

# 음향 공명 현상을 고려한 세라믹 메탈헬라이드의 특성 분석과 PSpice 시뮬레이션을 통한 인버터 설계

논문  
58-10-23

## The Property Analysis of Ceramic Metal-Halide Lamp Considering Acoustic Resonance Phenomenon and Design of Inverter by the PSpice Simulation

장혁진\* · 김남균\*\* · 양종경\*\*\* · 이종찬§ · 박대희†  
(Hyeok-Jin Jang · Nam-Goon Kim · Jong-Kyung Yang · Jong-Chan Lee · Dae-Hee Park)

**Abstract** - This study purposes are improvement of system (lamp & ballast) efficacy with and optical characteristics through the developed ceramic arc tube. The designed electronic ballast is substituted for conventional magnetic ballast. These electric signal and optical, thermal characteristics through the improving efficacy of lighting system compared with conventional magnetic ballast. properties of lamp by driving method is researching in ballast. Particularly, electronic ballasts, which improved against weakness of Magnetic Ballast, are researching and applying to control of ceramic metal-halide lamp. but One major limitation is the acoustic resonance problem in CMH lamps at high-frequency operation.

In order to avoid acoustic resonance, driving frequency decided 21[kHz]. Before discharge in this paper. The PSpice simulation result obtained sufficient voltage gain and the ignition voltage obtained over 3[kV] at 75[kHz]. After discharge, driving voltage obtained approximately 90[Vrms] at 21[kHz].

**Key Words** : Acoustic resonance frequency, Electronic ballast, Ceramic metal-halide lamp, PSpice simulation

### 1. 서 론

세라믹 메탈헬라이드 램프는 높은 광효율, 고연색성, 컴팩트한 크기를 지닌 매력적인 광원으로써 인식되면서 박물관, 전시장, 경기장 및 백화점등에서 널리 사용되고 있다[1][2]. 하지만 세라믹 메탈 헬라이드 램프는 점등 후부터 정상상태에 이르기까지 방전관 내부의 온도 및 압력이 광범위하게 변화하는 복잡한 동작특성을 가지며, 이로 인해 세라믹 메탈 헬라이드 램프를 구동하는 안정기의 설계에 어려움이 따른다. 그래서 일반적으로 세라믹 메탈헬라이드 램프는 부피가 크고, 무게가 많이 나가며 낮은 광효율을 지닌 저주파 구동형 자기식 안정기에 의해서 구동되었다. 이런 단점들을 해결하기 위해서 최근 들어 전자식 안정기에 대한 개발이 한창 진행되어 지고 있다[3]. 전자식 안정기는 자기식 안정기에 비해 짧은 글로우 구간과 높은 이그니션 전압을 가지고 있어 램프의 수명이 연장되고, 부피와 무게의 경량화할 수 있다. 또한 플리커 및 잡음이 제거되어 효율 및 역률 개선으로 전력손실의 최소화로 인해 에너지 절감효과를 지니고 있다. 하지만 고주파 제어로 인한 음향공명 현상이 발생하게 된다. 음향공명은 아크의 불안정, 광플리커 현상, 색온도

변화등을 가져온다. 이런 현상들은 곧 방전관의 파괴를 초래하기 때문에 주요 개선사항으로 요구되고 있으며, 그에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이런 문제점을 해결하기 위해서 많은 다양한 방법들이 제안되고 있다. 그 중 하나의 방법으로 음향공명이 발생하는 하는 대역을 피하여 램프의 주파수를 선정하여 구동하는 방법이 있고, 이론적 분석에 의하면 세라믹 메탈헬라이드 램프가 수[kHz]에서 수백[kHz]의 범위로 구동할 때 음향공명 주파수대역이 나타난다. 하지만 모든 범위내에서 발생하는게 아니기 때문에 대역폭 사이에 음향공명을 회피할 수 있는 주파수대역을 찾을 수 있다 [4][5][6].

본 논문은 세라믹 메탈헬라이드 램프의 전자식 안정기 개발에 따른 음향공명 회피대역과 램프점등을 위한 최적의 이그니션 전압/전류값을 찾고자 Half-bridge 공진형 LCC 인버터를 구성하였으며, PSpice 시뮬레이션을 통하여 세라믹 메탈헬라이드 램프의 적정 공진/구동주파수, 이그니션 전압/전류를 분석하였다.

