아크튜브내의 구성물 손실이 세라믹 메탈 헬라이드 램프의 특성에 미치는 영향분석

논 문
58-12-24

Analysis of the Effect on the Performance of Ceramic Metal Halide Lamp by the Loss of Elements that have been Filled in Arc Tube

장 혁 진* · 양 종 경** · 박 대 희†
(Hyeok-Jin Jang · Jong-Kyung Yang · Dae-Hee Park)

Abstract - A Ceramic Metal-halide lamp is achieved by adding multiple metals to a basic mercury discharge. Because the vapor pressure of most metals is very much lower than mercury itself, metal-halide salts of the desired metals, having higher vapor pressures, are used to introduce the material into the basic discharge. The metal compounds are usually polyatomic iodides, which vaporize and subsequently dissociate as they diffuse into the bulk plasma. Metals with multiple visible transitions are necessary to achieve high photometric efficiency and good color. Compounds of Sc, Dy, Ho, Tm, Ce, Pr, Yb and Nd are commonly used. The maximum visible efficacy of a Ceramic Metal Halide lamp, under the constant of a white light source, is predicted to be about 450lm/W. This is controlled principally by the chemical fill chosen for a particular lamp. Current these lamps achieve 130lm/W and these life time are the maximum 16,000[hr]. So factors of performance lower are necessary to improve lamp performance. In this paper, we analyzed factors of performance lower by accelerated deterioration test. The lamp was operated with short duration turn-on/turn-off procedure to enhance the effect due to electrode sputtering during lamp ignition. The tested lamp that was operated with a longer turn-on/off(20/20 minutes) showed blackening, changed distance between electrodes and lowered color rendering & color temperature by losses of Dy at 421.18nm, I at 511nm, Tl at 535nm and Na at 588nm compared with the new lamp.

Key Words : Ceramic Metal Halide Lamp, Accelerated On/Off Test, Arc Tube, Wall Blackening, Tungsten

1. 서 론

HID 램프 중 메탈 헬라이드 램프는 1960년대 전반에 걸쳐 개발된 램프로, 석영으로 만들어진 아크 튜브 내에 첨가되는 메탈 헬라이드 화합물의 종류와 양의 변화를 통해 고압 수은램프에서 가지지 못했던 다양한 특성변화를 나타낼 수 있는 장점이 있다. 하지만, 램프의 점등시간이 지남에 따라 아크튜브 내에 함유된 메탈 헬라이드 화합물의 성분변화 등으로 램프의 수명 단축 및 안정적인 광학적 특성을 보이지는 못하였다. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에 아크튜브의 재료로 세라믹을 사용하는 세라믹 메탈 헬라이드 램프가 개발되었다. 세라믹은 석영과 비교하여 높은 관벽 온도에 견딜 수 있다. 이것으로 인하여 높은 증기압을 갖는 메탈 헬라이드 화합물을 사용 할 수 있어 결과적으로 높은 효율과 연색성을 얻을 수 있다[1][2][3]. 이런 고효율, 고연색성 그리고 장수명의 특성으로 인해 옥내·외 조명용으로의 사용이 증가되고 있으며, 더 나아가 거리의 가로등, 종합운동장, 공장, 체육관, 간판, 무대조명, 프로젝터 그리고 자동차 헤드라이트 등의 분야에도 확대되어 가고 있다[4][5]. 이렇게 응용 분야가 증가하고 현재보다 고출력을 요하는 분야가 점차적으로 늘어남에 따라 세라믹 방전관내에서 이끌어낼 수 있는 최대 광효율은 이론적으로 약 450[lm/W]인데 현재 세라믹 메탈 헬라이드 램프 시스템은 최대 광효율이 약 100[lm/W]이다[6]. 그래서 국내외 연구기관 및 업체에서는 이론적 수치인 최대 광효율 450[lm/W]를 실현하고 그 성능을 장시간 지속할 수 있도록 방전관내 구성물들 중에서 광효율을 저하시키는 원인을 찾고 이를 개선하고자 하는 연구가 국내 전문연구기관들과 산업체에서 진행되고 있다.

