

## 70W급 세라믹 아크튜브에 관한 연구

(A Study on Ceramic Arc-tube Metal Halide Lamp for 70W Class)

신상욱\* · 이세현\* · 조미령\* · 황명근\* · 이진우\*\*

(Sang-Wuk Shin\*, Se-Hyun Lee, Mee-Ryoung Cho, Myung-Keun Hwang, Chin-Woo Yi)

### Abstract

최근 들어 메탈할라이드램프의 아크튜브에 석영관을 대신하여 세라믹(Ceramic)을 이용하는 기술이 개발되었으며, 이는 탁월한 내열성 및 내식성으로 메탈할라이드램프로 하여금 우수한 색온도 및 연색성 유지특성을 가질 수 있게 하였다. 본 논문은 국내의 차세대 세라믹 아크튜브 메탈할라이드램프(Ceramic Metal Halide lamp) 개발에 필요한 국외의 70W급 제품에 적용되는 세라믹 아크튜브에 대한 특성 분석을 통해 새로운 고효율, 장수명의 세라믹 메탈 할라이드램프의 개발에 도움을 주고자 한다.

### 1. 서론

1960년대에 처음으로 개발된 메탈할라이드램프(Metal Halide lamp)는 기존의 고압수은램프(High Pressure Mercury lamp)에 메탈할라이드 화합물을 첨가한 것으로, 고효율·고연색성 등의 탁월한 광특성을 가진다. 또한 메탈할라이드램프의 경우 아크튜브(Arc-tube) 내에 첨가되는 메탈할라이드 화합물의 종류와 양의 변화를 통해 고압수은램프에서 가지지 못했던 다양한 특성변화를 나타낼 수 있는 장점이 있다. 실제로 높은 효율특성을 갖도록 제조된 메탈할라이드램프의 경우 고압나트륨램프(High Pressure Sodium lamp)에 버금가는 광효율을 낼 수 있으며, 또한 다양한 색온도를 낼 수 있어 그 적용범위 또한 크다.

옥내용 저전력용(70W~150W급) 메탈할라이드램프는 '80년대 중반에 외국의 선진기업에서 개발되었으며, 국내에서는 '90년대 중반에 이르러서야 개발되었다. 이때 개발된 옥내용 메탈할라이드램프는 아크튜브의 재질로 석영관을 사용하였으며, 이는 램프의 점등시간이 지남에 따라 아크튜브 내에 함유된 메탈할라이드 화합물의 성분변화 등으로 램프의 수명 단축 및 안정적인 특성을 보이지는 못하였다.

최근 들어 석영관을 대신하여 세라믹(Ceramic)을 이용하는 기술이 개발되었으며, 이는 탁월한 내열성 및 내식성으로 메탈할라이드램프로 하여금 우수한 색온도 및 연색성 유지특성을 가질 수 있게 하였다.

세라믹 아크튜브 설계의 주요 요소로는 전극구조 설계, 관벽부하 설계, 메탈할라이드 화합물 조성 등이 있다.

본 논문은 차세대 세라믹 아크튜브 메탈할라이드램프 개발을 위해 기존의 Big 3에서 생산되는 세라믹 아크튜브 메탈할라이드램프의 세라믹 아크튜브에 대한 각종 분석을 통해 향후 국내에서 설계될 고효율, 장수명의 세라믹 메탈할라이드램프 개발의 기초 분석자료로 활용하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 개요

기존의 메탈할라이드램프에서 사용하는 석영관의 경우는 석영의 고유 특성 때문에 몇 가지 사용상 제약과 가지고 있었다. 특히 우수한 광학적 특성을 보이는 메탈할라이드 화합물은 고온의 석영관 내에서 재반응을 일으키는 특성 때문에 사용할 수 없는 단점이 있었으며, 지속적인 점등시간의 경과에 따른 발광관내의 나트륨 화합물의 소진으로 램프 전압의 상승, 불안전동작, 단수명의 원인을 제공하였다.

이러한 화학적 재반응 현상을 방지하기 위해 새로운 세라믹 아크튜브가 개발되었다.