### 2. 이론 및 실험방법

#### 2.1 세라믹 메탈헬라이드 램프의 방전 특성

세라믹 메탈헬라이드(single-ended type: 4000K NDЛ) 램프는 방전관의 재질을 기존 석영에서 세라믹으로 대체한 것으로 그림 1과 같은 구조로 이루어져 있으며, 세라믹 메탈헬라이드 램프의 초기 방전과정은 두 전극 사이에 높은 이그니션(ignition)전압 인가를 통하여 전극을 주변으로 버퍼 가스의 절연파괴가 일어난 후 수  $\mu$ s의 글로우 방전이 시작된다.

\* 준회원 : 원광대 정보통신공학과 석사과정  
\*\* 정회원 : (주)이텍 부설연구소 연구원 · 공석  
\*\*\* 정회원 : 원광대 전자재료공학과 박사과정  
§ 정회원 : 금호전기(주) 부설연구소 책임연구원 · 공박  
† 교신저자, 시니어회원 : 원광대학교 교수 · 공박

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr

접수일자 : 2009년 7월 9일

최종완료 : 2009년 8월 21일

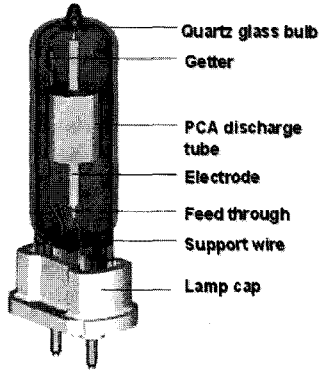
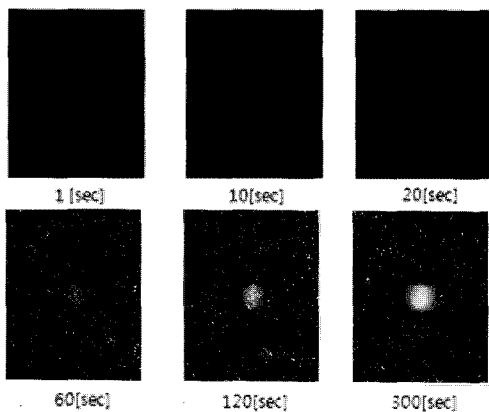
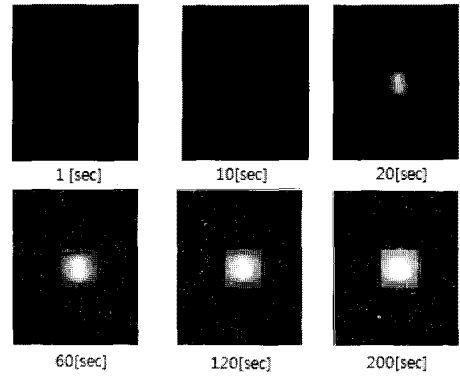


그림 1 세라믹 메탈할라이드 램프  
Fig. 1 Ceramic Metal-Halide Lamp

방전관 온도의 증가가 서서히 증가함에 따라 메탈할라이드의 용해와 증발이 시작하게 되고 메탈할라이드 증기는 열원인 전극을 시작으로 아크 튜브의 중심부로 이동하면서 금속과 할로젠 원자로 분리된다. 금속원자는 전자와의 충돌에 의해 빛을 방출함으로써 아크를 형성하게 된다. 즉, 글로우-아크(glow-to-arc)과도상태에 이르게 되고 급격한 전압의 증가와 함께 전력이 증가하게 된다. 그 후 금속과 할로젠 원자는 냉점에서 다시 재결합하고 이러한 반응의 반복으로 램프는 일정한 전류에 의하여 구동되어지고 저항과 같은 특성을 가지고 동작하는 아크(thermal arc)상태 후 열적 평형을 이루게 되어 안정화 상태가 된다. 하지만 충분한 이그니션 전압, 전류가 공급되지 않는다면 방전관내의 전자가 기체분자와 충돌하는 기회가 적고, 전자사태가 성장하기 어렵게 되어 글로우 방전상태의 지속시간이 길어지게 된다[3]. 한 예로 자기식 안정기를 구동하였을 경우 아크 방전으로 넘어가기 위해 약 300초 시간이 필요하고 그 이후 안정화 상태에 이르렀다. 하지만 전자식 안정기를 사용하여 구동시켰을 경우 방전관내의 기체에 대한 충분한 절연파괴전압과 전류가 공급되어 자기식 안정기에 비해 약 200초 후 아크 방전상태에 이르게 되고, 그 이후 안정화 상태에 이르렀고, 전기적 광학적 특성자체가 더 좋아졌다. 이러한 방전특성은 점등 직후 램프의 전압, 전류, 전력 파형의 변화를 통한 초기 특성을 통하여 구간별로 확인할 수 있다.

