

# 메탈헬라이드램프용 순시재점등 전자식안정기 개발

(The Development of Electric Ballast for a Instant Restart of Metalhalide Lamp)

김수경\* · 장우진

(Su-Kyoung Kim · WooJin Jang)

## Abstract

The most shortcoming of metalhalide lamps is what the instant restarting cannot be realized when the arc tube is in the hot condition. The discharge starting voltage of arc tube in the hot condition is much higher than in the cold condition. Therefore it takes about five minutes to restart the metalhalide lamps, that is to say, it is possible to start when the pressure and the temperature are decreased. But, if the lamp is restarted in the hot condition, we must supply the high voltage pulse with 20kV at the both sides of lamp. The proposed electronic ballast is consist of a electromagnetic interference (EMI) filter, a power factor correction (PFC) circuit, a flyback converter, a half-bridge inverter, and a high voltage ignitor circuit. By this composition we can restart the lamp with the voltage 20kV, even if the lamp is in the hot condition.

## 1. 서론

기존의 HID(High Intensity Discharge) 램프용 안정기는 대부분이 인덕터와 커패시터를 사용하여 그 부피가 커짐은 물론 중량이 무거워 설치에 제약 조건이 많고 효율이 나쁘기 때문에 전자식 안정기를 사용하여 단점을 보완할 필요가 있다. 메탈헬라이드 램프용 안정기의 경우 현재 미국의 AROMAT(사)가 상용화하여 시판하고 있다. 이 밖에 고역률 정전압 제어를 위한 IC는 1990년대초에 MOTOROLA, ADVANCE, GE, SYLVANIA, 일본의 TOSHIBA, 유럽의 OSRAM(사) 등에서 주문형 반도체에 의한 고 신뢰성이며, 소형인 제품개발을 실용화하기 위한 개발 중에 있는 것으로 알려져 있다. 국내에서는 형광등용 전자식 안정기는 많이 개발되고 있으나 고압방전등용 전자식 안정기는 아직 초보단계에 있다고 볼 수 있다. 한편 메탈헬라이드 램프는 온화한 백색이며 특히 램프의 평균 연색성 지수는 70~90으로 고 연색성이며 물체를 선명하게 식별할 수 있어 옥외 조명은 물론 연색성을 중요시하는 옥내 조명에 널리 쓰이고 있다. 그리고 메탈헬라이드 램프의 Arc Tube 는 아주 작게 설계되어 있으므로 매우 Compact한 장점을 가지고 있고 다양한 램프 규격을 보유하고 있으므로 사용장소에 적합한 램프 선택을 용이하게 할 수 있다. 하지만 메탈헬라이드 램프를 점등하여 램프의 아크튜브가 뜨거워지면 전원을 OFF했다

가 램프가 식기 전에 전원을 ON해도 램프는 점등되지 않고 램프가 식을 동안 약 5분정도 소등되는 시간을 필요로 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 OFF/ON이 빈번한 장소에 사용할 수가 없고 그런 장소에는 전력소비량이 많은 할로겐 램프가 사용되고 있는 실정이다. 그러므로 순시 재점등이 가능한 조명시스템을 개발하여 할로겐 램프를 대체함으로써 소비전력을 줄일 수 있게 하는 것을 연구, 검토해보고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1. 연구목표

본 논문은 일반적인 건축물에 많이 사용되는 할로겐 램프(300W)보다 전력소모가 70%이상 절감되면서도 광속이 더 많이 방사되는 메탈헬라이드 램프(70W)를 순시 재점등이 가능한 조명시스템으로 개발하여 투광용 할로겐램프대신 사용하는 것에 대해서 연구한다.

### 2.2. 메탈헬라이드램프특성

메탈 헬라이드 램프는 발광관 속에 수은(Hg)과 알곤(Ar) 가스 외에 스칸듐(Sc), 토륨(Th), 나트륨(Na)등의 알카리 금속 원소를 할로겐 원소와 화합시킨 금속할로겐 화합물이 봉입되어 스펙트럼의 에너지 분포에 공백을 채워 색과 연색성뿐만 아니라 광 효율을 개선한 것이 특징이다.