세라믹 메탈 헬라이드 램프는 다양한 색을 구현하기 위해서 방전관내 봉입물로써 메탈 헬라이드 원소와 희토류 원소를 적절한 조합비를 구성하여 첨가하게 되고, 이 첨가물들에 약 4[kV]의 이그니션 전압을 고압의 방전관에 인가해 주면 강한 플라즈마 대류가 발생하면서 열에너지를 만들어낸다. 이 열에너지는 알루미나(Al_2O_3)재질의 세라믹 방전관을 통해 외부로 광을 방출하게 된다. 하지만 방전관내의 고압 및 고온에 의한 플라즈마 대류현상에 의하여 내부구성물인 텅스텐과 요오드화합물, 희토류 원소등에 대한 손실과 화학적 재결합이 발생하면서 방전관을 부식시키게 된다[7]. 또한 전극간의 거리가 초기보다 늘어나게 되는데 이는 초기 방전관내 자계의 힘을 잃게 하며 이에 따라 초기의 아크형상이 변형이 된다. 결국 이런 현상들은 방전관의 파손과 성능저하를 일으키게 되는 주요원인으로 작용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 방전관의 광효율 저하와 파손을 야기시키는 주요요인들이 램프의 광학적, 전기적, 열적 특성에

* 준 회 원 : 원광대 정보통신공학과 석사과정
** 정 회 원 : 원광대 전자재료공학과 박사과정
† 교신저자, 펠로우회원 : 원광대학교 교수·공박
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr
접수일자 : 2009년 10월 6일
최종완료 : 2009년 11월 14일

미치는 영향을 분석하기 위해서 PHILIPS CDM-T 942를 가속열화시험을 점멸 20분씩 2000시간동안 진행하여 방전관내의 구성물들에 대한 손실 및 부식에 대한 원인분석을 하였다.

2. 이론 및 실험방법

2.1 세라믹 메탈 헬라이드 램프의 방전이론

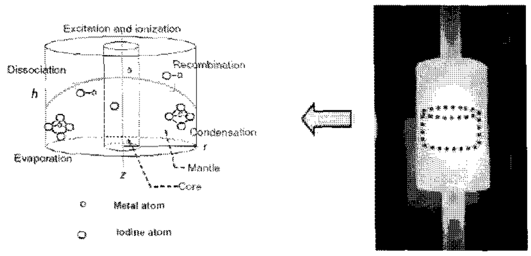


그림 1 원통형 세라믹 아크튜브내 방전과정
Fig. 1 In the cylidrical section from the center of a ceramic arc tube, discharge transport processes

세라믹 메탈 헬라이드(PHILIPS CDM-T 942)램프는 방전관의 재질을 기존 석영에서 세라믹으로 대체한 것으로 그림 1과 같은 구조로 이루어져 있으며, 세라믹 메탈 헬라이드 램프의 초기 방전과정은 두 전극 사이에 높은 이그니션(ignition)전압 인가를 통하여 전극을 주변으로 버퍼 가스의 절연파괴가 일어난 후 수 μs의 글로우 방전이 시작된다. 방전관 온도의 증가가 서서히 증가함에 따라 메탈 헬라이드의 융해와 증발이 시작하게 되고 메탈 헬라이드 증기는 열원인 전극을 시작으로 아크 튜브의 중심부로 이동하면서 금속과 할로겐 원자로 분리된다. 금속원자는 전자와의 충돌에 의해 빛을 방출함으로써 아크를 형성하게 된다[7].

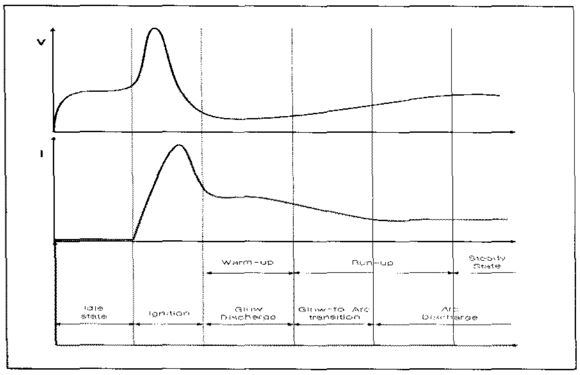


그림 2 메탈 헬라이드 램프의 V-I 특성에 따른 방전현상
Fig. 2 The V-I characteristics of Ceramic Metal halide Lamp by discharge phenomenon

즉, 그림 2와 같이 글로우-아크(glow-to-arc)과도상태에 이르게 되고 급격한 전압의 증가와 함께 전력이 증가하게 된다. 그 후 금속과 할로겐 원자는 냉점에서 다시 재결합하고 이러한 반응의 반복으로 램프는 일정한 전류에 의하여 구동되어지고 저항과 같은 특성을 가지고 동작하는 아크(thermal arc)상태 후 열적 평형을 이루게 되어 안정화 상태가 된다. 하지만 지속적인 점멸을 하면 충분한 이그니션 전압, 전류를 공급하기 위한 방전관내의 압력이 공급되지 않기 때문에 방전관내의 전자가 기체분자와 충돌하는 기회가 적고, 전자사태가 성장하기 어렵게 되어 글로우 방전상태의 지속시간이 길어지게 된다[7]. 이로 인하여 방전관의 열화 진행속도가 가속화 된다.