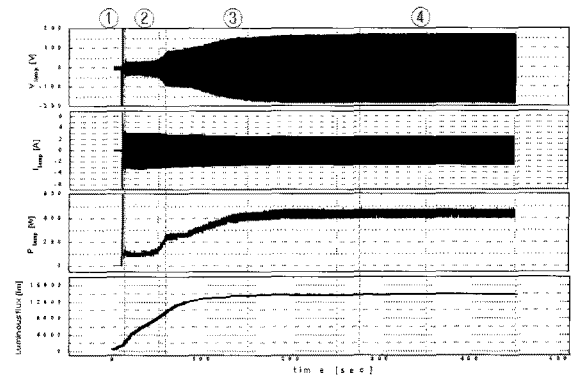


(a) 60[Hz] 자기식 안정기에 의한 방전현상

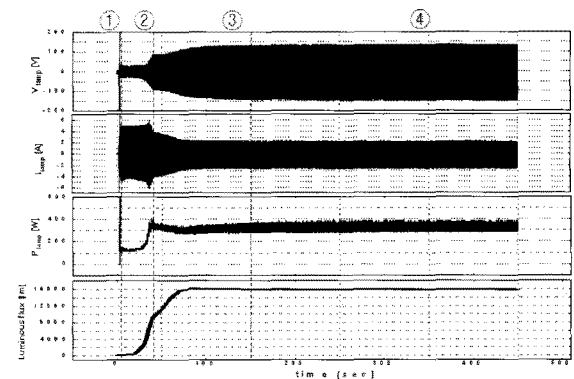


(b) 21[kHz] 전자식 안정기에 의한 방전현상

그림 2 구동방법에 따른 방전현상  
Fig. 2 Discharge Phenomena with Operating Property



(a) 자기식 안정기



(b) 전자식 안정기

① ignition & glow ② glow-to-arc ③ thermal arc ④ thermal equilibrium

그림 3 구동방법에 따른 전기적 광학적 특성  
Fig. 3 Electrical and Optical Characteristics with Operating Property

## 2.2 음향공명현상 및 인버터 설계

### 2.2.1 음향공명 현상

램프의 점등 시 전극에 에너지가 전달되고 방전관의 온도 증가에 따라 내부의 가스의 압력변화가 일어나게 된다. 주기적인 압력변화가 방전관 내벽에 반사되어 정재파가 발생

되는 현상이 고유진동주파수이며 고유진동주파수가 전원주파수와 일치될 때 음향공명 현상이 발생한다[5][6]. 음향공명 현상이 발생하면 방전관내의 아크가 불안정하게 되어 플리커(flicker)현상이 나타나며, 심한 경우 방전관이 파괴된다.

2.2.2 음향공명 회피 방법

음향공명 현상을 회피하기 위하여 전자식 안정기의 구동주파수는 크게 다음 세 가지로 나뉜다. 첫 번째 저주파(50~250[Hz])의 구형파 구동방식으로 현재로서는 가장 안정된 방법으로 평가되고 있다. 하지만 고주파 구동방식에 비해 광효율이 감소하고 안정기의 소형화에 불리하며 램프의 이그니션을 위한 점등회로(이그나이터)가 별도로 필요한 단점이 있다. 두 번째 수 백 [kHz] 이하 주파수 대역에서 음향공명을 회피하는 주파수를 산출하여 구동 시키는 방법이다. 세 번째 수 백 [kHz] 이상의 고주파수로 구동하는 방법이 있다. 하지만 고주파 제어를 위한 스위칭 손실로 인해 안정기의 효율 저하 및 EMI 문제가 증가되는 단점이 있다[7][8].

따라서 본 논문에서는 음향공명현상을 회피하고, 스위칭 손실을 최소화 하는 주파수 대역을 가지는 이그나이터가 별도로 필요하지 않은 Half-bridge LCC공진형 전자식 안정기를 설계하여 PSpice 시뮬레이션을 하였다.

