

고출력 무전극 HID 황램프의 색도 조절

원동호¹, 김정영¹, 김진중^{1,2}, 홍성호², 김정원², 김경신²
 세종대학교 광공학과¹, 태원전기(주) 부설연구소²

A Chromaticity Control of a Electrodeless HID Sulfur Lamps

Dong Ho Won¹, Jung Young Kim¹, Jin Joong Kim^{1,2}, Sung Ho Hong², Jeong Won Kim², Kyung Sin Kim²
¹Department of Optical Engineering Sejong University, ²Taewon Lighting Company R&D Laboratory

Abstract - 본 논문에서는 마이크로파로 여기 시켜 방전하는 고출력 무전극 HID 황 램프와 다른 발광 물질의 광학적 특성을 설명하고, 특히 원편파를 이용하여 정지된 램프에서 방전시켜 광학적 특성을 측정하였다. 그리고 순수 황에 특정 화합물을 첨가하여 색도를 조절하여 연색성 지수를 순수 황보다 좋게 할 수 있었다.

황색, 청록색을 거쳐 백열상태로 변한다. 흑체의 어느 온도에서의 공색과, 어떤 광원의 광색이 동일할 때, 그 흑체의 온도를 가지고 그 광원의 광색을 나타내고 있으며, 이를 색온도(color temperature)라 한다. 표 1은 대표적인 광원의 색온도이다. 일반적으로 색온도가 낮으면 붉은 빛을 띠고, 따스함을 느끼는 빛으로 된다. 또 색온도가 높아짐에 따라서 낮은 태양광과 같이 흰 빛을 띠게 되고, 더욱 높아지면 푸른빛을 띤 차가운 빛으로 된다.

1. 서 론

최근의 신 광원의 동향은 광원재료의 개선, 새로운 재료의 도입, 광원의 형상의 개선, 발광 색의 제어, 더욱이 전극을 사용하지 않는 새로운 점등방식의 램프에 관한 연구 등이 있다. 특히 새로운 점등 방식은 열방사와 방전이 아닌 무전극 방전 램프로서 주목이 되고 있다[1].

무전극 HID 램프 방전은 방전 램프 안에 전극이 없이 방전이 이루어지기 때문에 재래식 전극 램프에 비하여 많은 장점을 가지고 있다. 예를 들면 광원 램프 자체의 수명이 길고, 수명 기간 동안 광속유지율(lumen maintenance)이 거의 일정하고, 광 변환 효율(lumen efficacy)의 변화가 적으며, 제작이 간편하고, 무수는 및 폐기물의 최소화로 높은 환경 친화성 등등 이다[2].

무전극 황전등으로 시작된 이 기술이 InBr, CsBr, 등과 같은 다른 2-원자 메탈 할라이드(metal halide)에도 적용될 수 있다는 것이 시연되었으며, 연색성지수 (Ra) 98을 갖는 거의 완벽한 백색광원이 개발되고 있다[3]. 현재 미국, 일본, 중국, 네덜란드 등등 조명 기술 선진국에서도 연구개발이 진행 중에 있으며, 국내에서도 첨단 기술의 확보 및 개발을 위해 지원을 하고 있다. 본 연구도 산업 자원부의 지원으로 연구를 진행 중이다.

본 논문에서는 원편파(Circularly Polarized microwaves)로 무전극 HID Lamp를 방전시켜 순수 황에 특정 화합물을 혼합하여 상관 색온도와 연색성을 조절하였으며, 방전 플라즈마의 현상을 관찰하였다.

2. 본 론

2.1 색온도와 연색성

흑체를 고온으로 가열하면 발산하는 빛의 광색은 적색,

표 1. 대표적인 광원의 색온도

광원	색온도[K]	광원	색온도[K]
태양	5,450	백열전구	2,850
푸른 하늘	12,000	고압수은램프	5,600
백색형광램프	4,500	형광수은램프	4,600

연색성은 일반적으로 광원에 의하여 어떤 물체를 비추일 때, 그 물체의 색의 보임을 정하는 광원의 성질을 말한다. 보여지는 색은 광원의 분광특성에 의해서 결정된다. 즉 광원 중에 가시광선영역(380 nm ~ 760 nm)의 광에너지가 똑같이 포함되어져 있을수록 자연색광에 가깝다. 이 광원의 연색성의 정도를 나타내는 대표적인 지수로서 평균 연색성 평가지수 Ra가 있다. 평균 연색성 평가지수(Ra)란 많은 물체의 대표색으로서 8종류의 시험색을 사용하여 그의 평균값으로부터 구한 것이다. 예를 들면, 어느 램프의 조명 하에서 각 시험 색표가 기준광과 같다고 보여지는 경우 그 램프의 평균 연색성평가지수 Ra는 100이라는 지수로 된다.

또한, 램프의 효율과 연색성이라는 관점에서 보면, 효율이 높은 광에너지(황녹색 광)를 많이 포함하는 광원은 램프의 효율이 높은 반면, 다른 파장의 광이 작기 때문에 연색성이 나쁘다. 반대로, 각 파장의 광을 일정하게 포함하는 광은 연색성이 좋은 반면에 효율이 나쁘다[4].

2.2 실험 장치

2.45 GHz의 마그네트론에서 발생되는 전자파는 직사각형 도파관인 WR340 도파관에서 가장 낮은 차단 주파수(cutoff frequency)를 갖는 기본 모드(dominant mode) TE₁₀ mode로 전파되고, 원통형 도파관에서는 기본 모드 TE₁₁ mode로 바뀌게 된다. TE₁₁ 모드인 마이크로파는 타원형 도파관을 통과하면서 마이크로파가 회전한다. 이 회전하

는 마이크로파는 다시 원통형 도파관을 지나 램프에 균 일하게 흡수된다. 여기서 초기 방전에 참여하지 못한 마이크로파는 반사되어 입사파에 영향을 주기 때문에 원편 파가 깨질 수 있다. 이를 방지하기 위하여 dual-mode transducer를 사용하여 반사파는 제 2 isolator로 흡수되게 설계하였으며, 타원형도파관은 위상차가 90° 차이 나게 시물레이션으로 길이를 결정하여 최적화된 도파관 (waveguide)을 제작하였다. 실험에 사용된 램프는 지름 30 mm의 석영(quartz)으로 만들어진 구형이다. 내부에 순도 99.99%의 황 수 mg과 99.99%의 CsBr 수 mg, 99.999%의 Ar 10 torr를 채운 후 밀봉하여 제작하였다.

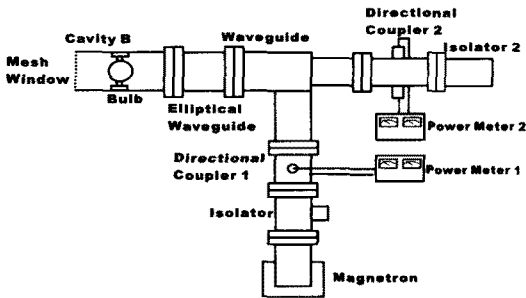


그림 1. 실험 장치 구성도

그림 1은 원편파 시스템을 이용한 본 실험의 시스템 구성도이며, 램프에서 방출되는 방전광의 스펙트럼은 Spectrometer(Acton Spectrapro500)로 측정하였으며, 상관 색온도, 및 평균연색성지수는 colorimeter (PR-650, Photo Research)로 측정하였다.

2.3 무전극 HID 황 램프의 색온도와 연색성

무전극 HID 황 램프의 가장 큰 특성은 높은 효율과 장 수명이다. 그러나 앞에서 언급한 내용과 같이 효율이 높은 무전극 HID 황(순수) 램프는 연색성이 떨어진다.

실제로 그림 1과 같이 실험 장치를 설치하여 마이크로 파로 무전극 HID 황 램프를 방전시키면 방전광의 분광 분포는 그림 1에서와 같이 약 380 nm 에서 700 nm 까지 연속 분포하며, 상관색온도는 6,500 K에서 13,000 K까지 나오며, 분광분포의 peak는 약 480 nm에 존재한다. 그러므로 방전광은 차가운 계열의 푸른색을 띤 백색이기 때문에 따뜻한 느낌의 조명광이 필요한 장소에 사용하기에 적합하지 않다. 따라서 380 nm에서 나오는 빛을 상대적으로 억제하고 500 nm에서 700 nm (붉은색)영역에 있는 방전광의 세기를 증가시킬 수 있는 첨가물을 방전 램프 내에 첨가한다면 방전광을 온화한 색으로 바꿀 수 있다. 무전극 황램프에 첨가할 붉은색 파장대에서 주된 파장이 나오는 화합물의 종류는 여러 가지가 있다. 그러나 무전극 HID 램프에 첨가된 화합물이 방전램프에 손상을 입히지 않는 물질이면서 효율을 떨어뜨리지 않는 화합물이 필요하다.

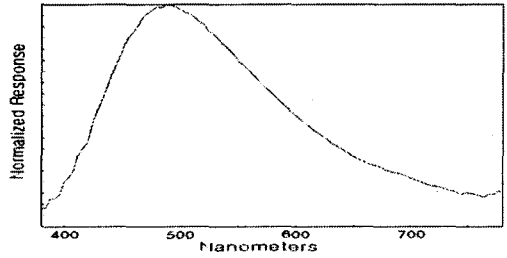


그림 2. 무전극 HID Lamp(S₂) 스펙트럼

2.4 CsBr의 광학적 특성

원편파로 여기된 무전극 HID 황램프와 무전극 HID CsBr램프를 그림 1과 같이 설치된 실험장치로 측정하였다.

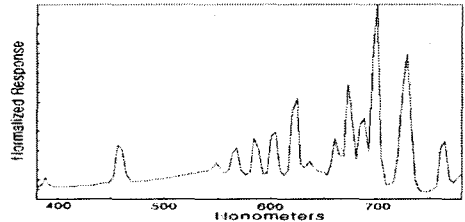


그림 3. 무전극 HID Lamp(CsBr) 스펙트럼

그림 2와 그림 3은 입력전력이 1kW일 때의 황과 CsBr의 스펙트럼이다. 스펙트럼은 colorimeter (Photo Research PR650)로 측정하였으며, 램프와 1 m 떨어진 거리에서 측정하였다. 황은 중심축(peak)이 480 nm 인 약간 푸른 계통의 백광이었으며, CsBr의 경우 중심축의 peak가 700 nm인 붉은 계통의 광이 나온다. 황의 경우 자체역전효과 때문에 입력전력이 높을수록 분광 분포가 장파장으로 이동(red-shift)하는데[5], CsBr과 같은 붉은색의 파장대가 많이 나오는 화합물을 혼합하였을 때 red-shift현상이 나타나는지 실험을 하였다.

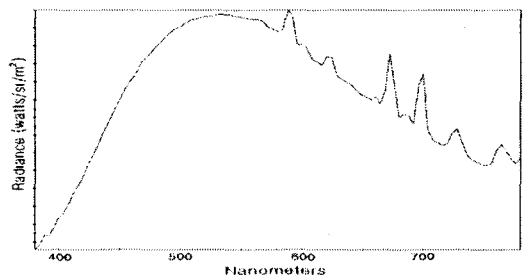


그림 4. 무전극 HID Lamp(황 + CsBr) 스펙트럼

그림 4는 황 수 mg과 CsBr 수 mg을 혼합하였을 때의 스펙트럼이다. 황 스펙트럼과 비슷하면서 중심축이 480nm에서 588nm로 이동하였으며, CsBr의 분자 peak가 몇 개 나타나고, 그림 2의 순수 황의 스펙트럼에서

의 붉은색 파장대와 비교해 보았을 때 황에 CsBr을 첨가하였을 때의 붉은색 파장대의 광세기(intensity)가 커졌음을 알 수 있다. 이것은 연색성과 상관색온도와 밀접한 관계가 있다.

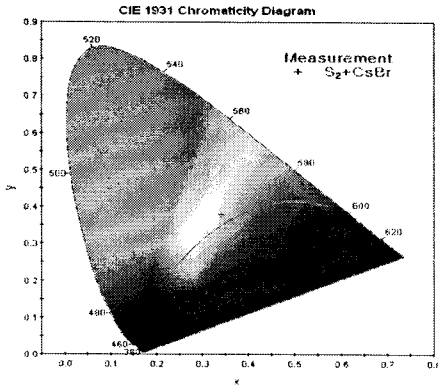


그림 5. 무전극 HID Lamp(황 + CsBr) 상관색온도

연색성과 상관색온도를 측정하기 위해서 같은 상황에서 그림 1과 같이 실험 장치를 설치하여 상관색온도와 연색성을 측정하여 보았다. 그림 5는 무전극 HID Lamp(황 + CsBr)의 1931 CIE 색좌표계이다. 그림 5와 같이 좌표가 프랑크 계적과 가깝게 있어 자연광과 거의 흡사한 광이 발광됨을 알 수 있다. 상관색온도는 순수 황만 방전시킬 경우 최저 13,000 K 정도 였으나 황에 CsBr을 첨가하였을 경우에는 약 4,700 K 까지 조절 가능하였다. 연색성은 순수 황일 경우 78(Ra)에서 82(Ra)정도 이었는데, 89(Ra) 이상으로 조금 더 자연광과 비슷한 연색성지수가 나왔다. 그러나 순수 황일 때 보다는 효율이 떨어지는 단점이 있다.

2.5 플라즈마 현상

황의 플라즈마는 기존에 알려져 있듯 그림 6의 A와 같이 공중부양하는 특이한 플라즈마 성격을 가지고 있다 [6]. 그리고 응집력이 강하여 원편파로 방전을 하여도 조건이 맞지 않으면 램프가 파손되는 결과를 초래한다.

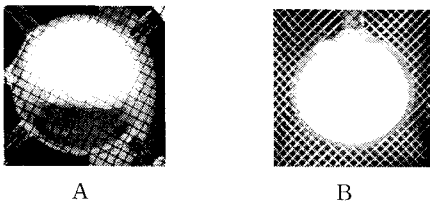


그림 6. 황(A)과 황+CsBr(B)의 방전모습

순수 황에 CsBr을 소량 첨가하였을 때에는 그림 6의 B와 같이 플라즈마가 램프 전체에 분포함을 알 수 있다. 즉 CsBr이 첨가되면서 황의 응집력을 감소시켜 플라즈마가 램프 전체에 퍼지게 하는 것이라 추측할 수 있다.

아직 정확한 플라즈마의 성격을 파악하기 위하여 더 많은 연구가 필요하며, 현재 계속 연구 진행 중이다.

3. 결 론

본 논문에서는 선행 방전기술과는 다른 방식인 램프를 회전 시키지 않고 마이크로파를 회전시키는 원편파를 이용하여 무전극 HID Lamp를 방전시켰으며, 원편파로 여겨진 정지된 램프의 광학적 특성을 측정하였다.

순수 황에 메탈할라이드(CsBr)인 화합물을 첨가하였을 때의 스펙트럼 변화를 측정하였으며, 순수 황에 CsBr을 첨가하여 상관색온도와 연색성지수를 조절할 수 있었다. 상관색온도는 4700 K 에서 6100 K 이 나왔으며, 연색성은 89에서 91까지 나왔다. 이처럼 색온도와 연색성을 조절할 수 있는 점이 무전극 HID 램프의 또 다른 장점이 다.

본 연구팀에서 발광 플라즈마의 성격을 규명하기 위하여 계속 연구 중이며, 무전극 HID Lamp의 상용화와 최적화를 위해서는 플라즈마의 성격을 정확하게 이해해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 산업자원부의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 四官 雅樹, "Electrodeless Fluorescent Lamps", 조명학회지 제 82 권 제 6 호 1998, pp. 394 ~ 397
- [2] 김진중외 4인, "마이크로파 방전에 의한 광학적 공동안에서 고압 2 원자 황증기의 분광학적 특성연구", 한국광학회 2002년도 하계학술발표회 논문집, pp.114-115, 2002. 7.
- [3] Donald, A. M., Turner, B. P., Dolan, J. T., Kirkpatrick, D. A. and Leng, Y., 1999: "High frequency inductive lamp and power oscillator", U.S. Patent, 6,137,237
- [4] 박대희, 이종찬, 김광수, 황명근, "초고주파 방전 광원의 평가기술과 규격", 대한전기학회 하계학술대회 초고주파 방전 신광원 시스템 전문 session 논문집, pp. 25-28, 2002. 7.
- [5] 김진중외 6인, "초고주파 방전에 의한 고압 이원자 증기 발광 플라즈마 특성 연구", 대한전기학회 하계학술대회 초고주파 방전 신광원 시스템 전문 session 논문집, pp. 34-36, 2003. 7.
- [6] J. J. Kim, D. H. Won, J. T. Ko, J. W. Kim, S. S. Kim, H. Y. Chang, "Rotating plasma discharges of high-pressure molecular vapor using circularly polarized microwaves", Appl. Phys. Lett., VOL. 84, No. 15., 12 April 2004.