

초고주 원편파를 이용한 회전 플라즈마 무전극 황전등 방전

\*고정태<sup>1</sup>, 원동호<sup>1</sup>, 김진중<sup>1,2</sup>, 김정원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 광공학과, <sup>2</sup>태원전기산업(주) 부설연구소

Rotating Plasma Discharge Of Electrodeless Sulfur Lamp Using Circularly Polarized Microwaves

Jung Tae Ko<sup>1</sup>, Dong Ho Won<sup>1</sup>, Jin Joong Kim<sup>1,2</sup>, Jeong Won Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Optical Engineering, Sejong University, <sup>2</sup>Taewon Lighting Laboratory

**Abstract** - 마이크로파 방전 무전극 황전등은 마그네트 본에서 발생된 마이크로파로 2-원자 황을 여기하여 방출되는 빛을 조명에 사용하는 차세대 조명기구이다. 1990년대 초반에 미국의 Fusion Lighting Inc에 의해 최초로 소개된 무전극 황전등은 방전구 회전에 의한 방전을 하였다. 기존의 방전기술은 선형편파를 이용, 필드가 중앙에 모이므로 램프를 회전시켜 방전을 유지하였다. 그에 따라 시스템 구성이 복잡해지고 램프회전 속도에 따라 방전에 영향을 주었다. 본 논문에서는 원편파를 이용하여 램프 회전에 따른 문제점을 해결하고, 원편파에 의해 발생된 회전 플라즈마 방전현상을 실험적으로 보인다. 또한 원편파 방전에 의한 분광분포 및 휘도 분석등 방전 현상을 관찰했다. 아울러 연색성이 80이상, 색온도 4900K ~ 6827K 범위를 보였다.

1. 서 론

무전극 방전램프란 램프 내부에 전극이 없는 램프로써 고주파 유도에 의해 플라즈마를 생성하여 고휘도의 광출력을 내는 램프를 말한다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 형광 램프는 램프 양단의 전계를 가해주면 내부에 존재하는 hot cathode 나, cold cathode에서 전자가 방출되어 내부 가스들을 여기 시켜 발광하게 되는데 이때 전계에 의해 발생한 전자가 전극 주변의 형광체나 전극과 스퍼터링을 일으킨다. 이에 봉입된 가스외에 불순가스를 생성하여 수명이 단축된다[1]. 그러나 무전극 램프의 경우 내부 스퍼터링 및 불순가스가 생성되지 않아 오랜 시간동안 광속을 유지할 수 있으며 장수명이다. 무전극 방전 기술의 하나인 가스나 금속 증기의 초고주파 방전(very high frequency discharge, VHF)은 여러 가지 광원의 궁극적인 적용 기술의 하나로 오랫동안 연구 개발되어 왔으며 조명용 광원 시스템의 획기적인 기술로 인식되어 왔다[2].

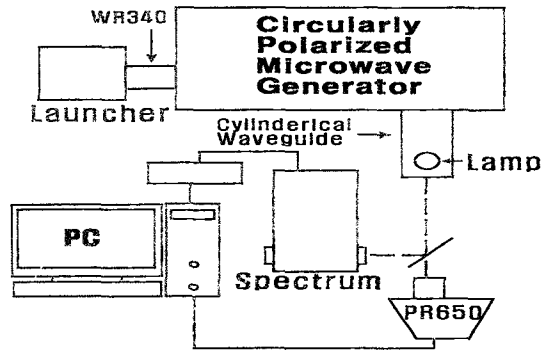
현재 무전극 황전등의 방전 방식은 램프를 회전시키면서 발광을 시작한다. 왜냐하면, 황증기를 이용하므로 방전 중에는 높은 열이 발생한다. 또한 선형편파로 인해 필드가 모이므로, 필드가 가장 강한 곳에 램프를 놓기 때문에 국부적으로 높은 압력과 열에 의해 파손된다. 이런 문제들로 인해 램프 회전방식을 이용한다. 램프가 회전하므로 냉각효과, 압력 및 필드분산으로 파손을 방지하기 때문이다. 하지만 램프의 회전으로 인한 시스템의 추가 장비설치와 회전속도에 따른 발광원의 영향, 금속 파 유전체의 결합 문제, 광원회전으로 인한 빛의 떨림 등 문제를 안고 있다[3].

