

방전공간 치수 변화에 따른 FFL(Flat Fluorescent Lamp)의 방전특성

윤성현, 박철현, 조민정, 임민수, 권순석, 임기조
 충북대학교 전기공학과

Discharge characteristics of FFL as the change of discharge space dimensions

Yun Seong Hyun, Park Cheol Hyun, Cho Min Jeong, Lim Min Su, Kwon Sun Suk, Lim Kee Joe
 Dept. of Elec. Eng. Chungbuk National University

Abstract - The characteristics of Xe discharge lamp are described in this paper. In this paper, FFL is changed discharge space dimensions like discharge space gap, phosphor layer and dielectric layer thickness to find FFL with high efficiency.

1. 서 론

21C 정보전달 매체로 LCD, PDP, ELD, VFD, LED, 그리고 FED 등으로 나뉘어지는 FPD는 저 noise화, 저전력화, space화를 목적으로 수년 전부터 브라운관에서는 할 수 어려운 박형, 경량, 저소비전력 등의 면에서 이점을 가지고 급속한 기술혁신을 이루며 고정세화, 대화면화 및 평면화 등을 배경으로 현재 브라운관의 위치를 위협하고 있다. 그 중에서 LCD는 저소비전력과 저동작전압 등을 갖추고 있어 현존하는 각종 Flat panel 전자 디스플레이 중에서 가장 널리 사용될 정도로 성장하고 있다.

LCD는 전압이나 열 등의 작용에 의해 액정 분자배열의 변화에 따른 액정소자의 복굴절성, 선광성, 2색성, 광산란성, 선광분산 등 각종 광학적 성질의 변화가 시각 변화로 나타나게 된다. 즉, LCD는 액정 자체가 빛을 내지 못하는 비발광형 소자로 백라이트에서 나오는 빛의 투과광을 modulation하여 화면을 여러 가지 색으로 나타내주기 위해서는 백라이트 및 백라이트 unit의 기능이 화면의 휘도와 디스플레이 표시품질과 깊은 관계를 가진다. 또한 표시면적의 증가와 더불어 백라이트의 역할이 더욱 중요시되고 있다. LCD용 백라이트에 요구되는 성능은 표시면 전체의 휘도가 균일해야 하며 액정 Panel의 투과율이 10%미만인 것을 고려하여 충분한 휘도가 유지되어야 한다. 특히 휴대용 LCD의 경우 두께는 얇고 무게가 가벼워야하며 저전력화가 되어야한다. 현재 광원으로 사용되고 있는 tube형상의 냉음극선관은 광원근처와 표시 중앙부의 불균일한 휘도분포와 외부로의 광손실을 줄이고자 도광판, 확산판, 반사판과 LCD에서 요구되는 편광을 얻기 위한 Prism sheet의 Backlight Unit을 구성하고 있다. 그러나 LCD 후면 광원으로 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)을 사용한 Backlight Unit은 15인치 이하의 LCD system에는 널리 사용되고는 있으나 20인치 이상의 Notebook PC용이나 Monitor, TV용 등의 대면적 표시의 수요증가의 확대에 대한 기대는 보장할 수 없다. 이 때문에 새로운 차세대 후면광원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서 LCD 후면광원으로 CCFL을 이용한 Backlight Unit을 대체할 수 있는 광원으로 FFL과 무기EL(Electroluminescence), LED(Lighting Emission Device) 등이 있다. EL과 LED는 낮은 휘도의 특성 때문에 각종 휴대정보단말기(PDA : Personal Digital Assistant), 전자수첩, PCS 등과 같은 소형 디스플레이분야에 부분적인 적용은 가능하나 대화면표시에의 적용은 어렵다. 이에 반해

FFL은 표시면적의 제한이 없다는 장점과 현재 CCFL을 포함한 Backlight Unit을 갖는 LCD의 후면광원의 전기적·광학적 특성과 비교해 뒤지지 않는 특성을 갖고 있다.

T. Shiga, K. Igarashi 등에 의해 광확산필름을 사용하지 않고 10,000(cd/m²)의 휘도와 90(%)의 양호한 Uniformity를 갖는 FFL을 보고하였으나 이들은 형광등과 마찬가지로 미량의 Hg를 함유하고 있는 문제를 갖고 있다. 그 후 Kamakura, Kanagawa 등에 의해 6000(cd/m²)이상의 방전가스를 Xe으로 사용한 mercury-free FFL을 보고하였으나 대면방전형의 전극 구조를 갖고 있어 정이온에 의한 sputtering에 의한 수명저하와 높은 소비전력의 문제점을 갖고 있었다.[1] 대면방전형의 정이온에 의한 전극 및 유전층의 sputtering 문제를 해결하고자 면방전형 FFL이 보고되고는 있으나 아직까지 높은 소비전력과 낮은 휘도의 문제를 갖고 있다.

본 논문에서는 이 같은 면방전형 FFL의 소비전력과 휘도에 대한 문제점을 줄일 수 있는 구조적 변화로 방전공간의 치수를 변화시키고 위해 방전갭과 유전층 및 형광층의 치수를 변화시켜 전기적·광학적 측정에 의한 특성을 검토함으로써 방전특성을 고려하여 고효율의 FFL의 설계를 구현하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

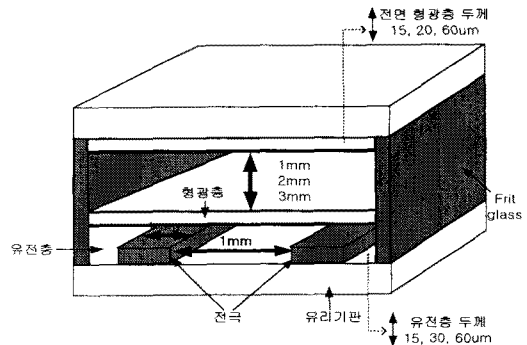


그림 1. Cross-sectional view and the change of dimensions of cell structure for FFL
 방전공간을 구성하고 있는 요소들을 고려할 점은 고성능의 FFL의 전력손실, 자외선을 방사효율의 향상, 가시광선의 방사효율향상 등을 들 수 있다. 특히 FFL의 손실 중 많은 부분을 차지하고 있는 자외선 방사효율의 향상을 고려하지 않을 수 없다.
 본 논문에서는 이러한 점을 고려하기 위해 방전공간 치수 변화로 그림1과 같이 방전갭을 1 mm, 2 mm, 3 mm로

변화시켜 자외선 방사효율의 향상, 전면층 형광층 두께를 15 μm , 20 μm , 60 μm 로 변화시켜 가시광선 방사효율의 향상, 배면층 유전층 두께를 15 μm , 30 μm , 60 μm 로 변화시켜 방전 형성시 벽전하 형성과 관계된 전력손실을 줄이기 위한 적절한 구조설계의 구현하고자 한다.

2.1.1 FFL 방전원리

형광등, PDP(Plasma Display Panel) 등과 같이 Capacitive discharge 또는 Dielectric Barrier Discharge 일종인 FFL은 이온과 전자의 온도가 같지 않은 비평형 플라즈마이고 gas의 온도가 상온과 같은 저온 플라즈마로 uniform한 glow를 형성시키기 위해서는 수 ~ 수십(kHz) 이상의 전압입, 2개의 capacitive 전극 사이에 최소한 한쪽 전극면은 insulating material로 덮여 있어야 하고, reactive gas가 필수적이다. 그림1과 같은 구조의 FFL의 방전원리에 대해 그림2와 같이 표현할 수 있다.

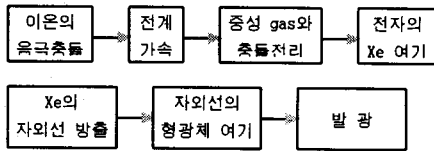


그림 2. Mechanism of Light emission for FFL
 FFL은 그림2와 같이 가해진 전압에 의한 전계에 의해 가속된 전자와 중성 gas와 충돌전리과정에 의해 Xe 원자가 여기 되어 Xe의 자외선이 방출된다. 이 자외선의 에너지는 형광체의 모체에 흡수되고 부활제(activator) 이온을 여기 시켜 가시광으로 변환되는 mechanism에 의해 발광하게 된다.

2.1.2 측정 장치

그림3은 측정을 위한 Block diagram이다. FFL의 방전 특성 평가로 전기적 특성과 광학적 특성을 평가하였다.

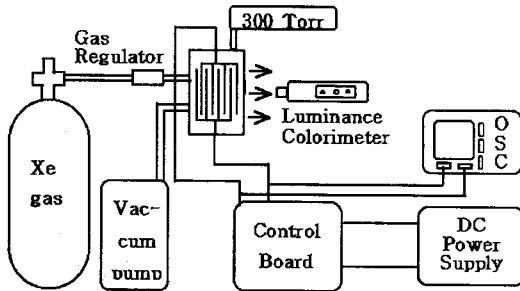


그림 3. Block diagram of measurement for electrical and optical characteristics for FFL

전기적 측정으로 방전전압과 방전전류를 오실로스코프와 전류프루브를 사용하였고, 광학적 측정으로 휘도계를 이용하여 전압, 전류 등을 변화시키면서 휘도를 측정하였다. 전기적 특성과 광학적 특성에서 얻은 결과를 종합하여 각 패널에 대한 광효율을 계산하였다. 광효율은 다음 식에 의해 산출되었다.

$$\text{발광효율}(\eta) = \frac{\pi \times \text{휘도}(\text{cd/m}^2) \times \text{면적}(\text{m}^2)}{\text{소비전력}(W)}$$

2.2 실험 결과

2.2.1 방전갭 변화

자외선의 방사효율을 개선시키기 위해서는 방전경로와 제적과 관련 있는 방전갭, Xe원자 및 분자에 의한 여기·전리화률을 결정짓는 가스압력, 방전공간 내부의 전계와 방전의 형성과 관계 있는 점등파형 등을 고려해야 한다.

