

무전극형광램프의 성능향상

박성목*
(Park,Sung-Mok)

최근의 조명동향은 일반 램프의 범주에서 벗어나 장수명 고효율 고품질의 램프 쪽으로 계속 진화되어가고 있다.

특히 우리나라에서는 그속도가 감히 상상을 초월하리만큼 빠르다.

과연 최근의 조명동향이 국내에선만이 아닌 전 세계적인 흐름에 부합하는 것인가는 것이 지금 시점에서 한번쯤 생각해 보고 또 올바른 방향으로의 방향전환을 위해서 부단한 노력을 계속하지 않으면 안된다고 생각된다.

그중에서 제가 수년전부터 관심을 갖고 있었던 무전극형광램프의 효율개선 및 광속유지율향상 차원에서 그동안 검토하여 왔던 내용에 대해서 그정보를 공유하고자 한다.

형광램프의 효율 및 광속유지율을 개선하기 위해서는 상당히 많은 factor가 있지만 그중에서 가장 영향을 많이 끼치는 것은 자외선을 가시광 영역으로 변환시키는 형광체이다.

형광램프용 형광체의 제 1 요건은 254nm Hg공조선을 잘 흡수하여 그 에너지를 방사하는 물질로 발광성을 가져야 하며 자극에너지인 수은의 저증기압 방전에 의해 발생한 짧은 자외선 파장을 흡수하여 파장이 긴 가시광선으로 방사하는 물질을 화학적으로 조성시킨 무기물의 복합 산화물이다.

그러나 최근 램프가 여러형태로 고부하 하여 진행되고 185nm선/254nm선의 강도비가 증가하기 때문에 185nm선 여기하의 발광효율도 잘 고려하여야 한다.

그 대표적인 RED, BLUE, GREEN의 조성 및 peak파장은 표1과 같다.

서론에서 이야기 하였던 고품질의 조명을 만들기 위해 효율개선 및 광속유지율개선을 개선하기 위해 형광체의 개선과 형광체 코팅공정의 개선 및 일본의 형광체 전문회사인 N사와의 기술교류를 통하여 획기적으로 품질을 개선할 수 있는 실험을 할 수 있었고, 광속유지율을 역시 개선할 수 있었다.

<표 1>

COLOR	RED	GREEN	BLUE
조성	Y ₂ O ₃ : Eu ³⁺	LaPO ₄ : ce ³⁺ , Tb ³⁺	BaMgAl ₁₀ O ₁₇
발광peak 파장	611	543	452
양자효율	0.99	0.93	1.03

우선 형광체 자체로 보면 형광체 자체의 개량에 있어서 효율향상은 아주 중요한 과제이다.

이를 위해서는 여기광에 대한 흡수와 양자효율을 가능한한 크게 하여야 한다.

실용형광체는 이와 같은 개량의 극한에 가까운 것이라 생각되지만 이들의 양자효율을 램프광속의 측정치에서 역산하여 보면 0.55-0.95인 아주 넓은 범위에 있고 그중에서도 0.70전후의 것이 가장 많다. 이것은 개량의 여지가 아직도 많다는 것을 나타내 주고 있다.

일반적으로 형광램프에서 요구되는 발광 peak 파장은 근자외선에서 원적외선까지 다양하지만 형광체로 보면 285nm~720nm의 범위내의 임의의 발광을 얻는 것이 가능하다.

peak파장의 범위는 활성제(activator)에 의해 거의 결정된다.(표2 참조)

일반 형광램프의 경우 발광spectral의 반치폭은 램프효율과 연색성에 크게 영향을 준다.

광대역 발광을 조합시키면 연색성이 대단히 높게 할수 있지만 효율은 낮게되고 반면에 희토류ion의 협대역 발광에 기인한 청, 록, 적 을 조화 시킨 3 파장형 램프에서는 양호한 연색성을 얻고 또한 높은 효율을 실현할 수 있다.

무전극램프가 일반적으로 일반 형광램프보다 표면 온도가 높다.

온도 측면에서 보면 불리한 상황이기 때문에 이를

어떻게 잘 극복할수 있는가? 하는 것이 과제일 것이다.

특히 백열전구형type에서는 더욱 온도에 민감하다. 일반적으로 온도가 상승하면 발광효율은 저하한다. 일반적인 형광등 표면온도인 경우에는 별 문제가 없지만 동작온도가 높은 경우에는 온도특성이 좋은 형광체가 필요하게 된다.