**가. 금속증기방전**

금속 증기방전의 초기에는 방전금속으로 수은을 사용하였으나, 수은의 발광파장 중 가시영역 부분은 푸른 녹색(blue-greenish)만으로 되어 있어 연색성이 부족하므로 여러 가지 금속 혹은 금속화합물을 기체방전에 이용하는 시도가 이루어졌다.

첨가하는 금속 혹은 금속화합물은 증기압이 높을수록 방사에너지가 많아지지만 금속의 증기압은 수은의 증기압에 비해 1/10 ~ 1/100밖에 되지 않는다. 그러나 금속의 여기에너지가 수은의 여기에너지에 비해 매우 낮고, 따라서 노랑, 빨강색 등의 장파장을 발광할 수 있으므로 여기전압이 낮은 금속을 증기방전에 사용한다. 각종 금속의 여기에너지를 표 1에 표시하였다.

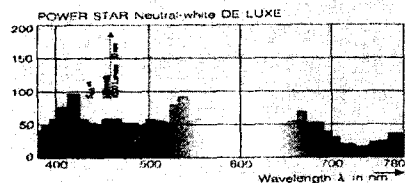
**표 1. 금속의 여기에너지**  
Table 1. Exciting Energy of Material

Metal	Exciting Energy(eV)	Metal	Exciting Energy(eV)
Hg	6.7	Tl	3.3
Na	2.1	In	3.0
Li	3.9	Cs	1.4
Mg	2.7	Cd	3.8
K	1.6		

금속 증기방전에 사용되는 금속염은 그 발광특성이 가시광선영역에서 강도가 높게 발광하고, 여기에너지가 낮고 증기압이 높을수록 좋다. 일반적으로 금속화합물의 증기압은 단일금속의 증기압보다 10~100배 가량 높으므로 증기방전에서는 단일금속보다 금속화합물을 사용하는 것이 더 좋다.

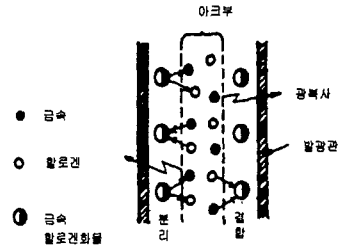
**나. 발광 원리**

금속 할로겐화물은 수은보다 증발하기 어려우므로 램프가 동작하고 있을 때의 압력은 수은 증기보다 낮고 원자 밀도도 작으나 수은 스펙트럼의 여기 준위보다 낮은 여기 준위를 갖는 금속들이므로 방전에 의한 복사는 첨가 금속의 스펙트럼이 주가 되며 HQI-TS 70W/NDL의 분광스펙트럼은 그림 1과 같다.



**그림 1. 메탈할라이드 램프의 분광스펙트럼**  
Fig. 1. Spectral Power distributions of metalhalide lamp (HQI-TS 70W/NDL)

점등 중 비교적 온도가 낮은 관 벽 부근에 있는 금속 할로겐화물은 밀도 확산에 의하여 고온 및 고압의 수은 아크 중에 들어가 그림 2에 표시한 바와 같이 금속과 할로겐으로 분해 된다. 분해된 금속은 아크 방전관내에서 여기 되어 발광하게 된다. 아크 부분에서의 금속과 할로겐은 관벽부근으로 가서 재결합하여 금속 할로겐화물이 되며, 이 현상이 반복되어 발광을 유지하게 된다.



