

메탈할라이드를 첨가한 무전극 황전등의 분광분포 변화

구선근, 박기준, 추장희  
한국전력공사 전력연구원 전력계통연구소

Spectral Radiance Change of Electrodeless Sulfur Lamp by Adding Metal-halide into Sulfur Bulb

Sun-geum Goo, Kijun Park, Jang Hee Chu  
Power System Laboratory, Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)

**Abstract** - 기존 무전극 황전등의 방전광은 500 nm 보다 짧은 파장에서 최대 세기를 가지기 때문에 푸른색을 띤다. 본 연구에서는 각각 588 nm, 671 nm, 767 nm에서 방전광을 발생하는 Na, Li, K를 메탈할라이드의 형태로 황 방전구에 첨가하여 황과 같이 방전시킴으로써 전체 방전광의 분광분포를 장파장으로 이동시켜 방전광을 좀더 온화한 색으로 조절코자 한다. 첨가한 세가지 종류 모두 무전극 황전등의 방전광을 온화한 색으로 바꿀 수 있었다.

입력전력(Forward power)과 반사전력(Reflect power)의 차이이다. 장착된 방전구는 전구표면의 hot spot을 없애주고 황을 안정하게 방전시키기 위해 motor를 이용하여 4에서 5 Hz 사이의 속도로 회전시킨다. 방전구들에서 방출되는 방전광의 분광분포는 Bruker사의 IFS 66v/S TRS(Time resolved FT spectrometer)를 이용해 0.2 cm<sup>-1</sup> 또는 2 cm<sup>-1</sup>의 해상도로 측정하였고, Photo Research사의 PR-650 spectroradiometer로 색좌표상의 위치를 측정하였다.

1. 서 론

최근 개발되고 있는 무전극 황전등은 고광도 전등(HID lamp: high intensity discharge lamp)의 일종으로 2.45 GHz 마이크로파로 이온자 황을 방전시키고 이때 발생하는 방전광을 조명에 사용하는 전등이다. 무전극 황전등은 전구내 전극을 없애 전극에 의한 전구의 노화를 근원적으로 차단함으로써 6만시간 이상의 수명을 가짐은 물론, 164 lumens/microwave watts의 높은 시간효능과 80의 고연색지수를 동시에 구현하였으며, 방전물질로 수은을 전혀 사용하지 않기 때문에 환경친화적이다[1]. 그러나 무전극 황전등의 방전광이 차가운 느낌을 주는 푸른색 또는 녹색을 띤 백색광이기 때문에 따뜻한 느낌의 조명이 필요한 장소에도 무전극 황전등을 사용하기 위하여 방전광의 분광분포를 장파장 영역으로 이동시킬 필요가 있다.

본 논문에서 황전등 방전광의 분광분포를 장파장 영역으로 이동하기 위해 각각 588 nm, 671 nm, 768 nm에서 방전광을 발생하는 Na, Li, K를 메탈할라이드의 형태로 황 방전구에 첨가때 무전극 황전등의 특성변화를 조사하였다.

2. 실험방법

황 20 mg이 봉입된 석영전구에 표 1에 명기한 메탈 할라이드를 각각 첨가하여 황 방전구들을 제작하여 WR340 마이크로파 방전 시스템의 lamp위치에 장착한 뒤 그림 2와 같이 방전시켰다.

WR340 방전시스템은 마그네트론에서 발생한 2.45 GHz 마이크로파를 WR340 규격의 도파관에 launcher를 통해 인가시킨다. 인가된 마이크로파는 isolator와 directional coupler를 통과하여 전등부(lamp)로 입력된다. 이때 moving short circuit을 이용해 임피던스를 정합(Matching)시킨다. 입력된 마이크로파 전력은 directional coupler의 입력과 측정용 단자를 통해 전력계(RF power meter)에서 측정한다. 전등부에 인가된 마이크로파 전력의 대부분은 방전구내 물질을 방전시키는 데 사용되고 일부는 반사되어 directional coupler를 거쳐 isolator에 흡수되어 제거된다. 반사된 마이크로파 전력은 directional coupler의 반사파 측정용 단자를 통해 전력계에서 측정한다. 방전구에 흡수된 마이크로파 전력(Absorption power)은 전력계에서 측정된