고온에서 효율을 저하시키지 않게 하기 위하여 필요한 조건은 배위좌표 model에 있어서 기저상태와 여기상태의 평형위치의 차가 적어야 한다.

이를 위해서는 ① Eu 부활 형광체나 tungsten산염과 같이 전하 이동형의 여기가 행하여지는 경우에는 부활제 이온의 반경 모체 양이온의 반경 ②Tl, Eu, Ce등으로 활성했을 때와 같이 활성제가 직접 여기될 때는 모체 양이온의 반경활성제 이온의 반경의 조건이 만족하지 않으면 안된다.

결정구조가 동일한 형광체에 대해서는 이들의 조건에 합치하는 것 온도 특성이 양호하다.

형광체는 램프공정및 램프점등중에 다양한 원인에 의하여 열화하고 초기광속이나 광속유지율의 저하에 기인 한다.

이 원인으로서는 다음2가지로 생각할 수 있다.

그 하나는 환원분위기에서 소성된 형광체 (예를들면 Eu활성의것)의 활성제가 부분적으로 산화 되기 때문이고 이것은 활성제농도나 모체조성의 검토에 의해 어느 정도 조정할 수 있다.

두 번째로는 소성시의 불완전 연소에 의해 유리한 탄소가 형광막중에 잔류하여 형광을 흡수함으로써 성능이 떨어지는 것이다.

실제로 baking후에 형광체를 벗겨서 휘도를 측정하면 원래 형광체의 휘도보다 7-9% 정도 저하 한다.

그러나 baking조건을 임의로 변경하여 분체휘도 저하율을 2-10%사이에서 변화시켜보면 램프 광속은 거의 변화하지 않기 때문에 이 효과에 의한 램프광속의 저하는 아주 작다고 생각하여도 좋다.

따라서 가장 적합한 annealing온도의 선정은 램프 제조에 있어서 아주 중요한 요인인 것이다.

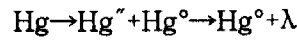
상기의 annealing을 아주 이상적으로 했을 경우에 하기의 이론에 의한 무전극램프의 성능향상을 통해 보다 경제적이고 신뢰성 있는 제품 생산이 가능하다.

광속유지율 향상을 위해 보호막코팅(유리관벽및 형광체 입자)및 형광체 개선(열에 가장 취약한 BLUE형광체의 열화특성개선)등으로 획기적으로 무전극램프의 장수명에 가장 필수적인 광속유지율을 개선할 수 있었다.

이를 이론적으로 살펴보면..

무전극램프 내부에 도포되어있는 형광체는 열화에 의해 (일반형광램프 표면온도 40-60도 무전극램프 80-120도부근) 색온도 색좌표 휘도가 변화되며 부활제(Activator)의 농도감소및 열화현상으로 인해 색상및 밝기의 저하 색좌표의 이동이 발생한다.

(식)



$\lambda=185\text{nm}(12\%)$

$254\text{nm}(85\%)$

$360/405/436/546/577\text{nm} (3\%)$

형광체 열화관 수는 진공램프에서의 수은방전과 같이 수은과장 12%정도 발생하는 185nm의 자외선에 의해 광학적분해로 방전된 후 활성화된 수은 원자와 반응하여 냉음극형광램프 내부 조성물 중 특히 유리관 내부에 함유되어 있는 Sodium이온의 확산과 내부온도 300℃까지 상승으로 인하여 제2상을 형성한다.

이러한 현상은 결정구조 정밀해석 X-ray+Neutron (Rietveld+MEED) 과 스펙트럼해석(PL,EPR,XPS, EXAFS,XANES)으로 해석할 수 있다.

RED, GREEN, BLUE중 열화에 취약한 BLUE형광체의 경우에는 Eu dopant 위치와 고용한계의 양 계산 열화로 인한 제2상의 존재확인 및 정량계산으로도 알 수 있다.

일반적으로 고온(500℃-600℃)으로 소성된 형광체가 열화에 의해 특성저하되는 것을 적게 하기 위하여 여러 가지 방법이 사용된다.

가장 많이 이용되는 처리법으로는 분말 형광체 입자에 입자 형태나 필름막 형태로 코팅하는 방법이 있다.

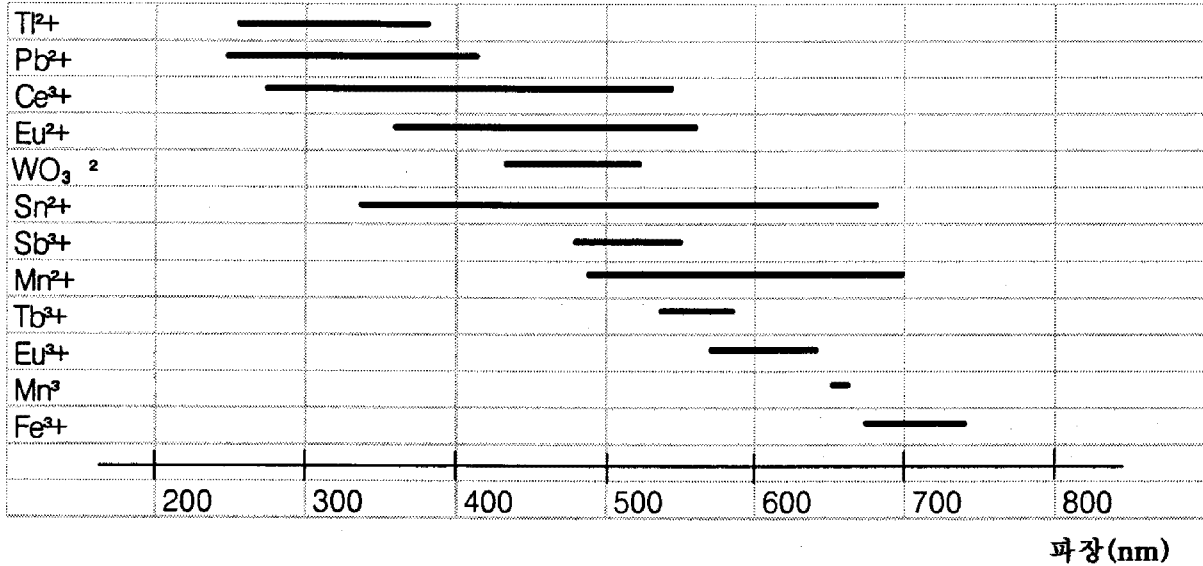
이것은 아주 작은 nano입자의 막을 형광체에 섞거나 또는 coating하는 것이다.

표면처리물을 부착하여 얻을 수 있는 효과로는 형광체표면 보호막 적용으로 인한 수명향상과 발광효율 향상이 부가적으로 얻을 수 있다.

표면 부착물에 요구하는 특성으로는 화학적 변화에 비활성 이어야 한다.

발광 영역에서의 높은 투과도 여기원(Excitation Source)에 대한 높은 투과도 (전자선이나 진공 자외선) 그리고 형광체와의 강한 부착력 등이다.

이와 같은 이론을 바탕으로 국내의 S사와 일본의 N사 등과의 기술교류를 통해 무전극전용 형광체를(특히 Blue형광체) 개발하고 여기 적합한



<표 2> 각종 activator(부활제)의 발광peak의 범위

ADHESIVE SLURRY 및 BINDER SOLUTION

등을 개발하여 광효율을 7-10%정도 향상 시킬 수 있었고 무전극 램프에서 취약한 부분인 장기점등시의 광속유지율 (lumen maintenance ratio)을 획기적으로 개선할 수 있었다.

따라서 저의 개인적인 생각으로는 추후의 조명램프시장은 에너지절약을 위해 광효율은 90lm/w 이상이어야 하고 점등 중에 광속유지율을 2000시간 기준 95%이상(현재의 HID램프는 대략 약80%정도 형광램프 85-90%정도) 평균연색평가지수는 85Ra 이상 그리고 최근에 대두되고 있는 친환경조성을 위해 수은이 전혀 없거나 기술개발을 통해 수은을 가장최소화 (램프마다 차이) 하여 꼭 점등에 필요한 양만을 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다.

이에 따라 최근에 조명시장으로 급부상하고 있는 LED램프. out-jacket이 quartz에서 ceramic으로 급속히 변경되는 메탈할라이드 램프(CDM, HCI, COSMOPOLIS)등도 상기와 같은 소비자의 needs에 부합할 수 있게 제품개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

아무튼 이번의 시험개발을 통해 무전극형광램프의 품질을 한단계 up-grade 시킬 수 있어 시장에서의 경쟁력에 유리한 고지를 점할 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

- (1) 형광제 hand book (phosphor research society)