**그림 2. 메탈할라이드 램프의 발광원리**  
Fig. 2. Radiational Principle of metalhalide Lamp

**다. 음향공명 현상**

메탈할라이드 램프의 방전관내에서 고압 방전이 일어날 때 램프전원주파수와 공명을 일으킬 수 있는 고유진동수가 발생한다. 이것은 길이(longitudinal) 방향, 반지름의 방사(radial)방향, 사선의 방위성(azimuthal)방향이며 이것들은 단독으로 그리고 복합된 고유진동수로 존재한다. 방전관에 전원이 공급되면 전력에 의해서 방전관내의 가스가 가열되고 가열된 가스는 이온화되어 압력의 변화를 가져온다. 이때 가스 압력은 입력되는 전류의 제곱 즉, 전력의 주파수에 의해서 주기적으로 변동을 하게 되므로 일정한 주파수를 형성하며 이 주파수가 방전관의 벽면에 부딪치면 정재파(standing wave)가 발생할 수 있고 정재파가 방전관의 고유진동수중 하나와 또는 그 배수의 주파수와 일치하게 되면 파장의 크기(amplitude)가 커진다. 이와 같이 크기가 커지면 방전관내의 압력 변화가 심해져 탄성체인 가스의 흐름이 불안정하게 되는 음향공명(acoustic resonance)이 발생한다. 기체 방전관에서의 음향공명은 방전관내의 압력변화를 일으켜 아크방전이 불안정하게 되기 때문에 아크방전이 불안정한 상태로 되어 램프광속이 흔들리는 현상을 일으키고 경우에 따라서는 아크를 소멸시킬 수도 있으며 극단적으로는 압력의 변화가 관벽에 주기적으로 부딪치면서 증폭되어 방전관을 손상시킬 수도 있다.

### 2.3. 순시재점등형 메탈헬라이드램프용 안정기 설계

메탈헬라이드 램프의 순시 재점등용 전자식 안정기는 램프 구동 주파수를 방전관내의 공명주파수 대역이 아닌 구형저주파로 구현하였고, 또한 구형파에 정현 고주파성분을 첨가하는 방식을 구현하였다. 이와 같은 목적으로 설계한 전자식 안정기의 주요 회로는 그림 3과 같이 구형저주파에 정현 고주파성분을 첨가하기 위한 절연형 플라이백(flyback) 컨버터 회로 및 구형저주파를 얻기 위한 타타리식 하프 브리지(half-bridge)인버터 회로, EMI 필터, 역률 개선회로 및 순시 재점등용 고전압 이그나이터 회로 등으로 구성하였다.

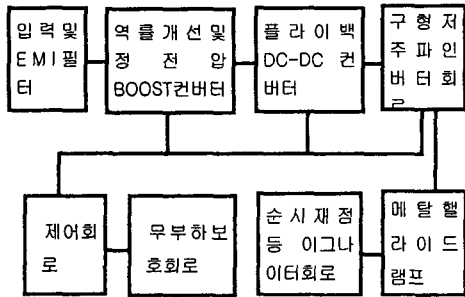


그림 3. 순시재점등용 안정기의 블록도  
Fig. 3. Block Diagram of Ballast for an Instant Restarting

#### 가. 역률 개선 및 정전압 Boost Converter

현재 널리 쓰이고 있는 컨버터 회로는 전파정류를 한 뒤 커패시터를 병렬로 접속, 평활하여 사용하기 때문에 역률이 0.8이하로 낮고 고조파 함유율이 매우 높다. 따라서 역률개선과 고조파함유를 줄이기 위하여 그림 4와 같이 스위치 Q1을 전원 주파수보다 매우 높은 주파수로 스위칭하는 회로를 구성하였다.

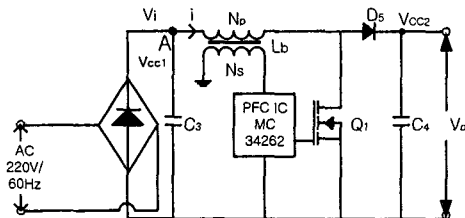


그림 4. 역률개선 회로  
Fig. 4. PFC Circuit

앞의 그림 4에서와 같이 Q1의 스위칭 주파수가 커지면 커질수록 전류와 전압은 동위상이 되고 전류에 의한 전압 파형의 왜곡 현상도 거의 사라지게 되어 95% 이상의 고역률이 되며 이와 동시에 인덕턴스의 크기도 작고 무게도 가벼운 역률을 개선한 컨버터를 만들 수 있다. 그리고 스위치 Q1이 고속으로 스위칭 함에 따라 D5 이후의 출력전압 Vo와 전파 정류된 입력전압을 비교하여 PWM 제어로 Vo의 정전압을 유지하게 됨과 동시에 인버터에 전원을 공급되는 원리를 갖는다. 따라서 입력전압의 변동에 영향을 적게 받아 출력전압을 정전압으로 하면서 높은 역률과 효율을 동시에 만족시키는 제어회로구성을 목적으로 한다.

