

Q-V Lissajous 방법을 이용한 Xe형 평판형 형광램프의 전기광학 특성 평가

(Electrooptic Characteristics of Xe-type Flat Fluorescent Lamps Studied by a Q-V Lissajous Method)

김영업*¹ · 유미연¹ · 고재현^{1#} · 유시홍² · 이성의²

(Young-Youb Kim · Mi-Yeon Yu · Jae-Hyeon Ko · Si-Hong Ryu · Seong-Eui Lee)

(1 한림대학교 전자물리학과, 2 한국산업기술대학교 신소재공학과)

Abstract

Electrooptic characteristics of Xe-type flat fluorescent lamps (FFL) have been investigated by using a Q-V Lissajous method. It was found that the luminance of the MgO-coated FFL became more than doubled compared to normal FFLs operated at the same driving voltage, indicating the possibility of the efficacy improvement in the MgO-coated FFLs. Change in the driving condition, in particular, the duty ratio had effects on the electrooptic properties, and it was found that the duty ratio of 50% was the optimum condition from the viewpoints of the efficacy and the lamp voltage.

1. 서론

평판형 디스플레이(Flat Panel Display, FPD) 시장이 날로 커지는 가운데 FPD의 선두주자를 달리고 있는 액정디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD)용 조명광원인 LCD 백라이트유닛(Backlight Unit, BLU)이 최근 큰 주목을 받고 있다. BLU의 광원으로는 현재 수은형 형광램프가 주로 사용되고 있으나 이 속에 포함된 수은(Hg)의 환경오염 문제가 제기 되고 RoHS와 같은 유해물질규제정책이 도입되면서 무수은 형광램프, 특히 제논(Xe)이 포함되어 있는 무수은 램프가 백라이트용 차세대 광원으로 새롭게 주목을 받고 있다[1]. Xe형 형광램프의 장점으로는 환경친화성, 장수명, 주위 온도에 무관한 광특성 및 탁월한 저온 시동성, 정상 휘도에 도달하는데 걸리는 시간이 매우 짧다는 점 등을 들 수 있다. 그렇지만 Xe방전에서 나오는 자외선의 파장(147 및 173nm)은 기본적으로 수은형 방전에서 발생하는 자외선 파장(253nm)보다 훨씬 짧기 때문에 형광체에서 가시광선으로 변하는 과정에서 발생하는 에너지 손실이 클 수밖에 없다. 이로 인한 램프의 발열량 증가와 고효율을 위한 펄스 혹은 사각파 구동기의 사용으로 인한 구동회로부의 효율 저하 등이 문제점으로 지적되어 왔다.

형광램프는 일반적으로 방전공간의 단면적이 원형인 직관형 형광램프가 가장 많이 사용되지만 최근에는 평판형 형광램프 혹은 면광원(Flat Fluorescent Lamp, FFL) 백라이트 기술이 구조적인

단순성, 우월한 휘도균일도, 가격경쟁력의 우위성 등으로 인해 큰 주목을 받아 왔다[2]. Xe형 면광원기술은 크게 (1) 상하대향 방전형, (2) 면대향(coplanar) 방전형 및 (3) 탐침 전극을 이용한 삼각 마이크로 방전형 등으로 나눌 수 있다. 상하대향 방전형은 미세한 마이크로 방전이 발생하기 쉽고 균일 방전을 형성하기 어렵기 때문에[3] 메쉬전극을 이용하여 균일 방전을 유도하거나[4] 새로운 전자방출구조[5]를 적용한 면광원이 개발되었다. 면대향 방전형의 경우 수축방전(contracting discharge)[6]이 일어날 가능성이 높기 때문에 쌍-면대향(dual coplanar) 전극구조[7]를 이용하거나 보조전극[8]을 이용하여 균일방전을 달성하고 방전효율을 향상시킨 결과들이 보고되었다. 탐침 전극을 이용한 삼각 마이크로 방전형 Xe 면광원은 오스람(Osram)에서 상용화에 성공한 바가 있으나[9] 낮은 효율로 인해 LCD 백라이트로는 극히 부분적으로만 적용되었고 대만의 일부 회사에서도 개발을 진행한 바가 있으나 수은형 면광원에 비해 낮은 효율로 상업화가 진행되지는 못한 상황이다.

