

마이크로파 방전에 의한 광학적 공동 안에서 고압 2-원자 황 증기의 분광학적 특성 연구

Spectroscopic studies of the high-pressure di-atomic sulfur vapor excited in an optical cavity by microwave discharges

김진중,¹ 고정태,¹ 원동호¹

홍성호,² 김정원²

¹세종대학교 광공학과, ²태원전기산업 부설연구소

kimjj@sejong.ac.kr

마이크로파 방전에 의한 고압 2-원자 황증기 (high-pressure di-atomic sulfur vapor)는 고효율 (high luminous efficacy) 및 고연색성 (high color rendering index)의 백색 광원 (source of white light)으로 높이 평가되고 있다 [1]. 소위 무전극 황전등 (electrodeless sulfur lamp, ESL)으로 알려진 이 발광원은 최고 효율이 173 lm/W 까지 시연되어 알려진 모든 인조 광원 중에서 가장 높은 효율을 보인 혁신적인 광원이다 [2]. 높은 상업성 때문에 많은 지적 재산권은 등록되었으나, 이 광원의 분광학적 연구는 썩 제한되어 있다 [3, 4]. 본 논문에서는 고압 2-원자 황증기를 광학적 공동 (optical cavity)에 넣어 여기 시키면 스펙트럼이 여러 가지로 변화되는 흥미로운 실험 결과를 요약하여 보고한다.

잘 알려진 대로 황 (sulfur)는 상온에서 고체 상태인 octa-sulfur (S_8)로 존재하며, 융해점은 121°C 이고, 약 800°C 이상에서는 분해되어 대부분 2-원자분자인 (di-sulfur, S_2)의 증기로 존재한다. 따라서 di-sulfur 의 에너지 준위를 고찰하면 황전등의 spectrum을 이해할 수 있다. Di-sulfur의 첫 번째 여기 상태 (first excited state)인 $B^3\Sigma_u^-$ 의 vibrational level들 ($v'=1-9$)과 ground state인 $X^3\Sigma_g^-$ 의 vibrational level ($v'=1-30$)들 사이의 전이 중 높은 Franck-Condon factor를 갖는 전이는 모두 자외선 영역에 속하는 파장을 갖고 있다. 사실 무전극 황전등이 발명되기 전에는 황 증기는 자외선 광원으로 높이 평가되어 왔다 [5].

보통 알려진 실험에서는 약 5 mg의 황 가루를 약 10 torr 의 Ar gas와 함께 전극 없는 직경 3-cm의 석영구에 넣고 2.45-GHz의 마이크로파 공동에서 방전하면 초기에는 Ar의 방전에 의하여 가스 온도가 증가한다. 황 가루가 점차 증발하여 약 800°C 이상이 되면 4기압 정도의 증기로 변하면서, 약간의 청색을 띤 무전극 황전등 특유의 고연색성의 백색광을 발한다. 이러한 특성은 이미 알려진 사실이다. 그리고 황 증기의 밀도에 따라 스펙트럼 모양이 변하는 사실도 알려져있다. 본 실험에서는 이러한 황 전극을 고반사율의 광학적 공동 (optical cavity)에 넣으면 한층 더 red-shift가 일어나는 현상을 관찰하였다.

스펙트럼 (a)는 광학적 공동 없이 공개된 광원에서 나오는 백광의 스펙트럼이다. (b)로 표시된 스펙트럼은 램프를 광학적 공동에 삽입했을 때 나오는 스펙트럼이다. Red-shift가 더 일어난 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 광학적 공동에 의하여 짧은 파장의 광은 복사 트랩 (radiation trap)이 한층 더

일어나 긴 파장 대의 전이의 Franck-Condon factor를 실질적으로 증가시키는 효과를 넘으로 이러나는 현상이라 해석할 수 있다. 우리가 알기로 이러한 현상은 본 실험에서 처음으로 관찰되었다. 한편, aperture lamp라는 새로운 형태의 광원에서 관찰된 스펙트럼은 전혀 다른 모양을 보여준다 [6]. 이 두 형태의 스펙트럼이 다른 이유는 아직 규명되지 않았으나, 더욱 정확한 분광학적 분석을 하여야 규명될 것으로 사려된다.

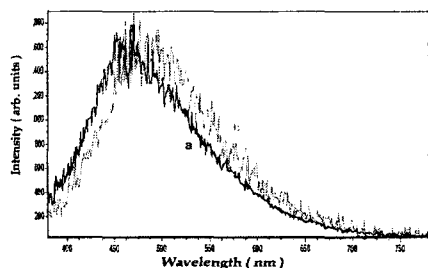


그림 1: 광학적 공동에서의 스펙트럼 비교 (a): 공개된 광원의 스펙트럼; (b) 광학적 공동 내에서의 스펙트럼

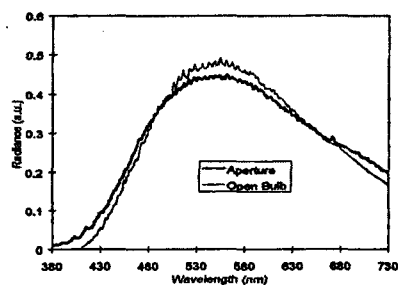


그림 2: Open lamp와 aperture lamp의 스펙트럼의 차이. 그림 1의 스펙트럼과 현격한 차이가 있다 [Ref. 6].

본 논문의 내용을 요약하면, 마이크로파 방전에 의한 공개 (open)된 전구에서 나오는 고압 2-원자 황증기의 스펙트럼과 광학적 공동 (optical cavity)에서 방전되어 나오는 스펙트럼에는 현격한 차이가 있다. 이는 광학적 공동이 red-shift를 한층 더 일으키는 효과를 보여준다. 한편, 비슷한 형태의 aperture lamp에서 나오는 스펙트럼은 또 다른 형태의 스펙트럼을 보여준다. 이 두 가지 형태의 스펙트럼의 차이가 일어나는 원인은 아직 규명되지 않고 있다. 자세한 연구가 우리 실험실에서 진행되고 있으며, 이 결과는 차후에 다른 곳에서 발표될 것이다.

참고 문헌:

1. D. O. Wharmby, "Electrodeless Lamps for Lighting," IEE Proceedings **140A**, p. 465.
2. B. P. Turner, et al., "Microwave excited sulfur lamp," The 47th Annual Gaseous Electronics Conference (Gaitheersburg, MD, 1994) Paper QA2.
3. 2. Jin Joong Kim, *et al.*, "Spectroscopic studies of high-pressure sulfur vapor in ultrahigh-frequency discharges," Proc. of the 9th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Cornell University, Ithaca, N.Y. (Cornell University Press, Ithaca, N.Y., 2001) p. 123.
4. 김진중: "무전극 황전등: 원리, 현황, 및 전망," 한국광학회 2000년도 한국광학회 동계 학술발표회 논문집 (한국광학회 2000.2.17-18) p. 194.
5. P. A. Peterson and L. A. Schlie, "Stable Pure Sulfur Discharge and Associated Spectra," J. Chem. Phys., vol. **73**, p. 1551.
6. D. A. Kirkpatrick, "Aperture Lamps," Proc. of the 9th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Cornell University, Ithaca, N.Y. (Cornell University Press, Ithaca, N.Y., 2001) p.309.

T
A