그림 5는 Vo 전압으로 400V의 일정한 전압이 유지되는 것을 알수가 있다.

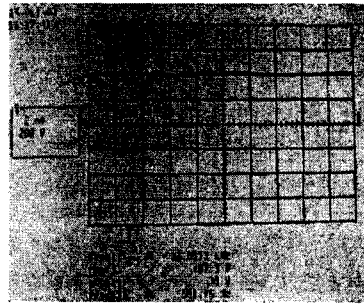


그림 5. BOOST Converter의 출력전압  
Fig. 5. Output Voltage of BOOST Converter

#### 나. Fly Back Converter

Fly back DC-DC Converter는 램프에 전원을 공급하기 위하여 역률개선 및 정전압회로의 전압을 고주파로 스위칭하여 인버터에 공급하게 된다. 이러한 방식에는 일반적으로 BOOST방식, Fly Back방식 등이 있다. 이중 그림 6과 같은 Fly Back방식은 입력 필터에 큰 리플 전류가 흐르고 효율은 낮지만 구성이 간편하고 크기를 소형화 할 수 있어 전자식안정기에 보편적으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 전자식 안정기에 보편적으로 사용되는 그림 6과 같은 형태의 Fly Back방식을 채택하여 회로를 구성하였다.

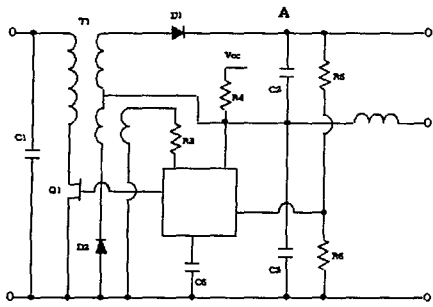


그림 6. Flyback Converter 회로도  
**Fig. 6. Circuit of Flyback Converter**

그림 7은 정전압 및 역률개선부에서 Boost된 전압 400V를 Flyback의 FET Q1으로 스위칭하여 FET Q1의차단시에 역기전력에 의해 Flyback 2차 측 A점에 220V의 전압이 발생하는 것이 측정되었다.

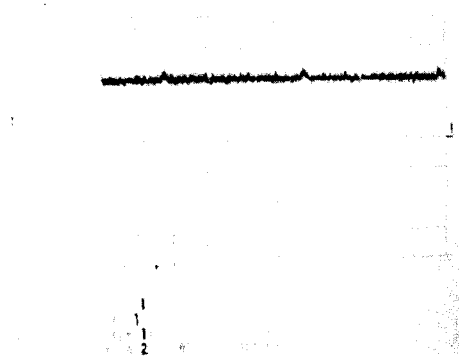


그림 7. Flyback 2차측 전압파형  
**Fig. 7. the secondary voltage waveform of Flyback**

다. 저주파 구형파 인버터 회로

인버터는 그림 8에서 보는 것과 같이 플라이백 컨버터에서 공급되는 전압을 drive IC IR2151에서 저주파로 Q2, Q3를 구동하여 램프에 직접 120Hz의 구형파 전압, 전류를 공급하여 음향공명 현상이 발생하지 않도록 하였다.

