

# HID 램프를 위한 상태 적응형 점화기 설계 방법

(Design Method of Adaptive Ignitor for HID Lamps)

조계현\* · 송명석 · 박종연

(Gye-Hyun Jo · Myoung-Suk Song · Chong-Yeun Park)

## 요 약

현재까지 HID 램프는 광원이 가진 많은 장점에도 불구하고, 고온 순시 재 점등과 음향 공명 현상으로 인해서 실내 광원으로서의 사용이 제한되어왔다. 하지만 많은 연구를 통해서 램프가 뜨거운 상태에서 순시 재 점등이 가능한 방법이 제시되어 왔고, 실제로 사용되어지고 있다. 하지만 이러한 방법은 램프 상태와 무관하게 20[kV] 정도의 전압을 램프에 인가하는 방법으로, 일반적으로 램프 수명이 감소하는 특징을 가지고 있다. 그러므로 순시 재 점등과 수명 문제는 중요한 연구 대상으로 인식되어왔다. 본 논문에서는 램프가 차가운 상태에 필요한 점화 전압과 램프가 뜨거운 상태에서 점등에 필요한 점화 전압을 발생시키는 독립적인 2개의 점화기를 사용함으로써, 램프 상태에 따라 각기 다른 점화 전압을 램프에 인가하는 방법을 제안하고자 한다.

## Abstract

The metal halide lamps are now widely used in the application and commercial lighting due to their attracting properties such as good color rendering and high efficiency. But, they have a serious problem of acoustic resonance using high frequency operation and they need a high voltage to ignite. So, they have not been applied to indoors. Over the past few years, a considerable number of studies have been conducted on the electronic ballast with hot restarting and resonance phenomenon. But, Very few attempts have been made at adaptive ignition method according to lamp state.

In this paper is proposed electronicballast for metal halide lamps with an igniter for adaptive ignition. The proposed electronic ballast can generate a different ignition voltage according to the arc tube state.

Key Words : Adaptive igniter, HID lamp, Full bridge inverter

## 1. 서 론

고휘도 방전등은 다른 광원에 비해서, 연색성과 광 효율이 우수하고, 수명이 비교적 길다는 장점을

가지고 있다. 하지만, 램프 점등을 위한 초기 점등 전압과, 램프가 뜨거운 상태에서의 재 점등 전압이 높고, 높은 주파수로 동작을 할 경우에는 음향 공명 현상이 발생할 가능성이 크다는 이유로 고휘도 방전등에 대한 전자식 안정기 개발은 용이하지 않았다. 하지만, 많은 연구를 통해서, 음향 공명 현상을 방지하는 방법, 고온에서도 램프 점등을 위한 점화기 설계 방법, 그리고 램프 정격 출력을 얻기 위한 제어 방법 등과 같은 연구가 진행되어왔다 [1]~[9].

\* 주저자 : 강원대학교 전기공학과 박사과정  
Tel : 011-707-0819, Fax : 033-241-3775  
E-mail : gyeHYUN1@hotmail.com  
접수일자 : 2003년 10월 20일  
1차심사 : 2003년 10월 30일  
심사완료 : 2003년 12월 26일

## HID 램프를 위한 상태 적응형 점화기 설계 방법

일반적으로 램프 초기 점등을 위해서는 2[kV]~3[kV] 정도의 점등 전압이 필요하며, 램프의 고온 순시 재 점등을 위해서는 초기 점등에 필요한 점등전압의 10배 이상의 점화전압이 요구되는 것으로 알려져 왔다. 현재까지 HID 램프가 뜨거운 상태에서 순시 재 점등이 되는 전자식 안정기는 램프 상태와 무관하게 20[kV]의 전압을 램프에 인가하는 방식이다. 하지만 램프 온도가 낮을 때, 20[kV]이상의 고전압을 인가하면, 점등에 필요한 점등 전압보다 높은 전압이 인가되므로 인해서, 램프 수명이 감소하게 된다 [1][2][3].

본 논문에서는 램프가 초기 점등일 때와 램프 온도가 낮을 때는 작은 방전 전압을 램프에 공급하고, 램프가 뜨거울 때에는 높은 방전 전압을 램프에 공급함으로써 순시 재 점등의 기능을 갖고 있으며, 램프 수명을 감소시키지 않는 새로운 형태의 점화 회로를 제시하고자 한다.

## 2. 램프 점화 전압과 램프 수명

램프 점화 전압과 램프 수명간의 관계를 확인하기 위해서 동일한 램프에, 램프 점등에 필요한 점화전압을 서로 다르게 인가하였다. 사용한 안정기는 모두 저주파 구형파로 동작하고, 램프는 동일한것을 사용하였다. 실험 조건은 15분 점등에 15분 소등하였고, 램프가 소등되는 기간에는 팬(fan)을 사용하여 램프 온도가 충분히 감소하도록 하였다. 그림 1은 램프에 고전압을 인가하는 방식과 저전압을 인가하는 방식이 가지는 % 조도를 나타내었다.

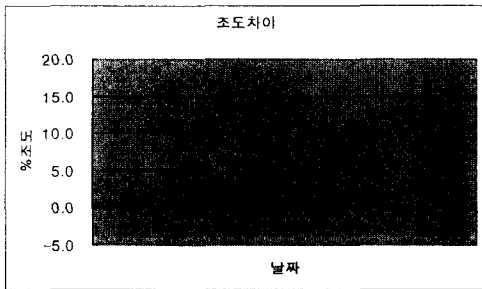


그림 1. 점등 전압에 따른 램프 수명 실험 결과  
Fig. 1. The lamp life time test result according to different ignition voltage

## 3. 점화기 구조 및 동작

### 3.1 점화기 구조

본 논문에서 제시하고자하는 전자식 안정기는 그림 2와 같다. 고휘도 방전램프를 위한 전자식 안정기는 역을 개선부와 DC/DC 컨버터 부, Full bridge 구조를 갖는 인버터 부 그리고 램프 점등을 위한 점화기 부분으로 구성되어있다. 그 중에서 램프 점등을 위한 점화기는 내부 L, C 공진 특성을 이용한 저전압 발생용 내부 점화기와 배전압 회로를 이용한 고전압 발생용 외부 점화기로 구성되어있다.

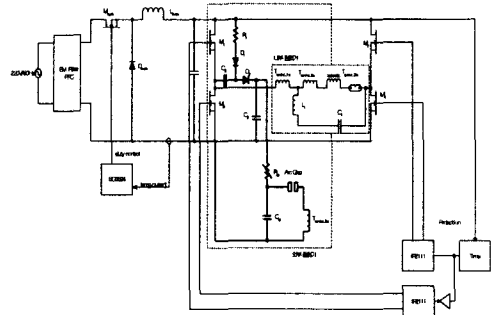


그림 2. 제안한 점화기 구조  
Fig. 2. The Structure of proposed igniter

내부 L, C 공진 특성을 이용한 점화기는 안정기 동작과 동시에 동작하며, 배전압회로를 이용한 고전압 발생용 점화기는 일정 시간이 경과한 후에 동작한다. 그러므로 램프가 차가울 경우에는 내부 L,C 공진 특성을 이용한 점화기가 동작하고, 램프가 뜨거워진 경우에는 L, C 공진 특성을 이용한 점화기로는 램프가 점등되지 않으므로, 아크갭을 사용한 외부 점화기에 의해서 램프가 점등되게 된다.

### 3.2 상태 적응형 점화기 동작 원리

그림 3은 본 논문에서 제시하고자하는 상태 적응형 점화기 동작원리이다. 상태 적응형 점화기 동작은, 램프가 초기 점등 상태이거나, 램프 온도가 낮은 경우에, 램프 점등을 위한 2[kV]~3[kV] 정도의 비교적 낮은 점등 전압에서도 램프가 점등되고, 램프가 뜨거워진 경우에는 20[kV] 이상의 점등 전압을 필요로 한다는 특성을 이용한다.

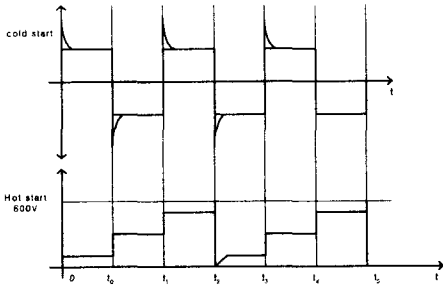


그림 3. 제안한 점화기 동작 절차  
Fig. 3. The operating sequence of proposed igniter

안정기가 동작하게 되면 내부 LC 공진 회로 특성에 의해서 그림 3에서와 같이, 램프 양단에는 구형파가 인가된다. 이때, 구형파 전압이 가지는 고조파 성분과 램프와 병렬 연결된 L, C 공진 특성에 의해서 램프 양단에는 2[kV]이상의 전압이 공급되게 된다. 만약 램프가 초기 점등 상태이거나, 램프 온도가 낮으면, 2[kV] 정도의 점화전압으로도 충분히 점등될 수 있다. 일단 램프가 점등되면, 안정기 DC link 전압이 감소함으로 인해서, 배전압회로를 이용한 외부 점화기는 아크 갭 동작 전압까지 상승하지 못한다.

램프가 뜨거운 경우에는 램프 압력이 상승하여 2[kV]정도의 점화 전압으로는 점등되지 않는다. 램프 재 점등을 위해서 안정기가 동작하면, 내부 LC 공진 특성을 이용한 점화기가 동작함과 동시에, 배전압회로와 아크갭을 이용한 외부 점화기도 동작을 하게 된다. 그림 2에서와 같이 안정기 동작과 동시에 동작하는 내부 L, C 공진 특성을 이용한 점화기와 달리, 외부 점화기는 전압이 체배 되기까지 일정한 시간 ( $t_2$ )이 경과해야 점화기가 동작하게 된다. 그러므로 램프가 뜨거운 경우에는 내부 점화기는 점화할 수 없으므로 외부 점화기에 의해서 점화하게 된다.

### 4. 점화기 구성 및 설계 방법

#### 4.1 내부 L, C 공진 특성을 이용한 점화기

램프 점등 전 내부 L, C 공진 특성을 이용한 점화기 부분이 가지는 등가회로는 그림 4와 같다. 램프 점등 전에는 램프 임피던스가 매우 크므로, 램프와 직렬 연결되어있는,  $T_{ignitor1b}$ 와  $T_{ignitor2b}$ 는 무시할 수 있다.

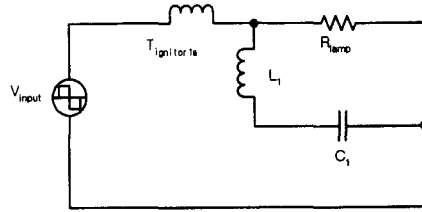


그림 4. LC 공진 회로를 이용한 점화기  
Fig. 4. The igniter using LC resonant circuit

또한, 입력 단에서 공급되는 구형파 전압은 식 (1)과 같이 표시된다.

$$V_{lamp} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4 V_{input}}{n\pi} \sin n\omega t \quad (1)$$

그리고, 그림 4에서 전달함수는 식 (2)와 같다.

$$H(s) = sL_{T_{ignitor1a}} + R_{lamp} // (sL_1 + \frac{1}{sC_1}) \quad (2)$$

하지만, 램프 등가 저항과 병렬로 연결되어있는,  $L_1$ 이 가지는 임피던스값은  $C_1$ 이 가지는 임피던스값에 비해 매우 작으므로, 식 (3)과 같이 간략화 된다.

$$G(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_{input}(j\omega)} = \frac{1}{1 - \omega^2 LC + \frac{j\omega L}{R}} = \frac{1}{|1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2 + j(\frac{\omega}{\omega_0})Q|} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여, 주파수비와 첨예도 변화에 따라서 표현하면, 그림 5와 같다.

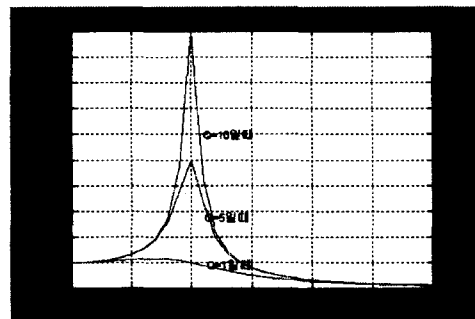


그림 5. LC 공진 회로가 가지는 전압 전달 특성  
Fig. 5. The voltage transfer characteristics of LC resonance circuit

## HID 램프를 위한 상태 적응형 점화기 설계 방법

그림 5에서 첨예도 값이 크면 클수록 입력 신호에 대해서 램프로 출력되는 전압의 크기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 여기에서, 공진 주파수  $f_o$ 와 선택도  $Q$ 가 가지는 관계는 식(4),(5)와 같다.

$$\omega_o = 2\pi f_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{R_{lamp}}{\omega_o L} \quad (5)$$

식 (5)에서 램프 점등 전에 램프가 가지는 등가 저항값은 무한대로 생각할 수 있다. 램프 점등 전에는 램프 양단에 식 (5)와 같은 첨예도  $Q$ 가 곱해진 전압이 램프에 유기되고 유기된 전압이 램프 점등 전압에 필요한 전압( $V_{ignition}$ )보다 커진다면 램프는 점등하게 된다.

식 (1)과 같이 정의되는 입력 전압과 고조파 전압들 중에서 램프 공진 주파수와 일치하는 성분이 존재한다. 그러므로 저주파 구형파가 가지는 고조파 성분과 LC 병렬 회로가 가지는 공진 특성이 일치하게 되면 램프 양단에 높은 전압이 유기된다.

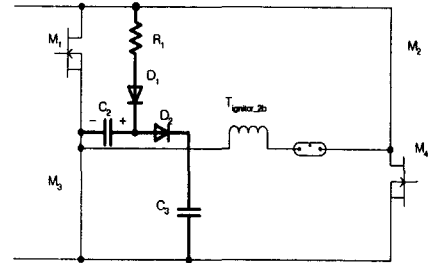
### 4.2 배전압회로와 아크갭을 이용한 외부 점화기

메탈 할라이드 램프의 순시 재 점등을 위해서는 최소 20[kV]이상의 고압 펄스를 발생시킬 수 있는 점화기가 필요하다[1][2].

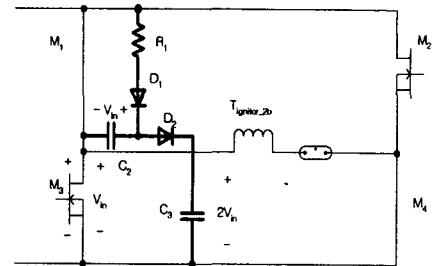
본 논문에서 적용한 외부 점화기는 그림 6과 같고, 고압 다이오드 2개와 커패시터 2개로 이루어진 배전압 회로와 아크 갭, 그리고 고압 펄스 발생용 트랜스포머로 구성되어있다.

그림6에서 외부 점화기 동작은 Full bridge 구조에 사용되는 4개의 FET 동작 상태에 따라서 다르다. FET 동작에 의해서  $C_3$  커패시터에는 DC link 전압의 2배 전압이 체배되어 충전하게 된다.  $C_3$ 에 충전된 전압은  $R_{ig}$ 와  $C_{ig}$ 가 가지는 시정수에 의해서 서서히 상승하게 된다. 이때  $C_{ig}$  양단에 걸리는 전압이, 아크 갭 동작 전압보다 커지면, 아크갭이 동작하여 램프 점등을 위한 고압 펄스가 발생하게 된다. 일반적으로 고압 펄스 발생용 트랜스포머 제작 특성에 따라,

발생하는 전압의 크기가 결정된다. 그리고 점화 펄스가 매우 빠른 상승 시간을 갖기 때문에 주파수 특성이 좋은 코어를 사용해야하며, 변압기 1, 2차간 선간 커패시턴스 성분이 작게 해야 한다[10].



(a) M2와 M3가 on 상태일 때



(b) M1와 M4가 on 상태일 때

그림 6. 배전압회로를 이용한 점화기 동작

Fig. 6. The igniter operating mode using voltage doubler

램프 점등용 고압 변압기 2차단 인덕턴스 값은 전자식 안정기 인버터 동작과 매우 관련이 있다. 일반적으로 정상 상태시에 변압기 2차단에 인가되는 전압은 정상 상태 램프 전압의 20[%]미만으로 설정하여야한다. 또한 변압기에 인가되는 전압이 크면 전류 ripple이 증가하여 음향 공명 현상을 일으키는 원인이 되는 것으로 알려져있다. 그러므로 본 논문에서는 식 (6)에서와 같이 정상 상태시 고압 변압기 2차측에 인가되는 전압은 램프 전압의 5%가 되도록 하였다. 그리고 램프 동작 주파수는 음향 공명 현상이 발생하지 않도록 저주파에서 선택해야한다[3]~[9].

$$L_2 = 0.05 \times \frac{R_{lamp}}{2 \times \pi \times f_o} = 0.05 \times \frac{V_{lamp}}{2 \times \pi \times f_o \times I_{lamp}} \quad (6)$$

고압 펄스 변압기 1차측 인덕턴스 값은 식 (7)에 의해서 기본적인 트랜스포머 특성을 이용하여 구할 수 있다. 식(7)은 변압기가 가지는 일반적인 수식이다. 이때, a는 권수비를 의미한다.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a \quad (7)$$

변압기 1차측에서 2차측을 보았을 때 나타나는 임피던스값은 식 (8)과 같이 권수비 제곱에 비례한다.

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = n \frac{V_2}{\frac{I_2}{n}} = n^2 \frac{V_2}{I_2} = n^2 Z_2 \quad (8)$$

식 (8)을 이용하면, 식 (9)와 같이 고압 펄스 트랜스포머 1차측 값을 구할 수 있다.

$$2\pi f L_1 = a^2 2\pi f L_2$$

$$L_1 = \frac{L_2}{n^2} \quad (9)$$

외부 점화기에서 가장 중요한 요소는 아크 갭 동작 주기와 관련이 있는  $R_{ig}$ 와  $C_{ig}$ 를 결정하는 것이다. 아크갭이 동작을 하면, 외부 점화기는 그림 7과 같이 생각할 수 있다.

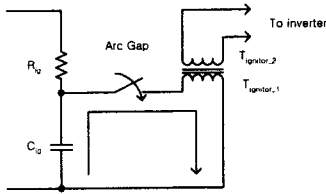


그림 7. 아크갭을 이용한 점화기 동작  
Fig. 7. The operating mode of igniter using arc gap

그림 7에서와 같이 아크 갭이 동작되면  $C_{ig}$ 에 충전되어있던 용량성 에너지가 모두 고압 변압기 1차측 인덕턴스로 전달되고, 전달된 에너지는 모두 인덕턴스에 유도성 에너지로 변환되는 특성을 갖는다. 그러므로 아크 갭 동작 전에는  $C_{ig}$ 에 충전되는 용

량성 에너지  $E_1$ 는 식(10)과 같이 정리할 수 있다.

$$E_1 = \frac{1}{2} C_{ig} V_{charge}^2 \quad (10)$$

또한, 아크 갭 동작 후 변압기 1차측에 전달되는 에너지  $E_2$ 는 식 (11)과 같이 정리할 수 있다.

$$E_2 = \frac{1}{2} L_1 i_{discharge}^2 \quad (11)$$

그러므로, 식 (10)과 (11)의 에너지는 같으므로 식 (12)와 같다.

$$C_{ig} = \frac{L_1 I_{discharge}^2}{V_{charge}^2} \quad (12)$$

마지막으로, 고압 펄스가 발생하는 주기는 아크 갭 동작 특성을 고려해야한다. 일반적으로 아크 갭이 가지는 반복 동작 주파수 100Hz~400Hz 범위에 존재한다. 그러므로 배전압회로에 의해서 형성된 DC 전압과  $R_{ig}$ 와  $C_{ig}$ 에 의해서 발생하는 충전시간 ( $T_{charge}$ )과의 관계를 이용하여, 아크 갭 반복 동작 시간과의 관계를 식 (13)과 같이 정리할 수 있다.

$$V_{charge} = V_{dc} \left( 1 - e^{-\frac{T_{charge}}{R_{ig} C_{ig}}} \right) \quad (13)$$

이때,  $V_{dc}$ 는 아크 갭 동작 전압으로 생각할 수 있다. 식 (13)을 이용하여,  $R_{ig}$ 에 대해서 정리하면, 최종적으로 식(14)와 같이 정리할 수 있다.

$$T_{charge} = R_{ig} C_{ig} \ln \left( \frac{V_{dc}}{V_{dc} - V_{break}} \right)$$

$$\therefore R_{ig} = \frac{T_{charge}}{C_{ig} \ln \left( \frac{V_{dc}}{V_{dc} - V_{break}} \right)} = \frac{1}{f_{charge} C_{ig} \ln \left( \frac{V_{dc}}{V_{dc} - V_{break}} \right)} \quad (14)$$

표 1은 이론적 근거에 의해서 설계한 점화기 설계 값과 실제 적용 값을 정리하였다. 내부 점화기를 구성하는  $L_1$ ,  $C_1$  값은 램프 점등 전 Q 값을 특정한 값

HID 램프를 위한 상태 적응형 점화기 설계 방법

으로 설정할 수 없어서, 실험에 의해서만 확인하였다.

표 1. 제안한 점화기 구성

Table1. The composition of proposed igniter.

	내부 점화기		외부 점화기			Arc Gap[V]
	$L_1$ [ $\mu$ H]	$C_1$ [ $\mu$ F]	$R_{i9}$ [k $\Omega$ ]	$C_{i9}$ [nF]	$T_{ignitor2}/T_{ignitor1}$	
계산값			12	134	50	600
적용값	3	0.47	10	330	50	600

## 5. 실험 결과

그림 8은 외부 점화기를 제거하고, 무 부하 상태에서 발생하는 점화 전압 파형이다. 점화 전압은 구형파 전압에 동기되어 나타나고, 약 2.4[kV]정도의 점화전압이 나타나는 것을 볼 수 있다. 만약 램프 온도가 낮다면, 내부 점화기만으로도 점등이 가능하다.

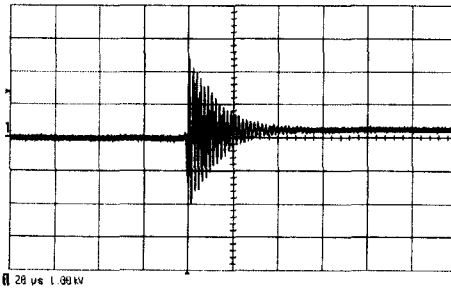


그림 8. LC 공진을 이용한 점화 전압  
[20 $\mu$ s/div, 1kV/div]

Fig. 8. The ignition voltage using LC resonant circuit

그림 9는 내부 점화기를 제거한 상태에서 외부 점화기가 동작하였을 때 나타나는 점화 전압 파형이다. 외부 점화기에 의해서 발생하는 점화전압은 약 20[kV] 정도이다.

그림 10은 무 부하시에 나타나는 점화기 동작 파형이다. LC 공진현상에 의해서 발생하는 3[kV]의 점화 전압과 아크갭을 이용한 외부 점화기에 의한 20[kV]의 점화 전압이 교번하여 나타나는 것을 볼 수 있다.

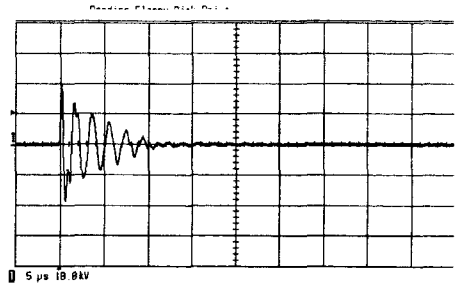


그림 9. 아크갭을 이용한 점화 전압[5 $\mu$ s/div, 10kV/div]  
Fig. 9. The ignition voltage using arc gap

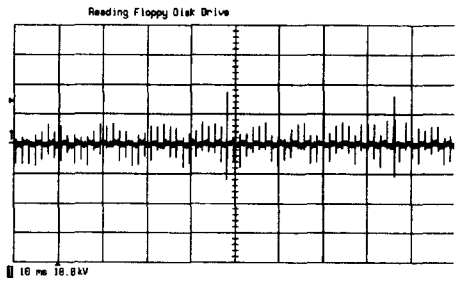


그림 10. 제안한 점화기 동작 (10ms/div, 10kV/div)  
Fig. 10. The ignition voltage using proposed igniter

그림 11은 본 논문에서 제안한 상태 적응형 점화기를 사용하여 램프가 차가운 상태에서 OSRAM에서 판매하는 70[W] HQI 램프를 점등하였을 때 나타나는 시간 경과에 따른 램프 전압, 전류 변화를 측정 한 것이다.

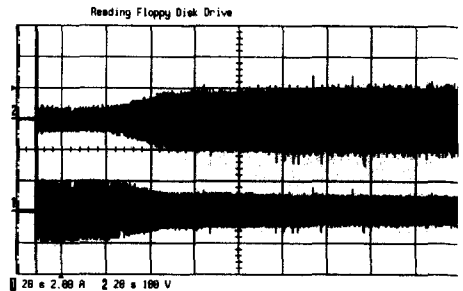


그림 11. 차가운 램프를 점등시작 때 램프 전압, 전류 파형 (20s/div, 2A/div, 100V/div)  
Fig. 11. The lamp voltage and current waveform using the proposed igniter with cold lamp

램프가 점등된 후 약 1분 정도 과도 상태를 가지며 램프 전압은 서서히 상승하고 램프 전류는 서서히 감소하는 특성을 갖는다. 하지만, 램프가 뜨거운 상태에서 점등을 시키면, 그림 12와 같이, 램프 점등과 동시에 과도 상태없이 정격 전압과 전류를 유지한다.

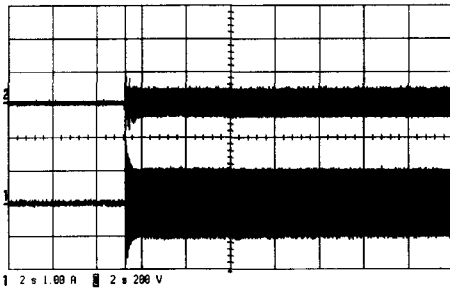


그림 12. 뜨거운 램프를 점등시킬 때 램프 전압, 전류 파형(2s/div, 1A/div, 200V/div)  
Fig. 12. The lamp voltage and current waveform using the proposed igniter with hot lamp

그림 13은 제작한 점화기를 사용하여, 안정기 전원을 on/off 확인을 하였을 때, 나타나는 램프 전압, 전류 파형이다. 그림에서와 같이 잦은 on/off 상태에서도 바로 재 점등되는 것을 확인할 수 있다.

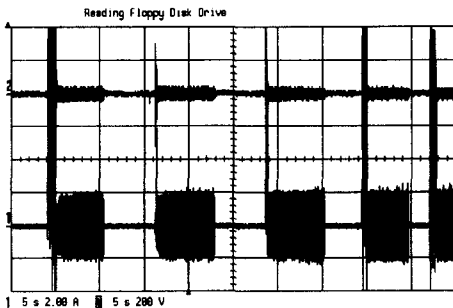


그림 13. 제안한 점화기를 사용한 재점등 특성(5s/div, 2A/div, 200V/div)  
Fig. 13. The restarting characteristics using the proposed igniter.

그림 14는 제작한 전자식 안정기가 가지는 정상 상태에서의 램프 전압, 전류 파형이다. 램프 전압은 78[V], 램프 전류는 850[mA]로 약 68W의 출력을 갖는다.

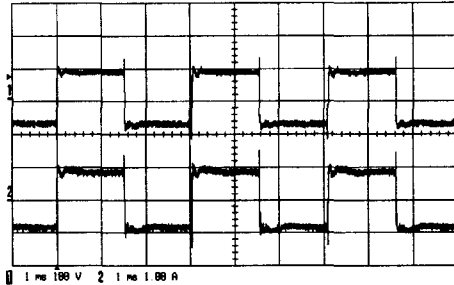


그림 14. 정상 상태시 램프 전압, 전류 파형(1ms/div, 1A/div, 100V/div)  
Fig. 14. The lamp voltage and current waveform in the steady state

## 5. 결론

현재까지 HID 램프 순시 재 점등문제를 해결하기 위해서는, 램프 상태와 무관하게 20[kV]이상의 전압을 램프에 인가시켜주는 방법을 사용하였다. 그러나 점등을 위한 과도한 전압을 램프에 공급시켜 줌으로 발생하는 램프 수명이 감소하므로 순시 재 점등과 수명 문제는 중요한 연구 대상으로 인식되어왔다.

본 논문에서는 램프가 차가운 상태에서 필요한 점화 전압과 램프가 뜨거운 상태에서 점등에 필요한 점화 전압을 발생시키는 독립적인 2개의 점화기를 사용하여, 램프 상태에 따라 각기 다른 점화전압을 램프에 인가하는 방법을 사용하였다.

본 논문과 같이 서로 다른 점화 전압을 램프에 공급하는 방법은 램프 상태와 무관하게 높은 점화전압을 사용하던 방법보다 17%이상 연장되는 것을 확인하였다.

본 연구는 강원대학교 BK21 사업단의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- (1) Yue-quan Hu, Jun Zhang, wei Chen and Chanu-chun Wen, "Analysis and Design of Metal Halide Lamp Ignitor", Proceedings of the 2001 IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists, pp132-137.
- (2) J.garcia-garcia, M. Rico-Secades, E.L. Corominas, J.M. Alonso, J. Ribas, J. Cardesin, A.J. Calleja, "Using Solid State Over Voltage protection Devices for High Intensity discharge Lamps Ignition", 2002 IEEE Industry Appli-

## HID 램프를 위한 상태 적응형 점화기 설계 방법

- cations Conference 37th IAS, pp363-368.
- [3] P.F. Hein, K. arbinger, " An AISC controlled Ignitor for H/HIS-lamps", Proceedings of the 2000 IEEE Industry Applications Meeting Volume 5, pp 3394-3398.
  - [4] Richard Redl and Jon D. Paul, " A New High Frequency and High efficiency Electronic Ballast for HID lamps : Topology, Analysis, Design and Experimental Results", Proceedings of the 1999 IEEE 14th Applied Power Electronics Conference, pp486-492.
  - [5] Tasi F. Lin, Chin S. Moo, Ming J. Soong, Wei M. Chen Chin R. Lee, " A High Power Factor Electronic Ballast for Metal Halide Lamps with Hot Restarting", 2000 26th Annual Conference of the IEEE Industrial, pp2261-2266.
  - [6] Masato H. Ohsata, Yoshiyuri Kudo, hisashi. Tai, "Characteristics of a Novel Ballast Circuit for HID Lamps", Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Power Electronics and, pp227-2307.
  - [7] M Ponce, A. Lopez, J. Correa, J. Arau, J.M. Alonso, "Electronic Ballast for HID Lamps with High Frequency Square Waveform to Avoid Acoustic Resonances", Proceedings of the 16th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and, 658-663, 20010304.
  - [8] Jinghai Zhou, Fengfeng Tao, Fred C. Lee, Naoki Onishi, Masanao Okawa, "High Power Density Electronic Ballast for HID Lamps", 2002 IEEE Industry Applications Conference 37th IAS, pp1875-1880.
  - [9] Miaosen Shen, Zhaoming Qian and Fan Z. Peng, " A Novel Two Stage Acoustic Resonance Free Electronic Ballast for HID Lamps", 2002 IEEE Industry Applications Conference 37th IAS, pp1869-1874p.
  - [10] Colonel Wm. T. M. Lyman, " Designing Magnetic Components for High frequency DC-DC Converters", Kg magnetics, Inc 1992.

## ◇저자소개◇

### 조계연 (曹桂鉉)

1973년 3월 27일생. 1998년 강원대학교 졸업(학사). 2000년 동대학원 졸업(석사). 현재, 박사과정.

### 송명식 (宋明錫)

1978년 8월 25일생. 2000 한라대학교 전기공학과 졸업(학사). 2002년 강원대학교 졸업(학사). 현재, 강원대학교 대학원 석사과정.

### 박중연 (朴鍾演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전자공학과 졸업(학사). 1980년 경북대 대학원(석사). 1984년 동대학원 졸업(박사). 1973~1976년 KIST연구원. 1977~1984년 울산공과대학 교수. 1984~현재 : 강원대학교 전기전자정보 통신공학부 전기전자 전공 교수.