- (1) 세라믹 아크튜브의 경우는 아크튜브 내부에서 메탈할라이드 화합물과 재반응이 일어나지 않으므로, 메탈화합물의 감소가 최소가 되며, 전극에서의 재반응도 적어 안정한 동작을 이룰 수 있다.
- (2) 세라믹 아크튜브의 경우 일반 석영관보다 온도 특성이 우수하다.
- (3) 표 1은 석영관과 세라믹 아크튜브의 온도 특성을 보여주는 것이다.

표 1. 930°C에서의 석영관과 세라믹 아크튜브의 온도특성

온도특성	석영관	세라믹 아크튜브
열전도(W/mk)	4	12
Thermal Emission Coefficient(열방사)	0.35~0.55	0.15~0.35
Thermal Expansion (열팽창)K-1	4×10 <sup>-7</sup>	8×10 <sup>-8</sup>

이와 같이 세라믹 아크튜브의 경우 석영관을 사용하는 메탈헬라이드램프와 특성에 차이가 있으므로 다음의 몇 가지의 구조적인 차이를 가져야 한다.

- (1) 아크튜브 관벽온도가 다르기 때문에, 냉점(Cold-Spot) 부분의 온도를 요구하는 수준으로 맞추기 위해서는 내부 구조 및 가스 조성이 달라져야 한다.
- (2) 신뢰성 있는 전극의 동작을 위해서는 새로운 구조와 재질을 이용하여야 한다. 그 이유는 몰리브덴이 알루미늄보다 확장계수가 적기 때문에 Crack의 원인으로 작용할 수 있다.

알루미늄이 가진 장점을 최대한 이용하기 위해서는 그림 1과 같은 새로운 설계가 필요하게 되었다.

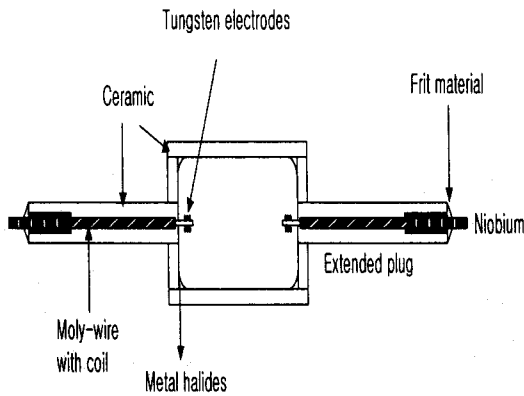


그림 1. 세라믹 아크튜브 구조도

세라믹 아크튜브는 또한 석영관이 가지지 못했던 몇 가지 장점을 보이는데, 그중 가장 큰 장점은 램프가 수명 내내 거의 동일한 연색성, 색온도, 광효율 특성을 유지한다는 것이다.

70W급 세라믹 메탈헬라이드램프(CDM)는 할로겐램프용 250W 등기구에 들어갈 수 있을 만큼 작은 형태를 가질 수 있으며, 또한 메탈헬라이드램프를 위한 Pulse-Start 시스템이 개발되어 실내에도 이용이 확대되고 있

다. 이 Pulse-Start 안정기는 램프 점등을 위해 약 4KV 4μs의 펄스를 이용한다. 현재 Pulse-Start lamp는 크게 Osram Sylvania, Venture Lighting, Delta Power Supply와 C.E.W(일본 이와사키의 상표명)에 의해 개발되어지고 있다.

□ Pulse-Starting System 요구사항

- (1) 빠르고, 신뢰성 있는 점등
- (2) 전극손실의 최소화 및 수명 연장
- (3) 우수한 광속유지
- (4) 일반 메탈헬라이드램프의 재점등 시간 10분 정도에 비해 빠른 5-7분

석영관 내에서 나트륨은 아래의 그림 3과 같이 그 벽을 통하여 빠져나가며, 이는 나트륨의 일부가 소모되는 원인이다. 이런 나트륨의 반응은 적지 않은 램프전압 상승의 원인이 되기도 한다.

