

논문 2007-44IE-1-1

# FFL(Flat Fluorescent Lamp)의 방전 특성

## ( Discharge characteristics of Flat Fluorescent Lamp )

권 순 석\*, 류 장 렬\*\*

( Soon-Seok Kwon and Jang-Ryeol Ryu )

### 요 약

본 논문에서는 FFL에 대한 기초 방전특성의 일부분으로 인가전압을 정현파와 구형파로 변화시켜 V-Q Lissajous 도형을 이용하여 FFL의 방전형태를 분석하고, 인가전압의 듀티비(duty ratio)의 변화에 의한 radiation transition에 대하여 고찰하였다. FFL을 정현파와 펄스파를 이용하였고, 절연층으로 둘러 쌓여 있는 전극을 갖는 FFL의 방전 특성을 V-Q 리사쥬 도형을 이용하여 방전 특성을 고찰하였다. FFL은 펄스파로 구동하였을 때 방전 전류는 전압의 상승 순간에 방전 전류가 흐른다. 듀티비가 증가하면 준안정 준위의 Xe 원자들은 증가하며 172nm의 자외선 방사량이 증가하고 있음을 확인할 수 있었다.

### Abstract

This experiment was analysed the discharge characteristics of FFL(flat fluorescent lamp). FFL is operated by sine and pulse wave source. We use FFL which has the electrodes covered with dielectric, observed the discharge characteristics of FFL by V-Q Lissajous' figure. When FFL is operated with pulsed, the discharge current flows after the applied voltage is risen. When the duty ratio increases, the number of metastable xenon atoms seem to increase. Consequently, the 172nm radiation becomes strong as the duty ratio increases.

**Keywords :** FFL, Lissajous, metastable xenon atoms

## I. 서 론

최근 디스플레이 소자는 정보 산업사회에서 매우 중요하게 되었으며, 평판디스플레이 소자는 CRT의 대용으로서 디스플레이 소자 분야에서 크게 증가하고 있다. 현재 LCD, PDP, FED, VFD 등 많은 종류의 평판 디스플레이 소자가 이미 개발되어 상용화 되어 있으며 40 인치(inch) 이상의 대화면화가 실현되고 있다. 특히, LCD는 PDP와 더불어 빠르게 성장하고 있으며, 한국은 대규모 투자가 이루어져 세계 최대 생산국으로 발전하고 있다. LCD는 액정소자의 빛의 변조(modulation)를

이용하는 비발광형(수광형) 디스플레이이다. 즉 LCD는 액정 자체가 빛을 내지 못하고 후면광(backlight)에서 나오는 빛의 투과광을 modulation하여 화면을 여러 가지 색으로 나타내므로 백라이트 및 백라이트 시스템(BLU)의 기능이 화면의 휘도와 디스플레이 표시품질과 깊은 관계를 갖는다. 이미 대면적 LCD의 후면광원시스템(BLU)에서는 후면광원으로 냉 음극형 형광램프가 널리 사용되고 있으며 후면광원시스템의 효율을 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다. 고품질 LCD의 화상을 표현하기 위해서 후면광이 고휘도, 넓은 동작 온도 범위(-30°C~80°C), 저소비전력 등이 요구된다. 현재 후면광에 사용되고 있는 CCFL은 고휘도를 만족시키고 있지만 수은은 자외선원으로 사용하고 있기 때문에 저온에서의 램프 점등에 시간지연 등의 문제점을 갖는다. 대면적 LCD의 후면광원으로 널리 사용되고 있는 CCFL의 문제점을 보완하기 위한 것이 FFL(flat fluorescent lamp)이다. FFL은 확산 필름 없이 균일한

\* 정희원, 천안공업대학 전기과  
(Cheonan National Technical College, Department of Electrical Engineering)

\*\* 정희원, 공주대학교 전기전자제어공학부  
(Kongju National University, Division of Electrical, Electronic & Control Engineering)