2.2 가속열화 시험을 위한 가속수명 이론

방전등에 대한 가속열화시험의 변수에는 크게 주위온도, 인가전압, 점멸횟수들이 있다. 변화를 주어 실험을 하게 되는데 본 연구에서는 점등초기 높은 이그니션 전압과 압력특성을 지니고 있는 고압방전등의 방전관내부에 주기적으로 줄 수 있는 점등횟수를 변수로 두어 실험을 진행하였다. 방전등과 점멸횟수의 관계는 기본적으로 형광등를 예로써 말할 수 있다. 형광등과 점등횟수와의 관계는 그림 3과 같이 필라멘트 코일에 도포되어 있는 전자 방출 물질의 손실로써 점등 중보다 램프 시동시의 경우 크며 1회의 점·소등은 1~2시간 점등과 같다라는 것을 유추할 수 있다[8.]

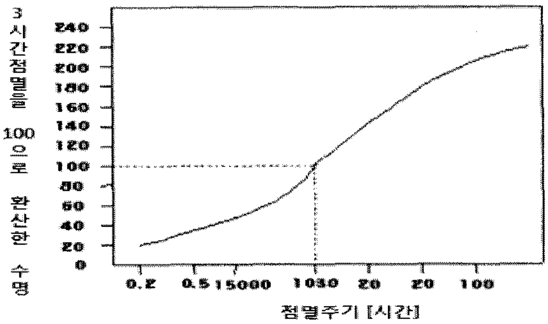


그림 3 램프 점멸주기에 따른 램프수명
Fig. 3 Lamp life cycle in accordance with flickering Lamp

고압방전등군들은 초기점등시에 가장 부담이 크며, 결국 점멸빈도가 빈번하면 램프의 수명이 짧아지는데 이 결과를 비추어볼 때 점멸빈도와 수명과의 사이에는 일정한 관계가 성립한다고 볼 수 있다. 즉, 점멸빈도가 2배가 되고, 1회당 점멸시간이 1/2이면 램프의 수명은 67%로 단축된다. 국내에서 고압방전등군들을 생산하고 있는 H사의 50개 시료를 가지고 점멸시험의 3수준(10분 ON/OFF(10개), 20분 ON/OFF(10개), 5.5시간과 0.5시간 ON/OFF(30개) 시험한 수명자료를 기반으로 하면 3 수준의 점멸시험은 거의 동일한 기울기를 가지고 있다고 볼 수 있다[9][10].

따라서 본 연구에서는 위의 방전등과 점멸빈도와의 관계를 착안하여 3수준 점멸시험중 20분 ON/OFF시험을 선택하여 가속열화시험을 실행하였다.

2.3 실험방법 및 장치

가속열화시험을 위한 시료는 PHILIPS CDM-T 942를 선정하였고, 시료에 대한 가속열화시험의 조건은 HID 신뢰성 평가기준인 RSC0085에 의거 하여 점멸시험을 각각 20분씩 2000시간을 실험하였다. 또한 실험장소의 실내온도는 25℃를 유지하였고, 램프의 특성을 자체만을 분석하기 위해서 150W급 메탈 핼라이드 램프 전용 자기식 안정기를 채택하였다. 자기식 안정기를 선정한 이유는 전자식 안정기를 채택하였을 경우 안정기에 대한 효율이 있기 때문에 램프자체의 특성을 분석할 수 없고 잦은 점멸실험도중 전자식 안정기의 고장이 발생할 확률이 높기 때문이다.

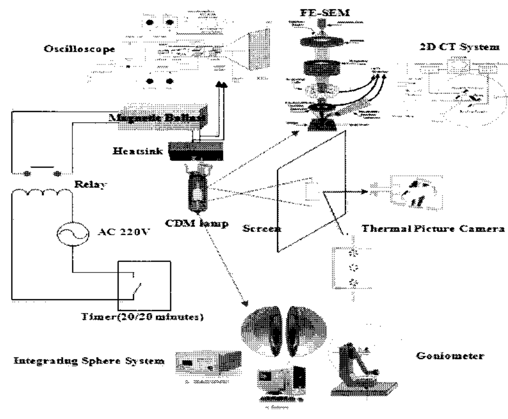


그림 4 실험장비시스템

Fig. 4 The experiment equipment system

그리고 시료에 대한 특성변화들을 측정하고 분석하기 위한 가속열화특성 측정 및 분석 시스템은 전기적, 광학적, 열적, 구조적 특성으로 나누어 측정 및 분석하기 위하여 실험장치들은 그림 3과 같이 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 방전관의 온도변화 및 전극의 열화

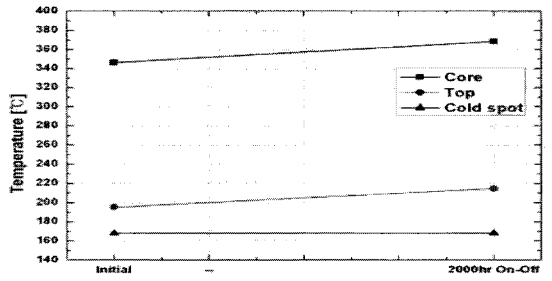
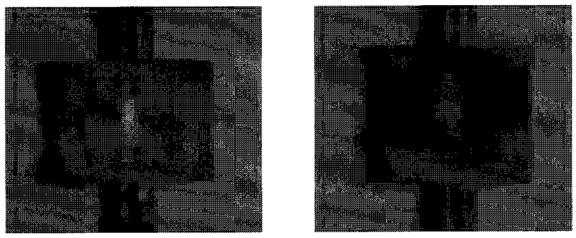


그림 5 방전관의 온도변화

Fig. 5 The temperature change of the arc tube

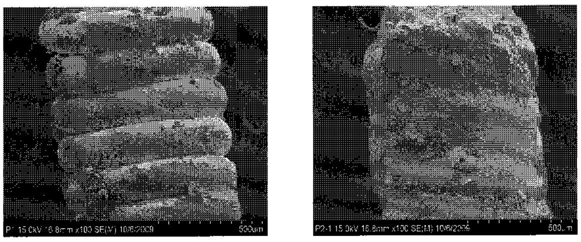
그림 5은 램프의 방전관 온도분포로 실내온도 상온 25[℃]에서 측정한 것이다. 초기램프의 방전관 중심부 온도는 346.3[℃]를 나타내었고 가속열화 램프의 방전관 중심부 온도는 375.3[℃]로 초기보다 29[℃]가 상승했다. 그리고 초기 아크점화전압이 인가되는 지점인 온점(TOP)부분을 보면 동작온도가 약 200℃에서 약218℃로 상승하였다. 이는 방전관내의 메탈 핼라이드 원소의 증기압과 온도 편차에 밀접한 관련이 있다. 그 이유는 열팽창계수가 다른 전극과 세라믹간의 결합부위에서 잦은 점멸로 인하여 결합부위 및 전극의 열화가 심화되어 증기압과 온도편차가 발생 하였다. 이는 세라믹 방전관의 열흡수 성능저하를 초래하게 되고 방열손실을 증가시키는 것으로 사료된다.



(a) 초기방전관 (b) 열화후 방전관

그림 6 방전관의 흑화현상

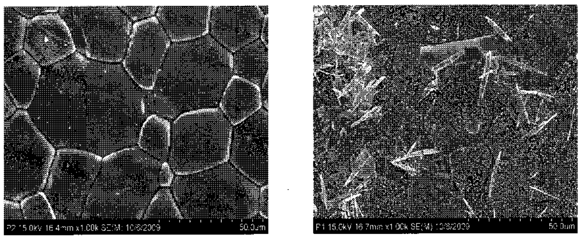
Fig. 6 The Wall Blackening phenomenon of the arc tube



(a) 초기전극 (b) 열화후 전극

그림 7 전극의 구조 변화

Fig. 7 Changed structure of the electrode



(a) 초기방전관 (b) 열화후 방전관

그림 8 흑화된 방전관의 표면

Fig. 8 Face of the Wall Blackening

그림 6-8에서는 가속열화시험을 통한 방전관내부의 흑화현상 및 전극열화와 열화에 따른 전극 및 방전관의 표면성분분석을 나타낸 것이다.

전극은 방전관내에 아크를 형성하기 위해 안정기를 통해 약 4[kV]의 이그니션 전압이 수us안에 인가되어 텅스텐전자를 방출하는 발화부분으로 특히 전극의 모서리부분은 아크의 초기발화점으로써 증기압변화가 쉽게 발생할 수 있는 곳이기도 하다. 텅스텐재질의 전극은 텅스텐의 전자를 방출하여 방전관내에 첨가된 요오드(I), 나트륨(Na), 탈륨(Tl)과

화학적 재결합을 통해서 고온고압의 아크를 형성하고 이 아크를 통해 백색빛을 방사하게 한다. 하지만 텅스텐의 전자가 지속적으로 방출됨에 따라 초기의 텅스텐의 전자밀도가 낮아지고, 봉입물(I, Na, Tl, Dy)들이 전극에 점착됨에 따라 전극이 열화된다. 이 열화를 통해 텅스텐의 증기압은 낮아지고, 요오드화합물의 증기압은 상승하게 된다. 이로 인해 초기 방전관내부의 평형압력이 낮아지게 되고 방전관의 상단부분의 온도가 상승하게 되어 하단부분간의 온도편자가 심화된다. 이에 따라 전극과 방전관사이, 방전관의 상단관벽으로 요오드화합물(NaI)과 재결합된 텅스텐이 몰리게 되어 흑화현상이 그림 6과 같이 방전관내에서 압력과 온도가 낮은 방전관의 하단관벽으로 서서히 진행 되었다.

표 1 초기와 열화된 전극의 표면성분

Table 1 Face ingredient analysis of the electrode

원소	초기 표면성분[%]	열화후 표면성분[%]
C	46.91	26.08
O	32.59	47.38
Na	2.23	4.49
Al	1.73	3.60
I	4.78	6.62
W	9.32	8.98
Hg	2.45	1.92
Tl	-	0.94
Dy	-	1.47

표 2 초기와 흑화된 방전관의 표면성분

Table 2 Face ingredient analysis of the arc tube

원소	초기 표면성분[%]	열화후 표면성분[%]
C	5.50	17.15
O	63.65	50.96
Al	30.84	23.84
Na	-	2.20
I	-	0.88
W	-	4.97

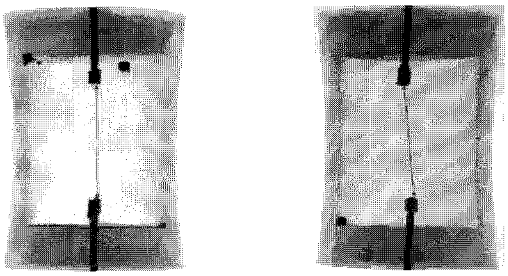
전극은 점멸에 의한 텅스텐의 전자방사로 인하여 표 1과 같이 전극표면의 텅스텐 함유율이 9.32%에서 8.98%로 감소하였고, 비해 반해 나트륨, 알루미나, 요오드원소들의 함유량이 약 2배정도 전극표면에서 증가하였다. 또한 디스프로슘, 탈륨원소들이 새롭게 전극표면에 함유된 것을 알 수가 있었다. 이 측정결과를 비추어 볼 때 텅스텐과 봉입원소들간의 결합이 전극의 특성을 저하시킬 것으로 사료된다.

3.2 방전관내의 전극간 거리 및 전기적 특성 변화

표 3 초기와 열화된 램프의 전압/전류/저항값

Table 3 Voltage/Current/Resistance of lamps

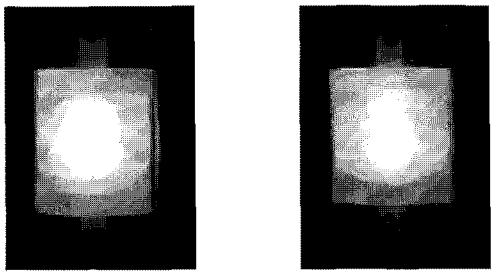
램프 (CDM-T 942)	전압 [V]	전류 [A]	램프저항 [Ω]
100[hr]	82.2	1.68	48.9
2000[hr]On/Off	101	1.55	65.2



(a) 초기 전극간거리 (b) 열화후 전극간 거리

그림 9 방전관내 전극간 거리

Fig. 9 Distance between Electrodes of the new and aged lamp



(a) 초기방전관 (b) 열화후 방전관

그림 10 방전관내 전극간 거리 및 아크형상

Fig. 10 Electrodes distance & Photographs of lamp arc o f the new and aged lamp

열화된 램프와 초기램프의 전압, 전류, 저항 및 전력을 비교분석하면 표 3에서 나타낸 것과 같이 초기램프의 전압 82.2[V], 전류 1.68[A], 저항 48.9[Ω]로 나타났고, 열화된 램프는 전압 101[V], 1.55[A], 65.2[Ω]로 초기 램프가 지니고 있는 저항성분이 크게 상승하면서 램프에 인가되는 전류가 감소하고 전압이 상승하였다. 또한 그림 9(b)를 보면 열화된 방전관내 전극간의 거리가 초기에는 약 7[mm]였지만 열화된 후 전극간 거리가 약 7.4[mm]로 상단은 좌측, 하단은 우측으로 변화가 이루어짐에 따라 그림 10에서 보는 바와 같이 초기아크에 비해 열화후 아크형상이 흐틀어져 있는 것을 볼 수 있는데 이는 전극간 거리가 증가하고 전극의 심한 열화에 따라 방전관내의 전자사태가 안정적으로 이루어지지 않아 초기 램프가 가지고 있는 저항성분이 상승하게 되어 안정기를 통해서 인가되는 전압상승하고 전류가 감소하게 된다. 이에 따라 램프가 소비하는 유효소비전력이 상승하게 된다.

3.3 램프의 광학적 특성변화

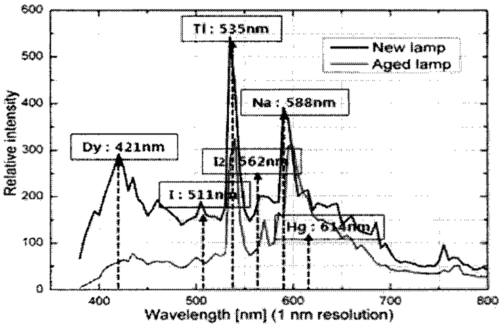
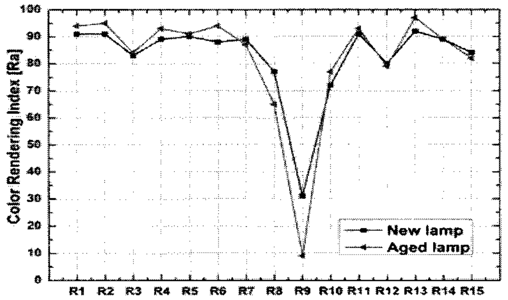
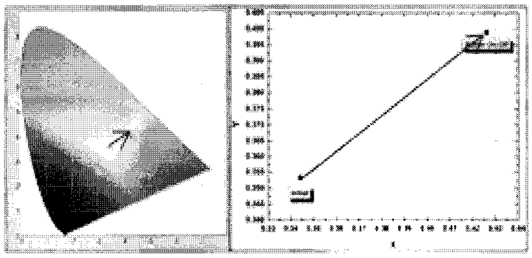


그림 11 분광분포 분석을 통한 봉입물 손실 비교
Fig. 11 Comparison fills loss between the new lamp and aged lamp by Light spectral distribution

세라믹 메탈핼라이드 램프의 경우 방전관내에 메탈핼라이드 화합물 및 희토류 금속물질들을 첨가하여 효율 및 연색성, 색온도 특성을 조절할 수가 있다. 봉입물들은 대개 단일 원자 형태로 첨가되나 광학특성을 더욱 향상시키기 위해 DyI3, TII, NaI, CeI3등과 같이 화합물을 만들어 봉입하기도 한다. 본 연구에 사용된 방전관내부에 시료의 내부에는 표 1, 2의 성분분석을 통해 Na, Hg, Dy, TI, I, Kr등이 첨가된 것으로 판단된다. 그림 11은 시료 내부의 첨가물에 대한 분광분포변화를 나타낸 것으로 열화후 램프의 분광분포를 보면 380~520nm영역인 Dy, I에 대한 손실이 다른 원소들에 비해 많이 감소한 것으로 나타났고, 530~580nm부근에 집중된 파장을 가지는 Na, TI, I원소들의 손실과 텅스텐, 알루미나등과의 화학적 재반응으로 인하여 전극 및 방전관 표면에 흡착되었다.



(a) 연색성



(b) 색좌표

그림 12 연색성 및 색좌표, 색온도 변화
Fig. 12 Color rendering property and color coordinates of I the new lamp and aged lamp

그림 12는 봉입물손실에 따른 연색성과 색온도변화에 대한 것을 나타낸다. 초기램프와 열화된 램프의 연색성과 색온도를 비교했을 때 열화된 램프의 연색성이 88.7에서 87.8로 다소 낮아졌지만 R1~R9 구간별로 살펴보면 노란색, 녹색과 하늘색을 지칭하는 R2, R4, R6에서 연색성지수가 다소 상승하였고, 보라색과 빨간색을 지칭하는 R8, R9에서 대폭 감소하였다. 이렇게 초기에 비해 연색성구간별 증감이 됨에 따라 램프의 색온도가 4200K에서 3143K로 변화된 것으로 판단된다.

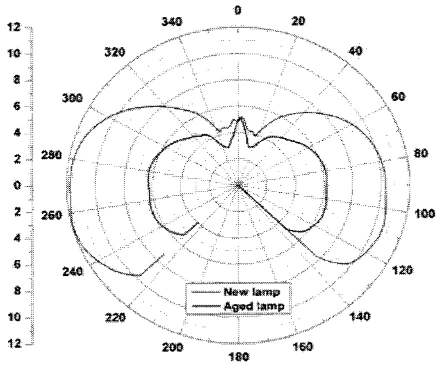
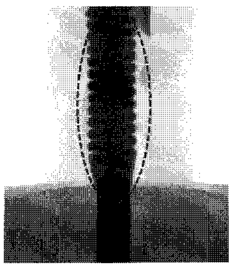
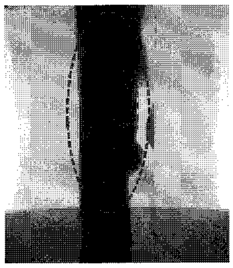


그림 13 램프 배광곡선
Fig. 13 Light distribution of the new lamp and aged lamp



(a) 초기



(b) 열화후

그림 14 원통형 방전관과 전극간 결합부위
Fig. 14 Bonding part of between the cylindrical arc tube and electrodes

그림 13, 14는 초기램프와 열화된 램프를 수평으로 위치시키고 중심축을 기준으로 측정한 배광분포 그래프와 전극과 방전관의 결합부위를 나타낸 것이다. 90°~100°부근이 방전관의 옆면에서 발광하는 빛이고, 0°부근은 방전관의 상단으로 전극과 세라믹의 결합부위에서 나오는 빛을 말한다. 방전관를 통해서 나오는 전체적인 빛의 강도는 흑화현상으로 인해 많이 감소하였다. 특히 10°, 350°부근인 전극과 세라믹의 결합부위 부근에서 빛의 강도가 눈에 띄게 감소하였다.

이 현상은 방전관내의 첨가물인 희토류 원소들이 식(1)과 식(2)와 같이

$$REI_3 + Al_2O_3 \Leftrightarrow REAlO_3 + AlI_3 \qquad (1)$$

$$Al_2O_3 + AlI_3 \Rightarrow 3AlOI_3 \qquad (2)$$

RE : Rare earth iodides

화학적 재반응을 거치면서 결정을 이루는데 이 결정은 그림 14에서 보시다시피 전극과 방전관사이의 미세공간, 방전관의 내부에 쌓이고 흡착되면서 방전관내의 빛이 세라믹을 투과할 수 있는 홀을 막음으로써 전체적인 투과된 빛의 광도가 약해진다.

4. 결 론

본 논문은 국내 차세대 세라믹 메탈 헬라이드 램프의 설계하기 위해 기존 국외메이저회사의 제품에 대한 열화시 특성변화의 원인을 알고자 한다.. 가속열화시험은 HID 신뢰성 평가기준 RSC0085에 의거하여 20분간의 점멸방법을 선택하였고, 시료는 PHILIPS CDM-T 942를 선택하였고, 시료에 대한 2000시간동안의 점멸시험후에 초기램프와 비교 분석하였다. 그 결과 열화된 램프의 전극에 방전관내 봉입물들과의 화학적 재결합과 주변의 열분포 및 증기압의 변화로 인한 심한 전극열화가 발생하였고, 전극과 세라믹방전관간의 결합부위에서 서로 다른 열팽창계수에 의해 전극의 심한 휘어짐이 발생하였다. 이에 따라 초기램프가 가진 전극간의 간격이 틀어짐으로써 인가전압과 램프저항의 상승, 램프전류의 감소를 초래했다. 이로 인해 초기의 아크형상이 변화했다. 그리고 Dy & Tl원소들의 많은 손실량과 봉입물간의 화학적 재반응으로 인하여 초기 구성된 봉입물들간의 조합비가 변하게 되어 구간별 연색성지수가 증감으로 인해 초기램프의 색온도가 4200K에서 3143K으로 감소함에 따라 초기 백색빛을 상실하였다.