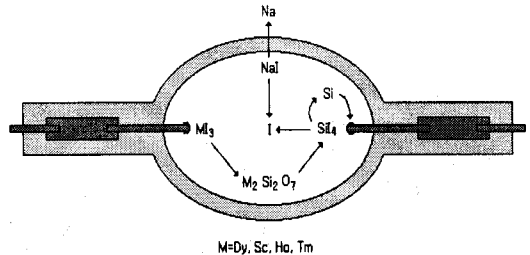


그림 2. 석영관 메탈헬라이드램프의 반응 메커니즘

그러나 세라믹 아크튜브의 반응은 그림 3과 같이 석영관과 대조를 이루며, 세라믹 아크튜브 벽을 통한 나트륨의 침투는 무시해도 좋다.

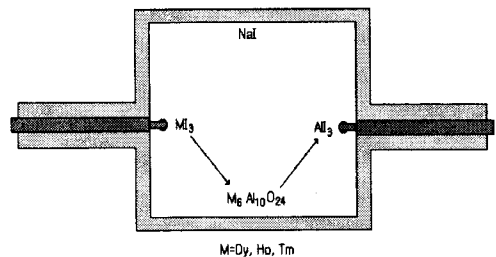


그림 3. 세라믹 메탈헬라이드램프의 반응 메커니즘

2.2 구조적 특성 분석

주요 제조사별 70W급 세라믹 메탈헬라이드램프를 제품에 대한 구조적 특성을 실측하였다. 그림 4는 실측에 사용된 각 제조사별 세라믹 메탈헬라이드램프의 사진을 나타내었다.

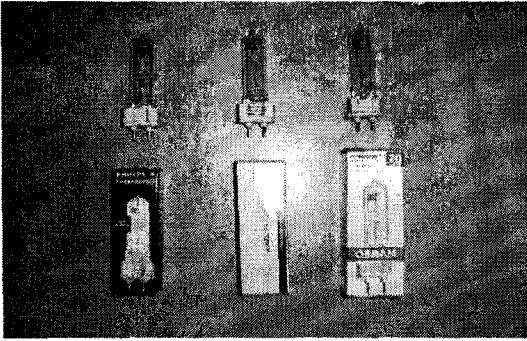


그림 4. 실측에 사용된 세라믹 메탈헤라이드램프

실측에 사용된 장비는 비접촉식 3D 측정기를 사용하여 구조 및 각각의 치수를 측정하였다.

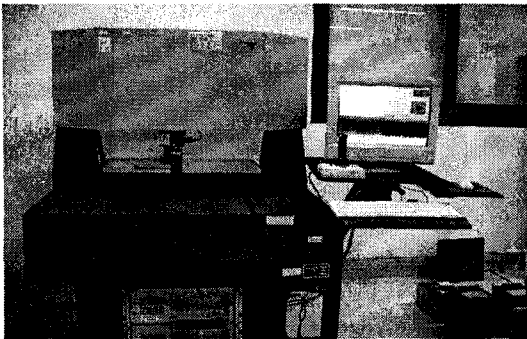


그림 5. 실측에 사용된 비접촉식 3D 측정기

측정결과인 그림 6과 7, 8에서 알 수 있듯이 각각의 회사마다 세라믹 아크튜브의 구조적 차이점을 확인 할 수 있었으며, 특히 O사의 경우, P사와 G사의 실린더 형태와 다른 원형의 세라믹 아크튜브를 채택하고 있다.

실측된 치수는 실린더 형태를 채택하고 있는 P사와 G사는 거의 동일한 치수를 가지고 있으며, O사의 경우는 실린더 형태 보다 다소 작은 수치를 실측할 수 있었다.

