

마이크로파 방전램프의 전기적/광학적 특성

이종찬, 황명근*, 배영진**, 허현수**, 박대희

원광대학교 전기전자 및 정보공학부, 한국조명기술연구소*, LG전자**

Electrical and Optical Properties of Microwave Discharged Lamp

Jong-Chan Lee, Myung-Keun Hwang*, Young-Jin Bae**, Hyun-Soo Her**, Dae-Hee Park

Wonkwang University, Korea Institute of Lighting Technology*, LG Electronics**

Abstract

The fundamental principles of the operation of microwave discharges that are used to convert microwave energy to broad spectrum visual light are known. In this paper, emission dependance of microwave discharges in mixture content of sulfur with noble gases was studied. It is shown that the excitation of this gaseous mixture is carried out in two phases: (1) ionization of noble gas atoms by a microwave field and (2) the consequent maintenance of slightly ionized nonequilibrium plasma by the field. These two processes have essentially various thresholds for the microwave pump. The purpose of this work is to investigate spectral properties of the high frequency discharges in a mixture sulfur vapors with noble gases.

Key Words : Microwave, Discharge, Sulfur, Mixture, NaI

1. 서 론

초고주파 방전의 기본적인 동작원리를 갖는 무전극 황 램프는 2.45GHz의 초고주파 에너지를 광대역의 가시광선으로 변환시킨다. 무전극 황 램프는 에너지 효율, 광의 품질, 유지보수 특성, 환경친화적 측면에서 우수한 조명 기구로 평가받고 있다. 특히 Fusion Lighting 사의 800watts급 무전극 황 램프는 효율이 99 lm/W로 메탈 할라이드 램프보다 연색지수 및 수명 등의 특성에서 우수함을 나타냈다[1].

기본적인 무전극 황 램프의 발광 메카니즘은 황과 아르곤 가스가 들어 있는 quartz 볼을 차폐용 금속망 공진기에 위치시키고 2.45 GHz 초고주파를 인가한다. 초고주파 에너지의 인가에 의해 아르곤 가스가 먼저 방전되며, 황이 녹으면서 S₂ 기체가 방전을 주도하여 발광을 일으킨다. 이와 같이 전극이 없고 가시광선 영역에서의 방사 스펙트럼이 태

양 광에 가까우며, 자외선이나 적외선은 매우 작다 [2~3].

본 논문은 1 kW급 무전극 황 램프에서 황의 첨가량 변화에 따른 발광 스펙트럼과 상관 색온도를 측정하였다. 또한 상관 색온도 보상을 위하여 NaI 화합물 첨가에 따른 CIE 색좌표를 측정하였다.

2. 실험 및 결과

실험에 사용한 황 램프는 그림 1과 같이 지름이 40 mm ϕ , 두께가 2mm인 quartz 볼에 아르곤(99.999%)과 황(99.98%) 및 NaI의 양을 조절하여 제작하였다. 우선 quartz 볼에 황을 각각 10~40 mg을 넣고 아르곤을 5 torr 넣어서 램프를 제작하고, 황의 함량에 따른 발광 특성을 측정하였다. 또한 최적의 램프에 NaI의 첨가량을 변화시켜 quartz를 제작하였다.

초고주파 에너지를 cavity 내부에 집중시키는 공진기는 황동 mesh를 이용하여 원통형 quartz 볼

외부에 장착하였다. 전원장치는 2.45 GHz의 초고주파 에너지를 발생시키는 전자렌지용 마그네트론을 사용하였다. 실제로 cavity 내부에 전달되는 전력은 입사 전력에서 반사되는 초고주파 전력을 제거한 값을 정의하였다. 또한 반사된 초고주파는 재입력이 되지 않도록 isolator에서 제거하였다.

램프에서 발광된 빛은 Diode array type monochromater (PSI, Darsa -2000)로 분광하여 컴퓨터에서 발광 스펙트럼, CIE 색좌표 등을 측정하였다.

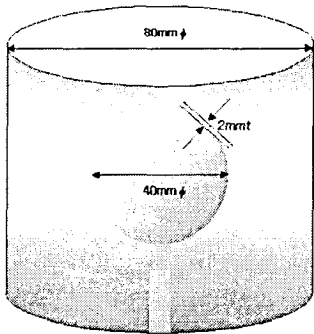


그림 1. 황 램프 및 공진기의 구조

황 램프의 아르곤을 5 torr로 고정하고, 황의 양을 10~40 mg으로 변화시켰을 때 1 kW 초고주파 에너지에 대한 발광 스펙트럼은 그림 2에 나타났다. 400 nm 이하의 자외선 부근과 750 nm 이상의 적외선 부근의 광 세기는 중심 파장에 비해 상대적으로 약했다. 하지만 황의 함량이 10 mg 이상 증가함에 따라 장파장의 스펙트럼 강도가 상대적으로 증가했다. 황의 함량 증가에 따른 스펙트럼 강도 증가와 더불어 중심 발광 피크의 이동은 30~50 nm을 나타냈다. 이러한 스펙트럼 피크 이동은 방전구 안의 황 기체의 온도와 압력이 높아져 자외선 영역에서 흡수로 사료된다. 자외선의 흡수는 황의 함량이 20 mg 이상부터 감소하고, 500 nm 이하의 파장 영역의 흡수로 진행됨을 알 수 있다.

모든 광원은 자신의 광원색과 더불어 고유 색온도를 갖게 된다. 이 경우 완전 복사체(black body: plankian radiator)가 아닌 경우에는 광원의 색온도는 프랑크의 궤적상에서 벗어나게 되는데 이러한 경우에도 색좌표 상에서 가장 가까운 궤적상의 한 점을 택하여 색온도를 정한다[4]. 이때의 색온도는 완전복사체의 경우처럼 실질온도와는 다를 수 있으며 이와 구분하여 상관 색온도라고 부른다.

그림 3은 그림 2에서 측정된 발광 스펙트럼에 대한 CIE 색좌표 및 상관 색온도를 나타낸다.

황의 함량 증가와 더불어 상관 색온도는 감소하며, 스펙트럼이 장파장으로 이동함을 설명할 수 있었고, 광원의 회전에서 발생하는 S₂ 가스막이 내부 표면에 형성하여 생성되는 optical trapping 현상과 같이 상관 색온도가 훨씬 낮아지고 푸른빛이 감소되어 연색지수가 개선될 수 있다. CIE 색좌표의 궤적은 황의 함량의 증가와 더불어 백색광원의 영역에 근접함을 나타냈다.

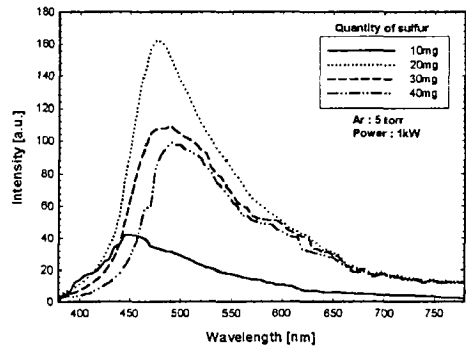


그림 2. 무전극 황 램프의 황 함량에 따른 발광 스펙트럼

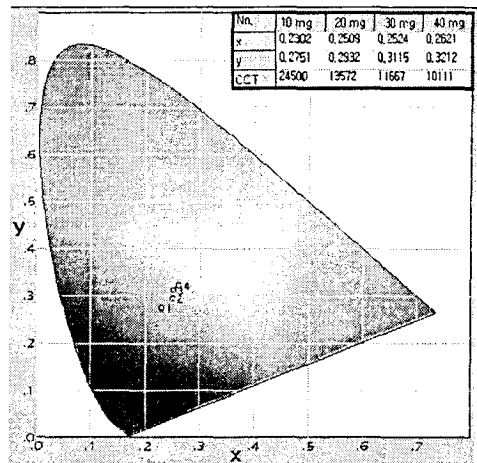


그림 3. 무전극 황 램프의 황 함량에 따른 CIE 색좌표 및 상관 색온도

그림 4는 황 20 mg 첨가한 황 램프에 NaI를 1~9 mg 추가한 램프들의 발광 스펙트럼을 나타내며, 그림 2의 황 램프의 발광 스펙트럼과 비교하여 황

과 나트륨이 함께 발광에 기여함을 알 수 있다.

일반적으로 황은 UV영역에서 방사를 하지만, 고압 sodium 램프에서 재흡수에 의해 양쪽 날개 파장 방사가 흡수되는 것과 유사하게 황 램프 내부의 압력이 상당히 높으면 UV 방사는 재흡수되어 가시광선 영역에서 강제 방사된다 [5]. 특히 588 nm 부근에 강한 피크가 있는데 이는 나트륨 원자의 D line으로서 CIE 색좌표 및 상관 색온도의 개선에 기여한 것으로 사료된다. 또한 NaI의 함량이 증가함에 따라 588 nm 부근에서 나트륨의 D line에서 재흡수가 발생하여 파장 폭이 증가되었다.

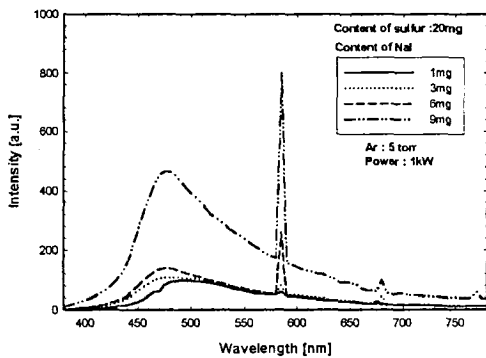


그림 4. 무전극 황 램프의 NaI 함량에 따른 발광 스펙트럼

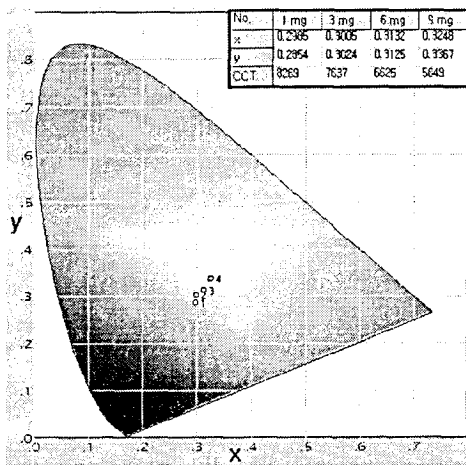


그림 5. 무전극 황 램프의 NaI 함량에 따른 CIE 색좌표 및 상관 색온도

그림 5는 NaI 함량 변화에 따른 CIE 색좌표 및 상관색온도를 나타낸다. 황 20 mg만 넣은 램프는

CIE 색좌표가 $x=0.2509$, $y=0.2932$, 상관 색온도는 24,500K를 나타냈다. NaI 함량을 증가함에 따라 CIE 색좌표의 중앙 백색광으로 이동하는 현상이 나타났으며, 특히 황 20 mg과 NaI 9 mg을 포함한 램프는 CIE 색좌표가 $x=0.3248$, $y=0.3367$, 상관 색온도는 5,849 K를 나타냈다. 또한 NaI 첨가물의 증가는 상관 색온도를 크게 낮출 수 있음을 알 수 있었다.

3. 결론

본 논문은 1 kW급 무전극 황 램프에서 황의 함량과 NaI 첨가량 변화에 따른 발광 스펙트럼과 상관 색온도를 측정하였다.

- 1) 황의 함량 증가와 더불어 상관 색온도는 감소하며, 스펙트럼이 장파장으로 이동함을 설명할 수 있었다.
- 2) 상관 색온도의 감소로 램프의 푸른빛이 감소되고 CIE 색좌표의 궤적은 황의 함량의 증가와 더불어 백색광원의 영역에 근접함을 나타냈다.
- 3) NaI 첨가량 증가에 따라 588 nm 부근에 강한 피크가 있는데 이는 나트륨 원자의 D line으로서 CIE 색좌표 및 상관 색온도의 개선에 기여한 것으로 사료된다.

본 연구는 IMT-2000 전통산업의 IT 접목기 술개발사업의 초고주파 방전 신광원 시스템 개발 과제 지원에 수행 되었습니다.

참고 문헌

- [1] B. Cook, Engineering Science and Education Journal , Vol. 9, Iss. 5, pp. 207~217, Oct. 2000
- [2] Didenko, K. Lynkhov, G.A. Shipilov, K.F. Vinogradov, IEEE International Conference on Plasma Science, pp. 136, 1996
- [3] D.O. Wharmby, Measurement and Technology, IEE Proceedings A , Vol. 140 Issue 6 , pp. 465~473, Nov. 1993
- [4] K. Rajaram, M.J. Kushner, "A Monte Carlo simulation of radiation trapping in electrodeless gas discharges having complex geometries", Pulsed Power Plasma Science, pp. 246, 2001
- [5] J. R. Coaton, A. M. Marsen, "Lamps and Lighting", 4th edi.Arnold, pp. 225~226, 1997