

Characteristic Change of Electrodeless Sulfur Lamp Induced by Adding of NaI

具禪根* · 朴基濬** · 秋長姬***
(Goo Sun-geun · Kijun Park · Jang Hee Chu)

Abstract - We developed the correlated color temperature (CCT) control technique for electrodeless sulfur lamp (ESL) by adding a few milligrams of NaI into sulfur discharge bulb. NaI produces intense Na D-line that changes the CCT of the ESL. We can adjust the CCT in the range of 8,400 K to 3,600 K. Color rendering index can be maintained between 79 and 90 for the adjustable range of the CCT. The NaI helps the ESL dischargeable at below 0.5 kW of forward microwave power into the bulb. We have shown that this technique did not cause reduction of luminance compared to electrodeless elemental sulfur lamp.

Key Words : 무전극 황전등, NaI, 상관색온도, 연색평가수, 휘도, 방사휘도

1. 서 론

최근 개발되고 있는 무전극 전등(Electrodeless Lamp)은 전구내부의 전극이나 필라멘트를 제거해 전극의 노화 및 손상에 의한 전구의 성능저하를 근원적으로 차단함으로써 전구의 수명을 획기적으로 늘림은 물론 높은 발광효율을 가지고 있기 때문에 21 세기 조명기구라 불린다. 특히 무전극 황전등(Electrodeless Sulfur Lamp)은 그림 1에서와 같이 고전압 전원에 의해 구동되는 마그네트론에서 발생한 2.45 GHz의 마이크로파로 방전구내 봉입된 이원자 황(S₂)을 방전시키고 이때 발생하는 방전광을 이용하는 전등으로, 164 lumens/microwave watts의 높은 발광효율과 80의 높은 평균 연색평가수를 동시에 구현하였다[1]. 그러나 상관색온도가 5,600 K 이상인 무전극 황전등의 방전광은 차가운 느낌을 주는 푸른색 또는 녹색을 띤 백색광이다. 그러므로 비교적 따뜻한 느낌의 조명이 필요한 장소에도 무전극 황전등을 사용하기 위해서는 방전광의 상관색온도를 충분히 낮출 수 있는 기술이 필요하다. 무전극 황전등을 위한 기존의 상관색온도 가변기술로는 방전광의 분광분포가 방전구의 온도에 영향을 받는다는 현상을 이용해 냉각용 압축공기로 방전구의 온도를 조절하여 상관색온도를 변화시키는 방법 등을 제시하였으나, 전등에 센서, 공기압축기, 노즐 등의 장치가 추가되어 전등의 제조비용을 상승시키는 물론 상관색온도의 가변 폭이 좁다 [2].

본 논문에서는 589 nm 근처에서 강한 등황색광을 방출하는 Na를 NaI의 형태로 황 방전구에 첨가함으로써 무전극 황전등의 상관색온도를 조절코자 한다. 특히 이 방법은 기존의 무전극 황전등이 가진 강한 휘도와 높은 연색평가수 등 여러 장점을 그대로 유지시켜 줄 뿐 아니라, 저전력에서 황의 방전을 안정적으로 유지시켜주는 등 기존의 상관색온도 가변기술에 비해 우수한 특성을 가지고 있으므로 향후 무전극 황전등의 활용 범위를 넓힐 수 있을 것으로 생각된다.

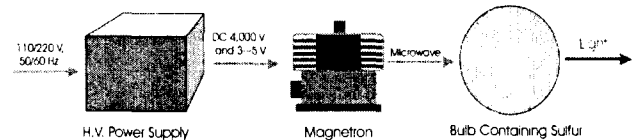


그림 1 무전극 황전등의 원리
Fig. 1 Principle of electrodeless sulfur lamp

2. 실험방법 및 구성

순도 99.99%의 황 20 mg과 buffer gas로서 99.9999 %의 Ar이 수 torr 봉입된 지름 40 mm 석영전구에 99.98% NaI를 각각 0.5, 1.4, 3.5, 6.2, 9.9 mg을 첨가한 방전구 5 종과 NaI를 첨가하지 않은 방전구 1종을 제작한 뒤 이를 방전시키기 위해 그림 2의 WR340 도파관 연결형 방전장치의 방전 공동에 장착하였다. 본 논문에서는 NaI를 첨가한 방전구를 황+NaI 방전구로, NaI를 첨가하지 않은 방전구를 황 방전구로 호칭한다. 방전시스템의 마그네트론에서 발생한 2.45 GHz 마이크로파는 WR340 규격의 도파관에 마그네트론용 launcher를 통해 인가된다. 인가된 마이크로파는 isolator와

* 正 會 員 : 韓電 電力研究院 研究員
** 正 會 員 : 韓電 電力研究院 先任研究員 · 工博
*** 正 會 員 : 韓電 電力研究院 先任研究員 · 理博
接受日字 : 1999年 6月 23日
最終完了 : 1999年 10月 21日

directional coupler를 통과하여 금속망(inductive metal mesh)으로 이루어진 공동내부로 입력된다. 이때 moving short circuit을 이용해 임피던스를 정합하며 입력된 마이크로파 전력은 directional coupler의 진행과 측정용 단자를 통해 전력계에서 측정한다. 공동에 인가된 마이크로파 전력의 대부분은 공동 내부에 장착된 방전구내 물질을 방전시키는 데 사용되고 일부는 반사되어 directional coupler를 거쳐 isolator에서 흡수되어 제거된다. 반사된 마이크로파 전력은 directional coupler의 반사파 측정용 단자를 통해 전력계에서 측정한다. 방전구에 흡수된 마이크로파 전력(absorbed power)은 전력계에서 측정된 입력전력(forward power)과 반사전력(reflect power)의 차이이다. 장착된 방전구는 표면의 hot spot를 없애주고 황을 안정하게 방전시키기 위해 48, 180, 360, 600 rpm의 4가지 속도로 회전시켰다. 본문에서는 편의상 48, 180, 360, 600 rpm을 각각 0.8, 3, 6, 10 Hz로 표기한다. 공동에 장착된 방전구의 회전축은 중력방향에 수직이며 실험장치가 설치된 광학 테이블면과 수평이다.

준비된 방전구들에서 방출되는 방전광의 분광분포는 실리콘 광검출기가 장착된 Bruker사의 IFS 66v/S TRS(Time Resolved FT Spectrometer)를 이용해 210 nm에서 1,200 nm 사이의 파장범위에서 분해능 0.2 cm^{-1} 또는 2 cm^{-1} 으로 측정하였으며 분광기의 내부는 진공상태를 유지하였다. 측정시 분광기의 광축과 방전구의 회전축이 일직선상에 놓이도록 하였다. 휘도, 방사휘도, 상관색온도, 평균 연색평가수 등은 Photo Research사의 PR-650 spectra-colorimeter로 2° 시야에서 측정하였다.

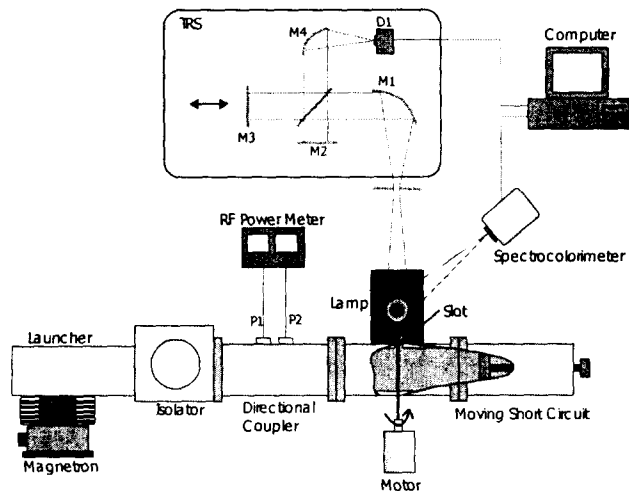


그림 2 WR340 마이크로파 방전시스템. M1, M2, M3, M4: 거울. D1: 실리콘 검출기. P1: 입력전력 측정용 단자. P2: 반사전력 측정용 단자.

Fig. 2 WR340 microwave discharge system

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 방전광의 분광분포 및 광 에너지 평형

준비된 방전구를 방전시스템의 공동내부에 장착하고 그림

3과 같이 방전시킨 상태에서 입력전력에 대한 반사전력의 비율을 그림 4와 같이 측정하였다. 그림에서 보면 방전구안에 들어있는 NaI의 양에 따라서 입력전력에 대한 반사전력의 비가 다른 양상을 보임을 알 수 있다. 황 방전구에서는 입력전력이 증가하면 반사전력의 비가 줄어들어 흡수전력이 증가하는 경향을 보였다. 황 방전구의 회전효과는 낮은 입력전력일 때에는 저속일 때가 고속일 때보다 반사가 더 많이 일어나며, 높은 입력전력에서는 모든 회전 속도에서 비슷한 결과를 보였다. 그리고 황+NaI 방전구는 입력전력이 증가하면서 반사전력이 더 증가하는 양상을 보였다. NaI의 양에 따라 적게 들어있는 것보다 많이 들어있는 경우 반사전력이 조금더 증가하는 특성을 보였다.

