

제논 유전체 장벽 방전형 램프의 성능 개선에 관한 연구

(Improving the characteristics of Xe dielectric barrier discharge lamp.)

박지수* · 송명훈 · 장상진

(Ji-Su Park, Myong-Hun Song, Sang-Jin Jang)

유양산전(주)

요 약

본 논문은 일반조명용과 LCD Backlight에 적용 가능한 제논 유전체 장벽형 평판형램프에 대한 연구이다. 일반적으로, 수은을 포함한 형광램프는 낮은 온도에서의 휘도문제와 상대적으로 긴 점등시간, 수명, 그리고 환경 문제가 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 제논 유전체 장벽형 평판형램프가 연구되었다. 100[W]급(384×321×10mm)으로 제작된 램프는 AC 펄스 전압에 의해 균일도, 안정한 방전, 우수한 전기적 및 광학적 특성을 가진다. 더 높아진 효율은 빠른 상승시간을 가진 AC 펄스 전압, 주파수와 듀티의 구동 최적화, 전극의 형상, 압력 최적화 등에서 얻어진다. 이 연구에서 제논 유전체 장벽형 평판형램프는 90[%]의 균일도에서 7,600[cd/m²]의 휘도와 32[lm/W] 이상의 효율을 얻었다.

1. 서 론

최근, 환경에 대한 관심이 높아지면서 친환경성 제품에 대한 필요성이 강조되고 있다. 이러한 친환경에 대한 국제사회의 관심으로 EU등에서는 납, 수은등 유해물질에 대한 환경규제를 결정하였다. (현재 LCD의 백라이트로 사용되고 있는 CCFL을 포함한 형광등은 수은을 포함하고 있다.) 수은을 사용할 경우 환경적인 문제뿐만 아니라 광 출력이 주위의 온도에 영향을 받고, 낮은 온도에서 점등이 어렵다는 기술적인 문제도 도출되고 있다. 따라서 현재 이러한 규제와 기술적인 문제에 대응하고자 제논 유전체 장벽형 평판형램프(이하 제논 평판형램프)를 포함하여 LED, FED, Organic EL등의 신광원에 대한 관심이 높아지고 있다.[1]-[3] Xe을 사용한 제논 평판형램프는 Xe 가스가 화학적으로 안정한 불활성 가스이고, 방전시 강한 진공자외선(Vacuum ultraviolet, VUV) 방사를 얻을 수 있고, 긴 진공자외선 방사 파장이 형광체 손실을 줄일 수 있다는 특징으로 인하여 수은을 대체한 가스로 채택되어졌다.[4] 이러한 특성을 지님에도 불구하고 현재까지 수은에 비해서 효율이 낮다는 단점을 가지고 있다. 일반조명에 제논 평판형램프를 적용하기 위해서는 효율을 높이기 위한 전극설계, 구동조건, 램프재료 선정 등에서의 최적화가 필요하며 높은 효율과 90[%] 이상의 휘도균일도(Luminance uniformity), 7,600 [cd/m²]이상의 고휘도, 고휘암비, 넓은 온도범위 하에서도 안정된 광 출력을 가져야 하는 것 등이 강조되고 있다. 본 연구에서는 기존의 조명이 내포하고 있는 환경문제와 기술적 문제를 해결하고자 Xe을 사용한 평판형 형광램프를 제작하고 효율을 증가시키기 위한 방안에 대해 논하고자 한다.

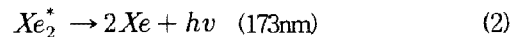
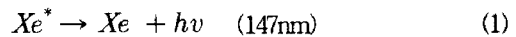
2. 제논 평판형램프

2.1 제논 평판형램프의 방전 원리

제논 평판형램프가 가시광을 방출하는 과정은 크게 3단 계로 나뉘질 수 있는데 외부 전원에 의한 가스 방전으로 형광

체의 여기원인 자외선이 발생하는 과정, 방전영역에서 방출되는 자외선이 상부패널과 하부패널에 도포된 형광체까지 도달하는 과정, 자외선에 의하여 형광체에서 가시광이 방출되는 과정이다.

그림1에서는 Xe의 에너지 준위와 진공자외선 방광경로를 보여주고 있다. Xe의 기저상태와 이온화준위 사이에는 매우 많은 에너지 준위가 존재한다. 이 준위에서 147nm와 연속선을 방출하는데 가장 큰 역할을 하는 에너지 준위는 Xe의 6S 준위이다. 이 레도에서 자발적으로 기저상태로의 천이가 불가능한 준안정상태(metastable)인 1s₅, 1s₃준위 Xe_m와, 공명준위인 1s₄, 1s₂준위 Xe_a가 있다. 이때, 1s₄에서 방출되는 빛의 파장이 147[nm]이며, Xe 원자가 1s₄나 1s₅와 결합해 생성된 Xe의 분자 여기종들에 의해 173[nm]의 연속선이 방출된다.