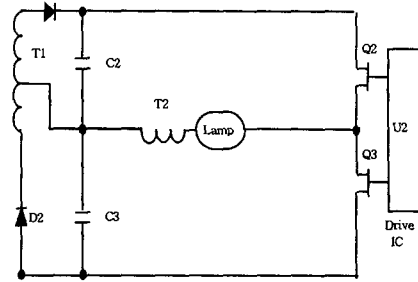


그림 8. 인버터 회로도  
**Fig. 8. Circuit of Inverter**

그림 9, 10은 램프에 공급되는 전압, 전류로 인버터에서 램프에 공급되는 전압, 전류가 120Hz의 구형파인 것을 알 수가 있고, 따라서 음향공명 현상이 발생되지 않는다.

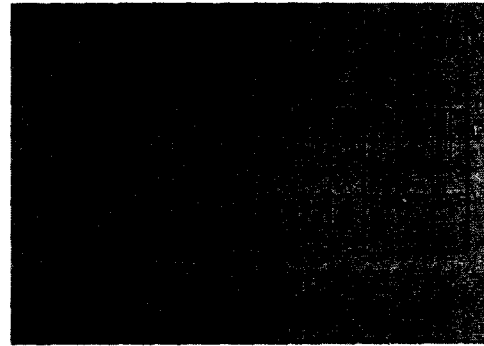


그림 9. 램프의 전압파형  
**Fig. 9. Voltage Waveforms of Lamp**

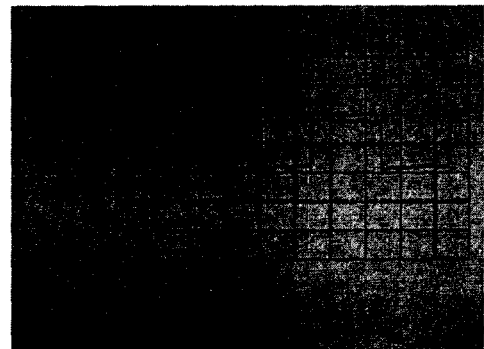


그림 10. 램프의 전류파형  
**Fig. 10. Current Waveforms of Lamp**

라. 순시재점등용 이그나이터회로

메탈헬라이드 램프의 방전개시 전압은 아크 튜브 내부의 온도, 압력, 전극의 간격에 따라서 통상 4kV ~ 30kV이다. 메탈 헬라이드램프는 아크튜브의 온도가 낮은 상태에서는 낮은 전압에도 방전이 되어 점등이 되지만 아크튜브의 온도가 높은 상태에서는 전극의 절연과피전압이 매우 높아져 높은 전압에서만 점등을 시킬 수 있다. 고전압 이그나이터는 그림 11과 같이 충전저항 R2, 충전 커패시터 C4, 스파크 갭 SG, 고압 트랜스 T2로 구성되어 있다.

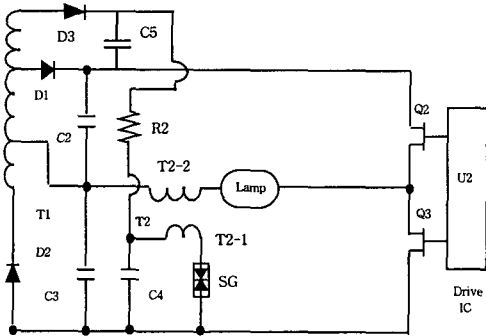


그림 11. 순시재점등용 이그나이터 회로  
Fig. 11. Ignitor Circuit a Instant Restarting

안정기에 전원을 투입하여 플라임백 컨버터가 동작하면 다이오드 D3를 통하여 커패시터 C5에 전압이 충전되고 다시 이 전압이 저항 R2를 통하여 C4에 전압이 충전되어 C4에 충전된 전압이 스파크갭 SG의 도통 전압 이상이 될 때 SG는 도통되어 C4에 충전된 전압이 T2-1을 통하여 흐르면서  $L \cdot di/dt$ 에 의한 역기전력이 발생하고 T2-2에 높은 전압을 유기시켜 램프를 점등시킨다. 램프가 점등되고 난후 C4의 충전전압은 SG도통전압 이하가 되어 이그나이터를 멈춘다.