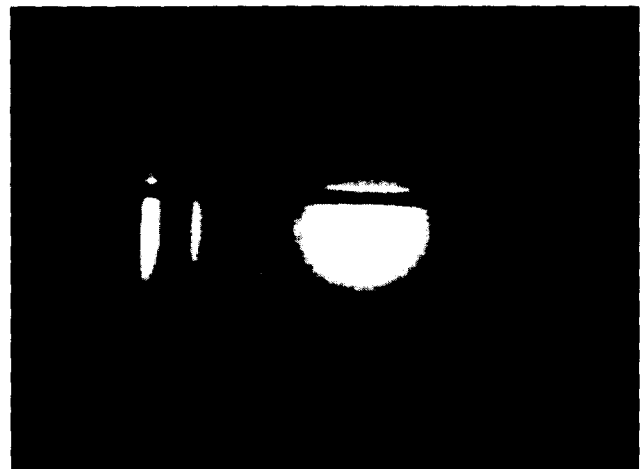


그림 3 방전구 내 황과 NaI의 방전모습.
Fig. 3 Image of the discharged mixture of sulfur and NaI.

방전구의 방전상태를 비교하여 보면, 황방전구는 0.7 kW 이하의 입력전력에서는 방전을 지속할 수 없었으며, 0.7 kW에서 0.9 kW의 입력전력에서는 방전상태는 유지되나, 방전이 불안정한 상태이며, 요동을 일으켜서 소음이 발생하였다. 황+NaI의 방전구의 방전상태는 NaI의 양에 관계없이 0.5 kW에서 0.9 kW의 입력전력에서 방전이 쉽게 일어났으며, 방전시 안정한 상태로 방전이 일어남을 확인하였다.

황의 방전과정을 살펴보면, 입력에너지를 흡수하여 다원자 황 분자가 이원자 황으로 되어 방전을 일으키면서 방전광을 방출한다. 입력에너지가 충분하지 않은 상태에서는 일부 황이 이원자 황으로 변하여 방전을 일으키나, 많은 황 분자가 방전에 기여하지 못하여 방전을 유지할 정도로 충분하지 않아서 방전이 지속되지 않는 것으로 생각할 수 있으며, 결국 입력전력의 많은 양이 반사되는 것으로 판단된다. 그러나 입력전력이 증가하면 입력전력의 대부분이 흡수되어 이원자 황이 방전을 안정적으로 지속하게 된다.

황+NaI 방전구는 황 방전구보다 낮은 입력에너지에서 방전이 일어나는 것을 예상할 수 있다. NaI의 해리에너지는 3 eV로 Na의 이온화에너지 5.2 eV 보다 낮으며, 황이 증기화되어 이원자 황으로 나뉘어지는 해리에너지 10 eV 보다는 훨씬 낮다. 그러므로 황만 들어있는 방전구의 초기 방전에너지는 황+NaI 보다 더 높은 것은 쉽게 짐작할 수 있다. 황

+NaI 방전구는 입력전력을 흡수하여 먼저 NaI가 Na와 I 이온으로 해리되며, 이와 같은 이온들이 낮은 입력에너지에서도 방전을 일으켜 방전상태를 지속시키며, 이런 방전상태에서 황이 이원자 황으로 쉽게 해리하는 것으로 판단된다. 그러나 입력전력이 증가하여 황방전구 안에 이원자 황이 많이 생성되면 이원자 황에 의해 많은 양의 전력을 흡수하여 안정한 방전상태를 유지할 뿐만 아니라 입력전력의 대부분을 흡수하여 방전에 사용하게 된다.

황+NaI 방전구는 단위 부피 당 이원자 황(S₂)의 양이 황방전구보다 적으며, 이원자 황이 흡수하는 에너지가 NaI 보다 크다. 열적 평형상태에서 일정한 부피에 들어 있는 분자수가 같다고 가정하면, 황 방전구가 황+NaI 방전구보다 더 많은 입력전력을 흡수하게 된다 [3, 4].