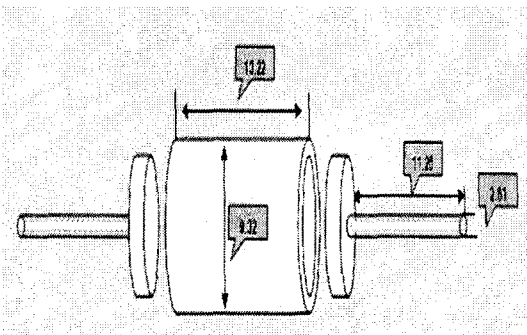


그림 6. P사의 세라믹 메탈헤라이드램프 구조

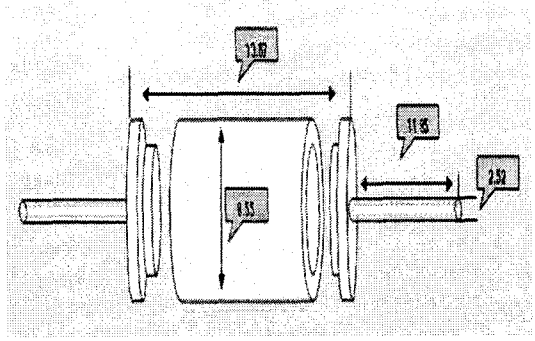


그림 7. G사의 세라믹 메탈헤라이드램프 구조

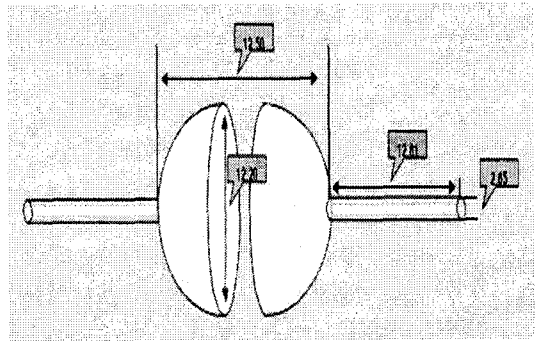


그림 8. O사의 세라믹 메탈헤라이드램프 구조

### 2.3 재질 분석

본 논문에서는 70W급 세라믹 메탈헤라이드램프의 아크튜브를 파손하여 얻은 각각의 시편을 SEM(Scanning Electron Microscope)와 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)을 이용하여 재질을 분석하였다.

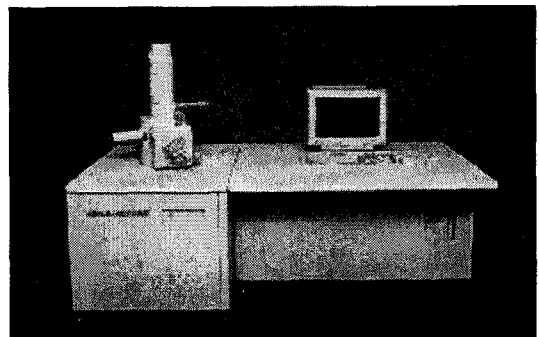


그림 9. 실측에 사용된 주사전자현미경 (SEM 6360)

준비된 시편을 주사전자현미경을 이용하여 약 500배율로 확대하여 EDS로 표면의 재질을 분석하였으며, 분석결과를 다음과 같다.

세라믹 아크튜브는 고순도(99.99%)의 다결정 산화알루미늄( $Al_2O_3$ )로 구성되어 있다.

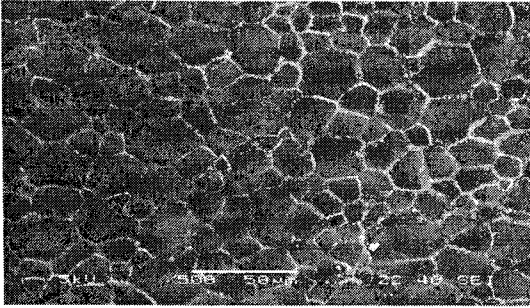


그림 10. 실측된 P사의 아크튜브의 표면

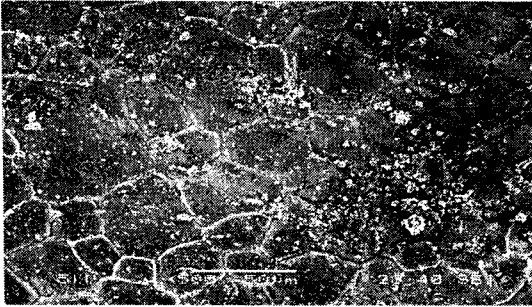


그림 11. 실측된 G사의 아크튜브의 표면

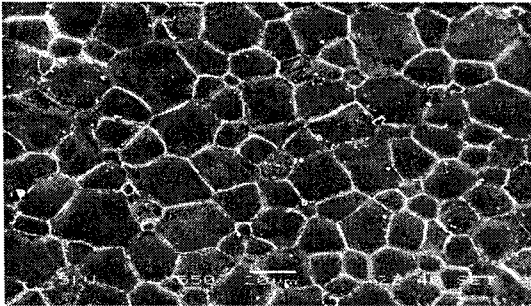


그림 12. 실측된 O사의 아크튜브의 표면

표 2. 세라믹 아크튜브의 정량 분석

Material	Quantitative Results(%)		
	P사	G사	O사
C	5.39	4.17	3.47
Al	42.47	44.84	46.21
O	52.14	50.99	50.33

측정결과 P사의 탄소함유량이 가장 높은 것으로 실측되었으며, G사, O사 순으로 낮아지는 것을 알 수 있었다. 탄소는 가공 중의 불순물로서 일반적으로 함유량이 많은 경우 흑화현상이 일어날 확률이 높아지고 이에

따라서 투과율이 낮아지는 원인이 될 수 있다.

### 3. 결론

본 논문은 최근 기존 석영관 메탈헬라이드램프를 대신할 세라믹 메탈헬라이드램프의 아크튜브 설계에 필요한 기초 분석자료를 DB화 하고자 수행되었다.

이를 위해 세라믹 아크튜브 메탈헬라이드에 대한 구조적 특성과 재질 분석을 각종 측정장비를 이용하여 분석을 시도하였다.

분석결과 주요 제조사의 세라믹 아크튜브 구조적 차이점을 확인할 수 있었으며, 이와 함께 설계시 필요한 각종 치수들을 비접촉식 3D 측정기를 이용하여 실측, DB화하였다.

아울러, 아크튜브 재질을 각 원소별로 정량분석을 실시하여 그 결과를 알 수 있었으며, 향후 세라믹 아크튜브 설계시 활용 필요한 기초 분석 자료를 확보 할 수 있었다.

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

### 참 고 문 헌

- (1) 지철근, 조명원론, 문운당, 1998. 1.
- (2) Joseph B. Murdoch, Illumination Engineering From Edison's Lamp to the Laser, Macmillan Publishing Company
- (3) dr Chr.Meyer and ir H. Nienhuis, Discharge Lamps, Philips Technical Kluwer Technische Boeken B.V. Deventer -Antwerpen
- (4) IESNA, Lighting Handbook 9th edition
- (5) Raymond Kane and Heinz Sell, Revolution in Lamps, UpWord Publishing, Inc.
- (6) Lighting, E source, Inc., 1997
- (7) Jack L. Lindsey, Applied Illumination Engineering Second Edition, The Fairmont Press, Inc.
- (8) Russell P. Leslie, Paula A. Rodgers and Lighting Research Center, The Outdoor Lighting Pattern Book, McGraw-Hill Publication, Inc.

### 과제관련 국내·외 주요기관 및 기업 웹사이트

- (9) 통계청 홈페이지(한) : [www.nso.go.kr](http://www.nso.go.kr)
- (10) 통계청 홈페이지(미) : [www.census.gov](http://www.census.gov)
- (11) 통산성(일) : [www.enecho.go.jp](http://www.enecho.go.jp)
- (12) 산업자원부(한) : [www.mocie.go.kr](http://www.mocie.go.kr)
- (13) 에너지관리공단(한) : [www.kemco.or.kr](http://www.kemco.or.kr)
- (14) 한국표준협회 : [www.ksa.or.kr](http://www.ksa.or.kr)
- (15) 특허청(한) : [www.kipo.go.kr](http://www.kipo.go.kr)
- (16) 북미조명학회(IESNA) : [www.iesna.org](http://www.iesna.org)
- (17) 국제조명위원회(IE) : [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at)
- (18) Osram Sylvania사 : [www.osram.com](http://www.osram.com)
- (19) Philips Lighting사 : [www.philips.com](http://www.philips.com)
- (20) GE Lighting사 : [www.ge.com](http://www.ge.com)
- (21) TDK Corporation : [www.tdk.co.jp](http://www.tdk.co.jp)