

# 세라믹 메탈할라이드 램프의 전자식 안정기 구동을 통한 전기적 광학적 특성에 관한 연구

論 文

57-12-17

## Electrical and Optical Characteristics of Ceramic Metal Halide Lamp with Operating Electronic Ballast

金南君<sup>†</sup> · 梁種璟<sup>\*</sup> · 李主煥<sup>\*\*</sup> · 張赫晉<sup>\*\*</sup> · 朴大熙<sup>\*\*\*</sup>

(Nam-Goon Kim · Jong-Kyung Yang · Joo-Hoo Lee · Hyeok-Jin Jang · Dae-Hee Park)

**Abstract** - The use of arc tubes made of ceramic material further enhanced some of the metal halide lamp's properties. These properties translate into higher efficacy with better color rendering, stable color through lamp long life. Recently, due to an increase in the application of the ceramic metal-halide lamp, the study for the property etc. according to Ballast's driving scheme and the study for arc tube material, optimization of gas and so on are being proceeded to improve the property of the lamp. Especially, to control ceramic metal-halide lamp, the vigorous study and practical use with respect to Electronic Ballast, which has been improved in the disadvantages of the conventional Magnetic Ballast are made. In this paper, Electrical, optical and thermal characteristics are analyzed by comparing magnetic ballast with electronic ballast.

**Key Words** : Ceramic metalhalide lamp, Magnetic ballast, Electronic ballast, Acoustic resonance

### 1. 서 론

HID램프의 세라믹 방전관은 1960년 초 고압나트륨(HPS : High Pressure Sodium)램프의 개발과 상업화로 처음으로 소개 되었고, 높은 연색성, 고효율과 장수명의 램프를 생산하기 위해 20년 후 점차적인 세라믹 기술 개발을 통하여 고압나트륨 램프의 광속과 연색성을 개선하였다[1]. 이러한 고압나트륨의 개선을 위한 연구와 동시에 석영 메탈할라이드(QMH : Quartz Metalhalide)램프는 상당한 개발을 이룬다. 하지만 방전관의 낮은 최대동작온도에 의한 나쁜 색 균일성과 방전관과의 화학적 반응에 의한 나트륨손실, 색온도 변화 및 고압나트륨 램프에 비해 짧은 수명 등과 같은 몇 가지 제한요소를 포함하고 있다[2]. 석영 메탈할라이드 램프의 개선을 위하여 기존의 메탈할라이드의 화학적 조성고압나트륨램프의 방전관 기술을 접목하여 개념적인 방향을 제시하였고, 세라믹 방전관의 메탈할라이드 램프가 개발 되었다. 세라믹 방전관은 기존의 석영 방전관과 비교하여 높은 구동 온도, 나트륨에 대한 낮은 화학반응성, 다양한 면적 컨트롤이 가능한 장점을 가진다. 그래서 연색성과 효율이 높고 나트륨 손실을 줄임으로서 수명기간동안 안정적인 색을 유지한다. 또한 색온도 변화를 감소시키고, 램프의 전기적 특성

제어를 개선 할 수 있다[3]. 최근 이러한 세라믹 메탈할라이드 램프의 적용이 증가함에 따라 램프의 특성을개선 하기 위하여 방전관재료, 가스 및 메탈할라이드의 최적화 등의 연구와 더불어 안정기의 구동방식에 따른 특성 등 다양한 요소에서 연구가 진행되고 있다[4]. 특히 세라믹 메탈할라이드 램프의 제어를 위하여 종래의 자기식 안정기(Magnetic Ballast)의 단점을 개선한 전자식 안정기(Electronic Ballast)에 대한 활발한 연구와 실용화가 이루어지고 있다. 기존의 자기식 안정기는 대부분 전류를 제한해 주는 직렬 인덕터와 무효전력을 보상해주는 커패시터를 사용한 수동소자와 별도의 이그나이티터로 구성되어 있고, 저주파에서 구동하므로 발광효율이 낮고, 부피와 중량이 큰 단점이 있다. 반면 전자식 안정기는 자기식 안정기에 비해 짧은 글로우 구간으로 인해 램프의 수명이 연장되고, 제품의 소형, 경량화와 플리커 및 험 잡음이 제거되었으며, 효율 및 역률 개선을 통한 에너지 절감효과를 가지고 있다. 하지만 현재 고주파 제어에 의한 음향공명 현상이 중요한 개선 사항으로 요구되어지고 있다[5-6]. 본 논문은 세라믹 방전관 개발에 따른 세라믹 메탈할라이드 램프의 시스템 특성 개선을 위하여 전자식 안정기 구동 시 나타나는 전기적신호와 광학적 특성, 열적특성을 기존의 자기식 안정기와 비교분석하였다.

### 2. 이론 및 실험방법

#### 2.1 세라믹 메탈할라이드 램프의 방전 특성

세라믹 메탈할라이드(single-ended type: 4000K NDL)램프는 방전관의 재질을 기존 석영에서 세라믹으로 대체한 것으로 그림 1과 같은 구조로 이루어져 있다.

<sup>†</sup> 교신저자, 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 碩士課程  
E-mail : kng3402@naver.com

<sup>\*</sup> 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 博士課程

<sup>\*\*</sup> 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 碩士課程

<sup>\*\*\*</sup> 正 會 員 : 圓光大學校 電氣電子및情報工學部 教授 · 工博  
接受日字 : 2008年 10月 16日  
最終完了 : 2008年 11月 4日

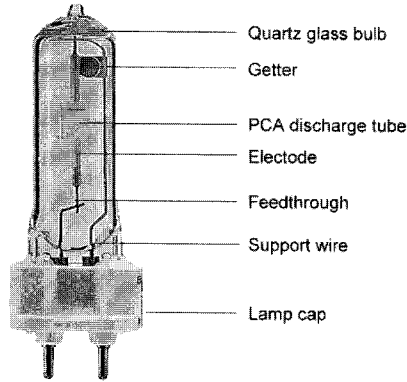


그림 1 세라믹 메탈할라이드 램프  
Fig. 1 Ceramic metalhalide Lamp

세라믹 메탈할라이드 램프의 초기 방전과정은 두 전극 사이에 높은 이그니션(ignition)전압 인가를 통하여 버퍼 가스의 절연파괴가 일어난 후 수  $\mu\text{s}$ 의 글로우 방전이 시작된다. 방전관 온도의 증가와 함께 메탈할라이드의 용해와 증발이 시작됨에 따라 메탈할라이드 증기는 아크의 중심부로 이동하여 금속과 할로겐 원자로 분리되고, 금속원자는 전자와의 충돌에 의해 빛을 방출하게 된다. 즉, 글로우-아크(glow-to-arc)과도상태에 이르게 되고 급격한 전압의 증가와 함께 전력이 증가하게 된다. 그 후 금속과 할로겐 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. 이러한 방전특성은 점등 직후 램프의 전압, 전류, 전력 파형의 변화를 통한 초기 특성을 통하여 구간별로 확인할 수 있다[7-8].

## 2.2 음향공명현상 및 주파수 대역

### 2.2.1 음향공명 현상

메탈할라이드 램프의 점등 시 전극에 에너지가 전달되고 방전관의 온도증가에 따라 내부의 가스의 압력변화가 일어나게 된다. 주기적인 압력변화가 방전관 내벽에 반사되어 정재파가 발생하는 현상이 고유진동주파수이며 고유진동주파수가 전원주파수와 일치될 때 음향공명 현상이 발생한다.[9] 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 구동 주파수는 크게 다음 세 가지로 나뉜다. 첫 번째 저주파(50~250Hz)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[5-6][10][11]. 따라서 본 논문에서는 음향공명현상을 회피하고, 스위칭 손실을 최소화 하는 주파수 대역을 가지는 이그나이터가 별도로 필요하지 않은 공진형 전자식 안정기를 사용하였다.

### 2.1.3 음향공명 주파수 대역

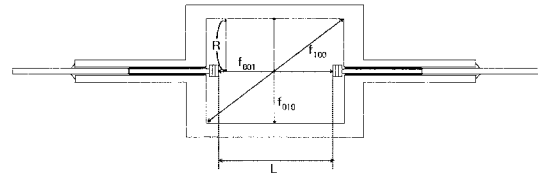


그림 2 세라믹 원통형 방전관  
Fig. 2 cylindrical ceramic arc tube

실험에 사용된 세라믹 메탈할라이드 램프의 방전관의 형태는 그림 2에 보는바와 같이 원통형으로서 내부의 고유주파수는 기본적으로 방전관의 길이방향(longitudinal :  $f_{001}$ )과 반지름의 방사방향(radial :  $f_{010}$ ), 방전관의 사선방향(azimuthal :  $f_{100}$ )으로 존재하게 된다[12][13]. 방전관의 길이방향의 기본 공명 주파수는 식 (1)과 같다.

$$f_{001} = \frac{C_s}{2L} \tag{1}$$

여기서 L은 방전관의 전극사이에 형성 되는 아크의 길이이고,  $C_s$ 는 방전관내의 음향 속도로서 500m/s으로 가정한다. 방전관의 반지름 방사 방향의 공명 주파수는 식(2)와 같다.

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

여기서 R은 방전관의 반지름이다. 방전관의 사선방향의 공명 주파수는 식(3)과 같다.

$$f_{100} = \frac{1.84 C_s}{2\pi R} \tag{3}$$

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

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

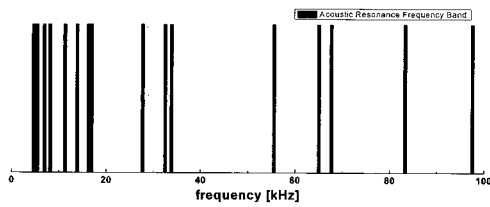


그림 3 음향공명 주파수 대역  
Fig. 3 Acoustic Resonance Frequency Band

2.3 실험 방법

본 실험에서는 세라믹 메탈할라이드의 구동방식에 따른 이러한 초기 특성을 알아보기 위하여 자기식 안정기와 전자식 안정기 각각 사용하여 램프를 구동 시켰다. 이때의 전기적, 광학적 특성을 알아보기 위하여 다음 그림 4(a)와 같이 실험 장치를 구성하였다. 광학적 특성은 Everlight 사의 광학측정 시스템을 사용하여 광속의 변화를 측정하였고, 전기적 특성은 Tektronix사의 오실로스코프를 사용하여 시간에 따른 전압, 전류파형 및 전력분석을 통하여 측정 하였다. 또한 이러한 전기, 광학적 특성과 방전관의 시간에 따른 온도 변화를 비교하기 위하여 그림 4(b)와 같이 IRISYS 열화상 카메라를 이용하여 부위별 온도를 측정하였다.

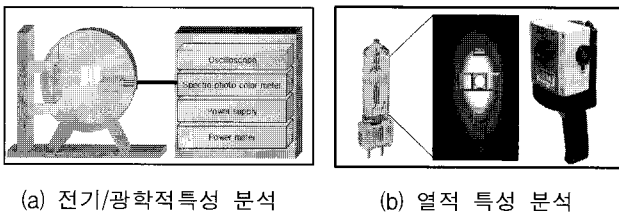


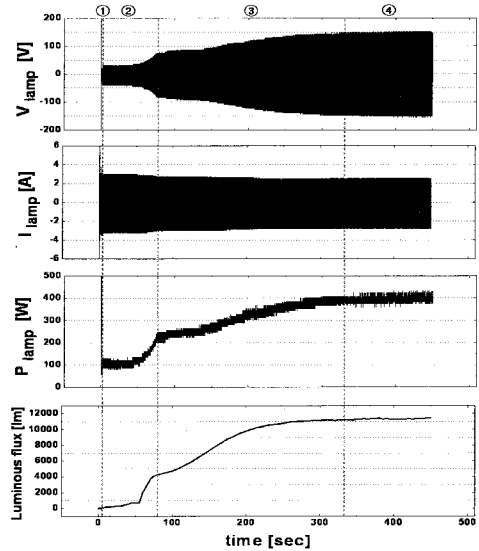
그림 4 실험 개략도  
Fig. 4 Experiment Diagram

3. 결과 및 고찰

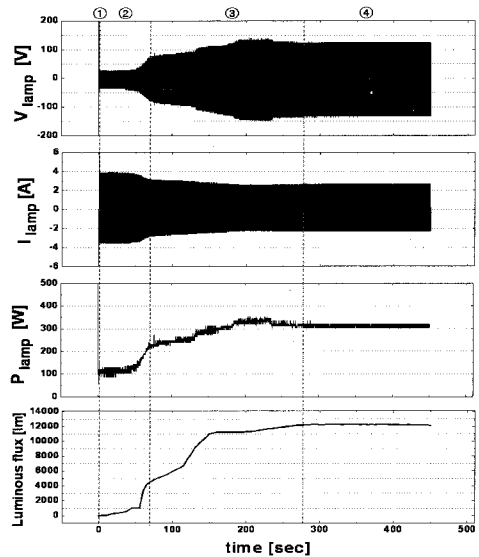
세라믹 메탈할라이드 램프의 전자식 안정기 구동에 따른 특성을 알아보기 위하여 기존 자기식 안정기로 구동 시켰을 경우의 전압, 전류, 전력파형의 초기특성을 방전현상과 비교 분석하였다. 그림 5(a)는 60Hz 자기식 안정기로 구동 시 초기특성이고 그림 5(b)는 동작주파수가 21kHz인 전자식 안정기 구동 시 초기특성 이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 파형의 변화에 따른 방전현상은 ① 이그니션(ignition)과 글로우(glow) ② 글로우-아크(glow-to-arc) ③ 아크(thermal arc) ④ 안정화(thermal equilibrium)영역으로 나타낼 수 있다.

자기식 안정기를 사용하여 구동하였을 경우 초기 이그니션(ignition)과 글로우(glow)상태 이후 글로우-아크(glow-to-arc)영역으로서 급격히 전압이 상승하고, 전류가 감소하고 약 330초 후 아크(thermal arc)상태에서 계속 전압 상승, 전류감소 후 안정화 상태에 이르게 된다.



(a) 자기식 안정기



(b) 전자식 안정기

그림 5 전압, 전류, 전력 파형 및 광속변화  
Fig. 5 Voltage, Current, Wattage waveform and luminous flux

전자식 안정기를 사용하여 구동시켰을 경우 자기식 안정기와 마찬가지로 초기 이그니션(ignition)과 글로우(glow)상태 이후 글로우-아크(glow-to-arc)영역으로서 급격히 전압이 상승하고, 전류가 감소하고 약 280초 후 아크(thermal arc)상태에서 계속 전압상승, 전류감소 후 안정화 상태에 이르게 된다. 두개의 파형을 비교 한 결과 전자식 안정기를 통해 기존의 자기식 안정기 보다 초기 변화특성 시간을 줄이고 전기적 특성뿐만 아니라 광속도 빠른 시간 내에 안정화 상태에 도달하는 것을 알 수 있다.

그림 6(a)은 자기식 안정기 동작 시 안정화 후 램프의 전압전류 파형이다. 사인파의 전류가 제로에 접근할 때 저주파로 동작하기 때문에 플라즈마 온도 감소에 따라 전극의 온도가 떨어짐으로 전자와 이온화된 원자의 재결합에 의하여

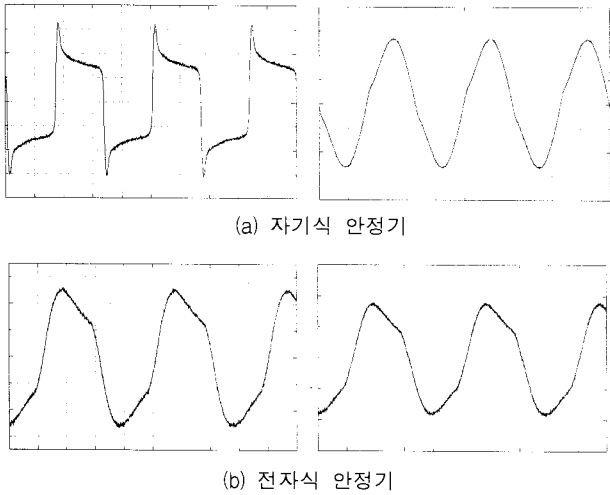


그림 6 램프의 전압, 전류 파형 (50V/div, 1A/div 21kHz)  
 Fig. 6 Lamp voltage and current waveform (50V/div, 1A/div 21kHz)

컨덕턴스가 감소하게 된다. 그 결과 재점등(re-strike)을 위한 전압이 필요로 하게 되고, 이로 인한 전력손실은 안정기의 효율을 저하시킨다. 하지만 kHz의 주파수로 동작하면 전압, 전류의 파형의 상승, 하강 시간이 다르기 때문에 그림 6(b)에 보는바와 같이 재점등을 위한 전압이 필요하지 않고 사인파로 동작함으로써 효율을 높일 수 있다. 이러한 특성에 따른 자기식 안정기와 전자식안정기의 입·출력특성 및 역률, 효율, 광속, 광 효율을 측정된 결과 표 1과 같다. 전자식 안정기로 구동 시 자기식 안정기 보다 역률 및 효율 개선됨에 따라 램프에 인가되는 유효전력의 증가하였고, 이에 따라 광속이 증가하여 최종적인 광효율이 개선되었다.

표 1 전자식 안정기와 자기식 안정기의 특성비교.

Table 1 comparison between electronic and magnetic ballast

		자기식	전자식
입력	전압(V)	220	220
	전류(A)	0.87	0.71
	주파수(Hz)	60	60
	유효전력	159.6	145.8
	무효전력	105.5	55.9
출력	전압(V)	88.8	85.7
	전류(A)	1.81	1.68
	주파수(Hz)	60	21.3k
	유효전력	136	142.2
	무효전력	83.9	22.31
	역률(PF)	0.834	0.934
	효율( $\eta$ )	0.852	0.975
	광속(lm)	11460	12300
	광 효율(lm/W)	71.80	84.36

전압, 전류, 전력 파형, 광속의 변화와 방전관의 온도를 비교하기 위하여 초기 점등 직후부터 안정화 될 때 까지 방전관 온도를 측정하였다. 메탈할라이드 램프의 각 부분별 온도를 측정하였으며 실제 측정된 램프의 외관에는 아웃 별브가 있으므로 절대적인 값이 아닌 각각의 동작특성에 따른

상대적인 값의 차이만을 확인할 수 있다. 그림 7은 시간에 따른 방전관의 온도변화를 나타내었다. 상용주파수 60Hz 자기식 안정기로 구동 시 방전관 중앙 부분의 온도는 초기 25°C에서 서서히 증가하여 약 310초 후에 230°C에서 안정화 되었으며, 동작주파수가 21kHz인 전자식 안정기 구동 시 방전관 온도는 초기 25°C에서 서서히 증가하여 약 210초 후에 240°C에서 안정화 되었다. 이러한 구동방법에 따른 방전관의 온도 차이를 비교한 결과 전자식 안정기로 구동 시 초기 특성의 변화와 더불어 자기식 안정기 보다 빠르게 온도가 증가함에 따라 발광에 충분한 메탈할라이드의 증발량을 빠른 시간에 내어 얻을 수 있음으로 램프의 안정화가 빠르게 된다.

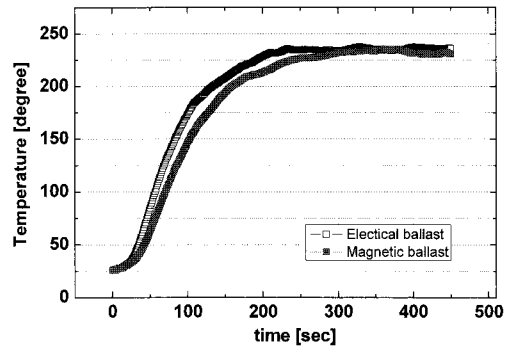
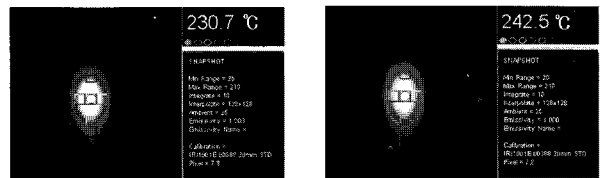


그림 7 방전관의 온도변화  
 Fig. 7 Temperature change of Arc tube



(a) 자기식 안정기 (b) 전자식 안정기

그림 8 안정화 상태에서의 방전관의 온도특성  
 Fig. 8 Temperature of arc tube at steady state

그림 8은 안정화 상태에서의 방전관의 부분별 온도를 측정된 그림이다. 램프 중앙의 온도는 위에서 언급했듯이 전자식 안정기로 구동 시 안정기의 효율 개선을 통해 실제 램프에 인가되는 유효전력이 증가함에 따라 자기식 안정기로

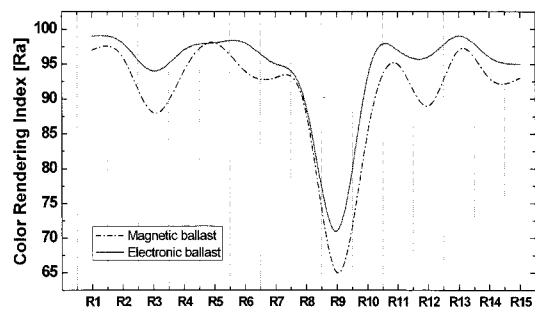


그림 9 연색평가수 특성  
 Fig. 9 Color rendering index

구동 했을 때 보다 약 10°C 정도 높게 나타났고, single-ended type의 세라믹 메탈할라이드 램프의 냉점이 존재하는 하단 부분의 온도도 전자식 안정기로 동작 시 5~7°C 정도 높게 나타났다. 이러한 방전관의 온도의 분포 차이는 봉입 금속의 증기압 변화를 유발하고, 특정 파장대역의 변화에 따라 연색성, 스펙트럼, 광속 등 램프의 광학적 특성에서 차이가 나는 것으로 사료된다.

연색 평가수 R1~R15까지를 측정하여 비교한 결과 그림 9에서 보는바와 같이 전자식 안정기로 구동 시 전체적으로 높고 균일한 특성을 보였다. 증명도, 중채도의 색으로 일반적인 물체색을 대표하는 R1~R8의 평균값인 평균 연색 평가지수(Ra)은 자기식 안정기: Ra=93.5, 전자식 안정기: Ra=96.5로 높았다. 또한 고채도색의 평가 척도를 추가한 R9~R15를 포함할 경우 평균값의 편차가 더 커지게 된다.

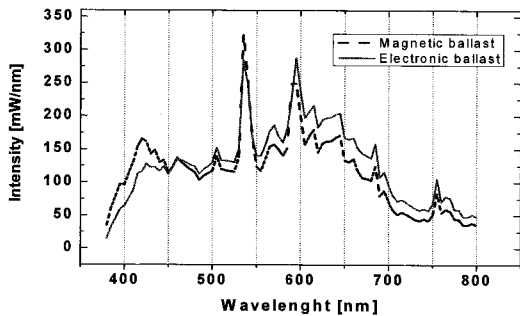
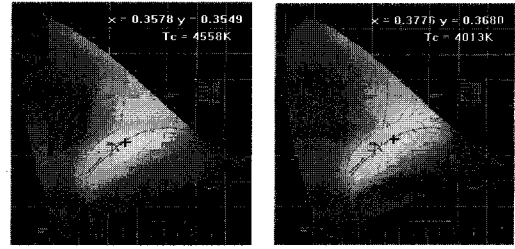


그림 10 스펙트럼 특성  
Fig. 10 Spectrum properties

메탈할라이드 램프는 여러 가지의 금속 할로겐화물이 봉입된 램프이기 때문에 봉입금속의 발광 강도 비율과 램프의 봉입물 양과 증발량에 따라 스펙트럼 분포의 차이를 갖는다. 스펙트럼 분포에서 차이가 발생하게 되는 원인으로는 ①봉입된 할로겐화물의 양과 방전관의 형태에 의존하는 램프 개개의 특성 분포 ②램프 점등방향의 차이 ③점등 과정에서 발생하는 봉입물과 발광관의 상호반응 ④램프전력(램프전압)과 안정기 특성 ⑤전원전압의 변동요인에 의한 입력 전력변화 등이 요인으로 보고되고 있다[14]. 스펙트럼 특성을 분석한 결과 램프의 유효 전력과 안정기구동 특성에 따라 그림 10에 보는바와 같이 전자식 안정기로 구동 시 평균적인 강도가 자기식 안정기로 구동했을 때 보다 높게 나타났고, 자기식 안정기로 구동 시 400nm 대역의 블루 파장 강도가 높은 반면 전자식 안정기로 구동 시 600nm 대역 이상의 레드 파장 강도가 보다 높게 나왔다. 이러한 스펙트럼에서 파장대역의 강도의 차이에 의하여 램프의 색 특성을 변화 시키는 원인이 된다. 다음 그림 11에서 보는바와 같이 C.I.E 색좌표 및 색온도 특성을 보면 전자식 안정기로 구동 시 실험에 사용된 4000K의 색온도를 가지는 세라믹 메탈할라이드 램프의 특성이 제대로 구현 되었으나, 방전관 온도변화에 따른 내부 증기압의 변화로 자기식 안정기 구동 시 C.I.E 색좌표의 이동 및 색온도 특성이 4550K로 변화하였다.



(a) 자기식 안정기 (b) 전자식 안정기

그림 11 C.I.E 색좌표 및 색온도  
Fig. 11 C.I.E color coordination and color temperature

### 3. 결론

본 논문은 세라믹 방전관 개발에 따른 세라믹 메탈할라이드 램프의 전자식 안정기 구동 시 나타나는 전기적신호와 광학적 특성, 열적특성을 기존의 자기식 안정기와 비교분석 하였다. 초기 방전현상을 전압, 전류의 파형의 변화와 비교 분석한 결과 전자식 안정기의 경우 글로우에서 아크 방전 단계로 변화하는 초기특성의 시간을 줄임으로서 전극의 손상을 줄이고, 전기적인 특성과 광속 및 방전관의 온도가 안정화 상태에 빠른 시간 내에 도달하게 된다. 이러한 초기 안정화 시간을 줄임으로서 지속적인 점등 시 램프의 수명특성을 개선할 수 있을 것이다.

표 2 세라믹 메탈할라이드 램프의 최종특성

Table 2 Characteristics of ceramic metalhalide lamp

	광속 (lm)	광효율 (lm/W)	색온도 (K)	연색성	색좌표	
					x	y
자기식	11457	71.80	4558	93.7	0.3578	0.3549
전자식	12297	84.36	4013	96.1	0.3776	0.368

세라믹 메탈할라이드 램프의 최종특성은 표 2에 보는 바와 같이 전자식 안정기로 구동될 시 램프에 인가되는 유효 전력이 크고, 이에 따라 광효율을 개선할 수 있었다. 실험에 사용된 세라믹 메탈할라이드 램프의 광학적 특성은 R1~R15까지의 전체적인 연색성 및 색온도, C.I.E 색좌표 변화에 의해 분석하였다. 자기식 안정기로 구동 시 방전관의 온도가 10°C 정도 낮기 때문에 스펙트럼에서 400nm 대역의 블루 파장 강도가 높아지는 특성을 보이고, 색온도가 4500K으로 변화하게 된다. 또한 봉입물증 증발하지 않고 냉점에 모이게 되는 희토류 할라이드는 방전관과의 반응을 가속화시켜 수명이 감소할 것이다. 하지만 전자식 안정기로 구동 시 방전관 온도가 봉입물의 증기압이 최적조건에서 동작함에 따라 각각의 봉입물의 여기에 의한 스펙트럼 특성을 가지게 되고, 램프가 가지는 4000K의 색온도와 색좌표를 제대로 구현 할 수 있는 것으로 사료된다. 이러한 특성들을 비교함으로써 전자식 안정기를 동작 시 전기적, 광학적, 열적 특성을 분석함으로써 안정화 속도가 빠르고 높은 효율을 가지며, 안정적인 광학적 특성을 가질 수 있었다. 추후 국내의 세라믹 메탈할라이드 램프의 개발을 위한 연구와 더불어 전자식 안정기 설계 시 음향공명이 일어나지 않도록 컨트롤하고, 최적

의 시스템 특성을 위해 본 논문에서의 전기적·광학적 특성 분석방법을 고려하여 개선해 나가야 할 것이다.

**감사의 글**

본 논문은 에너지 관리 공단에서 시행한 에너지·자원기술개발 사업인 “고효율 콤팩트 메탈할라이드 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] J.J. de Groot and J.A.J.M. van Vliet, “The high - pressure sodium discharge lamp”, Philips Technical Library, 1986.
- [2] Mucklejohn S.A., Preston B., “Developments in Low Wattage High Intensity Discharge Lamps”, IEEE Industry Applications Conference, pp.3326-3329, 2000.
- [3] Mucklejohn. S.A, Preston. B, “Low Wattage metal halide lamps with ceramic arc tubes 1980 to 2000” Electrical Discharges for Lighting, Seminar, 1999.
- [4] U.S. Department of Energy, “High Intensity Discharge Lighting Technology”, High Intensity Discharge Lighting Technology Workshop Report, 2005.
- [5] Redl. R, Paul. J.D, “A new high-frequency and high-efficiency electronic ballast for HID lamps: topology, analysis, design, and experimental results” Applied Power Electronics Conference, pp.486-492, 1999.
- [6] 진기호, “메탈 할라이드 램프용 공진형 전자식 안정기의 설계에 관한 연구” 금오공과대학교 대학원, 석사학위논문, 2003.
- [7] VAN ERK. W, “Transport processes in metal halide gas discharge lamps” Pure and applied chemistry, vol. 72, no.11, pp.2159-2166, 2000.
- [8] Chen J.H., Ng K.S., Moo C.S., Tang S.Y., Lee C.R., “Accelerating Start-up of Metal Halide Lamps”, Industrial Electronics, 2006 IEEE International Symposium, Vol2, pp.1317-1321, 2006.
- [9] 김기정, HID 램프용 전자식 안정기 회로 및 특성 이해, 전력기술인 10월호, pp.30-33, 2001
- [10] 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, page.3399-3406, 2000.
- [11] 오덕진, 문태환, 조규민, 김희준 “고주파 변조방법을 이용한 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기” 전력전자학회 논문지 vol.6, no. 5, pp.438-445, 2001.
- [12] H. L. witting, “Acoustic resonances in cylindrical high-pressure arc discharge” J’Appl. Phys. Vol 49, No.5, pp.2680-2683, 1978.
- [13] 조계현, “HID 램프 수명 연장을 위한 고온 순시 재점등용 점화기 개발” 강원대학교 박사학위논문, 2004.
- [14] 대한전기학회 광기술연구회, “고휘도 광원 기술’ 전기의세계 vol.56, no.8, 2007

**저 자 소 개**



**김 남 군 (金南君)**

1981년 7월 21일생. 2007년 2월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 석사과정.  
Tel : 063-850-7023, Fax : 063-850-7022  
E-mail : kng3402@naver.com



**양 종 경 (梁種璟)**

1980년 1월 13일생. 2001년 8월 원광대학교 공대 전기전자 공학부 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



**이 주 호 (李主燾)**

1980년 6월 1일생. 2007년 2월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 석사과정.  
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890  
E-mail : jooho8061@naver.com



**장 혁 진 (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



**박 대 희 (朴大熙)**

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