

세라믹 메탈할라이드램프의 전기적, 광학적 특성에 관한 연구

(Optical and electrical characterization for Ceramic Metal Halide Lamps)

노제업¹ · 양승용¹ · 황명근¹ · 임종민¹ · 신상욱¹ · 이세현¹ · 이진우²

(U Y Rho¹ · S Y Yang¹ · M K Hwang¹ · J M Lim¹ · S W Shin¹ · S H Lee¹ · C W Yi²)

한국조명기술연구소¹ · 호서대학교²

(Korea Institute of Lighting Technology¹ · Hoseo Univ.²)

Abstract

1960년대 중반부터 이미 고압 나트륨램프에 사용되어 오던 반투명의 세라믹 재료(Polycrystalline Ceramic Alumina ; PCA)를 기존 메탈할라이드램프의 석영(Quartz) 발광관에 적용시킨 세라믹 메탈할라이드(Ceramic Metal Halide ; CMH) 램프는 1995년 처음 소개된 이래 색 채어, 연색성, 광속유지율 등에서 전통적인 석영 메탈할라이드(Quartz Metal Halide ; QMH)램프보다 우수한 특성을 가지고 있어 저와트급(150W이하)에서 고와트급에 이르기까지 폭넓게 사용되어지고 있으며 현재 국내에서도 이러한 CMH램프의 개발이 진행 중이다.

본 논문에서는 CMH램프의 우수한 특성을 살펴보기 위하여 국외 선진제품에 대한 전기적, 광학적 특성을 살펴 보았으며 실험 결과 CMH 램프의 광속유지율이 기존 QMH 램프보다 우수한 특성을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

메탈할라이드램프는 고압수은램프에 메탈할라이드 화합물질을 첨가한 것으로 아크튜브에 포함되어 있는 메탈할라이드 물질의 종류 및 증기압, 발광관 내의 온도 등에 의해 빛의 세기와 스펙트럼 분포가 결정되어지며 외구에 형광체 처리를 하지 않아도 다중 스펙트럼라인을 발생시켜 고연색의 빛을 얻을 수 있다.

초기 메탈할라이드램프의 발광관 내에는 나트륨(Na), 탈륨(Tl), 인듐(In) 등의 화합물이 이용되었으나 지속적인 연구개발의 결과로 새로운 메탈할라이드계열의 스칸듐(Sc), 디스프로슘(Dy), 주석(Sn)과 나트륨 halide의 복합성분들이 첨가되어 이들의 다양한 조합에 의해 메탈할라이드램프의 광특성이 크게 개선되어 현재에는 도로 및 옥외 조명, 상점의 accent 조명뿐만 아니라 자동차 전조등 등에 이르기까지 용도에 따라 광범위하게 사용되어지고 있다.

하지만 메탈할라이드 화합물의 경우 석영관 내에서 재반응을 일으켜 고온에서 그 특성이 저하되는 단점이 있으며 지속적인 점등시간의 경과에 따라 발광관 내 나트륨 화합물이 점차 소진되어 램

프 전압의 상승, 불안정한 동작 및 단수명의 원인이 되고 있다.

이러한 메탈할라이드램프의 특성을 개선하기 위하여 80년대부터 메탈할라이드램프에 대한 광범위한 연구가 진행되었으며 90년대에 이르러 종래의 석영 발광관을 반투명의 세라믹(PCA)재료로 하여 그 특성을 개선한 세라믹 메탈할라이드램프가 개발되어 고연색성 및 고효율, 장수명 등의 장점에 의해 급속하게 널리 보급되어지고 있다.

반투명의 세라믹 재료인 Polycrystalline Ceramic Alumina(PCA)는 기존 메탈할라이드램프의 발광관 재료로 사용되어오던 석영과 비교할 때 발광관의 관벽온도를 보다 높일 수 있기 때문에(PCA의 경우 1500K 이상 관벽온도를 높일 수 있지만 석영은 1300K가 한계이다) 금속 halogen화합물의 증기압을 보다 상승시킬 수 있으며 봉입된 금속 화합물에 대한 화학적 안정성이 높아 발광에 충분한 금속 halogen의 증발량을 얻기에 적합하다.

특히, 발광관 내부에서 재반응이 거의 일어나지 않으므로 메탈화합물의 감소를 줄일 수 있고 전극에서의 재반응도 적어 안정한 동작을 이룰 수 있다. 표 1은 석영관과 세라믹 아크튜브의 온도 특성을 보여주고 있다.

표 1. 930℃에서의 석영관과 세라믹 아크튜브의 온도 특성 비교

온도특성	석영관	세라믹 아크튜브
열전도(W/mk)	4	12
Thermal Emission Coefficient (열방사)	0.35	0.15~0.35
Thermal Expansion (열팽창) K ⁻¹	4×10 ⁻⁷	8×10 ⁻⁸

이러한 이유로 세라믹 메탈헬라이드램프는 연색성은 물론 광원효율을 종래 석영 메탈헬라이드램프보다 높게 개선할 수 있으며 장수명의 광원구현이 가능하다. 또한, 세라믹 발광관의 제작공정이 형틀을 이용한 형성가공으로 이루어지기 때문에 균일한 발광관 형태의 유지는 물론 램프 각각에 대한 특성차이도 줄일 수 있어 재현성이 우수하다.

하지만 이러한 세라믹 재질을 메탈헬라이드램프의 발광관에 사용하기 위해서는 램프 각 구성요소와 halide성분과의 화학적 상호작용을 극복해야한다. 예를 들어, 램프가 점등되어지는 동안 발광관 내의 메탈헬라이드화합물은 냉점(Cold-spot)에 모이게 되는데 이러한 냉점의 존재는 발광관 내의 메탈 증기압에 결정적인 영향을 미쳐 램프 특성저하의 원인이 되기 때문에 발광관 내에 냉점이 생성되는 것을 최대한 방지할 수 있도록 forming하여 등온도 특성을 갖도록 설계하여야 하며 내 halide성이 강한 재료를 사용하거나 niobium과 같이 halide성분과의 반응성이 높은 재료 등은 견고하게 봉합시켜야만 한다.

2. CMH 램프의 전기적, 광학적 특성

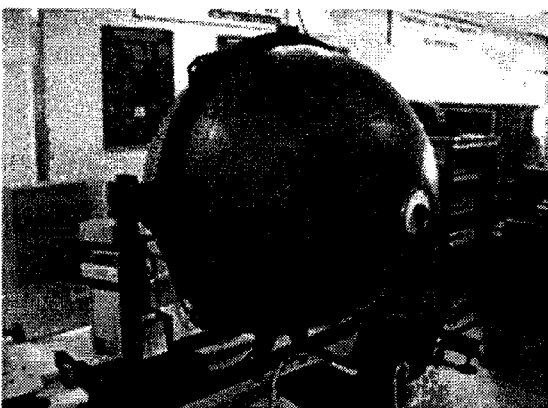


그림 1. 실험에 사용되어진 측정기구 (1.5m)

본 논문에서는 세라믹 메탈헬라이드램프의 전기적, 광학적 특성을 살펴보기 위하여 시중에서 판매되고 있는 국외 150W급 세라믹 메탈헬라이드램프를 각각 5개씩 시료로 하여 초특성(100시간)부터 4,000시간까지 시간대별 램프의 광속 및 효율, 연색지수, 색온도 등을 측정하였다. 실험에 사용되어진 안정기는 석영 메탈헬라이드 램프와의 상대 비교를 위하여 전용의 전자식 안정기가 아닌 국내 S사의 자기식 안정기를 사용하였으며 측정값은 각각의 시료 5개에 대한 평균치로 하였다. 그림 1은 실험에 사용되어진 측정기구의 모습을 보여주고 있다.

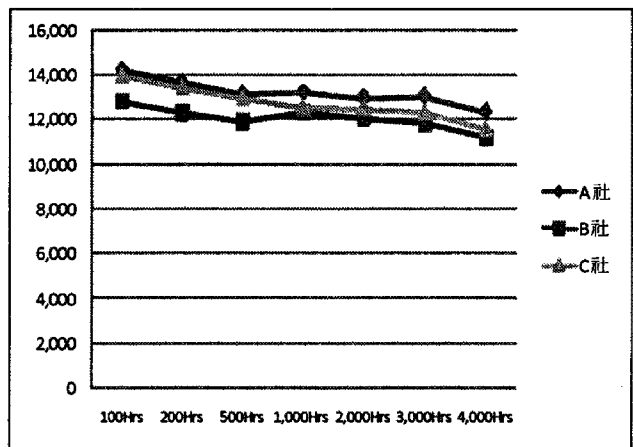


그림 2. 시간에 따른 CMH 램프의 광속 특성곡선

그림 2는 시간에 따른 CMH 램프의 광속 변화 특성을 보여주고 있다. 초기 100시간 후의 광속은 실린더 타입의 발광관 구조를 갖는 A사 시료가 14,240 lm으로 가장 높았으며 4,000시간까지 광속의 유지율은 약 86.7%로 나타났다. 반면 구형 타입의 발광관 구조를 갖는 C사 시료는 14,000 lm의 초기 광속과 약 83%의 광속유지율을 보였다.

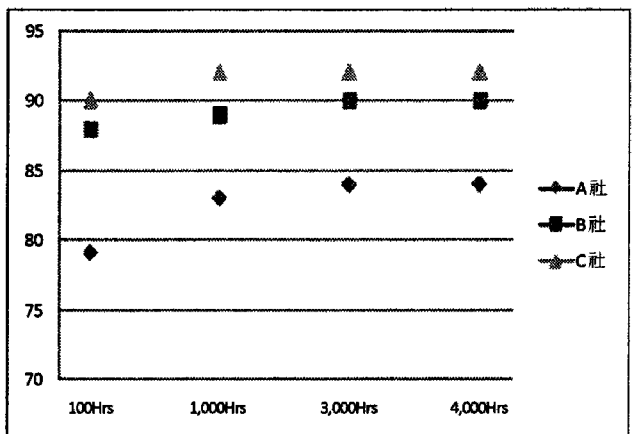


그림 3. 시간에 따른 CMH 램프의 연색성 특성 곡선

그림 3은 시간에 따른 CMH 램프의 CRI 특성곡선을 나타낸 그림으로 시간이 지남에 따라 점차 CRI값은 증가하다가 약 3,000시간대부터 거의 일정한 값을 유지하는 것을 볼 수 있다. 특히, 초기 광속이 가장 높았던 A사 시료의 경우 100시간대에서 CRI가 79로 가장 낮았으며 반대로 C사 시료가 약 90의 연색지수를 보여 가장 높은 수치를 보였다.

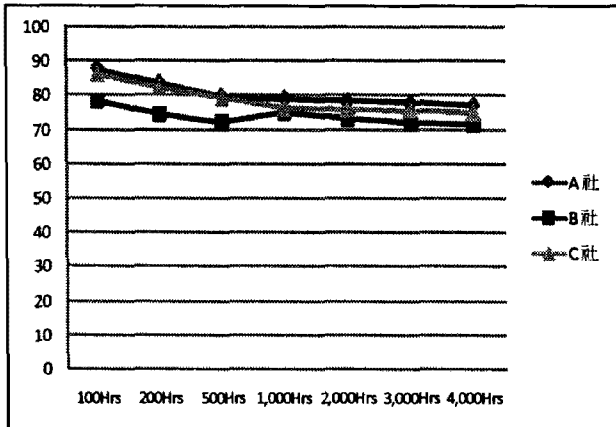


그림 4. 시간에 따른 CMH 램프의 효율 특성곡선

그림 4는 시간에 따른 CMH 램프의 효율변화를 나타낸 것으로 시료별로 78~88 lm/W의 효율 차이를 보였으며 4,000시간 후 효율은 71~78 lm/W로 초특성 대비 약 9%의 효율이 저하된 것을 볼 수 있었다.



그림 5. 시간에 따른 CMH 램프의 전압 특성곡선

그림 5와 6은 각각 시간에 따른 CMH 램프의 전압, 전류 변화 특성을 나타낸 것으로 시간이 지남에 발광관 내 화합물의 소진 등 여러 요인에 의하여 점차 전압은 상승하고 전류는 감소하는 것을 볼 수 있다.

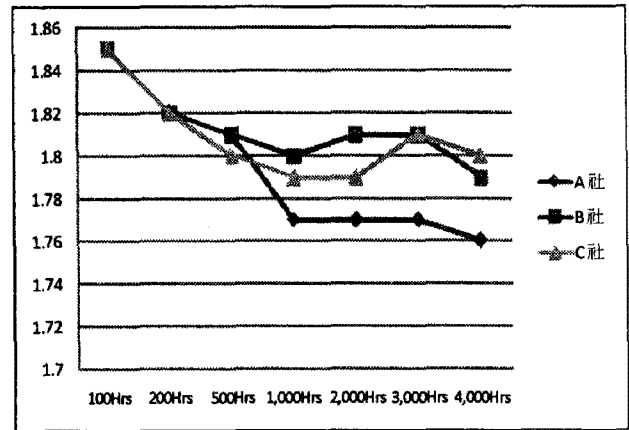


그림 6. 시간에 따른 CMH 램프의 전류 특성

본 논문에서는 석영 메탈할라이드램프와 세라믹 메탈할라이드램프의 광학적 특성을 비교하기 위하여 국내에서 판매되고 있는 석영관 메탈할라이드램프 5개를 각각 1,000시간 동안 점등시켜 광속의 변화를 살펴보았다. 그림 7은 시간에 따른 QMH 램프와 CMH 램프의 광속의 변화를 비교한 것으로 초기광속은 큰 차이가 없었으나 시간이 지남에 따라 QMH 램프의 광속 저하가 CMH 램프보다 크게 나타나는 것을 볼 수 있었으며 이에 대한 데이터를 표 2에서 보여주고 있다.

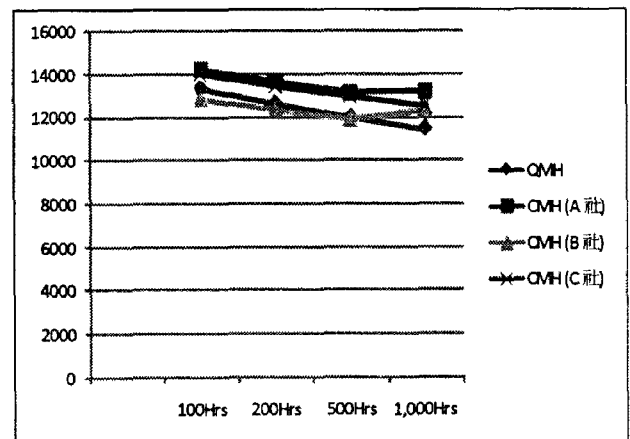


그림 7. 시간에 따른 QMH램프와 CMH램프의 광속 변화 비교곡선 (1,000h)

표 2. QMH 램프와 CMH 램프의 광속유지율 (1,000h)

Sample	Luminous Flux (100h)	Luminous Flux (1,000h)	lumen maintenance
QMH	13,300 lm	11,440 lm	86%
CMH(A)	14,240 lm	13,220 lm	92.8%
CMH(B)	12,820 lm	12,360 lm	96%
CMH(C)	14,000 lm	12,540 lm	89.5%

또한, 본 논문에서는 CMH 전용의 안정기와 실험에 사용된 자기식 안정기의 초특성 차이를 알아보기 위하여 C사의 제품에 대하여 각각 광속과 효율을 측정해 보았다. 그 결과, 표 3에서 보는 바와 같이 전용의 전자식 안정기를 사용할 경우 광속은 약 600 lm, 효율은 약 5 lm/W 정도 더 높은 것을 알 수 있었다.

표 3. 자기식안정기와 전자식안정기의 초특성 비교

Sample	Luminous Flux	Luminous Efficacy
Electronic Ballast	14,600	90.8 lm/W
Magnetic Ballast (S社)	14,000 lm	85.3 lm/W

3. 결 언

본 논문은 현재 국내에서 판매되고 있는 국외 선진 제품의 세라믹 메탈할라이드램프에 대하여 전기적, 광학적 특성을 살펴봄으로서 기존 석영 메탈할라이드램프와의 특성 비교는 물론, 현재 개발 중인 국내 세라믹 메탈할라이드램프 개발을 위한 기초 DB 구축을 위한 것이다.

이를 위하여 초특성부터 4,000시간까지 시간대별 150W 세라믹 메탈할라이드램프의 광속, 광효율, 연색지수 등 전기적, 광학적 특성을 측정하였으며 기존 석영관 메탈할라이드램프와 초기광속 및 광속유지율 등을 비교해 보았다.

실험 결과 QMH 램프와 CMH 램프의 초기광속에는 큰 차이가 없었으나 측정 시 CMH 램프 전용의 전자식 안정기를 사용하지 않고 자기식 안정기를 사용한 것을 감안한다면 CMH 램프의 광속 및 효율은 표 3에서 보는 바와 같이 다소 높아질 것으로 예상되어지며 시간의 경과에 따라 QMH 램프에서 광속의 저하가 크게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

본 연구는 에너지절약 중대형기술개발사업의 “고효율 세라믹 메탈할라이드램프 개발 사업”의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 지철근, “조명원론”, 문운당, 1998.
- [2] MHA van de Weijer, J. Fitzgerald, C.A.J. Jacobs, High pressure discharge lamps, USpatent4.475.061(1981)
- [3] S. Taniguchi, Y. Takeji, J. Honda, S. Mori, K. Nakano, "Development of GS-ceramic-metal-halide-lamps "ECO-CERA"", Japan storage battery Company, 2001.
- [4] Yoshiharu Nishiura, Nanu Brates, David Goodman, Jakob Maya, Nobuyoshi Takeuchi, Salt-Frit Reactions in Ceramic Metal Halide Lamps, Light Sources, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia(2004)
- [5] Theo GMM Kappen, Ceramic Metal Halide Lamps; a World of Lighting, Light Sources, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia(2004)
- [6] Stefan Jungst, Dieter Lang, Miguel Galvez, Improved Arc Tubes Ceramic Metal Halide Lamps, Light Sources, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia (2004)