여기된 Xe 원자들은 이웃된 기저상태의 Xe 원자에게 흡수될 수 있고 이러한 새롭게 여기된 원자들은 방사를 하고 이것은 다른 원자들에게 다시 흡수된다. 이러한 과정은 형광체가 발광할 때까지 반복적으로 이루어진다. Xe의 수명은 자유전자와 충돌하는 기회가 더욱 많아질 때 길어질 수 있다.[5]-[6]

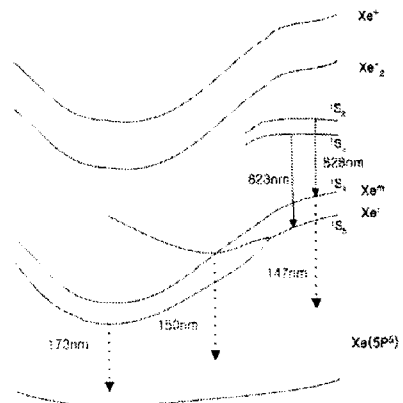


그림 1 Xe의 에너지 준위

2.2 제논 평판형 형광램프의 제작 및 실험방법

그림2는 본 연구에 의해 제작된 제논 평판형광램프의 단면도이다.

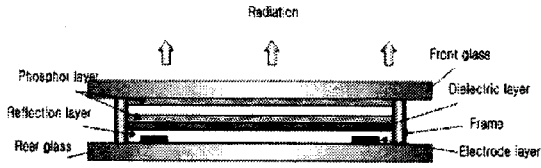


그림 2. 제논 평판형광램프의 구조

본 연구에 의한 제논 평판형광램프는 100[W]급(384mm×321mm×10mm)로 제작되었다. 전면유리판에 형광체층을 배치하여 전면부를 구성하고, 후면유리판에는 전극을 인쇄하고, 전극간의 절연을 위해 유전체층을 그 위에 도포한 후, 상기 유전체층 위에 형광체층을 배치하여 후면부를 구성한다. 전면부와 후면부 사이에 지지대와 스페이서를 두고 접합한 후 미리 형성한 홀을 이용해 10^{-6} [Torr]의 진공 상태로 만든 후 Xe 가스를 주입하고 봉합하였다. 제작된 제논 평판형광램프의 두 전극에 AC 펄스전압을 인가하면 방전에 의해 자외선이 발생하고 이 자외선이 형광체를 여기시킴으로서 발광이 일어나게 된다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 제논 평판형광램프의 구동

그림3은 구동전압과 방전전류 및 전력에 대한 파형을 보이고 있다. 제논 평판형광램프의 두 전극에 그림 3과 같은 파형을 인가했을 때 방전개시전압(V_f)을 넘으면 램프가 방전을 시작하면서 발광하게 되고 다음의 파형을 보인다.

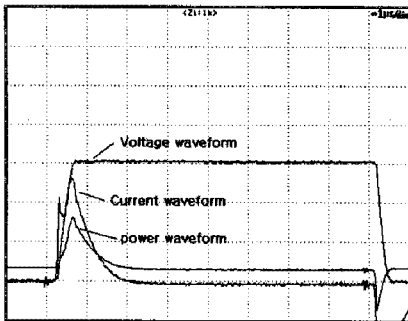


그림 3. 구동전압과 전류 파형

전류파형은 두개의 피크로 이루어지며 첫 번째 피크는 용량성 변위전류(displacement current)이고, 두 번째 피크는 가스방전에 의한 방전전류(discharge current)이다. 그림 4는 전극간격에 따른 방전개시전압 및 방전유지전압, 완전 점멸시의 전압이다. 전극간격이 증가하면 방전개시전압과 방전유지 전압이 크게 증가하며 그 결과는 Paschen의 법칙 $V=f(p \cdot d)$ 에 부합된다.

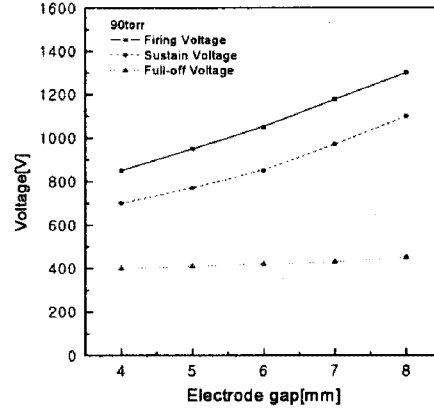


그림 4. 전극간격에 따른 방전개시전압 특성

그림 4에서 방전개시전압은 전극간 거리에 크게 의존함을 알 수 있다. 동일 전압 인가 시 전극간 거리가 증가함에 따라 방전개시전압과 관계되는 방전 셀의 안쪽 가장자리에 형성되는 전기장이 약화된다. 전기장이 약화됨에 따라 유전 장벽에 쌓이는 전하의 양이 줄어들기 때문에 방전 개시 전압은 증가하게 된다.

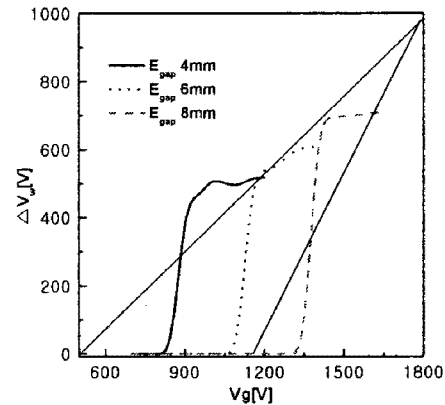


그림 5. 전극간격에 따른 전압전달곡선 특성

그림5는 전극간 거리의 변화에 따른 또 하나 특성인 정적 동작마진을 측정하였다. 이 곡선은 방전공간 전압변화에 대한 벽전압 변화를 나타내며 방전현상과 방전공간 내 구조 관계를 정량화 할 수 있다.

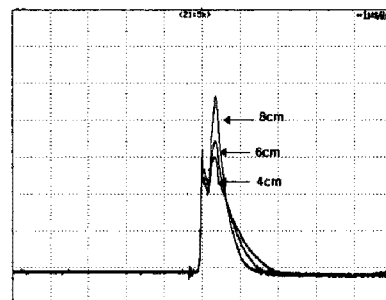


그림 6. 전극간격에 따른 전류파형

그림6은 전극간격에 따른 방전전류의 파형변화를 보이고 있다. 전극간격이 증가함에 따라 방전전류 피크가 증가하는 결과를 보였는데 이는 Paschen의 법칙에 부합되는 결과이다. 방전 delay는 전극의 간격에 거의 관계없이 일정하게 나타나고 있다. 또한 방전유지시간과 변위전류의 파형도 전극의 간격의 증가와 무관했다.

3.2 제논 평판형광램프의 광학적 특성

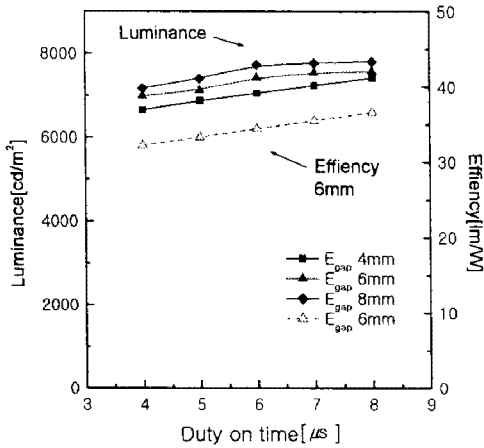


그림 7. Duty on time에 따른 휘도와 효율 특성

그림7은 펄스폭에 따른 휘도와 효율에 대한 특성이다. 펄스폭이 증가함에 따라 휘도가 상승하나 전압이나 압력이 휘도에 미치는 영향보다는 적은 증가폭을 보이고 있다. 이는 방전이 방전전압의 파형에 비해 아주 짧은 시간에 일어났다 끝나기 때문이다. 효율의 경우도 펄스폭이 증가함에 따라 증가한다.

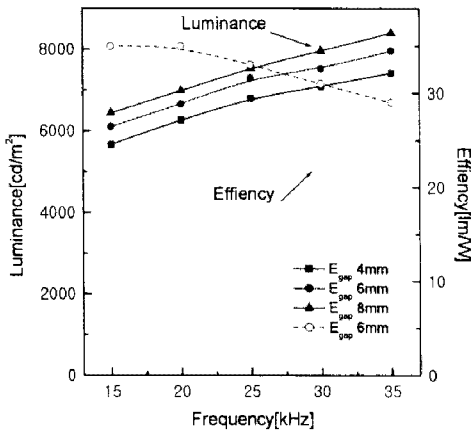


그림 8. 주파수에 따른 휘도와 효율특성

그림8은 주파수변화에 따른 휘도와 효율 변화 그래프 이다. 주파수가 증가함에 따라 AC펄스에 의한 방전 횟수가 증가하기 때문에 휘도도 증가한다. 효율은 주파수의 증가에 따라서 감소하는데 그 이유는 주파수가 증가함에 따라 휘도도 증가하나 소비전력이 큰 폭으로 상승하기 때문에 전체효율은 오히려 감소하게 된다.

3.3 제논 평판형광램프의 특징

그림9는 주위 온도에 따른 상대 광 출력에 대한 특성을 보여주고 있다. 수은을 사용하지 않고 Xe를 방전 가스로 사용하는 제논 평판형광램프는 주위 온도에 거의 영향을 받지 않는다. 그림 9에 보이는 것과 같이 $-40[^\circ\text{C}] \sim 80[^\circ\text{C}]$ 의 영역에서는 약 85[%] 이상의 광속유지율을 보이고 있다.

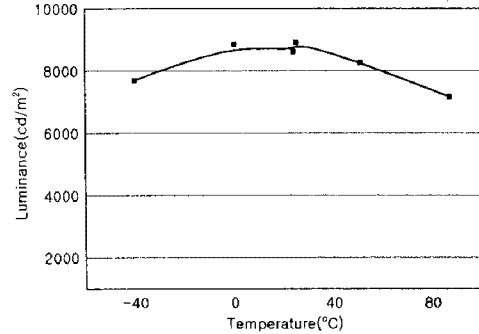


그림 9. 주위온도에 의한 상대 광 출력

그림 10은 제논 평판형광램프의 점등 빠르기를 보이고 있다. 제논 평판형광램프는 약 6[ms]이내에 100[%]의 광속을 얻을 수 있으며 이러한 특성은 $-40[^\circ\text{C}] \sim 80[^\circ\text{C}]$ 의 주위온도에서도 동일한 점등특성을 보이고 있다. 이러한 점등 빠르기는 기존 수은 램프의 수은 확산과정이 없기 때문이다. 이러한 점등 빠르기는 구동전압의 Rising time에 의해 차이가 있으며 본 실험에서는 300[ns]의 Rising time에서의 특성 측정하였다.

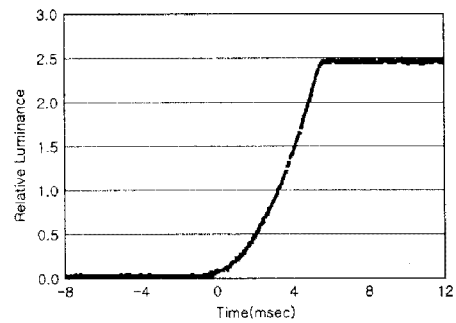


그림 10. 제논 평판형광램프의 휘도 균일도

그림11은 본 실험에 의해서 제작된 100[W]급 제논 평판형 광램프의 배광곡선이다. 본 배광곡선은 등기구를 사용하지 않고 램프자체만을 측정된 데이터이며 등기구를 사용하지 않고도 이상적인 배광곡선을 나타냈다.

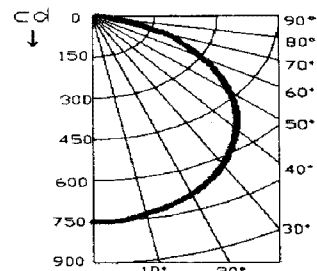


그림 11. 제논 평판형광램프의 배광곡선

그림 12는 제작된 Xe 면광원의 수명을 측정된 결과이다. 본 논문에서는 20,000시간까지의 연속점등을 통한 data를 근거로 지수 함수적으로 감소하는 휘도를 예측하여 70,000시간의 수명을 예측하였다. 일반적으로 수명을 측정하는데 시간이 많이 소요되기 때문에 단기간 내의 수명을 예측할 수 있는 가속수명시험방법을 통해 휘도가 감소되는 열화 경향을 모델링하여 짧은 시간동안 열화된 데이터만 가지고도 수명을 추정할 수 있는 방법이 있으나 본 논문에서는 일정시간의 휘도 감소 데이터에 의해 수명을 예측하는 외삽법으로 수명을 산출하였다.

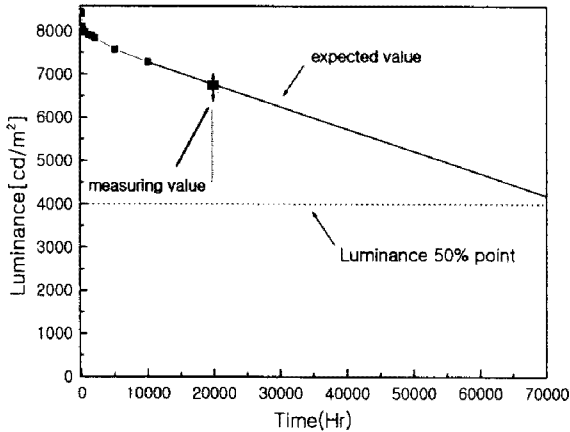


그림 12. 제논 평판형광램프의 수명특성

그림13은 본 실험에 의해서 제작된 30[W]급과 100[W]급 제논 평판형광램프의 점등사진이다. 100[W]급의 경우 구동전압 1,200[V], 효율은 32[lm/W] 휘도 7,600[cd/m²], 색온도 8,000[K], 연색성 86의 특성을 보인다.

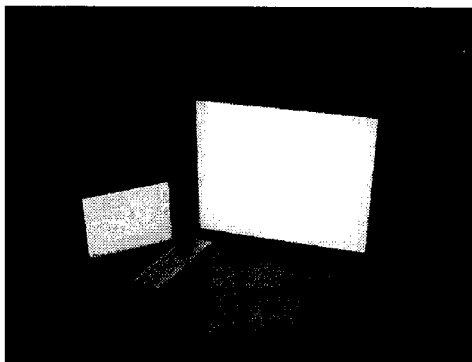


그림 13. 제논 평판형광램프의 발광 사진

4. 결론 및 고찰

제논 평판형광램프는 일반조명과 대면적 LCD-TV의 백라이트로써의 요구 사항인 고효율, 높은 휘도 균일도, 친환경성을 실현할 수 있는 좋은 대안으로 기대되고 있다. 그러나 많은 장점에도 불구하고 발열량이 비교적 높고 효율이 낮다는 문제가 있다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하고 고성능 제논 평판형광램프를 설계하기 위해 진행되었다. 효율에 영향을

미치는 요소는 전극 기하학적 형상, 각 사용재료의 특성, 가스 압, 구동조건 등 여러 가지 요소가 있으며 이러한 요소의 최적화 조건이 함께 고려돼야 더욱 높은 효율의 제논 평판형광램프를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 전극간격 및 구동조건만을 예로 들어 전기적 및 광학적 특성에 대해 논하였으나 최적화된 램프를 위해서는 이 외의 특성도 함께 고려해야 한다. 본 연구에 의해서 제작된 100[W]급 제논 평판형광램프는 우수한 방전 안정성을 가지며 90%의 균일도에서 7,600[cd/m²]의 휘도와 32[lm/W] 이상의 효율을 얻었으며 이러한 특성 외에도 주위온도에 의한 상대 광출력, 점등 빠르기 등이 일반 조명에 적용하기에 적합하다는 결론을 내렸으며 또한 유전체 장벽방전을 사용해 수명이 기존 램프에 비해 장수명의 특성을 보임으로써 다양한 활용 가능성을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 램프는 성능이나 가격 면에서 볼 때 일반 조명이나 대면적 LCD-TV 백라이트 광원으로써 충분히 활용 가능할 것으로 보이며 사용 범위가 넓어 타 광원을 사용하기 힘든 실외 조명, 특수 조명등에 활용 가능할 것으로 생각된다. 앞으로도 램프의 고성능화를 위한 백색 형광체에 대한 연구와 램프의 성능을 최대한 발휘할 수 있는 구동회로에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1]T.Shiga, "Study of efficacy in a mercury-free flat discharge fluorescent lamp using a zero-dimensional positive column model" J.Appl.Phys. 36. pp512-521, 2003
- [2]Masafumi Jinno, "Fundamental Research on Mercuryless Rare gas Fluorescent Lamps at Pulsed Discharge" IEEE pp 2151-2157, 1998
- [3]S.Kishimoto "Flat Fluorescent lamp for LCD back-lighting" DSO II SPIE Vol. 1117, pp168-169, 1989
- [4]Shigeo Mikoshiba "Xe Discharge Backlights for LCDs" SID'01 Digest pp 286-289, 2001
- [5]B.Eliasson "UV Eximer Radiation from Dielectric-Barrier Discharges" Appl.Phys. B 46, pp299-303, 1988
- [6]Shahid Rauf "Dynamics of a coplanar-electrode plasma display panel cell. Basic operation" Appl.phys. Vol85, pp3460-3469, 1999