이그나이터에 사용되는 스위칭 스파크 갭은 스위칭 타임이 50ns이하이고 스위칭 전류는 최고 1000A에 견디며 스위칭 수명은  $10^5 \sim 10^6$  (h)이다. 현재까지는 이것 이상의 소자는 없다. 따라서 높은 전압을 필요로 하는 이그나이터에는 스파크 갭을 사용해야만 한다. 또한 이그나이터 트랜스는 고전압에도 견딜 수 있도록 여러 칸을 나눈 보빈을 사용해야하며 코어는 BAR 코어를 사용하여 트랜스의 인덕턴스 값을 효율적으로 낮출 수 있다. 특히 램프와 직렬로 연결된 이그나이터인 경우 인덕턴스 값이 너무 커지면 낮은 주파수이지만 AC 구동 이므로 효율이 떨어지는 원인이 된다.

다음은 메탈 헬라이드 램프용 안정기의 이그나이터가 그림 11과 같이 하프 브리지 인버터에서 램프와 직렬로 연결됐을 때의 설계이다. 이때 설계 기준은 아래와 같다.

- 이그나이터 트랜스 1차 전압(T2-1) : 600 V
- 고압 트랜스 2차 전압(T2-2) : 25000V

① 고압 트랜스 T2-2 인덕턴스 결정

먼저 고압 트랜스 2차 인덕턴스를 식 1과 같이 계산한다. 이때 인버터에서 T2-2 트랜스의 인덕턴스에 의한 임피던스를 램프 정격의 2%로 하면

$$L_2 = \frac{0.02 \times R_{lamp}}{2\pi f} = \frac{0.02 \times 104}{2 \times \pi \times 120} = 2.76 \text{ [mH]} \dots \dots \dots (1)$$

으로 된다.

② T2-1 인덕턴스 결정

그림 11에서 2차 인덕턴스 T2-2 인덕턴스 값을 약 2.7mH로 결정 할 때 bar 코어 AR10×20(삼화, 재질: PL7)에 감는 턴수는 약 300턴으로 해야 한다. 이때 1차 인덕턴스 T2-1을 6턴으로 하여 2차 측에 유기되는 전압을 30kV정도 발생하도록 해야 한다. 이때는 1차와 2차의 결합도를 감안하여 실험적으로 설계하여야 하고, 인덕턴스 값은 2.8uH이다.

③ 커패시턴스 C4 결정

스파크 갭에 의한 T2-1의 피크 전류를 250A로 하면, 식 2를 이용하여 C4 값을 구한다.

$$C_4 = \frac{L_1 \times I_p^2}{V^2} = \frac{2.8 \times 10^{-6} \times 250^2}{600^2} = 0.486 \text{ [uF]} \dots \dots \dots (2)$$

커패시턴스를 0.47uF로 하고 1차 인덕턴스 T1-1을 2.8uH로 할 때 공진 주파수는 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다. .

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 138.8 \text{ [kHz]} \dots \dots \dots (3)$$

이그나이터에는 C4와 T2-1의 공진에 의한 이그나이터 전압의 펄스 폭도 중요한 요소로 작용한다. 공진 주파수가 낮아질수록 펄스폭은 커지지만 T2-1은 1, 2차 턴 수비 때문에 무한정 커질 수 없고 커패시턴스도 안정기의 크기에 따른 제약으로 무한정 커질 수 없다.

④ 저항 R2의 결정

저항 R은 C에 스파크 갭의 전압으로 충전되는 시간을 조절하는 역할을 하며 스파크 갭(EPCOS 600)의 스위칭 주파수가 200Hz미만으로 사용되어야하므로 R2의 설계는 식 4와 같다.

$$R = \frac{1}{\frac{C}{f}} = 10 \text{ [k}\Omega\text{]} \dots\dots\dots(4)$$

따라서 저항 R2는 10kΩ이상의 저항을 사용해야  
만하고 본 논문에서는 10kΩ의 저항을 사용하였다.

위와 같이 안정기를 설계했을 때 그림 12와 같이  
이그나이터 전압이 25kV로 램프에 인가되어 순시  
재점등 시킬수 있다는 것을 알 수 있다.

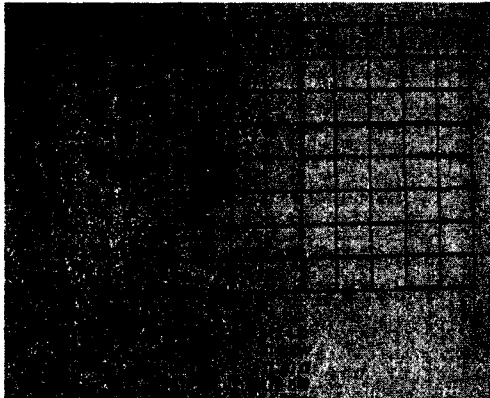


그림 12. 이그나이터 전압  
Fig. 12. Ignitor Voltage

### 3. 결론

본 연구에서 제안한 순시 재점등용 메탈헬라이드 전자식 안정기는 기존 안정기의 단점을 보완하여 램프가 점등 후 뜨거운 상태에서도 순시 재점등이 가능하게 하여 On/Off가 빈번한 장소에서도 사용상 제약이 없도록 하였다.

따라서 이러한 안정기의 구성은 입력전압의 변화에 출력이 변동없고 역률을 개선하는 Boost Converter와 램프출력을 제어하는 Flyback Converter, 램프의 음향공명현상을 제거하는 저주파 구형파출력 하프브리지 인버터 그리고 순시 재점등을 위한 고전압 이그나이터로 구성된다.

고전압 이그나이터는 고전압에 대한 절연을 위하여 여러 칸으로 나누어진 보빈을 사용하였고 고전압 발생을 위하여 1, 2차 턴수비를 크게 하는데 따른 인덕턴스를 줄이기 위한 Bar 코어를 사용하여 그림 12에서 보는 것과 같이 이그나이터 전압 25kV가 발생하여 메탈헬라이드 램프를 순시 재점등시킬 수 있다.

그러나 순시 점등/재점등을 자주할 경우 고전압에 의한 램프 전극의 수명이 다소 짧아 질 수 있는

단점이 있고, 고전압에 견딜 수 있는 등기구가 요구되어진다.

### 참고 문헌

- [1] Michael Gulko and Sam Ben-Yaakov, "A MHE Electronic ballast for automotive-Type HID Lamp." 1997IEEE,99.39-45
- [2] Oslam/Sylvania Lamp/Ballast Catalog, 1999
- [3] Phillips Lamp/ Ballast Catalog, 1999
- [4] Dr. Chr.Meyer and Dr. H.Nienhuis, "DISCHARGE LAMPS", Phillips Technical Library
- [5] IEC60928, IEC60929 "관형 형광 램프용 교류전원 전자식안정기"
- [6] 한국표준협회, KS C7601, KS C8100, 2001.7
- [7] "Lighting Efficiency" Albert Thumann, P.E., CEM
- [8] "효율적 조명기술 개발연구" 에기연보고서 KE-88-23
- [9] Chal HeeLee, "A study on new high power factor efficiency electronic ballast For Metal Halid lamp", 1989.11.
- [10] Transformer and Inductor Design Handbook, Second Edition, Revised Expanded : Colonel Wm.T.McLyman, Marcel Dekker, Inc. New York and Basel
- [11] SAM SUNG "SAM SUNG POWER Devices" Data Book
- [12] SAM SUNG "Ferrite Cores "selection Guide Book
- [13] 전자식 안정기 내구신뢰성 확보방안 연구에 관한 최종보고서, 1997.7. 통산산업부 95-E-30-18
- [14] Feng Lin, and Dan Y.초두, "Reduction of power supply EMI Emission by switching Frequency Modulation." 0885-8993/94 ©1994, IEE. Trans. pp.132-134
- [19] "Power Electronics: Computer Simulation, Analysis, and Education Using PSpice "1922, Ned Mohan.
- [15] KS C8100 형광램프용 전자식안정기