본 논문에서는 원편파를 이용하여 기존 시스템의 문제점들의 해결과, 휘도 및 연색성, 스펙트럼, 효율 등을 비교하고, 플라즈마 회전현상에 대한 실험결과를 고찰한다. 참고로 무전극 광원에 대한 표준이 없으므로 실험적 데이터 와 Fusion Lighting사의 SOLAR 1000™ Sulfur Lamp의 사양 및 특성[4]을 비교 데이터로 하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성 및 측정 방법

(Fig. 1) 과같이 실험 장치를 구성하였다.



(Fig. 1) The Experimental Setup

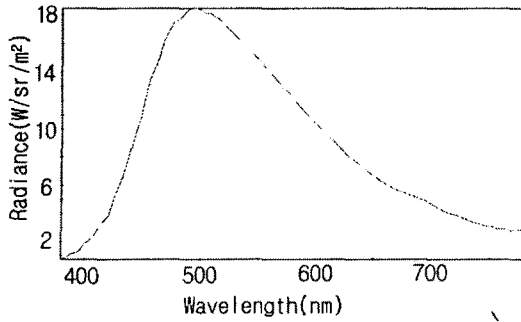
실험에서는 기존 시스템에 사용되고 있는 직경 3.6 cm 에 순도 99.99 % 황 10 mg, buffer gas로 99.999 %의 Ar 10 torr가 채워진 석영구 램프를 사용했다. 램프의 위치는 (Fig. 1)에서 보듯이 원형도파관 안에 놓고, 전자파의 외부 유출 방지와 관찰 및 측정을 위해 원형도파관 끝은 금속망으로 처리하였다. 고주파 발생장치로 2.45 GHz대의 Richardson 마그네트론을 사용하였으며, Launcher에서 WR340을 사용하여 TE<sub>01</sub> 모드를 전송하여 Circularly Polarized Microwave Generator (CPMG)를 통과하면 원형도파관으로 TE<sub>11</sub> 모드로 바뀌면서 원편파를 만들게 된다.

데이터는 1 kW방전을 기준으로 하였으며, 소비전력 측정은 Directional coupler와 power meter를 사용하였다. 고출력에 초고주파를 사용하므로 광학적 특성만을 측정하였으며, 앞에서 언급했듯이 실험적 데이터를 기준으로 하였다. 스펙트럼 분석을 위해 1/2-m spectrometer (Acton spectrapro 500i)를 사용하였다. 휘도, 연색성, 색온도 측정은 Colorimeter (Photo Research PR650)로 측정하였으며, 램프의 표면온도는 Raynger MX (Raytek MX4+U)를 사용하였다.

2.2 실험 결과

2.2.1 광학적 특성

(Fig. 2)는 1 kW 방전 spectrum 이며, 380 nm부터 780 nm까지 가시광선 영역에서 측정하였다. 원편파 방전시 긴파장 영역의 증가를 보였으며, peak 축은 492 nm이다.



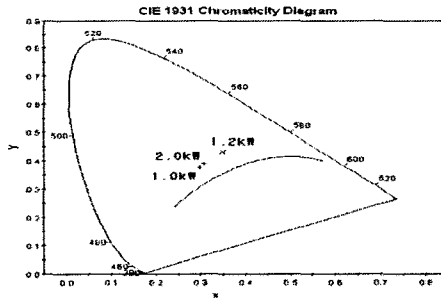
(Fig 2) 원편파 spectrum

원편파 방전과 Fusion Lighting사의 SOLAR 1000™ Sulfur Lamp[4]와 비교하면 연색성이 비슷함을 알 수 있다.