표 1 황 방전구에 첨가된 메탈할라이드의 양

첨가물	NaCl	NaBr	NaI	KBr	LiI
첨가량 (mg)	58	103	150	5	134

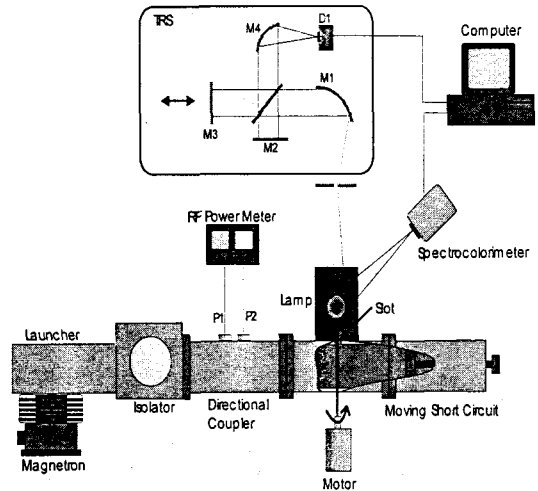


그림 1 WR340 마이크로파 방전시스템  
M1, M2, M3, M4: 거울  
D1: 실리콘 검출기  
P1: 입력전력 측정용 단자  
P2: 반사전력 측정용 단자

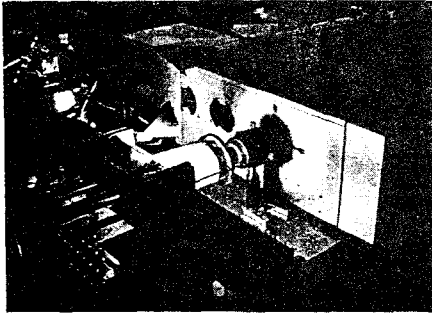


그림 2 WR340 마이크로파 방전시스템의 예

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Na 계열 메탈할라이드를 첨가한 황 방전구

NaCl, NaBr, NaI 등 세가지 종류의 Na 계열 메탈할라이드를 황 방전구에 첨가했을 때 발생하는 무전극 황전등의 특성변화를 조사하였다. 먼저 입력전력의 변화에 대한 NaCl 첨가 황 방전구의 방전광 분광분포 변화를 그림 3과 같이 측정하였다. 입력전력이 0.7 kW 일 때 대부분의 방전광은 S<sub>2</sub>로부터 발생하고 일부 방전광만이 Na D line에서 방출된다. 이때 dominant wavelength는 486 nm이다. 입력전력이 커 질수록 S<sub>2</sub>의 광량에 비해 상대적으로 Na D line이 더욱 커져 분광분포의 dominant wavelength가 입력전력 1.3 kW에서 519 nm로 이동하였다. 따라서 황에 NaCl을 첨가함으로써 전체 방전광을 장파장 쪽으로 이동함을 확인하였다.

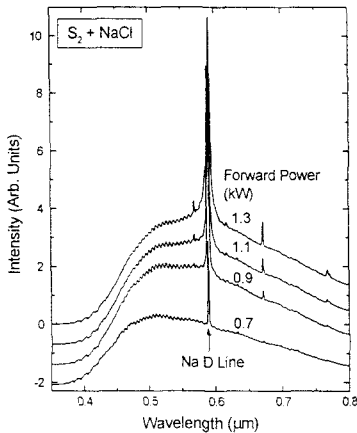


그림 3 NaCl이 첨가된 황 방전구의 분광 분포

황과 서로 다른 세 종류의 Na 계열 메탈할라이드를 혼합하여 입력전력 1.3 kW로 방전시킬 경우 각각의 분광분포는 그림 4와 같이 거의 유사한 모양을 보인다. 따라서 입력전력이 높을때의 방전광 분광분포는 Na 계열 메탈 할라이드의 종류와는 무관하다. 그러나 입력전력이 0.7 kW 이하일 때는 NaI를 첨가한 방전구에서 Na D line이 가장 강하

게 발생한다.

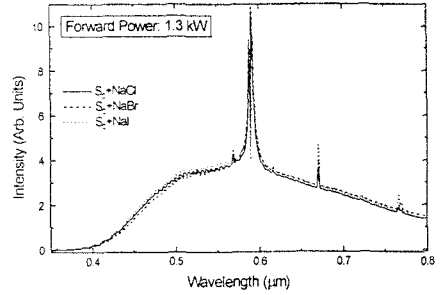


그림 4 Na계열 메탈할라이드를 첨가한 황 방전구의 분광분포

NaCl을 황 방전구에 첨가했을 때의 방전구의 점등 특성을 그림 5와 같이 측정하였다. Microwave 전력을 방전구에 인가한 후 buffer gas의 방전으로 점등된다. 그후 buffer gas는 방전을 중단하고 원자상태의 황이 방전한다. 곧이어 황 증기가 방전을 시작하는데 약 300 nm ( $33,333 \text{ cm}^{-1}$ )에서 500 nm ( $20,000 \text{ cm}^{-1}$ )사이의 기체 황의 방전광은 방전구의 표면에 존재하는 고체상태의 황에 의해 대부분 흡수되어 전체 방전광은 녹색을 띤 노란색으로 변한다. 일단 표면의 고체 황이 모두 기체가 되면 약 450 nm ( $22,222 \text{ cm}^{-1}$ )에 중심을 가진 방전광을 S<sub>2</sub>가 방출하며, 이때부터 atomic Na line이 나오기 시작한다. 일단 S<sub>2</sub>가 충분히 방전하면 S<sub>2</sub>에서 발생하는 방전광의 세기는 약간 줄어들고 atomic Na line이 커지면서 Na의 self trapping이 급격히 진행될 후 안정상태가 된다

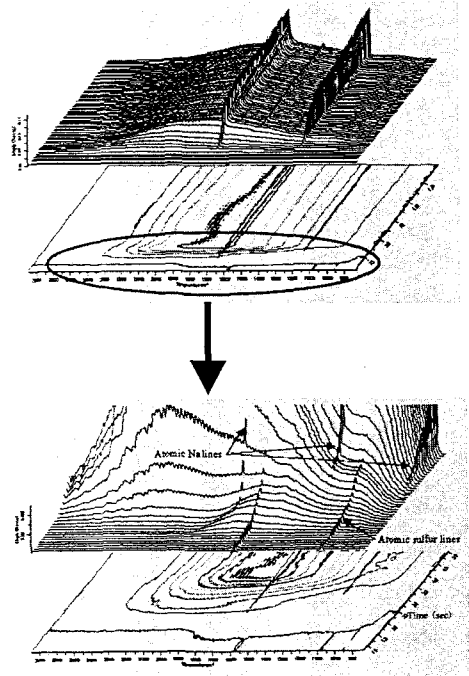


그림 5 NaCl이 첨가된 황 방전구의 점등특성

황만을 방전시켰을때 그림 6의 색좌표에서 보는바와 같이 푸른색 계열의 백색광을 방출되지만 Na 계열 메탈 할라이드를 첨가할 경우 방전광은 입력전력에 따라 찬

느낌의 푸른색 계열부터 따뜻한 느낌의 노란색을 띤 백색광까지 얻을 수 있어 성공적으로 색도를 조절할 수 있었다. 상관색온도의 경우 황만 방전시킬 경우 최저 13,000 K였으나 황에 Na 계열 메탈 할라이드를 첨가할 경우 최저 5,500 K 까지 떨어뜨릴 수 있었다.

