

세라믹 메탈할라이드 램프의 전자식 안정기에 따른 전기적 및 광학적 특성에 관한 연구

장혁진, 김남근, 이주호, 양종경, 박대희  
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

Electrical and optical characteristics of Ceramic metal halide lamp with electronic ballast

Hyeok-jin Jang, Nam-Goon Kim, Lee Joo Ho, Jong-Kyung Yang, Park Dae Hee  
Wonkwang University

**Abstract** - In recent, ceramic metal halide lamps that use the ceramic in arc tube material have the advantage of high rendering index, high efficacy, long life. According to increase applications, the research continue to improve various factor that is arc tube material, optimization of gas and metal halide. In order to improve system characteristics of CMH Lamp with ceramic arc tube, when operating CMH lamp with magnetic and electronics ballast, we compared with electrical, optical characteristics in this paper.

1. 서 론

HID 램프의 세라믹 방전관은 1960년 초 고압나트륨(HPS : High Pressure Sodium) 램프의 개발과 상업화로 처음으로 소개되었고, 높은 연색성, 고효율과 장수명의 램프를 생산하기 위해 20년 후 점차적인 세라믹 기술 개발을 통하여 고압나트륨 램프의 광속과 연색성을 개선하였다[1]. 세라믹 방전관은 기존 석영 방전관과 비교하여 높은 구동온도, 나트륨에 대한 낮은 화학 반응성, 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[2]. 최근 이러한 세라믹 메탈할라이드 램프의 적용이 증가함에 따라 개선을 위하여 램프의 방전관재료, 가스 및 메탈할라이드의 최적화 등의 연구와 더불어 안정기의 구동방식에 따른 특성 등 다양한 요소에서 연구가 진행되고 있다[3]. 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 제한해주는 직렬 인덕터와 무효전력을 보상해주는 커패시터를 사용된 수동소자와 별도의 이그나이터로 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[4-5].

본 논문은 세라믹 방전관 개발에 따른 세라믹 메탈할라이드 램프의 시스템 특성 개선을 위하여 전자식 안정기 구동 시 음향공명 대역에 따른 전기적 신호와 광학적 특성을 기존의 자기식 안정기와 비교분석하였다.

2. 본 론

2.1 음향공명현상 및 주파수 대역

2.1.1 음향공명 현상

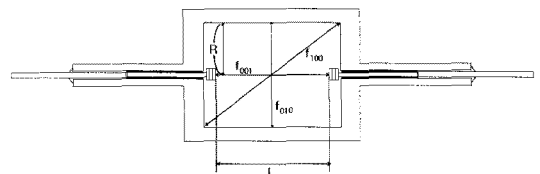
메탈할라이드 램프의 점등 시 전극에 에너지가 전달되고 방전관의 온도증가에 따라 내부의 가스의 압력변화가 일어나게 된다. 주기적인 압력변화가 방전관 내벽에 반사되어 정재파가 발생하는 현상이 고유진동주파수이며 고유진동주파수가 전원주파수와 일치될 때 음향공명 현상이 발생한다.[6] 음향공명 현상이 발생하면 방전관내의 아크가 불안정하게 되어 플리커(flicker)현상이 나타나며, 심한 경우 방전관이 파괴된다.

2.1.2 음향공명 회피 방법

음향공명 현상을 회피하기 위하여 전자식 안정기의 구동주파수는 크게 다음 세 가지로 나뉜다. 첫 번째 저주파(50~250Hz)의

구형과 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 구동시키는 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 [4][5][7][8]. 따라서 본 논문에서는 음향공명현상을 회피하고, 스위칭 손실을 최소로 하는 주파수 대역을 가지는 이그나이터가 별도로 필요하지 않은 공진형 전자식 안정기를 사용하였다.

2.1.3 음향공명 주파수 대역



〈그림 1〉 세라믹 원통형 방전관

실험에 사용된 세라믹 메탈할라이드 램프의 방전관의 형태는 그림 1에 보느냐와 같이 원통형으로서 내부의 고유주파수는 기본적으로 방전관의 길이방향(longitudinal : f001)과 반지름의 방사방향(radial : f010), 방전관의 사선방향(azimuthal : f100)으로 존재하게 된다[9][10]. 방전관의 길이방향의 기본 공명 주파수는 식 (1)과 같다.

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

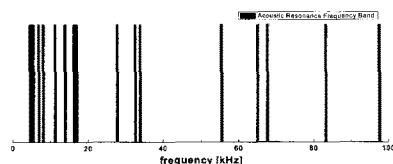
여기서 L은 방전관의 전극사이에 형성 되는 아크의 길이이고, Cs는 방전관내의 음향 속도로서 500m/s으로 가정한다. 방전관의 반지름 방사 방향의 공명 주파수는 식(2)와 같다.

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

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

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

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 2과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이때 방전관 전극사이에 형성되는 아크의 길이 L은 9mm 이고, 방전관의 반지름 R은 4.5mm 이다.

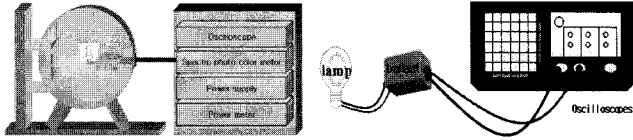


〈그림 2〉 음향공명 주파수 대역

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.

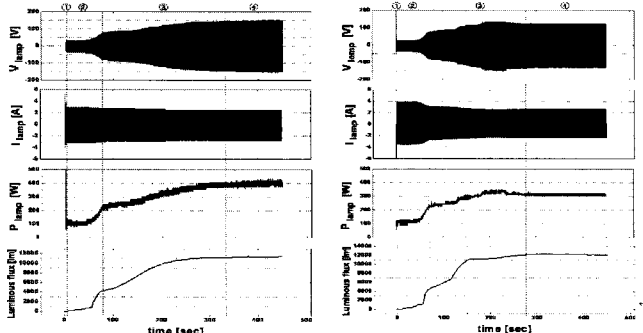
## 2.2 실험방법



〈그림 3〉 실험 개략도

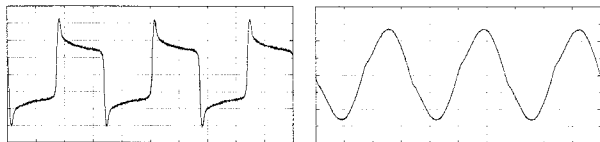
본 실험에서는 세라믹 메탈할라이드의 구동방식에 따른 초기 특성을 알아보기 위하여 자기식 안정기와 전자식 안정기 각각 사용하여 램프를 구동 시켰다. 이때의 전기적, 광학적 특성을 알아보기 위하여 다음 그림 3과 같이 실험 장치를 구성하였다. 광학적 특성은 Everlight 사의 광학측정 시스템을 사용하여 광속의 변화를 측정하였고, 전기적 특성은 Tektronix사의 오실로스코프를 사용하여 시간에 따른 전압, 전류파형 및 전력분석을 통하여 측정 하였다.

## 2.3 결과 및 고찰

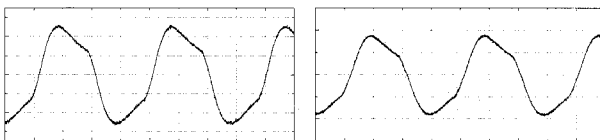


(a) 자기식 안정기 (b) 전자식 안정기  
〈그림 4〉 전압, 전류, 전력 파형 및 광속변화

그림 4에서 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 전압상승, 전류감소 후 안정화 상태에 이르게 된다. 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 5〉 자기식안정기 동작 시 램프의 전압, 전류 파형 (50V/div, 1A/div 60Hz)



〈그림 6〉 전자식안정기 동작 시 램프의 전압, 전류 파형 (50V/div, 1A/div 21kHz)

그림 5은 자기식 안정기 동작 시 안정화 후 램프의 전압전류 파형이다. 사인파의 전류가 제로에 접근할 때 저주파로 동작하

기 때문에 플라즈마 온도 감소에 따라 전극의 온도가 떨어짐으로 전자와 이온화된 원자의 재결합에 의하여 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 6과 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 측정 한 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 개선 되었다.

## 3. 결 론

본 논문은 세라믹 방전관 개발에 따른 세라믹 메탈할라이드 램프의 전자식 안정기 구동 시 나타나는 전기적 특성을 기존의 자기식 안정기와 비교분석하였다.

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 광속을 안정화 상태에 빠른 시간 내에 도달하게 된다. 이러한 초기 안정화 시간을 줄임으로서 지속적인 점등 시 램프의 수명특성을 개선할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 에너지 자원기술개발 사업 "고효율 콤팩트 메탈 할라이드 광원 시스템 개발" "고압방전 램프용 전자식 안정기 기초 설계 및 특성 분석"에 의해 작성되었습니다. 이번 연구를 지원해 주신 분들에게 감사의 말씀을 전해드립니다.

## 참고 문헌

- [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, "Low Wattage metal halide lamps with ceramic arctubes 1980 to 2000" Electrical Discharges for Lighting, IEE Seminar, 1999.
- [3] U.S. Department of Energy, "High Intensity Discharge Lighting Technology", High Intensity Discharge Lighting Technology Workshop Report, 2005.
- [4] 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 and Exposition, APEC 99, Vol.1, pp.486-492, 1999.
- [5] 진기호, "메탈 할라이드 램프용 공진형 전자식 안정기의 설계에 관한 연구" 금오공과대학교 대학원, 석사학위논문, 2003.
- [6] 김기정, HID 램프용 전자식 안정기 회로 및 특성 이해, 전력기술인 10월호, pp.30-33, 2001
- [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, page.3399-3406, 2000.
- [8] 오덕진, 문태환, 조규민, 김희준 "고주파 변조방법을 이용한 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기" 전력전자학회 논문지 vol.6, no. 5, pp.438-445, 2001.
- [9] H. L. witting, "Acoustic resonances in cylindrical high-pressure arc discharge" J'Appl. Phys. Vol 49, No.5, pp.2680-2683, 1978.
- [10] 조계현, "HID 램프 수명 연장을 위한 고온 순시 재 점등용 점화기 개발" 강원대학교 박사학위논문, 2004.