접수일자: 2006년10월27일, 수정완료일: 2007년2월28일

휘도 균일도를 이룰 수 있으며, 대면적화에 제한적이지 않다. 또한, 순수 Xe 및 Ar+Xe 등의 불활성 가스를 방전 가스로서 사용하기 때문에 수은이 포함된 CCFL과는 달리 저온 동작의 어려움이 없다. FFL에 대한 연구는 일본, 한국을 중심으로 진행되고 있으며, 전극의 배치형태에 따라 대향전극형과 면전극형으로 구분할 수 있다. 현재는 수명의 문제점을 갖고 있는 대향전극형보다 면전극형에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 국내외의 면전극형 평판 형광램프의 연구 결과를 발표한 것을 보면 오스람의 15 inch 패널은 4,700cd/m<sup>2</sup>의 휘도, 국내의 경우 7000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 얻고 있는 것으로 보고 되고 있다<sup>[1]</sup>. LCD의 차세대 후면광원으로 FFL에 대한 연구가 활발히 진행되고는 있으나, 아직까지 높은 소비전력과 낮은 휘도의 문제점을 해결하기 위하여 기초 방전특성에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 FFL에 대한 기초 방전특성의 일부분으로 인가전압을 정현파와 구형파로 변화시켜 V-Q Lissajous 도형을 이용하여 FFL의 방전형태를 분석하였고 인가전압의 듀티비(duty ratio)의 변화에 의한 radiation transition에 대해 고찰하였다.

## II. 실험 방법

### 2.1 FFL 제작

그림 1은 FFL의 구조를 나타낸 것이다. 램프는 전면부와 후면부로 나누어지고 전면부는 가시광이 통과하는 부분으로서 유리 기판위에 형광층이 10 $\mu$ m의 두께로 배치되어 있으며, 후면부는 유리기판 위에 전극을 10 $\mu$ m의 두께가 되도록 전극층을 배치하였으며, 전극층을 보호하기 위해서 절연층을 60 $\mu$ m의 두께로 하였다. 그 위에 50 $\mu$ m의 두께를 갖는 형광층을 배치하였으며, 전면부와 후면부와의 간격은 2.4mm로 하였다. 램프의 방전 가스는 내환경성과 넓은 동작 온도 범위를 갖도록 하기 위하여 순수 Xe를 사용하였다. 그림 1과 같이 FFL은 전극이 유전층에 의해 적층되어 있는 DBD(dielectric barrier discharge) 또는 SD(silent discharge)의 한 종류로 생각할 수 있다. FFL은 그림 2와 같이 인가한 전압에 의한 전계의 힘으로 가속된 전자와 중성 gas와 충돌전리과정에 의해 Xe 원자가 여기 되어 Xe의 자외선이 방출된다. 이 자외선의 에너지는 형광체의 모체에 흡수되고 부활제(activator) 이온을 여기 시켜 가시광선으로 변환되는 발광기구에 의해 발광하게 된다. 램프는 방전 가스의 방전시 발생하는 Xe에 기인되어 방사되는

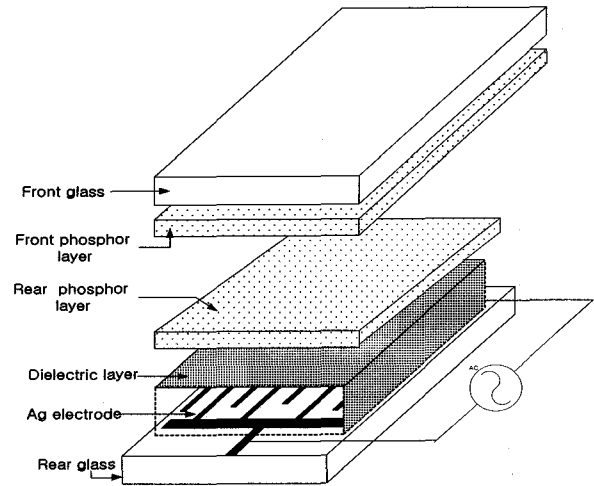


그림 1. FFL의 구조  
Fig. 1. Structure of FFL.

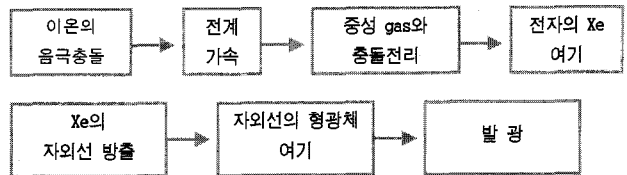


그림 2. FFL의 광 방출 과정  
Fig. 2. Mechanism of Light emission for FFL.

진공 자외선에 의해서 형광체를 여기 시키고 형광체는 가시광을 방사하게 된다.

### 2.2 V-Q 리사쥬 도형의 측정

본 실험에서는 FFL의 방전계측의 방법으로 V-Q 리사쥬 도형을 이용하였다. V-Q 리사쥬 도형을 이용한 측정은 유전체가 전극을 덮고 있는 구조의 DBD 또는 SD 등과 같은 방전에 대한 특성 측정에 자주 이용된다<sup>[2]</sup>. 그림 3은 그 측정 방법을 나타낸 것이다.