이상에서 개괄한 것처럼 Xe형 면광원 기술에 대해서는 상당히 많은 연구가 진행되어 왔지만 아직도 Xe 면광원의 방전과 구동조건의 관계, 균일 방전의 형성조건의 물리적 메커니즘, 효율향상 방법 등에 대해서는 충분한 연구가 되어 있지 않은 상황이다. 이에 본 연구에서는 Xe형 평판램프를 제작하여 램프 내부의 막구조, 압력 및 구동조건의 변화 등에 따라 전기광학 특성이 어떻게 변화되는지를 조사하였다. 특히 램프의 특성 측정에 있어서

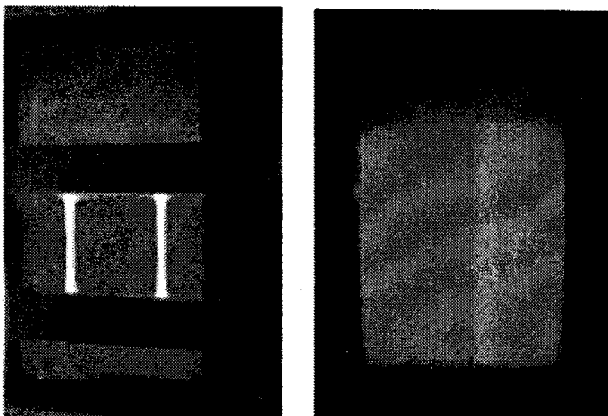
비교적 까다로운 특성인 램프의 소비전력을 Q-V Lissajous 곡선 방법을 이용하여 정밀하게 평가하였다.

2. 본 론

2.1. 측정대상

면적이 80 mm X 60 mm 이고 두께가 2.8 mm인 소다라임 유리로 Xe형 면광원의 상, 하판을 제작하였다. 스크린 프린팅 기법을 이용하여 Green 형광체를 프린팅 하였으며 면광원의 바깥 테두리 쪽에 두께 0.7 mm의 유리 스페이서를 놓고 glass frit으로 밀봉하였고 방전가 스로는 Ne:Xe을 95:5의 비율로 100 torr와 250 torr의 압력으로 주입하였다. 제작된 램프 중 일부는 한쪽 면 형광체의 아랫부분에 산화마그네슘(MgO)을 입혀서 2차 전자 방출 효과에 의한 특성 변화를 평가하였다. 광학 특성 평가는 휘도계(Minolta CA100A)를 이용하였으며 전기적인 특정 평가에는 전류프로브(Tektronics P6022)와 고전압프로브(Tektronics P5210), TDS2024 Digital Oscilloscope 를 사용하였다. 구동기로는 고전압 구형파 구동기(FTLAB, HPI500)을 이용하였다. 60kHz의 구동 주파수에서 구형파의 전압인가비율(duty ratio)을 바꿈에 따라 전기광학특성이 어떻게 바뀌는지를 조사하였다.

그림 1(a)에서 볼 수 있는 것처럼 램프를 Dual-Coplanar 방식으로 구동하였을 때는 응축방전이 발생하였고 메쉬(mesh) 전극을 이용한 상하 대향방전으로 구동하여 균일한 방전을 얻을 수 있었다. 균일방전의 상태는 그림 1(b)에 보여지고 있다. 메쉬전극의 Pitch는 300 μ m이고 Width는 10 μ m이다.



(a) Dual-coplanar 전극

(b) 메쉬 전극

그림 1. 전극 구조에 따른 방전상태

2.2. 측정방법

우선 유전체장벽 방전(Dielectric Barrier Discharge, DBD)으로 구동되는 면광원을 축전용량 C_L 을 가지는

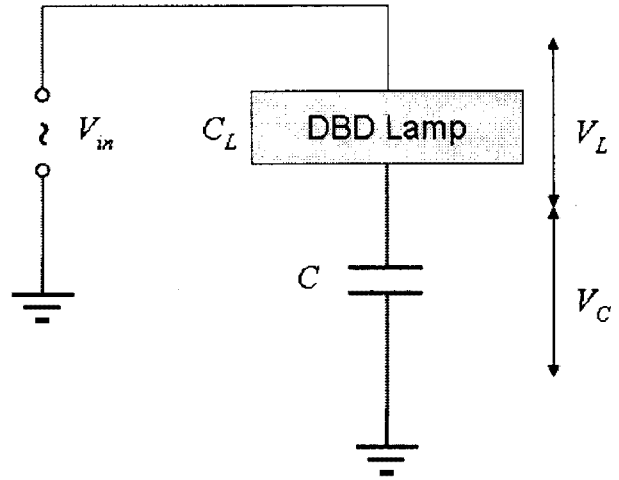


그림 2. Q-V Lissajous 곡선 측정을 위한 램프 회로도

축전기로 모델링한 후에 이에 직렬로 축전용량이 변화되는 가변축전기를 연결하였다. 그림 2에 축전기와 면광원이 연결된 시스템에 대한 간략한 회로도 가 보여지고 있다. 이때 DBD램프와 가변축전기는 식(1)과 같이

$$V_C + V_L = V_{in} \quad (1)$$

인가되는 전압(V_{in})을 나누어 갖는 전압분배기(voltage divider)를 형성하는데, 면광원의 구동전압에 영향을 주지 않기 위해서는 인가된 전압의 대부분이 DBD램프 V_L 쪽에 걸려야 한다. 이 조건을 만족하기 위해서 가변축전기의 축전용량 C 는 식(2)으로 표현된 것처럼

$$C \gg C_L \Rightarrow V_C \ll V_L \approx V_{in} \quad (2)$$

DBD램프의 유효 전기용량보다 100 배 이상 큰 조건을 만족해야 하며 이 실험에서도 그림 3에서 나타나는 것처럼 100:1 이상의 조건을 맞추어 주었다.

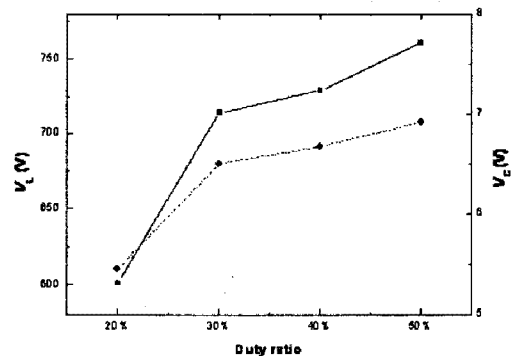


그림 3. Normal 250[torr]램프의 V_L 와 V_C

그림3은 MgO layer를 포함하지 않고 가스압력이 250 torr인 Normal 램프에 대한 데이터이고 램프에 걸리는 전압과 가변축전기에 걸리는 전압을 나타낸다. 이 램프의 경우 가변 축전기의 용량을 3nF로 설정 하였을 때 양 단의 비율이 100:1 이상의 조건을 만족하여 측정조건을 갖추었고 이 조건 하에 실험을 진행하였다.

두 개의 축전기가 직렬 연결된 경우 양 축전기에 쌓이는 전하량은 식(3)에서 나타낸 것과 같이 동일하다.

$$Q = C_L V_L = C V_C \quad (3)$$

따라서 가변축전기의 양단에 걸리는 전압과 가변 축전기의 용량을 측정함으로써 그림4와 같은 Q-V곡선을 얻을 수 있고 식(4)와 같이 그 폐곡선 내의 면적을 적분하여 구한 다음 주파수 f 를 곱해 줌으로써 소비전력을 구할 수 있다.

$$W = f \oint Q(V) dV \quad (4)$$

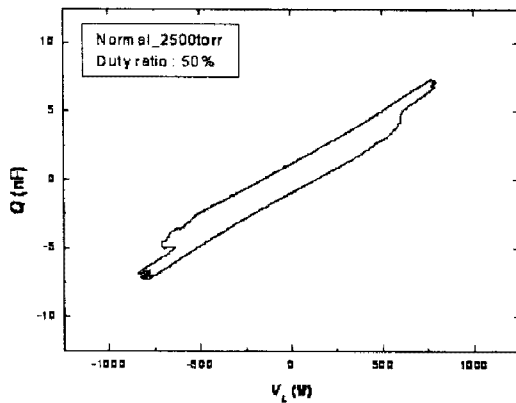


그림 4. 250 torr, Duty ratio 50%에서의 Q-V Lissajous곡선

2.3. 측정결과

우선 MgO layer가 램프에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Ne(95%):Xe(5%)가스가 100 torr주입되고 내부에 MgO layer가 코팅된 램프와 내부 가스압은 같으나 MgO Layer가 없는 Normal 램프에 대해 전기광학 특성을 측정하였다. 주파수 60 kHz와 관전류를 40 mA로 고정한 상태로 램프를 구동하면서 관전압과 휘도를 측정하였다. 그림5에서와 같이 동일한 관전류를 입력해 주었을 때 전압은 큰 차이를 보이지 않았으나 휘도는 50%이상 증가함을 알 수 있다. 이것으로 미루어 보아 동일 휘도를 유지하기 위한 관전압은 감소하고 이로 인

해 램프의 방전효율이 상승할 것으로 예상된다.

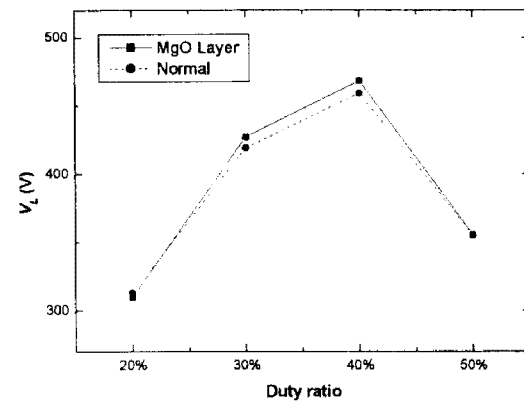
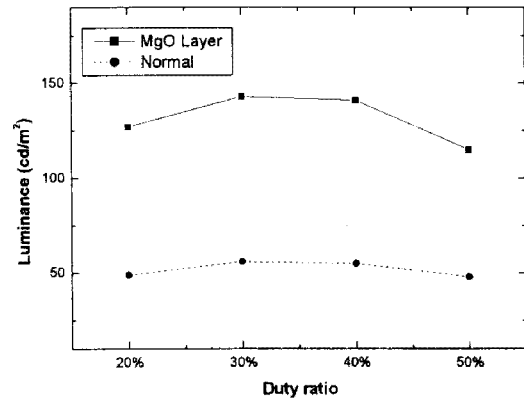


그림 5. 100(torr) 램프의 MgO Layer에 따른 휘도와 전압

전압인가비율(Duty ratio)의 변화가 20%에서 40% 영역까지는 전압인가 시간의 증가에 따라 관전압이 증가하지만 50%가 되면서 램프 외부의 전압의 극성이 0 V 인 대기 시간 없이 바로 바뀌기 때문에 램프 내부의 양쪽에 쌓인 벽전하(wall charges)가 만든 전기장과 전극에 인가되는 전압이 중첩되면서 동일 관전류를 형성하기 위한 관전압이 감소하는 것을 볼 수 있다.

그림6은 가스 압력을 100torr에서 250torr로 바꾸고 동일 휘도가 유지되는 조건 하에서 측정된 전기광학 특성을 보여주고 있다. 동일한 휘도를 유지하면서 Duty ratio를 변화시킬 경우 Duty ratio가 40%까지 증가되는 범위 내에서는 동일한 휘도를 유지시키기 위한 관전압이 증가하기 때문에 소비전력 또한 증가하고 Duty가 50%에 도달하면 앞에서 기술한 것처럼 벽전하가 형성하는 전기장과 전극에 인가되는 전압에 의해 발생하는 전기장의 중첩으로 인하여 동일 휘도를 유지하기 위한 관전압이 떨어질 것으로 예상할 수 있다. 이 때문에 동

일휘도를 유지하기 위한 소비전력도 떨어지게 되며 같은 휘도를 유지한 상태에서 측정을 하였기 때문에 효율 그래프는 소비전력의 그래프와 반대의 기울기로 나오게 된다.

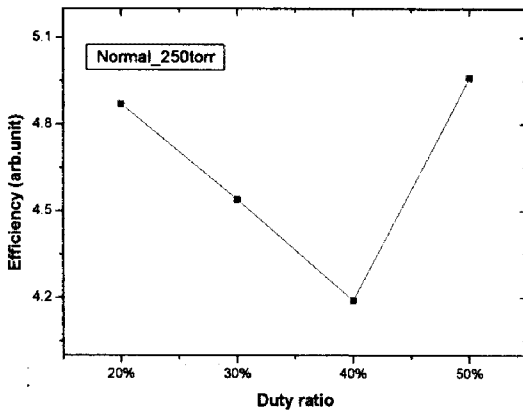
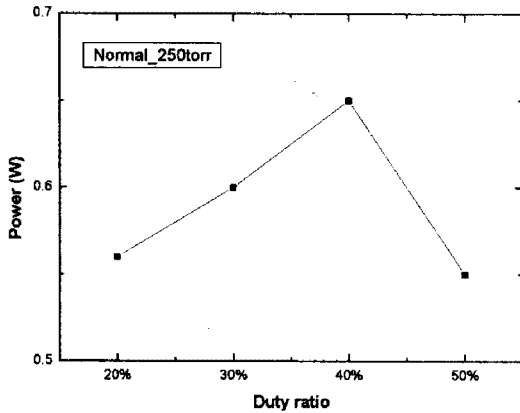


그림 6. 250 torr Normal 램프의 소비 전력과 효율의 duty ratio 의존성

3. 결론

본 논문에서는 가장 단순한 구조의 Xe형 면광원에 대해 MgO막 및 구동조건에 따른 전기광학특성 변화를 조사하였다. 이상의 연구를 통해 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 일반적인 면대향(coplanar) 전극구조 혹은 쌍-면대향(dual-coplanar) 전극구조 하에서는 균일방전을 얻지 못했다. 이는 전극이 면광원의 바깥 면에 외부전극으로 형성되어 있어서 인가된 전압이 내부 방전공간에 걸리는 비율이 낮고 인가해 준 전압의 상승시간이 상대적으로 길었다는 점에 기인하는 것으로 보인다. 균일방전의 형성을 위해서는 메쉬 전극을 이용한 상하 대향방전이 더 유리하였다.

(2) 면광원의 내부에 2차 전자 방출물질인 MgO layer가 코팅된 경우는 동일 관전류, 동일 관전압의 조건 하에서 휘도가 2 배 이상 상승하는 것을 확인하였다. 따라서 동일 휘도를 유지하기 위해서 인가되는 전압은 낮아질 것으로 예상되고 방전 효율의 상승이 기대된다. MgO 코팅 면광원의 구동조건에 따른 발광효율의 평가가 진행 중이고 이 결과는 차후에 다른 기회로 발표될 것이다.

(3) 전압인가비율이 20%에서 40%로 증가함에 따라 관전압이 상승하고 효율이 떨어짐이 확인되었지만 전압인가비율이 50%일 경우에는 관전압의 감소와 더불어 발광효율이 상승함을 확인하였다. 이는 전압인가비율 50%에서는 램프 외부의 전압의 극성이 바뀌는 순간에 램프 내부의 양쪽에 쌓인 벽전하(wall charges)가 만든 전기장이 증첩되면서 동일 관전류를 형성하기 위한 관전압이 감소한 효과에 기인한 것으로 해석된다.

Corresponding author: 고재현

(hwangko@hallym.ac.kr)

참고 문헌

- [1] Jae-Hyeon Ko, "Recent Research Trends in the Development of New Light Sources for the Backlight Unit of Liquid Crystal Display", *Asian J. Phys.*, Vol.14 (No 3/4), 231-237, 2005
- [2] 고재현, "EEFL/FFL 백라이트의 기술동향과 전망", *월간 전자부품*, 11월호, 78-85, 2006
- [3] T. Urakabe, S. Harada, T. Saikatsu, and M. Karino, "A Flat Fluorescent Lamp with Xe Dielectric Barrier Discharges", in a Special Issue of "The 7th International Symposium on the Science & Technology of Light Sources" pp.20-25 (1996).
- [4] R. P. Mildred and R. J. Carman, "Enhanced performance of a dielectric barrier discharge lamp using short-pulsed excitation", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol.34, pp. L1-L6 (2001).
- [5] D. I. Kang, H. S. Kim, J. J. Ko, and K.-W. Lee, "Nanoporous dielectrics for high-luminance and high-efficacy flat Xe discharge lamp", *CVCE'06 Digest*, pp.51-54 (2006).
- [6] T. Shiga, Y. Ikeda, S. Mikoshiba, and S. Shinada, "Mercury-free Xe flat discharge lamps for lighting", *J. Light & Vis. Env.*, Vol.25 pp.10-15 (2001).
- [7] H. -B. Park, S. -E. Lee, G. Y. Kim, Y. D. Lee, and K. C. Choi, "Effect of Dual Coplanar Electrodes on Mercury-free Flat Fluorescent Lamps for Liquid Crystal Display", *J. Display Tech.*, Vol.2 pp.60-66 (2006).
- [8] J. K. Lee, T. J. Kim, H. Y. Jung, K.-W. Whang, "High efficiency mercury-free flat light source for LCD backlighting", *SID'05 Digest*, pp.1309-1312 (2005).
- [9] L. Hitzschke, F. Vollkommer, and K. D. Bauer, "A 32-in. integrated Hg-free lamp that eliminates problems of backlights with multiple lamps", *SID'04 Digest*, pp.1322-1325 (2004).