

150W급 세라믹 아크튜브에 관한 연구

(A Study on Ceramic Arc-tube Metal Halide Lamp for 150W Class)

노재엽*¹ · 황명근¹ · 신상욱¹ · 이세현¹ · 이진우²

(Jae Yeop Rho*¹ · Myung-Keun Hwang¹ · Sang Wuk Shin¹ · Se-Hyun Lee¹ · Chin-Woo Yi)

한국조명기술연구소¹ · 호서대학교²

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

Abstract

최근들어 메탈할라이드램프의 아크튜브에 사용되던 석영관을 내열성 및 내식성이 우수한 alumina ceramic 재질의 아크튜브로 교체한 세라믹 메탈할라이드램프가 개발되었다.

이러한 세라믹 메탈할라이드램프는 기존 석영관 메탈할라이드램프에 비해 고효율, 고연색성 및 장수명 등 우수한 특성을 가지고 있어 램프의 compact화를 통해 150W이하의 옥내 상업용 조명시설에 급속한 보급이 이루어지고 있으며 국내에서도 이러한 세라믹 메탈할라이드램프 개발을 위한 연구가 진행 중이다.

이에 본 논문에서는 국내 세라믹 메탈할라이드램프(Ceramic Metal Halide lamp)의 개발에 필요한 국외 선진 제품에 대한 특성 DB구축을 위하여 150W급 세라믹 메탈할라이드램프의 아크튜브 구조 및 치수를 측정하고 weibull+6을 이용한 성능열화데이터 분석을 통해 세라믹 메탈할라이드램프의 수명을 예측해 보았다.

1. 서론

주로 옥외조명과 체육관 등의 시설조명에 사용되어 오던 종래의 메탈할라이드램프는 최근 환경문제와 에너지절감 등의 측면에서 고효율, 고연색성, 장수명 등의 특성이 요구됨에 따라 봉입재료의 최적화 및 발광관인 아크튜브의 고부하화 등에 대한 연구가 이루어지고 있다.

특히 아크튜브의 재료로서 종래 사용되어 오던 석영(Quartz)은 고온에서 내halide성이 낮고, 고부하화에 따른 관벽 온도의 상승이 수명에 나쁜 영향을 미쳐 광속 유지율 저하 및 조기 수명 단축현상이 발생하기 때문에 수명특성과의 균형에서 고부하화가 어렵다.

또한, arc tube가 용융에 의해 성형·봉지되기 때문에 형상의 불균일성이 크고 램프의 점등 중 아크튜브 재료인 석영과 halide와의 반응에 의해 광색의 변화가 나타난다.

이와 같은 석영의 단점을 대신하여 내열성 및 내halide성이 높은 투광성 Alumina ceramic을 아크튜브에 이용하는 기술이 개발되었으며 우수한 특성 특히, 종래의 석영 아크튜브보다 관벽부하[W/cm²]를 높일 수 있어 봉입되어져 있는 금속 halogen화합물의 증기압을 상승시킬 수 있기 때문에 램프의 특성을 향상시켜 메탈헬

라이드램프로 하여금 우수한 색온도 및 연색성 유지특성을 가질 수 있게 하였다.

세라믹 아크튜브 설계의 주요 요소로는 전극구조 설계, 관벽부하 설계, 메탈할라이드 화합물의 조성 등이 있으며 현재 70W, 150W급의 세라믹 메탈할라이드램프가 시중에 판매되고 있다.

본 논문에서는 국내 150W급 세라믹 메탈할라이드램프의 개발을 위하여 국외 Big 3사에서 생산되고 있는 선진제품에 대한 세라믹 아크튜브 및 램프의 특성 분석을 실시하였으며 현재 개발 진행 중인 세라믹 메탈할라이드램프의 기초 분석 자료로 활용하고자 한다.

2. 본론

2.1 세라믹 아크튜브의 구조와 특징

투광성 alumina ceramic으로 된 아크튜브는 그림 1에서 보는 바와 같이 중앙의 굵은 관부와 그 양단의 가는 관으로 구성되어져 있다. 내부에 전극이 위치한 굵은 관부의 양단은 석영 아크튜브와 유사한 형상을 가지고 있으며 가는 관안에는 선단에 전류도입체(Niobium)가 삽입되어져 있고 가는 관의 외단부는 봉착제(Frit material)에 의해 견고하게 봉해져 있다.

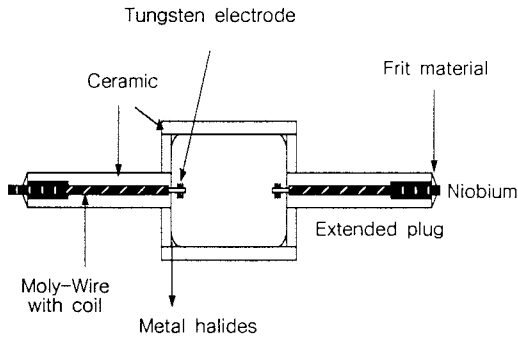


그림 1. Ceramic 아크튜브 구조

발광물질 및 봉입가스도 이 가는 관에서 아크튜브로 도입되어지며 봉지부를 적절한 온도로 설정할 수 있기 때문에 halide frit와의 반응을 억제할 수 있어 램프 점소등 시 열cycle에 의한 봉지부로의 열 충격도 완화할 수 있다.

전류도입체(Niobium)는 열팽창계수가 세라믹과 비슷하여 내 crack성은 매우 우수하지만 halide와의 반응성이 높기 때문에 봉착재료를 완전하게 덮어서 발광관 안의 halide에 닿지 않도록 할 필요가 있으며 봉착재료에 따라서 Moly-wire부분까지 봉지하는 경우가 많다.

표 1에서는 석영 아크튜브와 세라믹 아크튜브의 특징을 보여주고 있다. 세라믹 아크튜브는 석영 아크튜브에 비하여 내열성과 내압성이 우수하기 때문에 아크튜브의 고부하가 가능하고 발광관의 모양도 compact하게 할 수 있기 때문에 점등 중 halide증기압의 상승에 따른 발광효율 향상 및 열손실의 감소로 높은 효율을 실현할 수 있으며 봉입 halide조성의 최적화에 의해 고효율과 고연색성을 양립시킬 수 있다.

표 1. 석영 아크튜브와 세라믹 아크튜브의 특징

	Quartz	Ceramic
용점	1600~1750℃	2050℃
내압	△	◎
내halide성	△	○
성형정밀도	X	◎

또한, 세라믹 아크튜브는 석영 아크튜브에 비하여 내 halide성이 높아 수명 중 세라믹과 halide와의 반응이 적기 때문에 수명 말기 광색의 변화를 감소시킬 수 있으며 성형 정밀도가 높고 아크튜브 본체의 용융을 수반하는 봉착공정도 없기 때문에 발광관의 최냉부 온도가 안정되고 램프의 광색 불균일성도 적다. 이처럼 세라믹 아크튜브는 우수한 램프특성을 가지고 있지만 한편으로

아크튜브를 기밀하게 봉지하는 봉지기술이 확립되어 있지 않고 봉지부의 crack과 수명 중의 아크튜브의 leak에 의한 부 점등이 일어나는 경우가 있다.

2.2 세라믹 아크튜브의 구조적 특성 분석

본 논문에서는 그림 2의 국외 150W급 메탈할라이드 램프 시료를 그림 3의 비접촉식 3D 측정기를 이용하여 아크튜브 구조에 대한 치수를 실측하였다.

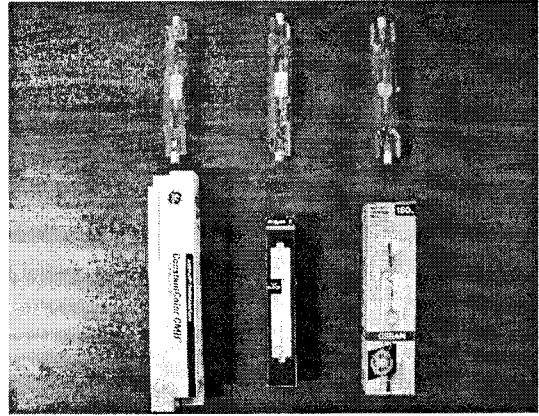


그림 2. 실측에 사용된 세라믹 메탈할라이드램프

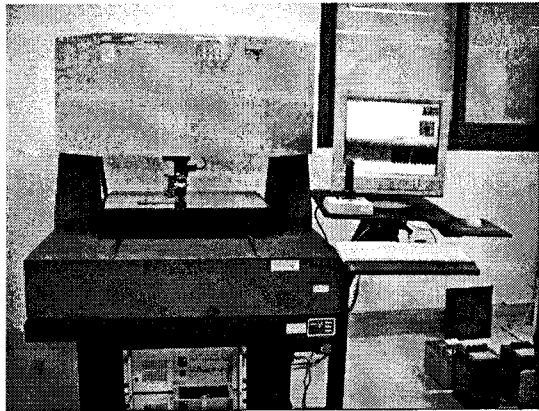
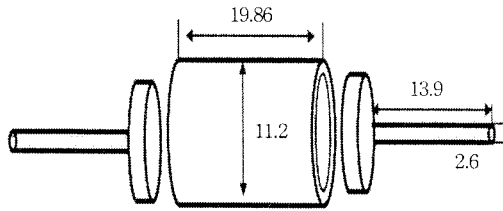


그림 3. 실측에 사용된 비접촉식 3D 측정기

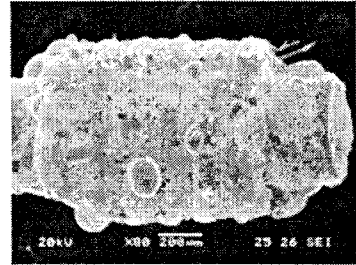
그림 4는 실측에 의한 제조사별 세라믹 아크튜브의 구조와 치수를 보여주고 있다.

측정 결과, 각 제조사별 세라믹 아크튜브는 구조적으로 P사와 G사의 경우 실린더 형태의 구조를 가지고 있으며 O사의 경우는 원형의 구조를 가지고 있었다.

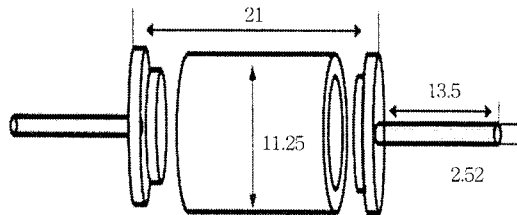
아크튜브의 치수의 경우 가늠관의 직경에는 제조사별로 큰 차이가 없었고 실측 데이터는 그림 4와 같다.



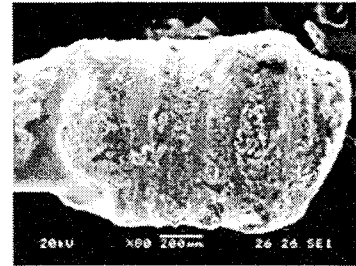
(a) P사



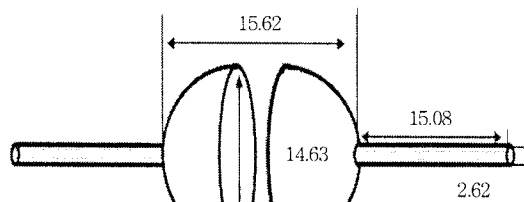
(a) 점등초기(P사)



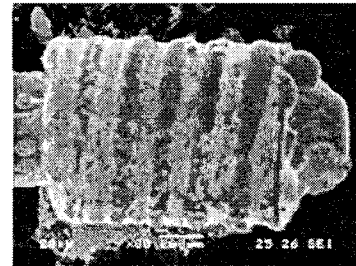
(b) G사



(b) 2,000hr 점등 후(G사)



(c) O사



(c) 점등초기(O사)

그림 4. 제조사별 세라믹 아크튜브 구조 및 치수

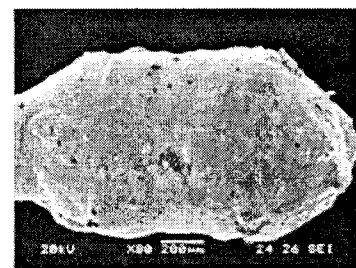
2.3 전극구조 및 노화 특성

본 논문에서는 제조사별 150W급 세라믹 메탈헬라이드램프 전극의 노화특성을 관찰하기 위하여 주사전자현미경 SEM(Scanning Electron Microscope)과 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)을 이용하여 초기 전극 및 2,000시간 에이징 후의 전극형상을 관찰하였다.

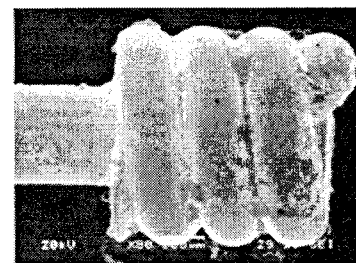
준비된 전극을 주사전자현미경을 이용하여 약 80배율로 확대하여 측정하였으며 측정결과는 그림 5와 같다.

그림 5에서 보는 바와 같이 점등초기의 경우 전극코일과 봉 구분이 확실히 나타나고 있으나 2,000시간 후의 경우 전극코일과 봉의 구분이 손실로 인하여 점차 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

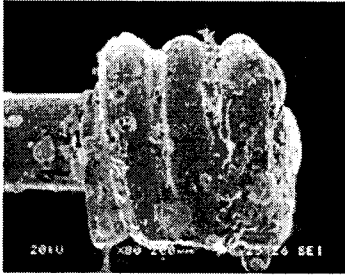
이러한 측정 결과로 전극코일과 봉의 재질 및 형상 변화를 통해 시간경과에 따른 전극손실의 정도를 예측할 수 있으리라 생각된다.



(d) 2,000hr 점등 후(O사)



(e) 점등초기(G사)



(f) 2,000hr 점등 후(G사)

그림 5. 전극의 노화 SEM 측정(점등초기/2,000hr)

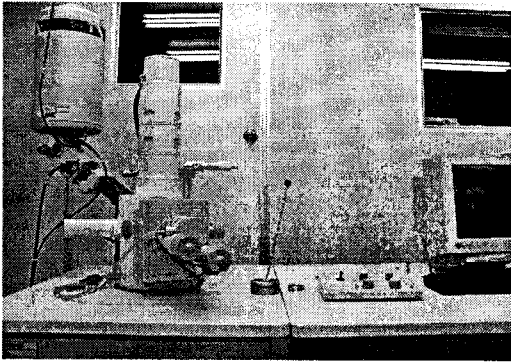


그림 6. 실측에 사용된 주사전자현미경(JSM 6360)

2.4 성능열화 분석

본 논문에서는 각 제조사별 세라믹 메탈헬라이드램프의 수명 특성을 예측해 보기 위하여 weibull+6을 이용하여 2,000시간까지의 광속 변화 데이터에 대한 성능열화 데이터 분석을 실시하였다.

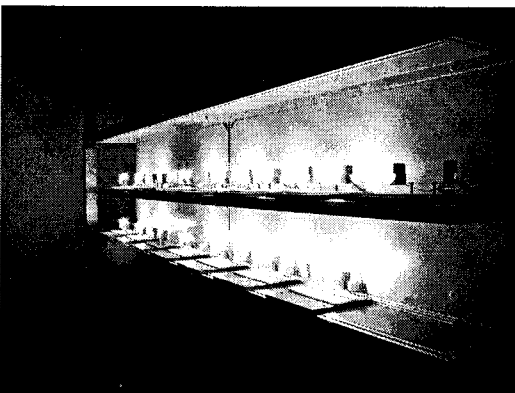


그림 7. 에이징 중인 세라믹 메탈헬라이드램프

수명예측 기준을 초기 광속의 70%로 하였을 때 와이블확률지에 나타난 상관계수 $\rho = 0.9506$ 으로 weibull 분포에 적합함을 알 수 있었고 형상모수 $\beta = 9.15$, 척도모수 $\eta = 1.1 \times 10^4$ 로 나타났으며 각 제조사별 예측되어진 수명은 표 2와 같다.

이는 같은 방법으로 분석한 석영관 메탈헬라이드램프와 비교할 때 약 1,000~1,500 시간 가량 수명이 길다.

표 2. 제조사별 세라믹 메탈헬라이드램프의 수명추정 시간

제조사	수명예측광속 [lm]	수명추정시간 [Hrs]
G사	9,968	6,021
O사	9,800	5,211
P사	8,974	6,875

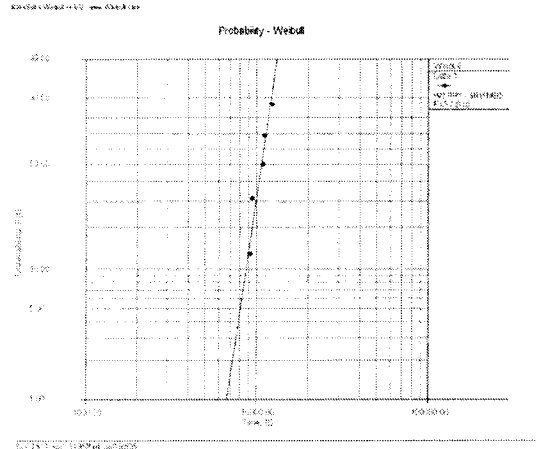


그림 8. 성능열화분석을 통한 와이블확률지 타점결과(G사)

그림 8은 G사의 세라믹 메탈헬라이드램프 샘플 5개에 대한 2,000시간 광속 데이터를 위의 수명예측 기준을 적용하여 weibull 분포로 분석하였을 때 식(1)과 같은 누적분포함수에 대한 와이블 확률지를 보여주고 있으며 초기 고장보다는 수명 말기 고장 분포가 급격히 나타남을 예측할 수 있다.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

3. 결 언

본 논문은 150W급 세라믹 메탈헬라이드램프 아크튜브의 설계에 필요한 기초 분석 및 기존 석영관 메탈헬라이드램프와의 전기적, 광학적 특성 비교를 통한 DB구축을 위한 것이다.

이를 위하여 선진 국외제품의 150W급 세라믹 메탈헬라이드램프에 대한 아크튜브 구조 및 치수를 측정하였고 시간에 따른 전극 노화현상을 관찰하였다.

또한 에이징을 통하여 각 시간대별 램프의 전기적, 광학적 특성을 측정하고 광속변화에 따른 성능열화 데이터분석을 실시함으로써 세라믹 메탈헬라이드램프의 수명을 추정해 보았다.

실험 결과 선진 3사 각 제품의 전극 노화는 점등 초기에 비하여 2,000시간 점등 후 상단부 전극의 손실이 발생한 것을 볼 수 있었으며 현재의 측정 결과는 점등 초기의 경우와 2,000시간 점등 후라는 2가지 경우에 대해서만 측정된 것으로 전극 노화의 정도를 정확히 결론짓기는 어려웠다.

2,000시간의 에이징에 따른 광속의 성능열화 데이터 분석에서는 수명예측 기준을 초기 광속의 70%로 하였을 때 석영관 메탈헬라이드램프에 비해 약 1,000~1,500시간 가량 세라믹 메탈헬라이드램프의 수명이 긴 것을 확인할 수 있었다.

앞으로 세라믹 메탈헬라이드램프의 보다 다양한 특성 DB구축을 위하여 세라믹 재질, 봉입가스, 아크튜브의 내체적 측정 및 분석, 에이징을 통한 세라믹 메탈헬라이드램프의 각 시간대별 전기적, 광학적 특성에 대한 분석이 더 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 에너지절약 중대형기술개발사업의 "고효율 세라믹 메탈헬라이드램프 개발 사업"의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 지철근, "조명원론", 문운당, 1998.
- [2] 김형식, "Glass ceramic 재료의 특성과 이용", 전기공업정보, Vol14, No.4, pp.25-30, 1988.
- [3] S. Taniguchi, Y. Takeji, J. Honda, S. Mori, K. Nakano, "Development of CS-ceramic-metal-halide-lamps "ECO-CERA"", Japan storage battery Company, 2001.
- [4] Kazuya Kurokawa, "The development and our production of 20W ceramic metal halide lamps, and future trend", Ushio lighting.

- [5] IESNA, Lighting Handbook 9th edition
- [6] Raymond Kane and Heinz Sell, "Revolution in Lamps", UpWord Publishing, Inc.
- [7] Lighting, E source, Inc., 1997
- [8] Jack L. Lindsey, "Applied Illumination Engineering Second Edition", The Fairmont Press, Inc.