2.2.3 음향공명 주파수 대역

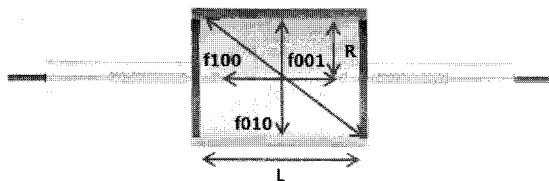


그림 4 세라믹 원통형 방전관  
Fig. 4 Spherical Ceramic Arc Tube

실험에 사용된 세라믹 메탈헬라이드 램프의 방전관 형태는 그림 4에서 보는바와 같이 원통형으로서 내부의 고유주파수는 기본적으로 방전관의 길이방향(longitudinal : f001)과 반지름의 방사방향(radial : f010), 방전관의 사선방향(azimuthal : f100)으로 존재하게 되며 다음과 같은 식을 이용하여 방전관내의 음향공명현상이 발생하는 주파수를 예측할 수 있다.

방전관 내의 기체 압력의 파동 방정식은 식 (1)과 같다[3].

$$\Delta^2 p = \frac{1}{C^2} \frac{\sigma^2 p}{\sigma t^2} \tag{1}$$

여기서, p 는 관내의 압력이고 c 는 관내의 음속으로 이론적 가스 내 음속은 단원자 정압비열 Cp, 단원자 정적비열 Cv 및 관내기체의 몰 질량 Mg, 몰 기체 상수 Rg, 절대온도 T 에 의하여 식 (2)와 같이 주어진다.

$$C = \left( \frac{C_p R_g T}{C_v M_g} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

방전관의 길이방향의 각주파수(longitudinal angular frequency)는

$$\omega_z = \left( \frac{\pi n_z C}{L} \right) \tag{3}$$

여기서 nz = 0,1,2,3,....

교차 각주파수(transverse angular frequency)는

$$\omega_r = \left( \frac{\pi \alpha_{mm} C}{R} \right) \tag{4}$$

위 두 식을 조합하면, 원통형 방전관에 대한 파동 방정식과 관내 가스의 관벽 충돌시 속도가 0이라는 경계 조건으로부터 고유 음향공명주파수는 다음 식(5)와 같이 주어진다.

$$f_{mnn_r} = \frac{C}{2} \sqrt{\left( \frac{n_z}{L} \right)^2 + \left( \frac{\alpha_{mm}}{R} \right)^2} \tag{5}$$

여기서 m, n, nz = 0,1,2,3,....

L 과 R 은 각각 아크 길이와 방전관의 반경이다.

$\alpha_{mn}$ 은  $\frac{dJ_m(\pi\alpha)}{d\alpha} = 0$ 의 해이며,  $J_m$ 은 베셀함수이다.

세라믹 메탈헬라이드 램프의 방전관의 형태는 원통형으로서 내부의 고유주파수는 기본적으로 방전관의 길이방향(longitudinal : f001)과 반지름의 방사방향(radial : f010), 방전관의 사선방향(azimuthal : f100)으로 존재하게 된다. 방전관의 길이방향의 기본 공명 주파수는 식 (6)과 같다.

$$f_{001} = \frac{C_s}{2L} \tag{6}$$

여기서 L은 방전관의 전극사이에 형성 되는 아크의 길이이고, Cs는 방전관내의 음향 속도로서 500[m/s]으로 가정한다. 방전관의 반지름 방사 방향의 공명 주파수는 식(7)과 같다.

$$f_{010} = \frac{3.83 C_s}{2\pi R} \tag{7}$$

여기서 R은 방전관의 반지름이다. 방전관의 사선방향의 공명 주파수는 식(2-8)과 같다.

$$f_{100} = \frac{1.84 C_s}{2\pi R} \tag{8}$$

다음 식(6~8)을 이용하여 세라믹 메탈헬라이드 램프의 음향공명이 발생하는 기본주파수 대역을 부고조파는 1/2, 1/4, 1/6까지 고조파는 2,3차까지 고려하여 그림 5과 같은 결과를 얻었다. 이때 방전관 전극사이에 형성되는 아크의 길이 L은 9[mm]이고, 방전관의 반지름 R은 4.5[mm] 이다.