<Table 1> 원편파 방전 사양 및 특성 비교

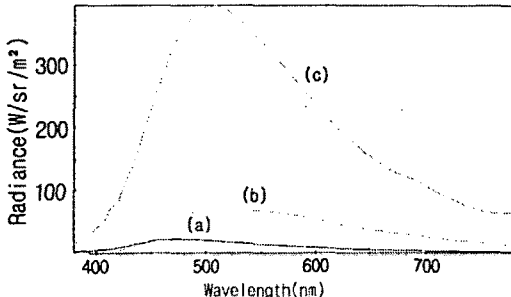
	원편파 방전	SOLAR 1000™
구동주파수(GHz)	2.45	2.45
소비전력(W)	1kW	1.35kW
발광물질	황	황
색온도(K)	6827	5600
연색성	81	80

소비전력은 입력대비 반사전력의 차를 말하며, 1kW입력 시 반사전력이 없는 것으로 측정되었다. 색온도는 회전 방전 방식보다 높게 측정되었지만 (Fig 3)에서와 같이 소비전력을 1.2 kW, 2 kW로 증가하면 4900 K~6404 K 낮아짐을 알 수 있다.



(Fig. 3) 원편파의 출력에 따른 색온도 변화

반면에 연색성은 77~79로 떨어진다.



(Fig. 4) (a) 1.0 kW spectrum, (b) 1.2 kW spectrum  
(c) 2.0 kW spectrum

(Fig. 4)를 보면 출력에 따른 spectrum의 변화를 볼 수 있다. 이는 황 증기가 적절한 밀도를 가지게 되고 황에 의해서 방출된 빛이 다른 황분자를 여기하게 되면 여기된 분자는 최초 발생된 빛보다 파장이 같거나 더 긴 빛을 방출하게 된다. 이 과정이 여러 차례 반복되면 중심축이 적색쪽으로 이동하게 되는 것으로 고찰할 수 있다.

소비전력 1 kW 원편파 방전시 휘도는  $7479 \times 10^6$  cd/m<sup>2</sup>으로 나왔으며, 2.0 kW 방전시 최고  $2.235 \times 10^7$  cd/m<sup>2</sup>까지 측정 되었다. 방전시 램프의 표면온도는 600 °C~700 °C사이를 유지하였다.

## 2.2.2 플라즈마 회전과 부양 현상

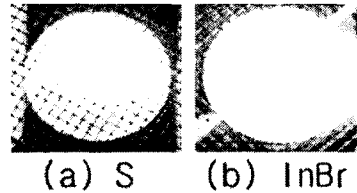
원편파 방전시 플라즈마 회전 현상이 관찰 되었으며, 순수 황 방전시 발생하였다.



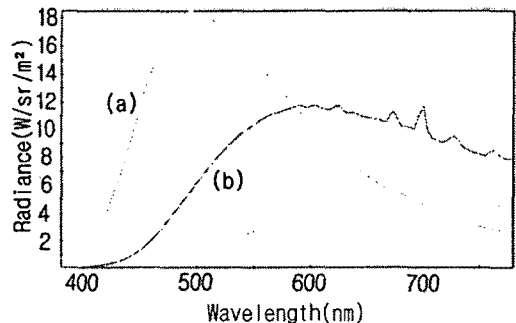
(Fig. 5) 황 플라즈마 회전 현상

(Fig. 5)는 1.2 kW에서 디지털카메라(Sony DSC-505F)로 촬영한 것이다. 황이 여기 되면서 플라즈마를 형성하는데, 이때 2.45 GHz로 회전하는 원편파가 황분자를 회전시키는데, 분자가 회전하면서 충분한 에너지를 흡수하게 되면 주기적으로 빛을 발하게 되는 효과라 생각되며, 실험결과 15초 동안 36번 회전하였다. 정확한 데이터 및 연구는 계속 진행 중이다.이로서 원편파가 회전하고 있을 수 있다.

(Fig. 6)에서 보이듯이 황증기는 VHF에 사용되는 InBr 나 CsBr보다 응집력이 강함으로 공중 부양 현상이 나타난다.

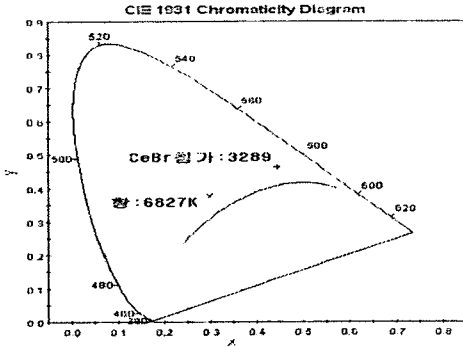


(Fig. 6) (a) 황방전,  
(b) InBr 방전



(Fig. 7) (a) 원편파 spectrum  
(b) CsBr 첨가 spectrum

이 부양 현상으로 인하여 램프의 불균형 가열로 인한 파손이 초래된다. 부양 현상을 막기 위해 CsBr를 1 mg 첨가하였으며, (Fig. 7)같은 결과가 나왔다. (Fig. 7)은 1 kW 방전 spectrum 이며, CsBr 첨가 spectrum이 긴파장 영역으로 이동하면서 상대적 Intensity가 높아지는 것으로 나타났으며, 이것은 연색성 결과를 보면 확인할 수 있다. 순수 황방전은 연색성이 81 이지 만, CsBr 첨가한 방전은 83 으로 높아졌다.



(Fig. 8) 1 kW 방전시 색온도

하지만 긴파장 영역의 성장으로 (Fig. 8)에서처럼 색온도가 낮고, 휘도 또한 황은 1 kW에서  $7.479 \times 10^6$  cd/m<sup>2</sup>, 2 kW에는  $2.235 \times 10^7$  cd/m<sup>2</sup> 나온 반면, CsBr 첨가는 1 kW는  $7.266 \times 10^5$  cd/m<sup>2</sup>, 2.0 kW에는  $8.139 \times 10^6$  cd/m<sup>2</sup> 로 황은 3배 정도 증가 하였으나 CsBr 첨가 램프는 조금 증가하였다. 이것으로 순수 황 방전보다 광학적 효율이 떨어짐을 유추 할 수 있다.

### 3. 결 론

초고주파 방전에서 대두되는 여러 문제들이 있다. 본 논문에서는 그중 하나인 램프회전으로 인한 시스템중설과 회전모터와 램프의 축을 일치시키는 것, 금속과 램프를 결합하는 문제, 장수명인 램프에 비해 모터의 수명신뢰성 부족 등의 문제를 해결함으로써 기존 시스템의 장점은 유지하고, 문제점을 해결하는 결과를 얻었다.

플라즈마 공중 부양현상을 해결하기 위해 CsBr을 첨가하여 해결하였지만, 광학적 효율이 떨어졌으며, 이를 해결하기위해 여러 실험이 계속진행중이며, 차후 다른 곳에서 발표될 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Waymouth. J. F.: "Electric discharge lamp", MIT Press, pp.11~46, 1971
- [2] Wharmby, D. O.: "Electrodeless lamp for lighting: a review," IEE Proceedings 140A. pp.465~473, 1993.
- [3] 김진중, 이진희, 홍성호, 김정원, 김경신: "초고주파 방전을 이용한 신광원 연구개발의 현황." 대한전기학회 하계학술대회초고주파 방전 신광원 시스템 전문 session 논문집, pp.16~19, 2002. 7
- [4] Turner, B. P., Ury, M. G., Leng, Y. and Love, W. G.: "Sulfur Lamps-Progress in Their Development." Proc. IES Annual Conference, Paper 87, 1995.