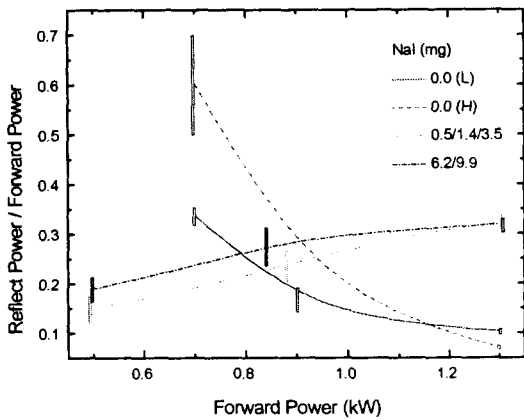


그림 4 NaI의 첨가량이 다른 방전구의 입력전력에 대한 반사전력의 변화. L: 0.8, 3 Hz rotational speed. H: 6, 10 Hz rotational speed.

Fig. 4 Ratio of reflect power and forward power for bulbs containing different amount of NaI.

입력전력이 낮을 때 황 방전구는 회전속도 3 Hz에서 6 Hz 사이를 경계로 회전속도가 높으면 반사전력이 증가하여 결합효율이 감소한다. 즉 3 Hz 이하에서는 방전구 내부의 황이 모두 방전하지 않으며, 중력방향으로 방전하지 않는 무거운 황이 물린다. 방전구의 상단에는 방전하는 가벼운 황이 물리게 되며 방전하는 황 분자당 입력전력이 충분히 높아 황을 쉽게 방전시킬 수 있다. 그러나 방전구를 6 Hz 이상으로 회전시킬 경우 방전구내 황 분자들이 원심력에 의해 고루 섞여 방전하는 황 분자의 수가 늘게 된다. 그러므로 방전하는 황 분자당 마이크로파 에너지가 낮아 황 분자의 해리 또는 이온화에 의한 이온이나 자유전자를 생성시키기 어려워 입력전력을 쉽게 흡수할 수 없고 따라서 반사전력이 증가한다. 입력전력이 높아지면 방전구의 회전속도에 관계없이 방전구 전체에서 방전이 일어난다. 따라서 방전구의 회전속도에 관계없이 방전하는 황 분자의 수가 일정하므로 입력전력에 대한 반사전력은 일정한 값을 가진다. 그러나 황+NaI 방전구는 방전구의 회전속도에 관계없이 쉽게 NaI가 해리되어 마이크로파 에너지를 용이하게 흡수하므로 반사전력은 방전구의 회전속도와 무관하다.

NaI를 황 방전구에 첨가하여 발생하는 방전광 분광분포의 변화를 알기 위해 황 20 mg 을 봉입한 황 방전구와 황 20 mg과 NaI 1.4 mg를 봉입한 황+NaI 방전구를 흡수전력 850 W로 방전시켜 그림 5와 같이 각각의 분광분포를 비교해 보았다. 황 방전구의 방전광은 1 atm 이상의 고압하에서 이원자 황(S₂)의 B³Σ_g⁻ 상태에서부터 X³Σ_g⁻ 상태로 천이하면서 발생됨을 김진중 등이 발표한 이원자 황의 방전광 분광분포와 비교하여 확인하였다[5]. 황에 NaI를 첨가할 경우 이원자 황에서 발생하는 방전광의 세기는 줄어드나 589 nm에서 강한 Na D line이 발생한다. 본 논문에서는 NaI를 첨가하여 발생시킨 황색의 Na D line을 이용해 무전극 황전등의 상관색온도를 조절코자 한다.

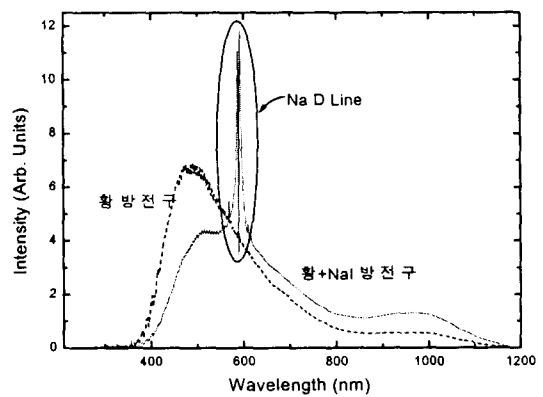


그림 5 황 방전구와 황+NaI 방전구의 분광분포. 흡수전력: 850 W. 황 방전구의 조성비: S: 20 mg. 황+NaI 방전구의 조성비: S: 20 mg, NaI: 1.4 mg

Fig. 5 Spectra of discharge light from sulfur and sulfur+NaI bulbs

전체 방전광에 대해 파장이 380 nm 이하인 자외선이 차지하는 비율은 모든 방전구에서 0.7 % 미만이다. 따라서 대부분의 방전광은 가시광 및 적외선 영역에서 방출된다. 방전구에 흡수되는 전력에 대해 가시광 영역(380 nm - 780 nm)이 전체 방전광에서 차지하는 비율은 그림 6과 같다. 황 방전구에서는 흡수전력에 관계없이 방전광의 전체 파장대에 대한 가시광선 비율이 거의 일정한 값을 가진다. 따라서 흡수전력이 증가함에 따라 방전광 중 가시광선 영역과 적외선 영역의 방전광이 같은 비율로 증가함을 알 수 있다. 특히 방전구의 회전속도가 높아지면 가시광선 영역의 방전광의 세기가 약간 줄어드는데 이는 방전구의 회전에 의해 방전구내 황이 잘 섞여 안정적으로 방전하고 방전구의 온도가 높아지므로 적외선 영역의 열선 방사(thermal radiation)가 증가하기 때문이다. NaI를 첨가한 방전구의 전체 방전광에서 가시광이 차지하는 비율은 NaI의 양이 많을수록, 흡수전력이 증가할수록 감소하고 상대적으로 적외선 영역에서 방출되는 방전광의 비율이 커져 방전구의 온도가 높아짐을 알 수 있다. 또한 흡수전력이 높을수록, 첨가된 NaI의 양이 많을수록 500 nm 근처에 중심을 가진 황 방전광에 비해 589 nm의 Na 방전광의 세기가 증가하기 때문에 가시광 영역의

방전광중 황의 방전광의 비율이 그림 8에서와 같이 작아지며 상관색온도도 낮아진다

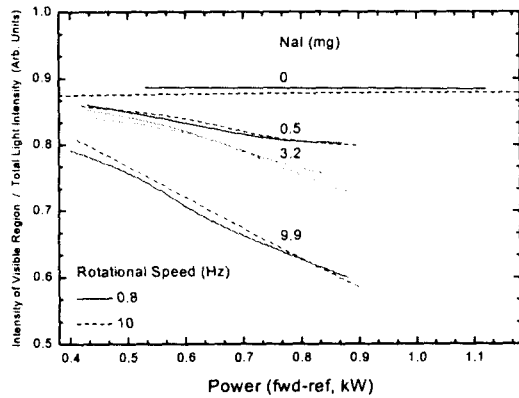


그림 6 흡수전력의 변화에 대한 전체 방전광중 가시광선 영역의 방전광 비율.

Fig. 6 Ratio of light intensity in visible region and total intensity for different absorbed power.

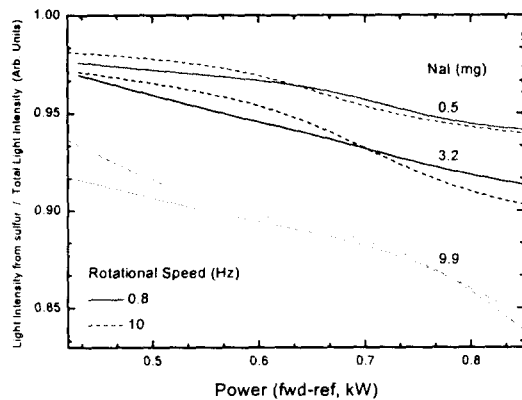


그림 7 가시광선 영역에서 흡수전력 변화에 대한 전체 방전광 중 황 방전광의 비율.

Fig. 7 Ratio of light intensity from sulfur and total intensity in visible region for different absorbed power.

3.2. 방전광의 상관색온도 및 평균 연색평가수

황 방전구를 3 Hz 이하의 속도로 회전시키면서 방전시킬 경우 방전광은 푸른색을 띤 백색이며, 상관색온도는 그림 8에서와 같이 흡수전력 0.54 kW에서 20,700 K이고 1.13 kW에서 12,000 K이다. 그러나 방전구의 회전속도가 6 Hz 이상이면 추장희 등이 설명한 바와 같이 방전하지 않는 황 분자가 방전구의 회전에 의해 방전구 내벽에 고르게 분포한다 [6]. 따라서 방전구의 중심부에서 방출된 황 방전광은 방전하지 않는 황을 통과하면서 황의 자체역전(self reversal) 및 자외선흡수 효과에 의해 푸른색 영역이 대폭 줄어들어 방전구의 회전수가 낮을 때에 비해 8,300 ± 300 K로 상관색온

도가 감소한다. 특히 흡수전력이 증가할수록 상관색온도는 약간 증가하는 경향을 보이는데 이는 흡수전력이 증가할수록 방전에 참여하는 이원자 황이 많아져 자체흡수에 기여하는 방전하지 않는 이원자 황의 수량이 줄어들기 때문이라 생각한다.

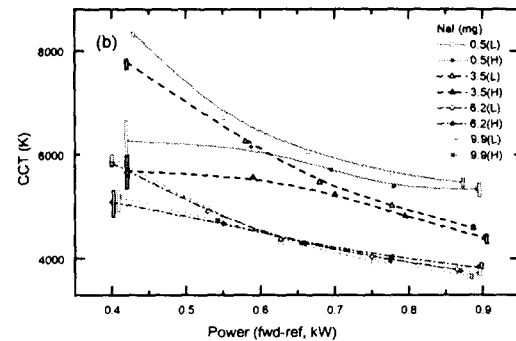
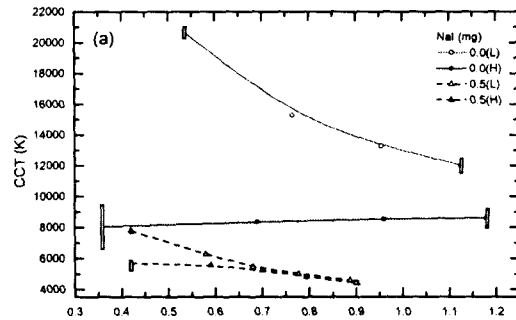


그림 8 흡수전력에 대한 상관색온도의 변화. (a) 황 방전구와 황+NaI 방전구의 연색평가수. (b) 황+NaI 방전구의 연색평가수. L: 0.8, 3 Hz rotational speed. H: 6, 10 Hz rotational speed.

Fig. 8 CCT versus absorbed power for various rotational speed and amount of NaI.

황+NaI 방전구는 첨가된 NaI의 양과 흡수전력에 따라 Na D line의 세기를 변화시켜 그림 8의 (b)와 같이 8,400 K에서 3,600 K 사이에서 상관색온도를 가변할 수 있으며 주어진 NaI 양에 대해 흡수전력을 조정함으로써 상관색온도를 NaI가 9.9 mg 첨가된 방전구의 경우 1,300 K, NaI가 0.5 mg 첨가된 방전구의 경우 2,800 K의 범위에서 조절이 가능하다. 가변영역 내에서 3.1절에서 설명한 바와 같이 흡수전력이 증가할수록, 입력전력이 증가할수록 황 방전광의 세기보다 Na D line의 세기가 빠르게 증가하기 때문에 상관색온도가 감소한다. 황+NaI 방전구에서도 흡수전력이 0.7 kW 이하일 때 방전구를 6 Hz 이상으로 회전시키면 상관색온도가 낮아지는데 이는 황 방전구의 경우와 같이 황의 자체역전효과가 증가하기 때문이다. 그러나 흡수전력이 0.7 kW 이상이면 방전구의 상관색온도는 방전구의 회전속도에 거의 무관하다.

황 방전구와 황+NaI 방전구의 회전속도에 따른 평균 연색평가수의 변화를 측정하여 첨가한 NaI가 황 방전구의 평균 연색평가수에 미치는 영향을 알아보았다. 황 방전구는

그림 9와 같이 전체 동작영역에서 87에서 79 사이의 높은 평균 연색평가수를 유지한다. 방전구의 회전속도가 0.8 Hz와 3 Hz에서의 평균 연색평가수는 86에서 87 사이를 유지하며 방전구의 회전속도가 6 Hz 이상이면 회전속도가 높을수록, 흡수전력이 작을수록 평균 연색평가수가 낮아지는 경향을 보인다.

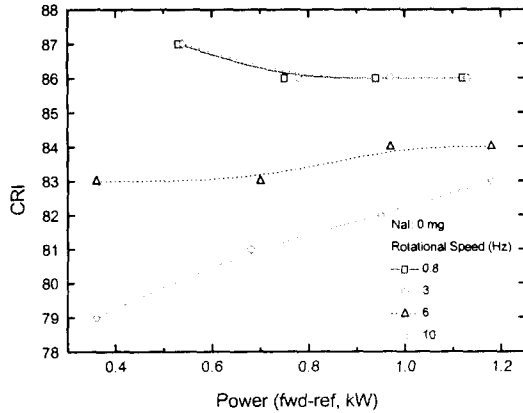


그림 9 황 방전구의 흡수전력에 대한 평균 연색평가수의 변화.
Fig. 9 CRI versus absorbed power for different rotational speed.