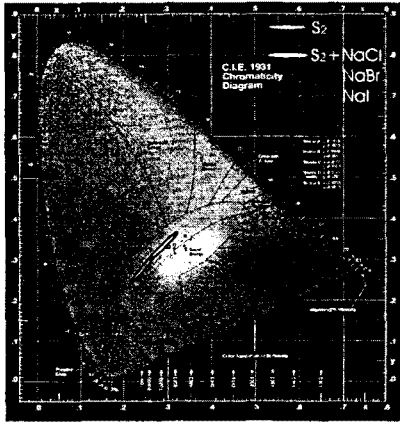


그림 6 NaCl이 첨가된 황 방전구의 색좌표

### 3.2 KBr를 첨가한 황 방전구

KBr을 첨가한 황 방전구를 방전시키면 그림 7과 같이 768 nm에 atomic K line이 발생한다. 입력 전력이 증가할 수록 황 방전광의 세기는 크게 커지지 않으나 K line은 broadening이 급속히 진행되어 700 nm 이상의 파장대를 강조하므로 KBr에 의해 방전광의 색도조절이 가능하다 KBr을 황 방전구에 첨가할 경우 적외선 영역에서 그림 9와 같이 또 다른 강한 atomic K line들이 발생한다.

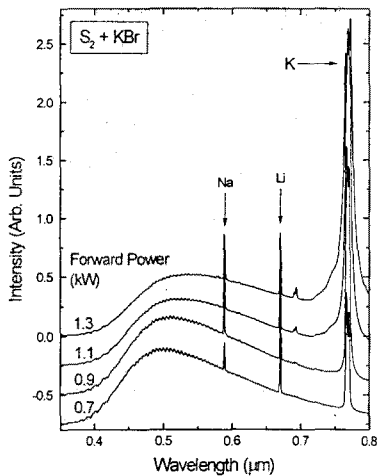


그림 7 가시광선 영역에서 KBr을 첨가한 황 방전구의 분광분포

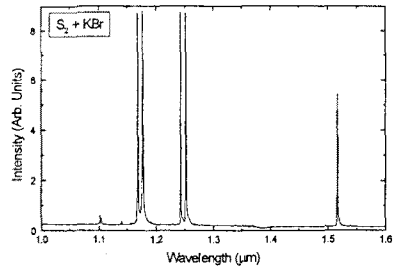


그림 8 적외선 영역에서 KBr을 첨가한 황 방전구의 분광분포

### 3.3 LiI를 첨가한 황 방전구

황 방전구에 LiI를 첨가하여 방전시키면 그림 9와 같이 767 nm에 큰 강도의 atomic Li line이 발생되어 황 방전구의 색도조절이 가능하다.

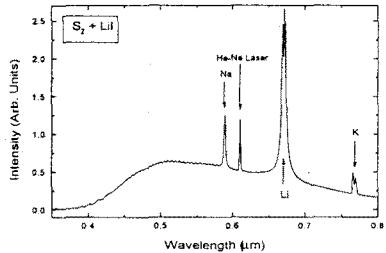


그림 9 LiI가 첨가된 황 방전구의 분광분포

## 4. 결 론

Na계열 메탈 할라이드를 황 방전구에 첨가하여 무전극 황전등의 dominant wavelength를 장파장 영역으로 약 33 nm 이동시킬 수 있었으며 상관색온도를 5,500 K 이하로 낮출 수 있었다. KBr을 황 방전구에 첨가할 경우 768 nm에 강력한 atomic K line이 발생하였고 LiI를 첨가할 때도 767 nm에 큰 강도의 atomic Li line이 발생하였으며, 이를 이용해 무전극 황전등의 색도를 조절할 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

[1] B. P. Turner, M. G. Ury, Y. Leng, and W. G. Love, "Sulfur Lamps-Progress in Their Development," Journal of I.E.S., Winter, pp. 10-16, 1997