실험 결과들을 바탕으로, 봉입원소들의 손실과 텅스텐, 알루미나와 봉입원소들(Na, Tl, I, Dy)의 재결합이 초기 방전관의 구조적 변형(전극간거리, 흑화현상, 결정체 형성등)을 일으킴에 따라 전기광학적 특성이 저하된다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2009년도 원광대학교 교비 지원에 의해서 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] 이주호, 양종경, 김남군, 장혁진, 박대희 "세라믹 메탈헬라이드 램프 아크튜브 구조에 따른 광학적 특성", 대한전기학회논문지, v.57,no.12, pp.2244-2248, 2008.

[2] 광원기술연구회 "HID광원의 기술 동향," 대한전기학회지: 전기의세계, v.56, no.8, pp.24-30, 2007년 8월.

[3] EC Guest, MH Girach, SA Mucklejohn and U Rast, "Effects of dimming 150W ceramic metal halide lamps on efficacy, reliability and lifetime", Lighting Res. Technol. 40: 333-346, 2008.

[4] G C Wei, "Transparent ceramic for lighting", Journal of the European Ceramic Society, 7051; No. of pp.8, 2008.

[5] Walter P Lapatovich, "Metal-halide lamp design: atomic and molecular data needed", IOPscience Physica Scripta, Issue T134, 014024(6pp), 2009.

[6] Yuji SHATA, Toshiro KASUYA, Yasuyuki KIMURA, Shigeo GOTOH, Motoi WADA, "Study on the Wall Blackening of a High Intensity Discharge Lamp", J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol. 8, 2009.

[7] 장혁진, 김남군, 양종경, 이종찬, 박대희 "음향 공명 현상을 고려한 세라믹 메탈헬라이드의 특성 분석과 PSpice 시뮬레이션을 통한 인버터 설계", 대한전기학회논문지, v.58,no.10,pp.1989-1994, 2009.

[8] 고재준, "형광램프용 전자식안정기 신뢰성 향상에 관한 연구", 한양대학교 공학대학원 석사학위논문, 2006.

[9] 이영주, 박태근, 정희석, 김정수, 김진선, 김도형, "고압방전램프의 신뢰도 모형과 분석", 한국전기공사협회 전기설비 4월호, 2006.

[10] 산업자원부 기술표준원 발행, "신뢰성 평가기준 고압방전램프 RS C 0085", 2월 16일, 2007.

[11] Wei Yan, S.Y.R. Hui, "Ageing Effects on the Stability Performance of Small Wattage Metal-Halide(MH)Lamps", Proc. Appl. Power Electron. Conf. Expo (APEC), vol. 2, Feb. 22 - 26, p. 978, 2004.

[12] W. Yan , S. Y. R. Hui and Y. K. E. Ho, "Stability study and control methods for small-wattage high-intensity-discharge (HID) lamps", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 37, pp. 1522, Sep./Oct. 2001.

[13] W van Erk, "Transport processes in metal halide gas discharge lamps", Pure and applied chemistry, vol. 72, No. 11, pp.2159-2166, 2000.

[14] J J Curry, Craig J Sansonetti and J Wang, "Temperature profiles and thermal losses in 150W high-intensity discharge lamps," J. Phys. D: Appl. Phys. 38, 3086-3092, 2008.

저 자 소 개

장 혁 진 (張 赫 晉)

1980년 5월 8일생. 2005년 8월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2008년 현재 원광대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890

E-mail : jdk011@naver.com

양 종 경 (梁 種 璟)

1980년 1월 13일생. 2001년 8월 원광대학교 공대 전기전자공학부 제어계측 졸업. 2006년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 박사과정

Tel : 063-850-7023, Fax : 063-850-7022

E-mail : duck2214@wonkwang.ac.kr

박 대 희 (朴 大 熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공박). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수. 2004년~현재 원광대학교 전기응용신기술 연구센터장, 2009년 현재 원광대학교 공과대학 학장

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr