

# 시동전류 제한을 통한 메탈헬라이드 램프용 안정기의 최적 설계

論 文  
57-3-12

## A New Optimal Design Method of the Electronic Ballast for MHL with Stable Run-up Current

林秉魯\* · 張牧淳\*\* · 林起勝\* · 朴鍾演<sup>†</sup>  
(Byoung-Loh Lim · Mog-Soon Jang · Ki-Seung Lim · Chong-Yeun Park)

**Abstract** - This paper proposed a new optimal design method of the electronic ballast with stable run-up current for Metal Halide lamp during the ignition condition. In order to avoid operation in the acoustic resonance frequency band and to supply the optimal ignition current without damage of inverter switching components during the ignition period, the values of the series inductor  $L_s$ , the series capacitor  $C_s$ , and the parallel capacitor  $C_p$  were determined by analysis of characteristics of inverter transfer function depend on Lamp operating power and resistance of ignition condition and steady state operating condition. For the prototype ballast for a 400W Metal Halide Lamp, experimental results are presented in order to validate the proposed method.

**Key Words** : Metal Halide Lamp, LCC Resonant circuit, Run-up current, Acoustic resonances

### 1. 서 론

현재 메탈헬라이드용 전자식 안정기가 개발되어서 시중에 출시되고 있으며, 자기식 안정기에 비하여 높은 광 출력과 크기 및 무게가 작아졌고, 플리커링과 험 잡음이 제거되었으며, 역률과 THD(Total Harmonic Distortion)가 개선되었다.[1][2]

메탈헬라이드 램프를 위한 전형적인 전자식 안정기의 구조는 크게 두 종류의 인버터형태를 사용하고 있다. 기본적인 구조는 풀브리지 구조의 구형저주파로 구동하는 방식과 공진 탱크 회로를 이용한 하프브리지 구조로 정현고주파 전압을 램프에 인가방식이며 램프 전류를 제어하는 방법을 사용한다.[3][4]

저주파의 구형파로 구동하는 경우는 이그니션 전압에 의한 전류에 제한이 매우 어려우며 순간 피크전류에 의해서 스위치 소자의 파손을 가져올 수 있다. 또한, 공진탱크를 이용한 방법도 이그니션 전류를 제한하지 않으면 시동과전류에 의한 스위치 소자의 파손을 초래하여 안정기 신뢰성을 크게 떨어뜨리고 있다.

시동전류를 제한하는 방법으로 공진탱크방법이 적합하며, 회로는 직렬 LC, 병렬 LC, 또는 직, 병렬의 LCC회로가 있다. 이 방법 중에 LCC 공진 인버터가 메탈헬라이드와 같은 HID 램프의 동작을 위해서 가장 우수한 특성을 갖는 것으로

로 발표되었다.[5] 또한, 이그니션 상태와 정상상태의 특성을 고려한 LCC의 소자값 설계방법도 발표되었다.[6]

LCC 공진 인버터는 전압 이득이 크고 비교적 낮은 입력 전류를 가지며, 입력과 부하에 대하여 낮은 민감도를 가진다.[5] 또한, 입력 전압의 주파수 제어에 의한 램프의 전력전달함수를 제어할 수 있다. 그러나 방전램프의 특성 중에 특정 주파수 대역에서 램프에 물리적인 구조로 인한 음향공명 현상이 발생할 뿐 아니라 심한 경우 아크 튜브의 파괴를 가져올 수 있다.[7]

따라서 본 논문에서는 이그니션 전류를 제한하는 방식으로 정현고주파 전압을 램프에 인가하는 공진탱크회로를 적용하였으며, 정상상태시의 공명현상이 발생하지 않고 스위칭 손실을 최소화 하는 주파수 대역을 계산하고 이그니션 시의 주파수 대역을 높게 설정하여 이그니션 전류를 제한하는 방법을 제안하였다. 그리고 실제 400W 메탈헬라이드 램프용 전자식 안정기를 제작하고 실험을 통하여 본 이론의 타당성을 증명하였으며, 제작된 안정기가 IEC 61000-3-2 Class C 기준에 적합한지 실험을 통하여 증명하였다.

### 2.1 음향공명 주파수 대역

램프의 음향공명을 제거하는 방법은 현재 몇 가지 방법이 다음과 같은 논문에 제시되어져 있다.[7~11] 본 연구에서는 하프브리지 구동방법으로 음향공명현상이 발생하지 않는 주파수 대역을 계산하여 구동하는 방법을 사용하였다.

음향공명현상은 램프에 대한 입력 전력이 튜브 내의 가스를 가열시켜 압력을 주기적으로 변화시키므로 이러한 주기적인 압력의 변화는 튜브 벽에 반사되어 정재파(Standing Wave)를 발생시키며 입력전력과 정재파의 주파수가 일치되면 튜브 내 압력의 변화가 증폭되어 음향 공명을 발생시킨

\* 正 會 員 : 江原大學 電氣工學科 碩士課程  
\*\* 正 會 員 : 江原大學 電氣工學科 工博  
<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 江原大學 電氣工學科 教授 · 工博  
E-mail : cypark@cc.kangwon.ac.kr  
接受日字 : 2007年 11月 6日  
最終完了 : 2008年 1月 30日

다.[7] 정재파의 주파수는 튜브의 고유 진동수와 같으므로 튜브의 고유 진동수를 통해 램프의 음향공명이 발생하는 주파수 대역을 계산할 수 있다.[8][12][13]

본 논문에서는 400W 메탈헬라이드 램프(OSRAM M59/E MI 400/U)를 사용하였으며, 음향 공명 주파수의 계산은 각 방향의 3차까지 고려하였다.

튜브의 크기는 길이 L : 55mm, 반지름 R : 8.6mm이며, 그림 1을 얻었다.

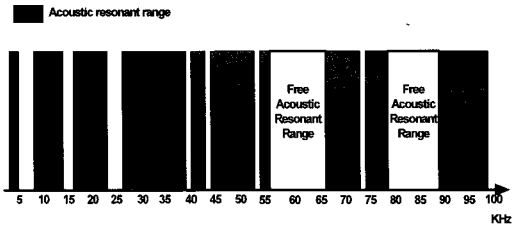


그림 1 램프의 음향공명 주파수 대역  
Fig. 1 Frequency range of acoustic resonance of the lamp

그림 1에서 음향공명 주파수 대역은 5kHz~100kHz 대역 까지 고르게 분포하고 있는 것을 알 수 있으며, 음향공명 현상이 발생하지 않는 대역은 55kHz~65kHz와 80kHz~90kHz 대역을 확인할 수 있다. 그리고 스위칭 손실을 최소로 하는 주파수 대역은 55kHz~65kHz 사이인 것을 알 수 있다.

2.2 이그니션시 램프 등가 저항

400W 메탈헬라이드 램프의 이그니션 과정에서 임피던스는 시변저항으로 나타낼 수 있으며, 램프의 등가저항은 시간 및 주파수의 함수인 식 (1)에 의해서 구할 수 있다.[14]

$$R(t) = \frac{v^2(t)}{p(t)} \tag{1}$$

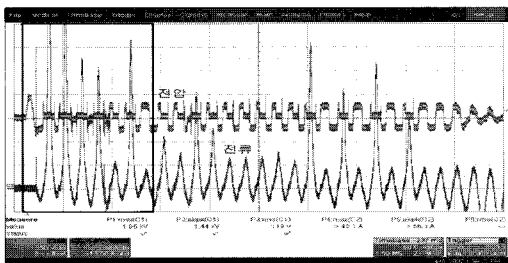


그림 2 400W 자기식 안정기의 이그니션 전압/전류 파형 (350V/div, 5A/div, 50ms/div)  
Fig. 2 Lamp voltage and current waveform for ignition of 400W magnetic ballast(350V/div, 5A/div, 50ms/div)

그림 2는 400W 자기식 안정기의 점등과정시의 전압, 전류특성이며, 이그니션 전압이 발생을 하면 점등을 위한 전류(Run-up)가 흐르게 되고 최대 40A 이상 전류가 흐르는 것을 알 수 있다.

그림 3은 그림 2의 전압/전류 특성을 순시전력으로 표현

하였으며, 순시최대전력은 4kW이상인 것을 알 수 있다. 메탈헬라이드 램프의 아크가 정상적으로 형성되기까지 시동전류는 주기적으로 들어가게 되며, 전자식 안정기 개발 시 스위치 소자에 신뢰성을 떨어트리는 원인이 될 수 있다.

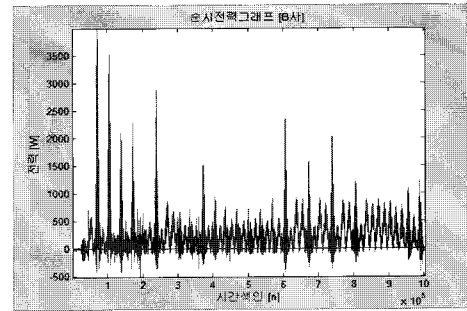
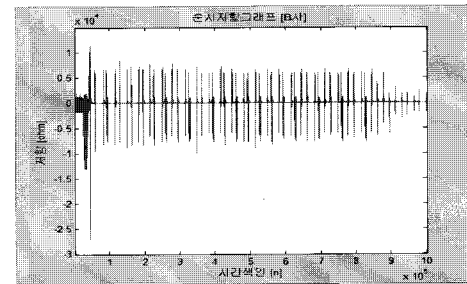
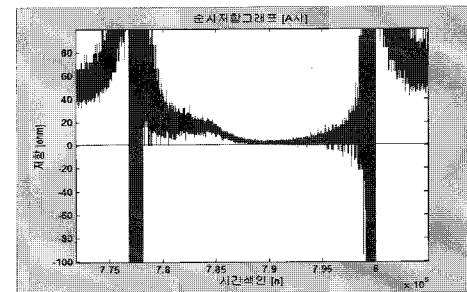


그림 3 400W 자기식 안정기의 순시전력  
Fig. 3 The instantaneous power of 400W magnetic ballast

그림 4는 메탈헬라이드 램프의 순시 저항값을 표현하였다. 이그니션 전압이 발생을 하고 시동전류가 램프의 공급될 때는 메탈헬라이드 램프의 부성저항 특성에 의해 전압이 감소하게 되고 전류는 증가하게 된다. 순시전력이 최대일 때의 순시저항을 계산해보면 3Ω이하로 나타났으며, 이 상태에서도 안정기의 신뢰성을 높일 수 있도록 설계해야 하는 것이 중요하다.



(a) 400W 자기식 안정기의 순시저항



(b) 확대 파형

그림 4 400W 자기식 안정기의 순시저항  
Fig. 4 The instantaneous resistance of 400W magnetic ballast

그림 2, 3, 4는 자기식 안정기의 점등시의 순시전력 및 순시저항에 대해서 표현하였으며, 메탈헬라이드 램프용 전자식 안정기의 설계 시에 시동전류의 대하여 고려하지 않으면, 스

위칭 소자의 파손을 가져 올 수 있다.

### 2.3 메탈헬라이드 램프용 안정기의 구조

전자식 안정기의 구조는 그림 5와 같으며, 크게 2단계로 나뉘어서 설명할 수 있다. 첫 단계인 PFC부분은 고 역률, 저 THD 안정기를 실현하게 해주며, 일정한 DC 전압을 만드는데 필요하다. 두 번째 단계는 하프브리지 인버터이며, 첫 단계에서 만들어진 일정한 DC 전압을 램프가 구동할 수 있는 AC 전압으로 만들어주는 역할을 한다. 이때 LCC 공진 회로의 역할은 점등에 필요한 충분한 전압, 전류를 램프에 공급하여 램프가 점등되도록 하는 것이며, 전류의 과도한 공급을 제한함으로써 스위칭 소자 및 램프의 파손을 막는 역할을 한다.

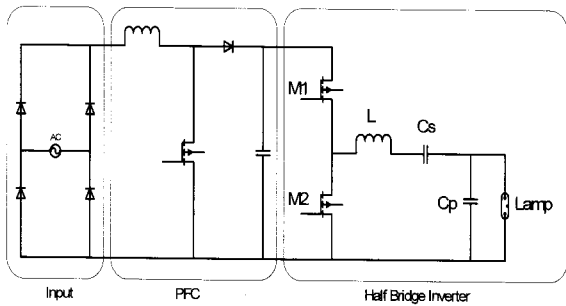


그림 5 전자식 안정기의 구조  
Fig. 5 The structure of electronic ballast

### 2.4 하프브리지 인버터의 설계

#### 1) LCC 공진 특성

LCC의 공진 특성을 알기 위해서 하프브리지 인버터를 그림 6과 같이 모델링하였다.

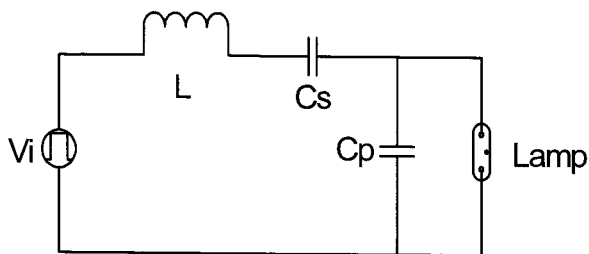


그림 6 하프브리지 인버터의 등가회로  
Fig. 6 Equivalent circuit of Half Bridge inverter

이그니션 전압을 발생하기 위해서 병렬 커패시터  $C_p$ 를 이용한다. 정상상태에서는  $L$ ,  $C_s$ 의 공진특성에 의해 램프를 구동해야만 한다. 정상동작에서  $C_p$ 의 특성이 나타나게 되면, 램프와  $C_p$ 의 병렬 임피던스의 값에 의해서 전력손실이 일어나게 된다. 그림 7은 일반적인 LCC 구조의 주파수에 따른 전달함수 특성을 표현한다.

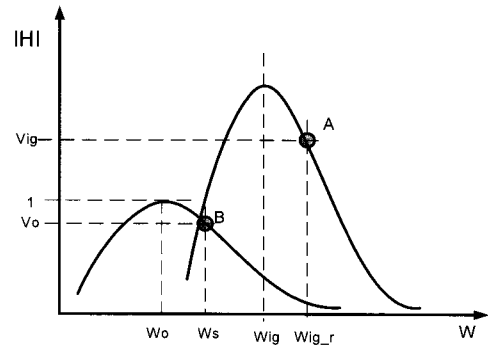


그림 7 LCC 공진 커브  
Fig. 7 The resonant curve of LCC

그림 7의 A점을 포함한 커브는 램프에 등가저항이 무한대일 때에 병렬 커패시터의 영향으로 생기는 전달함수 특성이며,  $W_{ig}$ 에 근접한 주파수 특성에 의해서 이그니션 전압을 발생할 수 있게 된다. 이그니션 전압에 의해서 램프의 등가저항은 식(1)과 같이 변하게 되며 저항값에 의해서 전달함수가 결정되게 된다. 즉, 초기 점등시의 초기 아크상태를 유지하는 최소전력이 결정되며, 식(1)에 의해서 최소 출력전압이 결정되게 된다. 그림 7의 B점은 램프가 정상적인 상태로 동작할 때의 주파수인  $W_s$ 을 나타냈으며, A점을 포함한 그래프의 특성은 나타나지 않게 설계해야 한다.

#### 2) LCC 구조의 전력 전달 특성

수식의 전개를 위해서 다음과 같이 기호를 정의한다.

- $R_Z$  램프의 점등 전 유한 저항값
- $i_L$  램프의 공급되는 전류
- $V_{DC}$  DC\_Link 전압
- $V_i$  입력 전압
- $Q_{oc}$  첨예도
- $C_n = \frac{C_p}{C_s}$  커패시턴스 비
- $w_{ig} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_s / C_p}}$  점등 시 공진 주파수
- $w_o = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_s}}$  LCC 공진 주파수
- $Z_o = w_o \cdot L = \frac{1}{w_o C_s}$  LCC 공진 회로의 특성 임피던스

램프의 점등과정에서 램프의 등가저항을 무한대로 가정하였으며, 그림 6의 램프를  $R_Z$ 로 가정하였으며, 이때 ESR (Equivalent Series Resistance)은 매우 작으므로 무시하였다. 이때의 전달함수는 식(2)과 같으며, 크기는 식(3)과 같다.

$$H(s) = \frac{sR_Z C_s}{s^3 L C_s C_p R_Z + s^2 L C_s + sR_Z(C_s + C_p) + 1} \quad (2)$$

$$|H(jw)| = \frac{wR_z C_s}{\sqrt{(1-w^2 LC_s)^2 + [wR_z(C_s + C_p)(1 - \frac{w^2 LC_s C_p}{C_s + C_p})]^2}} \quad (3)$$

이그니션 전압이 발생된 후 그림 2와 같이 매우 큰 이그니션 전류가 흐르게 되며, 전류를 제어하기 위해서는 램프의 양단에 걸리는 전압을 최소가 되게 설계해야한다. 즉, 이그니션 전압이 발생하고 특성커브는 변화하게 되는데 램프의 아크가 유지할 수 있도록 최소의 전력을 공급해야한다.

램프가 정상 동작 상태가 되면 램프의 등가저항이 식(1)과 같이 시변함수로 표현되며, 이때 등가회로는 그림 6과 같으며, 램프의 저항은  $R(t)$ 로 등가 할 수 있다. 그림 6의 램프의 입력 전류를  $i_L(t)$ 로 표현하였으며, 램프의 공급되는 전류는 점등주파수 상태에서 정상동작 주파수 상태로의 주파수 변화에 따른 함수로 표현된다. 또한, 램프의 주파수 변화에 의한 저항 값의 함수로 표현가능하며, 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$i_L(t) = \frac{V_i}{(R(t) + \frac{R(t)C_p}{C_s} - w^2 R(t)LC_p) + j(wL - \frac{1}{wC_s})} \quad (4)$$

점등전류에 의하여 램프로 공급되는 전력은 식(5)로 표현된다.

$$P_{Lamp}(t) = |i_L(t)|^2 R(t) \quad (5)$$

식(5)에 램프 등가 저항 식(1)과 램프입력 전류 식(4)를 대입하면 정상 동작 상태에서의 램프 전력을 식(6)과 같이 구할 수 있다.

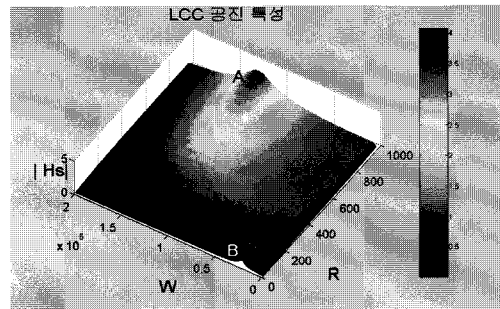
$$P_{Lamp} = \frac{V_i^2 R(t)}{(R(t) + R(t)C_n - R(t)C_n(\frac{w}{w_0})^2)^2 + Z_0^2(\frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w})^2} \quad (6)$$

### 3) LCC의 소자값 결정

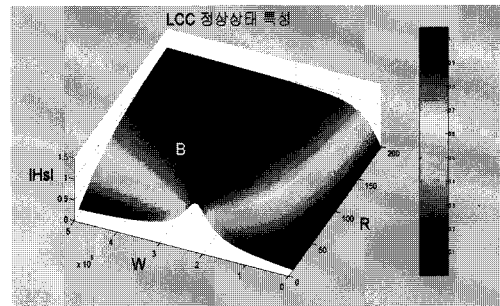
메탈헬라이드 램프의 초기 점등 시 등가저항 값이 매우 작으므로 시스템의 전달특성은 낮게 설계해야하며, 시스템의 전체적인 성격은 전류를 제한할 수 있는 인덕턴스의 성분으로 보여야한다. 즉, 그 의미는 정상상태의 주파수와 이그니션 상태의 주파수는 매우 큰 차이를 보이도록 설계해야 한다. 본 논문에서는 소자 값에 결정에서 램프의 정상상태 주파수는 음향공명현상을 피할 수 있는 최적의 주파수인 60kHz를 선택하였다. 또한, 이그니션 주파수는 240kHz로 설정하여, 시동 과전류를 방지 하였다. 두 주파수간의 차이를 위해서  $C_n$ 의 비는 30이상으로 설계하여야 하며, 다음과 같이 LCC 값을 설계하였다.[6]

$w_s = 60kHz$	정상상태 구동 주파수
$w_o = 35kHz$	정상상태 공진 주파수
$w_{ig} = 200kHz$	이그니션상태 공진 주파수
$w_{ig-r} = 240kHz$	이그니션 주파수
$C_s = 0.1\mu F$	LCC의 직렬 커패시턴스
$C_p = 0.0033\mu F$	LCC의 병렬 커패시턴스
$L = 193\mu H$	LCC의 인덕턴스

식(3)과 결정된 소자값에 의해서 LCC공진특성 그래프는 그림 8과 같으며, 램프의 점등 전 상태와 점등 후의 특성을 알아보기 위해서 등가저항에 변화를 주었다.



(a) 이그니션 특성



(b) 정상상태 특성

그림 8 LCC 공진 특성

Fig. 8 The resonant characteristic of LCC

'A'점인 220kHz에서 이그니션 전압이 형성되며, 정상 동작 주파수인 'B'점인 60kHz까지 주파수를 가변하게 된다. 주파수 가변을 통해 하프브리지 회로의 인덕턴스의 의한 임피던스의 변화를 둔감하게 하여 시동전류에 제한을 두었다.

### 4) 전류제한 방법

위의 설계 방법에 의해서 하프브리지의 최적의  $L, C_s, C_p$ 을 설계하였다. 주파수 제어회로는 PWM IC(TL494)와 마이크로컨트롤러를 이용하여 제작을 하였으며, PWM IC의 주파수 결정단자 전류량의 변화를 통하여 이그니션 시의 주파수와 정상상태의 주파수를 가변 할 수 있다. 제어방법으로 마이크로컨트롤러를 이용하여 이그니션 상태와 정상상태의 주파수를 가변하는 방법을 사용하였다. 그림 9는 제안한 시스템의 회로도이다.

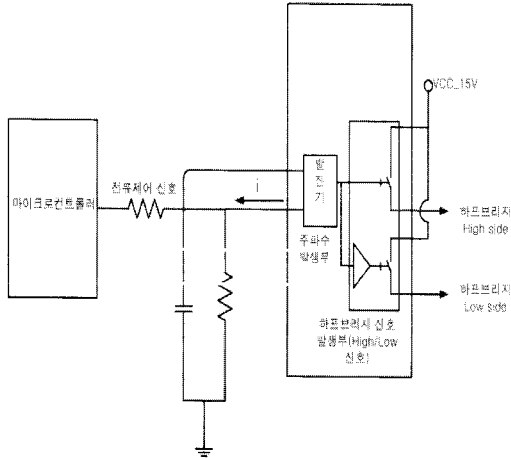


그림 9 주파수 가변부  
Fig. 9 The variable part of frequency

PWM IC의 내부에는 발진기가 있으며, 외부적으로 주파수를 결정하는 저항 및 커패시터를 연결한다. 주파수는 저항 양단의 전압값에 변화를 주어 전류를 제어한다. 마이크로컨트롤러의 전류제어 신호에 의해서 PWM IC의 주파수 발생부의 전류의 값이 변화하게 되며, 전류의 변화에 따라서 주파수가 가변되는 방법을 사용하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

그림 5와 같은 구조로 설계하였으며, 제안된 설계 방법의 의해 구한 소자값을 이용하여 실험하였다. 그림 10은 실제 제작된 안정기이다.

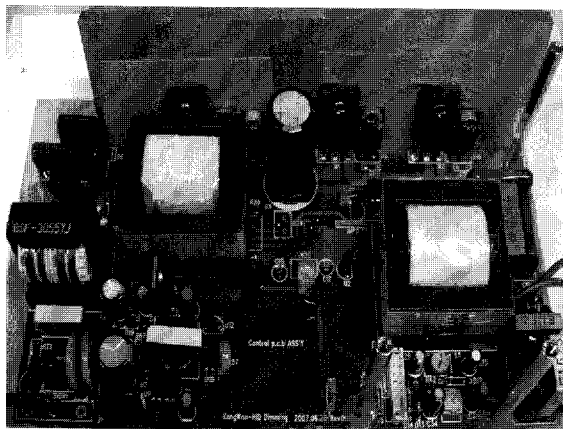
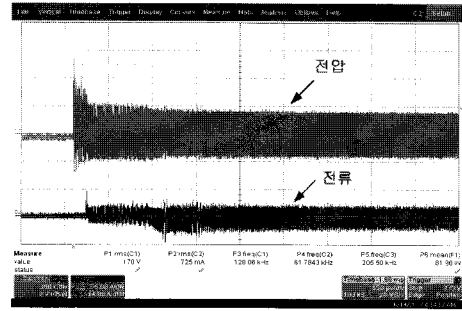
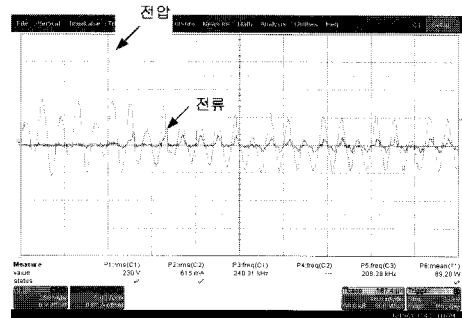


그림 10 실제 제작된 전자식 안정기  
Fig. 10 Development of the electronic ballast

이그니션 주파수와 정상 상태 주파수의 변화를 위해서 PWM IC(TL494)를 사용하였으며, 스위치는 FET IRFP460을 사용하였다. 이그니션 주파수는 240KHz이상으로 구동하였으며, 그림 8의 LCC 특성곡선에 의해서 이그니션 전압이 형성된다. 그림 11은 실제 제작된 안정기의 이그니션 전압 및 전류 파형이다.



(a) (350V/div, 5A/div, 500µs/div)



(b) 확대파형(350V/div, 5A/div, 10µs/div)

그림 11 이그니션 전압/전류파형  
Fig. 11 Waveform of lamp ignition

그림 11에서 이그니션 전압의 최고값은 1kV이며, 램프의 정격 점등 전압을 만족하는 전압을 발생하였다. 또한, 전류의 최대값이 5A이상 흐르지 않는 것을 확인할 수 있다. 이그니션 후 정상 상태까지의 대략 3~5분 정도의 시간이 필요하며, 램프 방전관 내에서 발생하는 화학작용이 정상 상태의 압력을 갖기 위한 천이 과정이다.[15][16] 정상 상태에서 음향공명현상을 피하면서 스위치 손실이 최소로 되는 60kHz로 구동하게 설계하였다. 그림 12은 음향공명현상을 피하는 주파수 영역에서 램프의 전압과 전류파형이다.

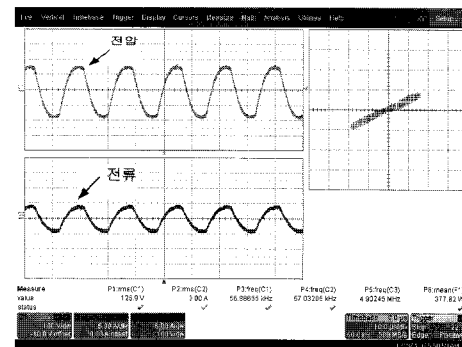


그림 12 램프의 정격 전력 동작에서의 전압, 전류 파형 (100V/div, 5A/div, 10µs/div)  
Fig. 12 Lamp voltage and current waveform for normal operating(100V/div, 5A/div, 10µs/div)

램프의 전압, 전류파형 곡선은 그림 12과 같이 정현파의 형태로 나타났으며, 그림 12의 우측의 그림에서처럼 램프의 전압, 전류 특성 곡선은 선형적으로 나타났다. 즉, 저항 성분으로 볼 수 있다. 제작된 안정기의 정출력 시의 구동 주파수는 58kHz로 동작을 하며 전압, 전류파형에서 음향공명이 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

그림 13은 제작된 안정기의 입력전류의 고조파 특성을 나타내었으며, IEC 61000-3-2 Class C 규격의 고조파 함유율에 만족하는 것을 볼 수 있다.

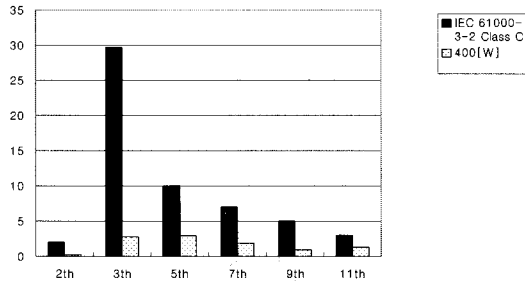


그림 13 측정된 입력 전류의 고조파  
Fig. 13 Measured input current harmonic

그림 2는 시동전류제한이 되어있지 않으므로 매우 큰 전류가 들어가게 되며, 제안한 방법으로 설계된 안정기의 시동 전류의 파형은 그림 11과 같이 제한된 것을 확인할 수 있다. 그러므로 이그니션 전류의 제한이 타당함이 증명되었으며, 정상상태에서의 음향공명현상이 발생되지 않는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문은 메탈헬라이드 램프용 전자식 안정기의 점등 시 부성저항 특성으로 하프브리지의 스위칭 소자의 파손을 최소로 하는 방법으로 점등 전류를 제한하는 방법을 제안하였다.

메탈헬라이드 램프의 음향공명 주파수 대역을 램프의 아크 튜브의 크기와 모양에 의해서 계산하여 음향공명이 발생하지 않고 정상 상태에서 스위칭 손실을 최소로 하는 동작 주파수 대역을 구하였다. 정상상태 주파수와 이그니션 주파수의 설정에 의해서  $L$ ,  $C_s$ ,  $C_p$  값을 설정하였으며, 실제 400W 메탈헬라이드 램프에 적용하여 정상상태와 이그니션 상태의 전류특성을 측정함으로써 제안된 방법의 타당함을 입증하였다. 제안된 방법은 고효율 HID 램프용 전자식 안정기의 파손원인을 줄일 수 있는 방법으로 여겨지며, 설계 시 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

[1] Hans Juergen Faehnrich, Erhard Rasch, "Electronic Ballasts for Metal Halide Lamps", Journal of the illuminating Engineering Society 131-140, summer 1988

[2] C. Moo, C. Lee, "A high-power factor constant frequency electronic Ballast for Metal Halide Lamps", IEEE PESC '98 Proceedings, pp.1755 - 1760

[3] T.H. Yu, H.M.Huang, T.F. Wu, "Self excited half bridge series resonant parallel loaded fluorescent Lamp electronic Ballasts", Applied power Electronics Conference Records, pp.657-664

[4] M. C. Cosby, R. M. Nelms, "A resonant inverter for electronic ballast applications", IEEE Transac., on Power Electronics, vol. 41, No. 4, pp.418-425, Aug. 1994

[5] J. Marcos Alonso, Cecilio Blance, Emilio Lopez, Antonio J Calleja, Manuel RICO, "Analysis Design and Optimization of the LCC resonant Inverter as a High-Intensity Discharge Lamp Ballast", IEEE Transac., on Power Electronics, Vol. 13, No. 3, May, 1998

[6] 박종연, 장목순, 임병노, "HID 램프를 위한 전자식 안정기의 LCC 공진 인버터의 최적 설계", 대한전기학회 논문집, 대한전기학회, 2007,

[7] Jo Olsen and Warren P.Moskowitz. "Optical Measurement of Acoustic Resonance Frequencies in HID Lamps" IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting New Orleans, Louisiana, Oct. 5-9,1997 pp 2263-2268

[8] R. Redl and J. D. Paul, "A new high-frequency and high-efficiency electronic ballast for HID lamps: topology, analysis, design and experimental results," in Proc. IEEE APEC'99, 1999, pp. 486-492.

[9] J. Melis and O. Vila-Masot, "Low frequency square wave electronic ballast for gas discharge lamps," U.S. Patent 5 428 268, June 27, 1995.

[10] L. Laskai, P. Enjeti, and I.J Pitel, "White noise modulation of high frequency high-intensity discharge lamps ballast," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 34, pp. 597-604, May/June 1998.

[11] M. Shen, Z. Qian, and F. Z. Peng, " Design of a two-stage low-frequency square-wave electronic ballast for HID lamps," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 39, no. 2, pp. 424-430, Mar./Apr. 2003.

[12] Morse, P.M., "Vibration and sound" (McGraw-Hill Book Co., New York, USA, 1948, 2nd edn.)

[13] H. L. Witting, "Acoustic Resonance in Cylindrical high pressure ARC Discharges", J' Apple Phy. 49(5), May, 1978

[14] Fabio Toshiaki Wakabayashi, Carlos Alberto Canesin, "An Improved Design Procedure for LCC Resonant Filter of Dimmable Electronic Ballasts for Fluorescent Lamps", Based on Lamp Model, IEEE Transac., on Power Electronics, vol. 20, No. 5, pp. 1186-1196, Sep. 2005

[15] 조 계 현, " HID 램프 수명 연장을 위한 고온 순시 재 점등용 점화기 개발", 강원대학교 대학원, 2004

- [16] Chr. Meyer, H. Nienhuis, "Dischage Lamps", Philips Technical library Kluwer Technische Boeken B.V. Deventer-Antwerpen, 1998

## 저 자 소 개



### 임 병 로 (林 秉 魯)

1978년 11월 18일생. 2002년 안양과학대 전기제어 졸업(전문학사). 2001~2004년 (주)ADG 선임 연구원. 2006년 한림대학교 전자과 졸업(학사). 2006년~현재 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정.



### 장 목 순 (張 牧 淳)

1966년 10월 25일생. 1992년 강원대학교 전기공학과 졸업(학사). 1994년 동대학원 졸업(석사). 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1998~2005년 University of Toronto, Electric Power Group 선임 연구원. 2006~현재 강원대학교 전기공학과 강사. (주)올라이트라이프 연구소장.



### 임 기 승 (林 起 勝)

1982년 9월 13일생. 2008년 강원대학교 전기공학과 졸업(학사). 2008년~현재 강원대학교 전기전자 공학과 석사 과정.



### 박 종 연 (朴 鍾 演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1980년 경북대 대학원 졸업(석사). 1984년 동대학원 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산 공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대학교 IT 특성화대학 전기전자정보통신공학부 교수.

E-mail : cypark@cc.kangwon.ac.kr