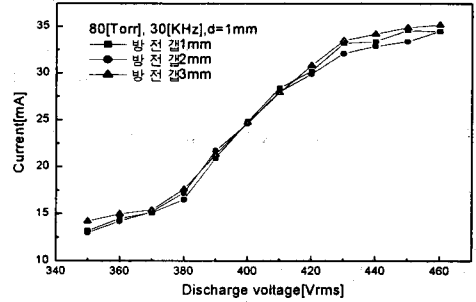


그림 4. Current as a discharge voltage to measure the change as a discharge space gap of FFL

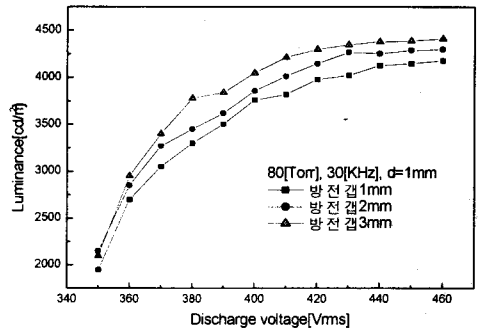


그림 5. Luminance as a discharge voltage to measure the change as a discharge space gap of FFL

그림 4와 같이 방전전압의 증가에 따라 전류밀도는 증가하게 된다. 그러나 방전갭의 변화에 대해서는 거의 변화가 없다. 휘도는 방전전류와 비례하게 되므로 방전갭의 증가에 대해서 거의 비슷한 경향을 보여야 하지만 그림 5에서 보듯이 휘도는 방전갭의 증가에 따라 좋은 특성을 보인다. [2]

이러한 이유는 방전갭이 증가하면 방전경로가 길어지게 되어 전류의 증가가 예상되지만 방전이 유지되는 한 방전공간은 도체처럼 되어 방전경로의 저항이 극히 낮기 때문에 전류의 변화는 거의 없고 방전갭의 증가에 기인하여 방전경로가 길어지기 때문에 VUV방출에 기여하는 더 많은 여기종들이 생성되고 그 결과 높은 휘도를 얻을 수 있는 것으로 사료된다.

2.2.1 형광층의 변화

FFL의 형광체는 자외선 흡수용의 모체와 모체가 흡수한 자외선 에너지에 의해 여기 발광하는 부활제(activator)로 구성되어지며 가시광의 외부인출을 높이기 위해서는 가시광의 cell내 흡수와 형광체에 의한 흡수를 줄이고 전면기판에서의 광투과율을 높이기 위한 전면층 형광층 두께의 중요성이 필요로 된다.

그림 6에서 배면층 형광체 두께를 30 μm 로 고정하고 전면기판 층의 형광체 두께의 변화에 따른 휘도의 변화를 보여주고 있다. 전면기판 층의 형광층에 대해서는 20 μm 두께까지는 휘도는 향상하는 경향이 있으나 60 μm 일 때는 오히려 휘도는 오히려 감소하는 경향을 보인다. 이는 어느 정도 두께이상의 형광층의 광투과율은 현저히 저하하는 경향 때문이다.

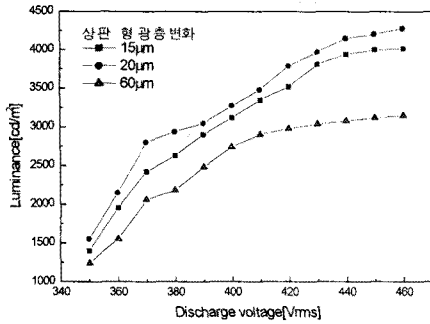


그림 6. Luminance as a discharge voltage to measure the change as a thickness of phosphor layer on front glass of FFL

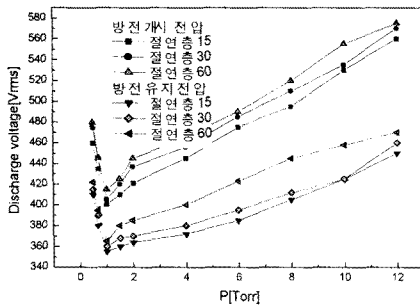


그림 7. Discharge voltage as a pressure at different dielectric thickness

2.2.3 절연층의 변화

그림 7은 30(kHz)의 정현파를 인가했을 때 절연층 두께의 변화에 따른 방전전압의 변화를 가스압력을 증가시키면서 측정된 결과이다. 절연층 두께의 증가에 따라 방전개시전압과 방전유지전압은 증가한다. 이것은 다음과 같이 설명될 수 있다.

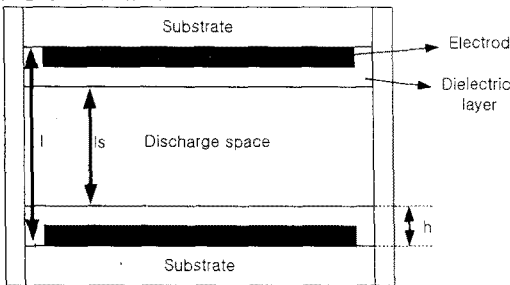


그림 8. The geometry of a parallel electrode with dielectric layer

그림 8과 같이 유전체로 덮여진 두 평행판 전극사이를 가스로 채운 공간을 고려해 보자.

Discharge path의 길이가 l_s 인 방전공간의 전계 E_s 는

$$E_s = C(K)E_0$$

여기서 E_0 는 유전체가 없을 때의 방전공간의 전계 ($E_0 = V_0/l$)이고 $C(K)$ 는 유전상수 K 를 갖는 유전층이 방전공간에 영향을 주는 계수로

$$C(K) = \frac{K}{1 + (K-1)ls/l}$$

로 표현된다.

그리고 discharge path 길이 ls 일 때 지점 s 에서의 first Townsend coefficient $\alpha(s)$ 는 [3]

$$\alpha(s) = AP \exp[-BP/E(s)]$$

여기서 A , B 는 재료상수이며 γ 는 2차전자 방출계수이고

방전조건식은 Paschen's law에 의해

$$\gamma \left[\exp \int_0^{ls} \alpha(s) ds - 1 \right] = 1$$

로 되어 방전개시를 위한 외부 인가전압 V_0 는

$$V_0 = \frac{BP(ls + 2h)}{C(K) \left[\ln \frac{APls}{\ln(1 + 1/\gamma)} \right]}$$

와 방전시 방전공간의 전압 V_s 와의 관계식

$$V_0 = V_s/ls C(K)$$

으로부터 V_s 는

$$V_s = \frac{BPls}{\ln \frac{APls}{\ln(1 + 1/\gamma)}}$$

가 된다.

즉 유전층 두께가 증가할수록 ls 가 감소하게 되어 방전전압은 증가한다. 방전전압의 증가는 소비전력의 증가를 의미한다. 그러나 충분한 절연파괴를 확보하지 못한 유전층의 두께는 전극의 sputtering을 야기시켜 수명 저하요인이 원인이 될 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 고효율 FFL 제작을 위한 구조 설계로 FFL의 전력손실, 자외선 방사효율, 가시광선 방사효율의 cell구조와의 관계를 전기적·광학적 측정을 통해 검토하였다. cell 구조의 변화로 방전공간의 치수를 변화시키기 위해 방전갭, 유전층, 형광층 두께를 변화시켜 비교하였다.

방전갭의 증가는 자외선 방사효율을 결정짓는 방전경로 및 방전체적의 증가를 의미하고 방전 유지시 방전공간의 저항성분은 거의 무시될 수 있으므로 전류의 변화는 거의 없으나 VUV방출에 기여하는 여기종들의 증가에 기인하여 광학적 효율에 기여함을 알 수 있었다.

배면층 형광층을 30 μm 로 고정하고 전면층 기판에 도포된 형광층의 두께를 변화시키면서 측정된 휘도의 결과 20 μm 의 경우는 휘도의 증가를 보이나 60 μm 의 경우는 오히려 휘도의 저하를 보이는 특성으로 보아 가시광선의 방사효율과 관계 있는 전면층 형광층 두께가 60 μm 일 때의 광투과율의 저하에 기인한 휘도의 저하로 광효율이 감소하게 된다. 또한 유전층의 두께의 변화에 대한 결과는 유전층의 두께를 증가시킬수록 방전공간 전압 V_s 의 상승을 의미하여 저소비전력화를 위해서는 고려해야 하는 점으로 생각되지만 너무 두께가 낮게 되면 낮은 절연파괴로 인한 전극의 sputtering을 야기하게 되므로 충분한 절연파괴강도를 확보할 수 있는 두께를 산출해야 된다.

(참 고 문 헌)

- [1] T. Shiga, K. Igarashi, S. Mikoshiba, S. Shinda, Euro Display '96, pp. 233-236, 1996.
- [2] T. Akiyama, and M. Ueoka, "Evaluation of discharge cell structure for color AC plasma display panels", ASIA DISPLAY '95, p.377, 1995.
- [3] S. C. Brown, "Introduction to Electrical Discharges in Gases", Wiley, 1966