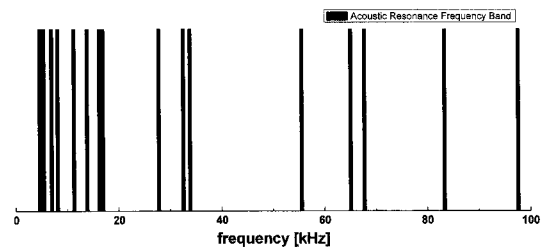


그림 5 음향공명 주파수 대역  
Fig. 5 Acoustic Resonance Frequency Band

주파수 산출결과 17~28[kHz] 까지 음향공명을 회피하는 가장 낮은 주파수 대역이었다. 본 실험에서 사용된 전자식 안정기는 이러한 주파수 회피대역의 이론적인 산출을 통하여 동작주파수 21[kHz]로 동작하도록 설계 하였다.

2.2.4 L, Cs, Cp 소자 값

표 1 L, Cs, Cp를 구하기 위한 인버터 설계 시 조건

Table 1 The design condition of inverter for calculation L, Cs, Cp

Vdc	400	Vig[V]	3k
Vin[V]	180.08	Rz[Ω]	30k
Rmin[Ω]	30	RL[Ω]	50
Rmax[Ω]	200	f[Hz]	21k
Pmax[W]	160	f0[Hz]	7k
Pmin[W]	50	fig[Hz]	73.5k

Half-Bridge 회로에서 공급되는 기본파의 실효치인 입력 전압(Vin)은 식 (9)에 의해 계산할 수 있으며, 램프의 점등 전 양 전극 사이의 저항 Rz는 무한대에 가까운 매우 큰 값으로서 임의로 30[kΩ]으로, 이때의 전극사이의 절연과피를 시키기 위한 이그니션 전압은 3[kV]로 가정하였다.

$$V_{input} = \frac{2V_{dc}}{\sqrt{2}\pi} \tag{9}$$

램프의 점등 후 아크를 유지하기 위한 최대전력과 최소전력은 기존의 메탈헬라이드 램프의 데이터를 참고하여 임의로 설정하였으며, 구동주파수는 음향공명을 회피하기 위한 21[kHz]로 설정하고, 이때의 공진주파수는 구동 주파수의 1/3배로 설정하였다. 표 1의 결과에 따라 L, Cs, Cp값은 최적의 값은 표 2와 같다.

표 2 L, Cs, Cp 값

Table 2 L, Cs, Cp Values

Frequency(kHz)	L	Cs	Cp
21	0.854[mH]	0.615[μF]	5.54[nF]

2.3 실험방법 및 조건

2.3.1 전자식 안정기 설계를 위한 시뮬레이션

전자식 안정기를 설계하기 위해 음향공명을 회피하기 위한 주파수대역을 산출하고, 결정된 구동 주파수로 동작하기 위한 LCC공진형 인버터의 소자값을 결정한 후 회로를 구성하여 점등 전과 점등 후 전압이득 특성 및 전압, 전류 파형을 시뮬레이션 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 초기 특성 변화

3.1.1. 점등 전 · 후 램프의 전압이득 시뮬레이션 결과

공진회로의 Soft Start-up 시퀀스에 따른 주파수와 출력 전압/전류이득을 확인하기 위하여 표 1의 값을 기준으로 L 값을 가변하여 그림 6과 같이 회로를 구성하여 PSpice로 시뮬레이션을 실행하였다.

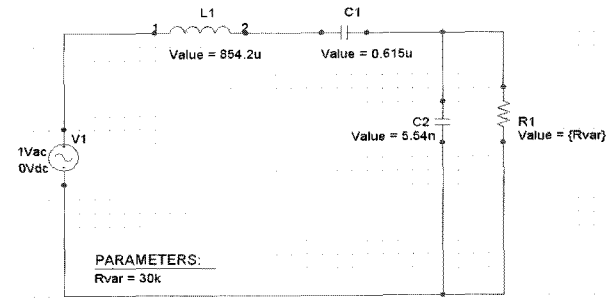


그림 6 주파수별 전압이득 시뮬레이션 회로

Fig. 6 The simulation circuit of voltage gain with frequency

점등 전 이그니션 전압이득에 대한 시뮬레이션 결과 그림 7에서 보는바와 같이 73.5[kHz]의 공진점에서 입력 전압의 60배 이상의 이득을 얻을 수 있었다.

점등 후 동작 전압이득에 대한 시뮬레이션 결과 그림 8에서 보는바와 같이 7[kHz]의 공진점에서 이득값 1을 가지고, 동작주파수 21[kHz]에서의 전압이득 값은 0.52로서 출력전압은 입력전압[Vin]의 0.5배인 약 90[V]의 출력전압을 얻었다.

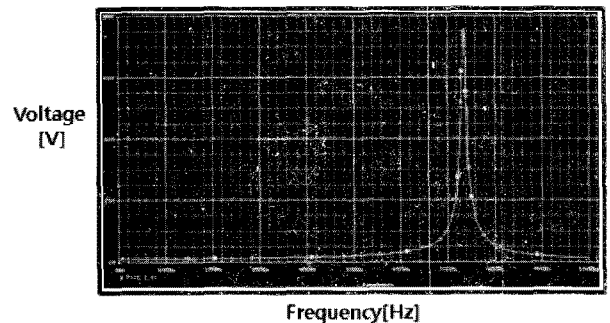


그림 7 점등 전 램프의 전압이득

Fig. 7 The voltage gain of lamp before discharge

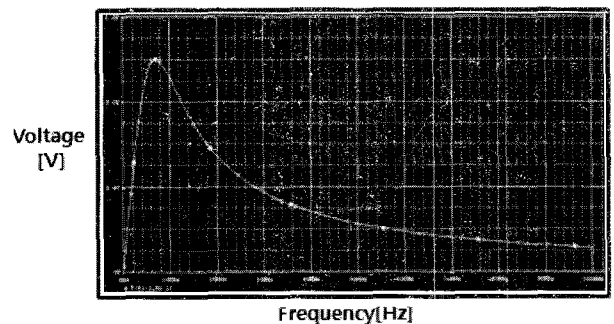


그림 8 점등 후 램프의 전압이득

Fig. 8 The voltage gain of lamp after discharge

3.1.2. 점등 전 · 후 전압 및 전류 파형 시뮬레이션

표 1의 값을 기준으로 그림 9와 같이 회로를 구성하여 PSpice로 시뮬레이션을 실행하였다. 초기 램프의 양전극 사이의 저항을 매우 큰 30[kΩ]으로 설정하고, 점등 전의 공진점인 73[kHz]에서의 전압을 파형을 시뮬레이션한 결과 충분히 램프를 이그니션 시킬 수 있는 3[kV] 이상의 전압을 얻

을 수 있었다. 이때의 전류는 램프의 방전 전으로 가정하였기 때문에 수[uA]로 흐르지 않는 것으로 간주한다. 정상상태에서 램프의 양전극 사이의 저항을 매우 큰 60[Ω]으로 설정하고, 점등 후의 동작주파수인 21kHz에서의 전압을 파형을 시뮬레이션한 결과 그림 10, 11과 같이 약 140[V]의 피크치 전압과 2.2[A]의 피크치 전류를 얻을 수 있었다. 이러한 결과들은 이상적인 조건에서 만족함으로 실제 구동 시 파형은 손실에 따른 전압, 전류의 파형 및 값이 나타날 것으로 사료된다.

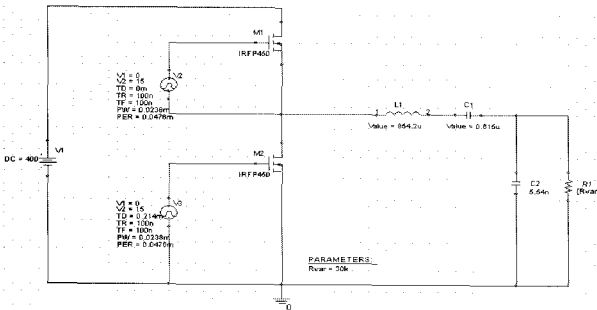
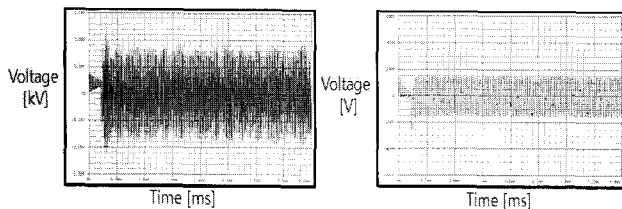
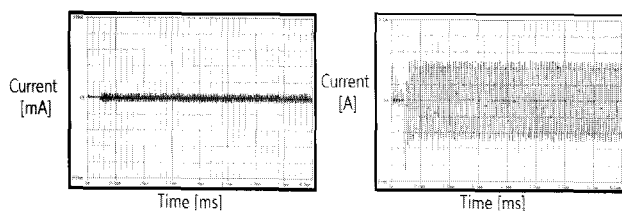


그림 9 LCC 공진형 인버터의 시뮬레이션 회로  
Fig. 9 The simulation circuit of LCC resonance inverter



(a) 점등전 전압파형 (b) 점등후 전압파형

그림 10 점등 전/후 램프의 전압 파형  
Fig. 10 The voltage waveform of lamp before / after discharge



(a) 점등전 전류파형 (b) 점등후 전류파형

그림 11 점등 전/후 램프의 전류 파형  
Fig. 11 The Current waveform of lamp before / after discharge

### 3. 결 론

본 논문은 전자식 안정기를 설계하기 위해 음향공명을 회피하기 위한 주파수대역을 산출하여 21[kHz]의 구동 주파수를 결정하였다. 60[Hz]의 자기식 안정기와 21[kHz]의 전자식 안정기의 방전현상과 전기적 광학적 특성을 분석함에 따

라 주파수에 따라 글로우에서 아크 방전 단계로 변화하는 시간 및 램프의 주파수가 아크형성에 영향을 끼치고 있다는 것을 확인함으로써 구동주파수 선정시 전자식 안정기를 설계할 때 최우선적으로 고려하였다. 이에 따라 결정된 구동 주파수로 동작하기 위한 LCC공진형 인버터의 소자값을  $L = 0.854[mH]$ ,  $C_s = 0.615[uF]$ ,  $C_p = 5.54[nF]$ 로 설계 하였으며 이를 통해 램프를 동작시킬 수 있는 약 3[kV]의 이그니션 전압과 93V의 정상상태의 동작 전압 특성의 안정기를 설계할 수 있었다. 이에 따라 결정된 구동 주파수로 동작하기 위한 LCC공진형 인버터의 소자값을 결정한 후 회로를 구성하여 점등 전과 점등 후 전압이득 특성 및 전압, 전류 파형을 시뮬레이션 한 결과 점등 전에 약 73[kHz]에서 이그니션을 할 수 있는 충분한 이득 값을 얻을 수 있었으며, 73[kHz]에서의 전압 파형을 시뮬레이션한 결과 충분히 램프를 이그니션 시킬 수 있는 약 3[kV]의 이그니션 전압을 얻을 수 있었다.

### 3. 결 론

본 논문은 전자식 안정기를 설계하기 위해 음향공명을 회피하기 위한 주파수대역을 산출하여 21[kHz]의 구동 주파수를 결정하였다. 60[Hz]의 자기식 안정기와 21[kHz]의 전자식 안정기의 방전현상과 전기적 광학적 특성을 분석함에 따라 주파수에 따라 글로우에서 아크 방전 단계로 변화하는 시간 및 램프의 주파수가 아크형성에 영향을 끼치고 있다는 것을 확인함으로써 구동주파수 선정시 전자식 안정기를 설계할 때 최우선적으로 고려하였다. 이에 따라 결정된 구동 주파수로 동작하기 위한 LCC공진형 인버터의 소자값을  $L = 0.854[mH]$ ,  $C_s = 0.615[uF]$ ,  $C_p = 5.54[nF]$ 로 설계 하였으며 이를 통해 램프를 동작시킬 수 있는 약 3[kV]의 이그니션 전압과 93V의 정상상태의 동작 전압 특성의 안정기를 설계할 수 있었다. 이에 따라 결정된 구동 주파수로 동작하기 위한 LCC공진형 인버터의 소자값을 결정한 후 회로를 구성하여 점등 전과 점등 후 전압이득 특성 및 전압, 전류 파형을 시뮬레이션 한 결과 점등 전에 약 73[kHz]에서 이그니션을 할 수 있는 충분한 이득 값을 얻을 수 있었으며, 73[kHz]에서의 전압 파형을 시뮬레이션한 결과 충분히 램프를 이그니션 시킬 수 있는 약 3[kV]의 이그니션 전압을 얻을 수 있었다.

### 감사의 글

본 논문은 에너지 관리 공단에서 시행한 에너지·자원기술개발 사업인 “고효율 콤팩트 메탈헬라이드 Single-ended type 광원 시스템 개발”과 “고압방전 램프용 전자식 안정기 기초 설계 및 특성 분석”의 지원을 받아 이루어진 논문입니다.

### 참 고 문 헌

[1] Dongyan Zhang, Weiping Zhang, Yuanchao Liu, Xuesun Zhao "Design of LCC Resonant Inverter for

- Metal Halide Lamp Ballast" Power Electronics and Motion Control Conference, vol. 3, pp.1558-1562, 2004.
- [2] 이인규, "MHD 램프용 전자식 안정기의 분석과 설계" 서울대학교 대학원, 석사학위논문, 2007
- [3] Wei Yan and S.Y.R Hui, "Ageing Effects on the Stability Performance of Small Wattage Metal-Halide(MH) Lamps", Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '04, Nineteenth Annual IEEE, 2004
- [4] 박종연 . 장목순 . 임병노 "HID 램프를 위한 전자식 안정기의 LCC공진 인버터의 최적 설계" 대한전기학회 논문지, vol. 56, No. 3, pp.531-537, 2007
- [5] Marco Antônio Dalla Costa, J. Marcos Alonso, Jorge García, Jesús Cardesín, and Manuel Rico-Secades, "Acoustic Resonance Characterization of Low-Wattage Metal-Halide Lamps Under Low-Frequency Square-Waveform Operation", IEEE transactions on power electronics, vol. 22, No. 3, may 2007.
- [6] 김남군, 양종경, 이주호, 장혁진, 박대희 "세라믹 메탈 할라이드 램프의 전자식 안정기 구동을 통한 전기적 광학적 특성에 관한 연구" 대한전기학회 논문지, vol. 57, No. 12, pp.2238-2243, 2008
- [7] Wei. Yan, Ho. Y.K.E, Hui. S.Y.R, "Investigation on Methods of Eliminating Acoustic Resonance in Small Wattage High-Intensity-Discharge (HID) Lamps" IEEE Industry Applications Conference, vol. 5, pp.3399-3406, 2000.
- [8] S. Wada, A. Okada, and S. Morii, "'Study of HID lamps with reduced acoustic resonances,'" J. Illum Eng. Soc., pp.162-175, Winter 1987.
- [9] Mucklejohn S.A, Preston B., "Developments in Low Wattage High Intensity Discharge Lamps", IEEE Industry Applications Conference, vol. 5, pp.3326-3329, 2000.
- [10] VAN ERK. W, "Transport processes in metal halide gas discharge lamps" Pure and applied chemistry, vol. 72, No. 11, pp.2159-2166, 2000.
- [11] EC Guest HND, MHGirach BSc, SA Mucklejohn BSc PhD MRSC CChem and U Rast HTL, "Effects of dimming 150W ceramic metal halide lamps on efficacy, reliability and lifetime", Lighting Reseach & Technology. vol. 40, No. 4, pp.333-346, 2008
- [12] KF. Kwok, K W. Eric Cheng, Dong Ping, "General study for design the HID ballasts", 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 2006

## 저 자 소 개



### 장혁진 (張赫晉)

1980년 5월 8일생. 2005년 8월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2008년 현재 원광대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정  
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890  
E-mail : jdk011@naver.com



### 김남군 (金南君)

1981년 7월 21일생. 2007년 2월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2009년 현재 (주)이텍 부설연구소 연구원  
Tel : 063-536-7984, Fax : 063-536-7985  
E-mail : kng3402@naver.com



### 양종경 (梁種璟)

1980년 1월 13일생. 2001년 8월 원광대학교 공대 전기전자공학부 제어계측 졸업. 2006년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 박사과정  
Tel : 063-850-7023, Fax : 063-850-7022  
E-mail : duck2214@wonkwang.ac.kr



### 이종찬 (李鐘燦)

1972년 8월 13일생. 1997년 원광대 공대 전자공학과 졸업. 1999년 동대 대학원 전자재료 공학과 졸업(석사). 2003년 동대 대학원 졸업(공학박사). 2003년~2004년 UTD univ. Post-Doc. 2004년~2005 Ehime univ. Post-Doc. 2005년~현재 금호전기(주) 부설연구소 책임연구원  
Tel : 031-329-7740, Fax : 031-329-7705  
E-mail : chaos@kumho.khe.co.kr



### 박대희 (朴大熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공학박사). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수. 2004년~현재 원광대학교 전기융합신기술 연구센터장, 2009년 현재 원광대학교 공과대학 학장  
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890  
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr