

## 엔두라 무전극 램프용 전원장치 연구

(A Study on the Power Supply for Endura Electrodeless Lamp)

한수빈\* · 박석인 · 정봉만 · 김규덕 · 이선근

(Soo-Bin Han · Suck-In Park · Bong-Man Jung · Kue-Duck Kim · Seoun-Kun Lee)

## Abstract

Power supply technique for electrodeless lamps, especially Endura of Osram, is presented in this paper. The power supply uses a conventional power factor correction technique due to its proved performance. But in the inverter stage, resonant converter with parallel loading scheme is used to mitigate the variation of matching circuit characteristics by time varying load. Less performance but sufficient to predict future success compared to Osram's one is verified as a result of experiment of the prototype.

## 1. 서 론

1990년초 무전극 램프가 오스람, 필립스, GE 등 주요 조명회사로부터 개발되어 발표된 이후 꾸준히 주목을 받아오고 있다. 무전극 램프는 형광등이나 기타 HID등과 달리 필라멘트나 전극이 없이 발광된다. 전극이 없는 무전극 램프에서는 전자유도법칙의 원리를 이용하여 가스를 방전시켜 발광한다 [1][2]. 따라서 전극으로 인한 수명의 영향이 없어서 통상적으로 6만시간 이상의 동작이 가능하게 된다.

통상 무전극램프 시스템의 구성 부분은 크게는 무전극 램프와 무전극 램프를 구동하기 위한 외부 고주파 전원부, 외부전원을 통해서 무전극등이 유도 방전할 수 있도록 하는 에너지 유도코일부, 유도코일이 효과적으로 동작하기 위한 임피던스 정합부 그리고 램프에서의 광이 원하는 공간에 적절한 조도분포를 제공할 수 있도록 하는 동기구로 구성된다. 여기에서 RF유도코일은 제품에 따라 램프의 내부에 설치되는 경우와 외부에 설치되는 경우가 있는데 Endura의 경우는 램프의 외부에 설치되어 있고[3] QL의 경우는 내부에 설치되어 있다[4], 임피던스 정합부분의 경우는 대부분 고주파 전원장치 안에 같이 설치되게 되므로 무전극 램프의 전원장치는 시스템 효율에 대한 결정적인 영향을 주게 된다.

본 논문은 오스람사의 Endura 무전극 램프에 대한 전원장치에 대한 연구로서 우선 Endura의 램프의 사양과 특성을 정리하고 램프에 적합하게

제작된 전원장치에 대한 설계와 실험결과를 보았다. 궁극적으로는 성능은 유지하면서 저가로 제작될 수 있는 방향에서 연구되었다.

## 2. Endura의 동작 및 특성

광원의 구조는 그림 1과 같이 전체적으로는 굵은 직관형 형광등 2개를 결합한 형태이다. 광원의 길이는 100W의 경우 250mm, 150W의 경우 350mm이며 관의 두께와 넓이는 모두 각각 54mm, 139mm이다. 또한 램프 외부에 페라이트코어를 2개를 설치하고 있는데 이를 통해서 RF유도방식에 의해 램프내부의 가스에 에너지를 전달하여 방전시키는 형태이다.

즉 Endura는 램프내부에 전극이 없이 외부의 페라이트코어에 자계를 발생시킴으로서 전극내부의 봉입가스에 에너지를 공급하여 방전시키고 이때 발생하는 가시광선과 함께 주로 발생하는 자외선은 형광물질에 의해 가시광선으로 바뀌어서 발광하도록 고안된 램프이다.

동작시 램프자체는 페루프를 형성하는 방전 플라즈마가 다수 턴으로 감긴 페라이트 코어에 대해 1턴의 2차측으로 결합된 것처럼 동작하는 트랜스포모로 볼 수 있다. 이러한 트랜스포모를 통해 RF유도를 위한 고주파의 전원이 사용되고 Endura의 경우는 외부의 약 250kHz의 고주파 스위칭 전원에서부터 고주파에너지의 전원을 공급받고 있다. 이것은 필립스나 GE등의 다른 무전극 램프의 전원 주파수인 2.65MHz와 13.56MHz보다 매우 낮은

것으로 전원장치 제조시의 어려움과 전자파장애문제를 상당히 최소화시켜주면서 시스템의 효율을 높게 유지하기 위한 것이다.

램프의 동작 전압과 전류는 각각 약 25Volt, 7A로 동작하며 이를 위해서 1차측에서는 180V의 0.8A정도가 공급되어야 한다. 이때의 램프의 임피던스는 약 3ohm정도이다. 시동때는 약 800V이상의 전압이 필요한 것으로 측정되었고 낮은 온도에서 동작하기 위해서는 1000V이상이 실제적으로 필요하다.

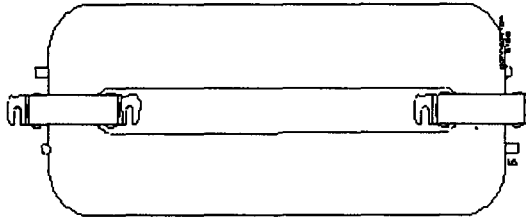


그림 1. Endura 램프의 모양  
Fig. 1. Shape of Endura lamp

### 3. 전원장치 설계 및 시험

주파수가 수백KHz정도로 동작하므로 PWM방식이 아닌 공진형 컨버터를 사용하는 것은 일반적인 선택이다. 가장 기본적인 직렬공진회로(SRC)는 일반적인 Series Loaded SRC이지만 본 연구에서는 Parallel Loaded SRC로 구성하였다[5]. 방전 전후의 임피던스의 차이가 크고, 일반적인 형광등 안정기의 스위칭주파수 20kHz~40kHz에 비해 스위칭 주파수가 250kHz로 매우 높으므로 방전 전후의 스위칭 주파수의 변동을 적게 하고 정상적인 점등상태에서 SRC의 역률을 좋게 하는데 유리하므로 Parallel-Loaded SRC를 선택하였다.

설계 회로의 주요 블록은 그림 2와 같이 일반적인 안정기의 노이즈필터, 정류기, 역률개선회로(Power Factor Correction), 직렬공진회로(Series Resonant Converter), 램프로 구성하였다.

역률개선회로는 그림 3과 같이 Boost Converter를 Boundary Mode에서 동작시키는 방법을 채택했다. Boundary Mode는 인덕터의 전류가 연속인 연속모드(Continuous Conduction Mode, CCM)와 불연속인 불연속모드(Discontinuous Conduction Mode, DCM)의 경계영역에서 동작하는 것이다. 이러한 동작을 제어하는 IC는 여러 가지가 있는데 여기서는 페어차일드의 FAN7527(KA7527)을

이용하였다. 출력전압은 400V로 조정하였다.

역률제어를 수행한 상태에서의 입력단의 전압, 전류 파형은 그림 4와 같다. 이때 파형은 완전히 전압, 전류가 동상이 되지 못하여 역률제어 상태가 최적화된 것은 아닌 것으로 보였으며 실제 측정 결과 표 1에서 정리된 바와 같이 역률 및 고조파함유율 등의 특성이 최상의 값을 갖지는 못하였다. 이는 PCB 구성상의 문제와 인덕턴스 제작상 문제로 IC 7527에서 추천하는 값의 구현이 이상적으로 되지 못하였기 때문이나 향후 쉽게 개선될 수 있는 부분이다.

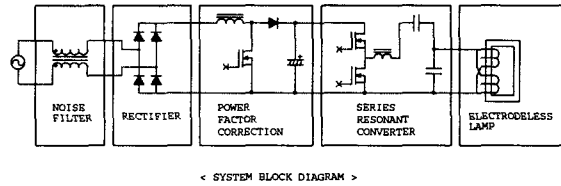


그림 2. 엔두라 램프 전원장치의 구조  
Fig. 2. Construction of Endura lamp power supply

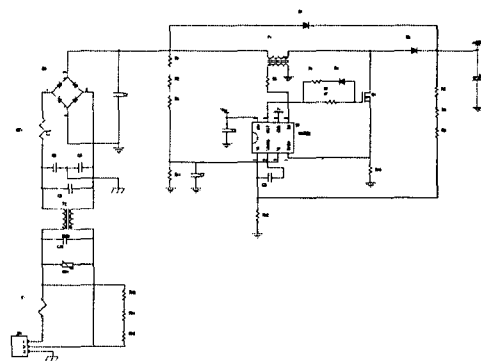


그림 3. 역률제어 회로  
Fig. 3. Power Factor correction circuit

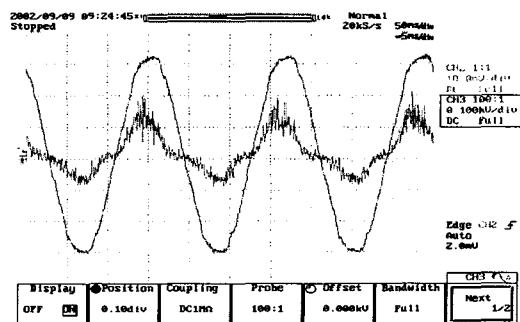


그림 4. 입력부의 전압, 전류 파형(50msec/div)  
Fig. 4. Input voltage, current waveform (50msec/div)

공진회로의 구성은 그림 5와 같이 하였다. C12와 C17을 병렬한 값은 C14보다 충분히 작고, C10과 C15을 병렬한 값은 C14보다 충분히 크고 L1은 램프의 트랜스포머 인덕턴스보다 충분히 작으므로 공진주파수는 주로 L1과 C14에 의해 결정된다.

최초의 기동은 다이악으로 한다. R24, R27, R29가 C16을 충전하여 40V 이상이 되면 다이악이 도통하여 Q7은 Turn-On되고 Q4는 Turn-Off된다. 일단 공진을 시작하여 전류가 흐르기 시작하면 T3를 통하여 게이트 구동전류가 전달된다. 이때 게이트구동 트랜스포머의 적절한 설계가 안정적인 동작을 결정한다. 트랜스포머의 자화인덕턴스값과 권선비의 결정이 가장 중요한 변수가 된다.

스위칭 손실을 최소화 하기위해서 턴오프시에는 Tr로 전류를 증폭하여 최대한 빨리 턴오프시키고 턴온시에는 스위칭손실이 영이므로 저항을 통해서 턴온시킨다. 램프가 방전하기 전에는 램프의 임피던스가 커서 공진 Q가 크다. 따라서 공진전압인  $V_{lamp}$ 가 램프를 방전시킬 수 있을 정도로 커진다. 일단 방전이 되면 램프의 임피던스가 작아져서 공진 Q도 작아진다. 따라서 같은 조건으로 스위칭을 하더라도 공진전압과 전류는 작아지게 된다.

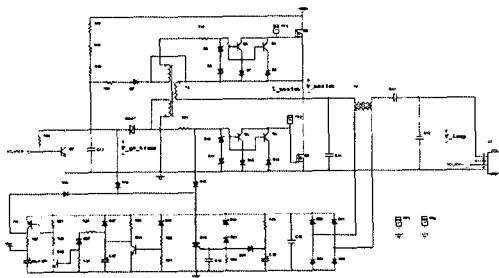


그림 5. 출력단 공진인버터 회로  
Fig. 5. Resonant inverter circuit of output stage

그림 6은 공진인버터부의 출력 전압, 전류 파형으로 MOSFET의 전압, 전류파형이다. 스위치모드로 동작하므로 구형파로 출력되고 전류는 공진회로를 통과하므로 정현파가 되게 된다. 파형으로 약 250kHz가 출력됨을 볼 수 있다.

그림 7은 램프의 기동시 전압, 전류파형으로 처음 점등시 1000V가 넘는 고압이 발생되고 시동후 정상상태로 돌아감을 볼 수 있다. 그림 8은 정상상태의 전압전류 파형으로 실제 램프의 경우는 임피던스 매칭회로인 필터회로에 의해서 정현파 전압과 전류가 형성되어 램프에 인가됨을 알 수 있다.

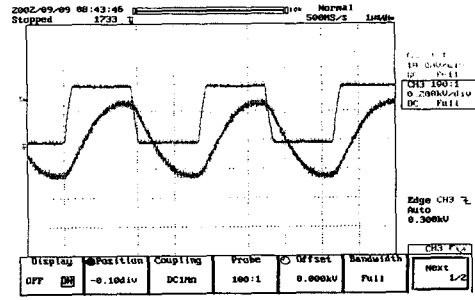


그림 6. 인버터부의 전압, 전류 파형(1usec/div)  
Fig. 6. Inverter output voltage, current waveform

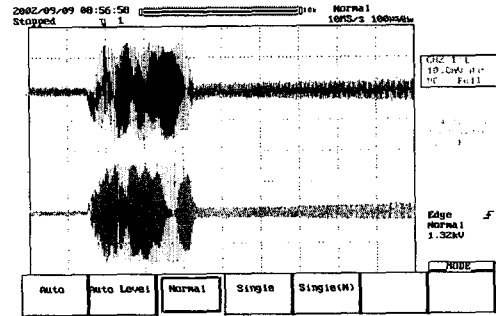


그림 7. 기동시 전압, 전류 파형(100usec/div)

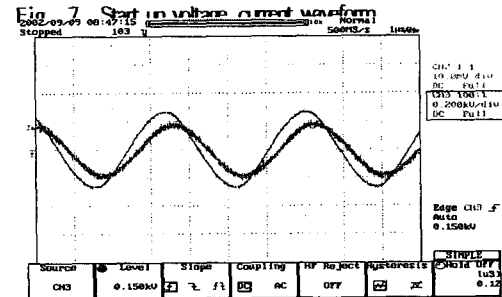


그림 8. 램프의 전압, 전류 파형(1usec/div)  
Fig. 8. lamp voltage, current waveform

그림 9와 그림 10은 각각 전원장치의 1차시제품과 점등시험을 보여준다. 실험결과 주요 특성을 오스람사의 것과 비교한 것은 표 1과 같다. 실험은 상대적 비교를 위해서 동일한 조건에서 수행하였으며 실제 광속등은 제품 사양서에서 명시된 것과는 실험환경이 다르므로 동일하게 나오지 않을 수도 있다. 효율은 71lm/W와 68lm/W로 약간 적으나 첫 번째 prototype으로는 만족할 수 있는 수준이다. 역율과 고주파함유율인 THD가 비교적 좋

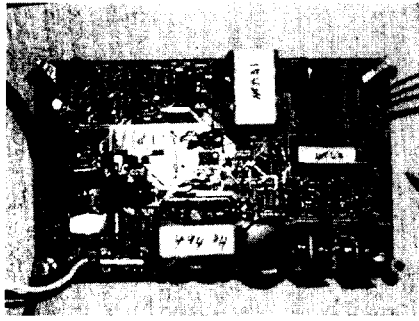


그림 9. 전원장치의 1차 시제품  
Fig. 9 Prototype of power supply

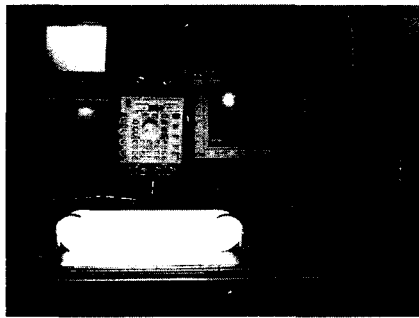


그림 10. 전원장치의 점등시험  
Fig. 10 lighting experiment of power supply

표 1. 시제품의 주요 특성 비교

Table 1. Performance comparison

특성	오스람	1차 시제품
전력	152W	145W
광속	10800lm	9787lm
효율	71lm/W	68lm/W
역률	0.98	0.94
THD	16%	22%

은 값은 아니며 이는 시제품의 제작과정에서 PCB의 패턴 및 부품의 값이 최적화된 상태가 되지 않았기 때문이다.

전체적인 효율과 특성이 아직은 오스람사의 경우보다 뒤져있으나 큰 차이를 보이고 있지는 않고 있지만 향후의 개선에 의해서 거의 동등한 성능이 확보될 수 있는 가능성은 충분히 확인되었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 오스람사의 무전극 형광등인 Endura에 대한 전원장치를 연구하여 실험하였다. 역율제어 방식은 기존의 방식을 사용하였고 출력단은 공진형 인버터로 간편히 구현될 수 있게 하였다. 전체적인 성능은 현 시제품의 경우는 오스람사의 것과 비교하여 뒤지고 있지만 제작상 최적화 상태가 아니므로 기술적으로 큰 차이를 보이는 것은 아니며 독자적으로 개발이 가능한 것을 확인한 것에 의의가 있다. 향후 본 시제품이 개선될 경우 보다 좋은 성능을 가질 것으로 전망된다.

#### 참고 문헌

- [1] J. M. Anderson, "Electrodeless Fluorescent Lamps Excited by Solenoidal Electric Field" Illum. Eng. vol. 64, no. 4, pp.236-245, 1969
- [2] L. R. Nerone, "Mathematical Modeling and Optimization of the Electrodeless, Low-Pressure, Discharge System", IEEE Conference of Industry Applications Society, pp.509~514, 1993
- [3]"Philips QL lamp systems, Product Information", Philips
- [4]"Osram Endura: Guideline for luminaire manufactures and users", Osram
- [5] R. W. Erickson "Fundamentals of Power Electronics", Kluwer Academic Publishers, 1997