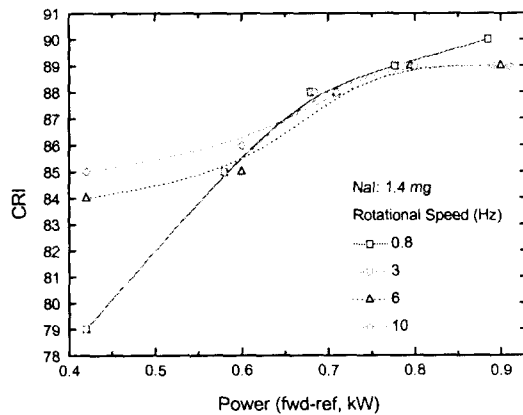


그림 10 황+NaI 방전구의 흡수전력에 대한 평균 연색평가수의 변화.
Fig. 10 CRI versus absorbed power of sulfur+NaI bulb for different rotational speed.

황+NaI 방전구의 평균 연색평가수는 그림 10에서와 같이 79에서 90의 범위내에 있으므로 NaI의 첨가가 황 방전구의 평균 연색평가수를 감소시키지 않고 오히려 증가시킴을 알 수 있다. 흡수전력이 0.7 kW 이하일 때는 흡수전력이 증가할수록, 방전구의 회전속도가 높을수록 평균 연색평가수가 증가하며 같은 흡수전력에 대해 방전구의 회전속도가 빠를수록 평균 연색평가수가 증가한다. 흡수전력이 0.7 kW 이상

일 때 평균 연색평가수는 89에서 90 사이로 수렴되어 방전구의 회전속도에 관계없이 일정한 값을 가진다.

3.3. 방전광의 휘도 및 방사휘도

그림 11과 12은 NaI를 첨가하여 발생하는 황 방전구의 휘도 및 방사휘도 변화이다. 황 방전구의 경우 3 Hz에서 6 Hz 사이를 경계로 회전속도가 클 때와 작을 때 각각의 휘도 차이가 크다. 그러나 각 경우의 방사휘도 차이는 휘도 차이에 비해 크지 않음을 알 수 있다. 이는 방전구를 6 Hz 이상의 속도로 회전하면 방전구 전체에서 균일하게 방전이 일어나 방전에 참가하는 황의 갯수가 늘어나고 전체 방전광의 세기가 대폭 증가되지만 자체반전효과 또한 증가하여 방전광의 자외선 영역이 재흡수 되므로 전체 방전광의 방사휘도는 방전구를 3 Hz 이하의 속도로 회전시킬 때에 비해 소폭 증가한다. 그러나 자외선 영역의 흡수로 인해 황 방전광 분광분포의 중심이 555 nm 쪽으로 이동하기 때문에 이에 의한 효과가 방사휘도의 증가분과 합쳐져 휘도는 방전구를 빨리 회전할수록 방사휘도에 비해 큰 폭으로 증가한다.

황+NaI 방전구의 방사휘도는 황 방전구에 비해 크게 낮아지며, 황에 비해 Na의 방사효율(radiation efficiency)이 낮음을 알 수 있다. 그러나 broadening에 의해 선폭(line width)이 넓어진 Na D line이 사람의 눈이 민감한 555 nm 근처를 크게 강조하기 때문에 휘도는 황 방전구에 비해 크게 떨어지지 않으므로 NaI를 첨가한 황전등의 발광효율(luminance efficacy)을 기존의 황전등과 비슷한 수준으로

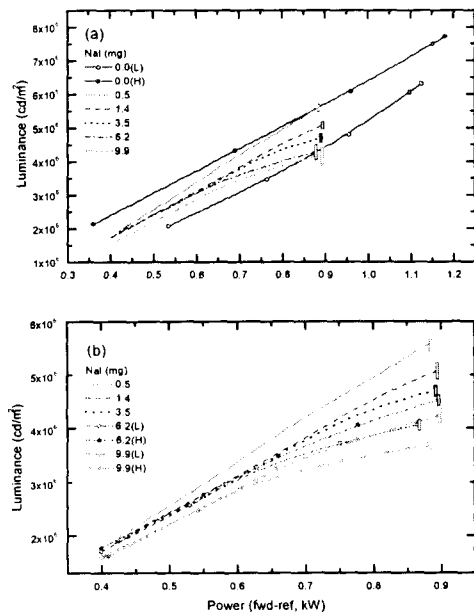


그림 11 흡수전력에 대한 휘도의 변화. (a) 황 방전구와 황+NaI 방전구의 휘도. (b) 황+NaI 방전구의 휘도. L: 0.8, 3 Hz rotational speed. H: 6, 10 Hz rotational speed.
Fig. 11 Luminance versus absorbed power for various rotational speed and amount of NaI.

유지시킬 수 있다. 첨가된 NaI의 양이 6.2 mg 이상이면 흡수전력이 높을 때 방전구의 회전이 3 Hz에서 6 Hz 사이를 경계로 회전이 빠를 때의 방사휘도 및 휘도가 회전이 느릴 때에 비해 높다. 따라서 NaI를 6.2 mg 이상 황 방전구에 첨가하고 방전구를 6 Hz 이상 회전시키면 효율을 높일 수 있다.

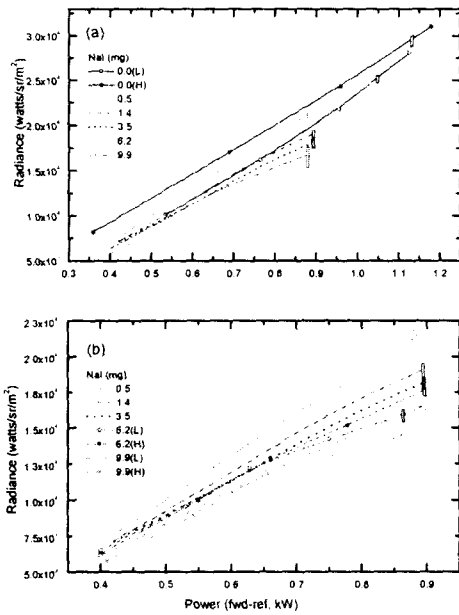


그림 12 흡수전력에 대한 방사휘도의 변화. (a) 황방전구와 황+NaI 방전구의 방사휘도. (b) 황+NaI 방전구의 방사휘도. L: 0.8, 3 Hz rotational speed. H: 6, 10 Hz rotational speed.

Fig. 12 Radiance versus absorbed power for various rotational speed and amount of NaI.

4. 결 론

황 방전구에 NaI를 첨가함으로써 무전극 황전등의 상관색온도를 조절할 수 있었다. 기존 무전극 황전등의 상관색온도가 5,600 K 이상인데 반해, NaI가 첨가된 방전구의 상관색온도는 실제 생활에 쓰기 적당한 8,400 K에서 3,600 K 사이에서 가변시킬 수 있었다. 특히 NaI의 첨가량에 따라 방전구내 마이크로파 흡수전력을 조정함으로써 2,800 K 이상의 상관색온도 가변폭을 갖는 전등을 제작할 수 있다. 또한 NaI의 첨가가 사람이 민감하게 느끼는 555 nm 근처를 강조함으로써 기존의 무전극 황전등이 가진 휘도를 유지함은 물론 평균 연색평가수는 오히려 증가시키는 역할을 하였다. 특히 첨가된 NaI는 입력전력이 0.5 kW 이하에서도 전등의 안정적 방전을 유도하므로 기존 무전극 황전등이 1 kW 이하에서 방전시키기 힘든 단점을 극복하였다.

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.

[2] J. T. Dolan, M. G. Ury, C. H. Wood, B. P. Turner, and J. F. Waymouth "Lamp Having Controllable Characteristics," International Patent, WO93/21655, 1993.
 [3] A. A. Radzig, and B. M. Smirnov, "Reference Data on Atoms, Molecules, and Ions," Springer-Verlag, Springer Series in Chemical Physics Vol 31, pp. 89-352, 382, 1985
 [4] W.G. Mallard Ed., "NIST NIST Chemistry WebBook," Standard Reference Database Number 69 - November 1998 Release, NIST, webbook.nist.gov/chemistry/, 1998.
 [5] 김진중, 박기준, 구선근 "무전극 황전등 연구개발 1차년도 중간보고서," TM.95YS27.M1988.76, 전력연구원, p. 25, 1998.
 [6] 추장희, 구선근, 박기준, 이영우, "고압 이원자 황의 자기흡수효과에 관한 연구," 출판예정.

저 자 소 개



구 선 근(具禪根)

1967년 10월 16일 생. 1986년 연세대 물리학과 졸업. 1994년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원
 Tel : 042-865-5896
 E-mail : freeon@kepri.re.kr



추 장 희(秋長姬)

1985년 연세대 물리학과 졸업. 1992년 동 대학원 물리학과 졸업(이박). 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원
 Tel : 042-865-5886
 E-mail : jhehu@kepri.re.kr



박 기 준(朴基濬)

1968년 생. 1991년 인하대 공대 응용물리학과 졸업. 1993년 Univ. of Central Florida 전기전자공학과 졸업 (공학석사). 1997년 Univ. of Central Florida, 전기전자공학과 졸업 (공학). 1996 - 현재 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.
 Tel : 042-865-5895, FAX : 042-865-5804
 E-mail : killer@kepri.re.kr