한다. 각각의 동작방식이 다르기 때문에 기존 전자식 안정기와는 다른 시스템 구성이 필수적이다. 여기에 적용 가능한 시스템은 앞서 밝힌 바와 같이 아날로그 스위칭 기능을 갖도록 구성할 수도 있으며, 주파수 변환에 의한 전류차단 방식이 사용될 수도 있다. 현재 개발된 안정기에는 각 방식이 독립적으로 적용되어 있다. 일례로 스위칭 방식을 설명하면 기동방식의 전환 및 세라믹스 소자의 안전한 동작을 위하여 적정 시간을 조절하여 스위칭되는 역할을 하는 동시에 공진 시에 합성 임피던스 저하로 인한 세라믹스 소자의 조기 파손을 막아 줄 수 있도록 설계되어 있다. 또한 부가되어 있는 역기전력제거회로와 함께 형광램프의 수명을 연장해주는 역할을 한다. 역기전력제거회로는 전원스위치를 넣는 순간 choke coil에서 발생하는 역기전력을 억제하여 형광램프에 가해지지 않도록 하고 과부하 발생 시 발진을 정지시켜 세라믹스 소자와 회로를 보호해 주는 역할을 한다.

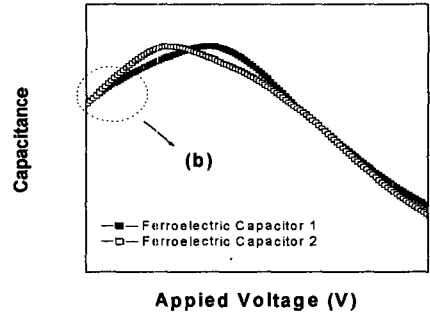
이와는 별도로 적용된 것은 보다 높은 효율의 달성을 위하여 강유전체 세라믹스 소자가 내장되어 있다. 강유전체 세라믹 소자와 같은 전계하의 비선형 특성이 방전램프의 부저항특성과 최적의 임피던스 매칭을 이룬다는 사실은 이미 상용화되어 있는 LCD back-light용 압전인버터로부터 입증되어 있는 사실이다[4]. 강유전체 세라믹의 비선형 특성이 고효율화를 가져올 수 있도록 해주는 메카니즘은 [그림 3]에 나타난 바와 같다. [그림 3]의 (a)와 (b)는 사용된 강유전체 세라믹스와 상용 커패시터의 C-V

특성을 나타낸 것이다. 상용 커패시터와 다른 강유전체의 비선형적 거동을 볼 수 있으며, 커패시터와 강유전체에 충전된 에너지는 다음의 식을 이용하여 구할 수 있다.

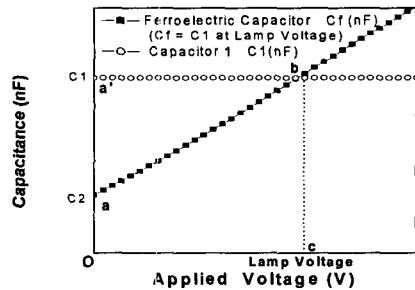
$$w(t) = C \int v(t) dv$$

여기서 w 는 충전에너지, C 는 커패시턴스, v 는 인가된 전압, t 는 시간을 나타낸다.

위 식에 의해 구한 강유전체의 충전에너지는 Fig. 4(b)에서 면적 o-a-b-c가 되며, 상용 커패시터의 충전에너지는 면적 o-a'-b-c가 되어 면적a-a'-b 만큼 강유전체의 충전에너지가 적게 되어 충전에너지의 감소에 따라 최대 전력을 형광램프로 전달할 수 있고 비선형적 부저항 특성을 갖는 램프와의 임피던스 매칭을 최적화해 줌으로써 최대 광효율을 얻을 수 있다.

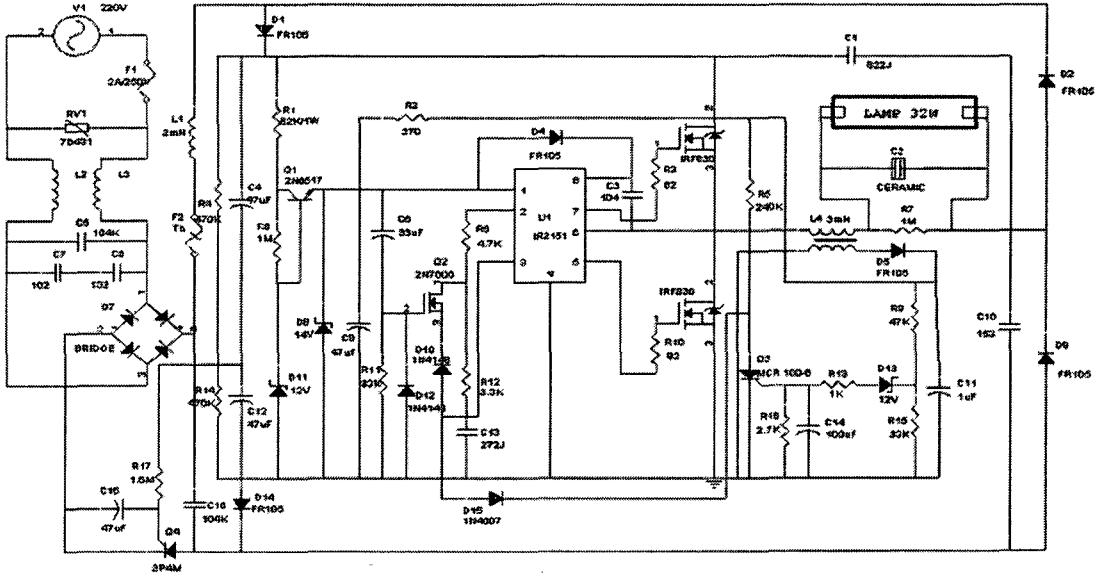


(a)



(b)

[그림 3] 강유전 세라믹스의 C-V 특성



[그림 4] 강유전체 세라믹스 커패시터를 이용한 순간예열형 전자식안정기의 회로도

이와 같이 시간지연스위칭회로와 역기전력 제거회로 및 세라믹스 소자를 동시에 적용하여 점등 후 수 초에서 수 십 초 후 비예열모드인 절전모드로 동작하여 보다 향상된 효율과 긴 수명을 확보할 수 있도록 구성된 모듈을 절전모듈이라 하였다.

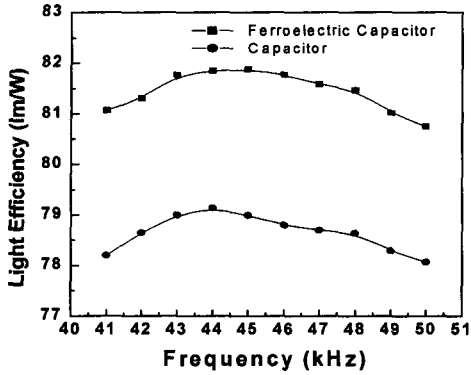
안정기의 기타 입력회로, 정류회로, 발진회로 등은 일반적으로 전자식 안정기에서 사용하고 있는 구성과 유사하나 정확한 주파수의 제어를 위하여 자려발진 방식으로는 안정된 효율을 유지할 수 있는 고신뢰성 제품의 양산화가 어렵기 때문에 IC를 이용한 타려발진 방식에 의해 구동할 수 있도록 설계되어 있다. [그림 4]는 과전류 surge 보호회로, noise filter, 정류회로 등으로 구성된 입력부, 발진 IC 시동용 전원회로 및 IC를 이용한 타려 발진방식의 발진회로로 구성된 인버터 및 절전모듈을 포함한 출력회로로 이루어진 순간예열형 전자식 안정기의 회로도이다.

4. 결과 및 고찰

강유전체 세라믹스 소자의 광효율 개선효과를 알아보기 위하여 일반 전자식 안정기의 커패시터를 본 연구에서 개발한 PMN-PZT 세라믹스 소자로 바꾸어 광효율을 측정하였다.

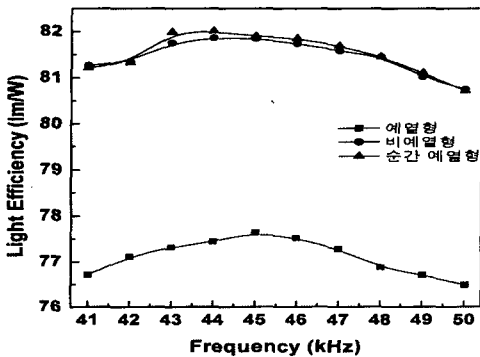
[그림 5]는 강유전체 세라믹스 커패시터와 일반 커패시터를 사용한 전자식 안정기의 광효율을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 상용으로 제작되는 전자식 안정기의 동작주파수 전 영역에서 약 3 lm/W의 광효율이 증가한 것을 알 수 있다. 이는 현재 가장 많이 사용되는 32W 형광등의 경우 약 1.2 W의 소비전력의 감소를 의미하는 것이다.

[그림 6]는 예열방식, 비예열방식 및 순간예열방식으로 구동되는 안정기의 주파수에 따른 광효율의 관계를 보여주는 그래프이다. 예열방식 안정기의 경우 기본적으로 점등후의 필라멘트 예열에 의해 비예열방식 안정기와 비교하여 광효율이 약 4~5 lm/W 낮은 것을 알 수 있



[그림 5] 강유전체 커패시터와 일반 커패시터를 사용한 안정기의 광효율

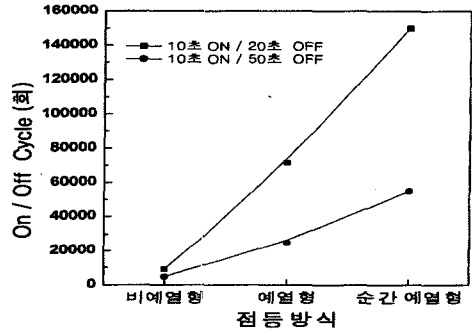
다. 이는 약 1.5W의 에너지 손실에 해당하는 것이다. 반면에 강유전체 세라믹스 커패시터가 적용되어 있는 비예열방식 안정기와 필라멘트 예열 후 시간지연스위칭 회로에 의해 비예열방식으로 전환되는 순간예열형 안정기는 광효율이 비예열형 안정기와 유사함을 알 수 있다.



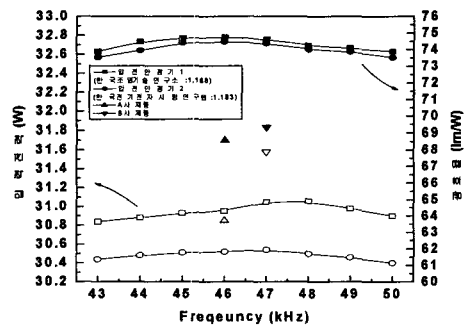
[그림 6] 기동방식에 따른 광효율 비교

[그림 7]은 예열형, 비예열형 및 순간예열형 안정기의 On/Off 주기에 따른 램프 수명을 나타낸 것이다. 비예열형 점등방식으로 점등하는 경우에는 높은 초기 점등 전압에 의한 필라멘

트의 충격으로 인하여 예열형 점등방식에 비해 수명이 짧아지는 것을 알 수 있으며, 강유전체 세라믹스를 적용한 순간예열형 안정기는 오히려 기존의 예열형 점등방식의 안정기에 비하여 수명이 길어지는 것을 알 수가 있다. 이는 시간지연스위칭 회로에 의하여 점등 초기에 예열형 점등방식과 동일한 점등방식을 사용하면서, 램프가 충분히 가열되어 있는 상태에서 비예열형으로 전환되기 때문에 예열형에서의 불필요한 전류에 의한 구동보다 필라멘트에 흐르는 전류의 차단이 필라멘트의 비산을 억제시키기 때문인 것으로 생각된다.



[그림 7] 기동방식별 형광등의 수명



[그림 8] 동작주파수에 대한 안정기의 입력전력과 광효율

[그림 8]은 기존의 전자식 안정기와 본 연구에서 개발된 안정기에 대하여 동작주파수에 따른 효율변화를 한국조명기술연구소와 한국전기

전자시험연구원에서 측정한 결과를 보여주는 그래프이다. 그림에 나타난 바와 같이 절전모듈을 채용한 안정기의 효율이 기존의 전자식 안정기에 비해 효율면에서 앞서고 있음을 보이고 있다. 표 1은 절전모듈이 사용된 순간예열형 안정기와 기존의 전자식 안정기의 특성을 요약하여 비교한 것이다. 본 연구에서는 현재 가장 많이 사용되는 32W T8 직관형 형광램프를 사용하였으나, 이 연구결과는 T5와 같이 관경이 작은 형광램프에도 적용이 가능할 것으로 생각된다.

표 1 일반 전자식 안정기와 절전모듈을 사용한 전자식안정기의 특성 비교

| 구분 | 일반 전자식 안정기 | 순간예열형 전자식 안정기 |
|-----------------------|-----------------|---------------|
| 소비전력(W) | 31.0 | 29.0 |
| 광속(lm) | 2059 | 2141 |
| 광효율(lm/W) | 66.4 | 73.8 |
| 비교효율 | 1.09(~1.13) | 1.18~1.20 |
| 램프수명 (10초 on/50초 off) | 15,000 ~ 50,000 | 50,000 이상 |
| 기타 | 램프표면온도: ~70℃ | 램프표면온도: ~50℃ |

5. 결론

본 연구는 최고 에너지소비효율 2등급인 형광램프용 전자식 안정기의 LC 출력부를 강유전체 세라믹스 커패시터와 시간지연스위칭회로를 포함하는 절전모듈로 대체함으로써 안정기의 소비효율을 향상시키고 형광램프의 수명도 기존의 제품에 비해 크게 향상시킨 전자식 안정기의 개발을 목표로 하였다. 강유전체 세라믹스 커패시터를 이용하여 형광램프의 부저항 특성과 최적화를 시키고, 시간지연스위칭회로를 통하여 점등초기 예열형으로부터 비예열형으로 절환되는 기능을 이용하여, 점등 중 필라

멘트에서 소비되는 전력을 줄여줌으로써 32W 형광램프에 대하여 약 2W의 소비전력을 감소시켜 고효율화를 실현하였으며, 역기전력제거 기능을 통하여 점등초기 형광램프 필라멘트에 가해지는 충격을 최소화함으로써 형광램프의 수명을 연장시킨 고효율, 고수명 전자식 안정기를 개발하였다.

참고문헌

- [1] 김능수 & 이상국, 최근 방전등 안정기의 기술현황, KINITI, 조사연구보고1호 (BW-1), 1992.
- [2] J. Yoo, K. Yoon, S. Hwang, S. Suh, J. Kim, C. Yoo, "Electrical characteristics of high power piezoelectric transformer for 28W fluorescent lamp", Sensors and Actuators A 90, pp.132~137, 2001.
- [3] J. H. Campbell, "New parameter for high frequency lighting systems", Illum. Eng., pp. 247 ~256, 1960.
- [4] 박지식, "압전세라믹 변압기의 구동회로 기술", 한국전기전자재료학회지, 제12권 제5호, pp.17 ~20, 1999.

신현용

1987년 8월 미국 루이지애
나 주립대학교 대학원 전
기 및 컴퓨터공학과(공학
박사)



1994년 9월 ~ 현재 남서
울대학교 전자정보통신공
학부 교수

주관심 분야 : 반도체, 강유전체, 초전도체 응
용