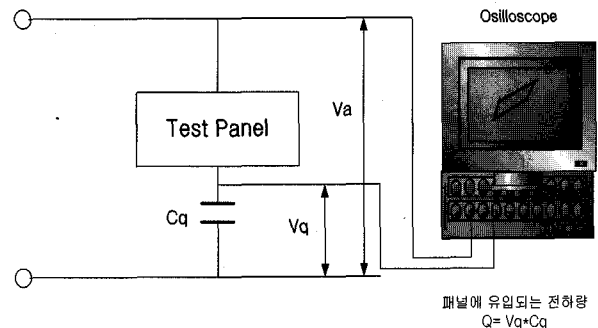


그림 3. 리사쥬 도형의 측정  
Fig. 3. Measurement of V-Q Lissajous' figure.

### 2.3 방전모델

그림 1의 FFL의 단면도에서 알 수 있듯이 FFL은 그

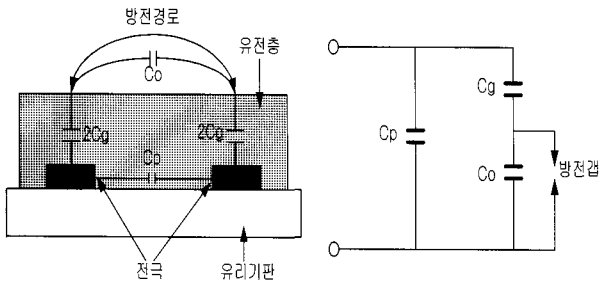


그림 4. FFL의 방전 등가회로  
Fig. 4. Equivalent circuit of discharge for FFL.

그림 4와 같이 등가회로로 변화 시킬 수 있다. 유전체에 의해 생기는 정전용량  $c_g$ 와, 방전경로에 병렬로 존재하는 정전용량  $c_p$ , 그리고 방전공간에 존재하는 정전용량  $c_o$ 의 직·병렬 상태의 커패시터이다. 이 등가회로는 부분방전과 같은 절연물에 대한 보이드 모델(void model)의 등가회로와 마찬가지로 생각할 수 있다.

### III. 실험

#### 3.1 인가전압에 따른 방전형태

그림 5에서는 FFL패널에 30kHz의 정현파 전압과 그림 6의 구형파를 인가했을 경우의 전압과 전류의 시간과형을 보여 주고 있다. 그림 5에서 보여 주는 바와 같이 정현파를 인가한 경우, 전압이 상승하여 전압이 최대에 달하기까지의 짧은 기간에 걸쳐 방전전류가 연속적으로 흐르고 있으며 이 기간 중 방전이 연속적인 것을 알 수 있다.

이것에 대해 전압의 상승이 급격한 구형파의 경우 (Fig.6), 방전은 전압이 인가되는 시간 중 극히 짧은 기간에만 생기고 있음을 알 수 있다. 전압의 상승이 급격한 부분에서 정전용량에 의한 변위전류가 흐른 후, 전압이 최대값에 도달한 후 방전전류가 흐르고 있다. 방전은 전압 파형이 완전히 상승한 후에 형성되고 있음을 보여 주고 있다. 위와 같은 결과를 V-Q 리사주 도형을 이용해서도 알 수 있다.

그림 7에서 정현파를 인가한 경우의 V-Q 리사주 도형에서 방전 기간 중 갭(gap)내의 전압은 방전유지 전압으로 일정하게 유지되며, 방전 공간 전역에 걸쳐 균일하게 미소한 방전이 발생하고 벽전하(wall charge)를 서서히 누적시켜 가게 된다. 그림 8의 구형파의 V-Q 리사주 도형에서는 방전기간이 거의 수직이다. 방전은 전압의 상승 시점에서 모든 방전 공간에 일제히 발생하므로 방전을 할 때, 큰 전하의 이동이 짧은 순간에 생긴

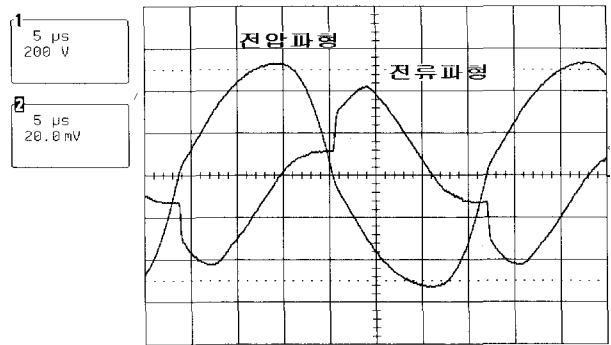


그림 5. 정현파에 대한 전압, 전류 특성  
Fig. 5. Voltage and current (sine wave).

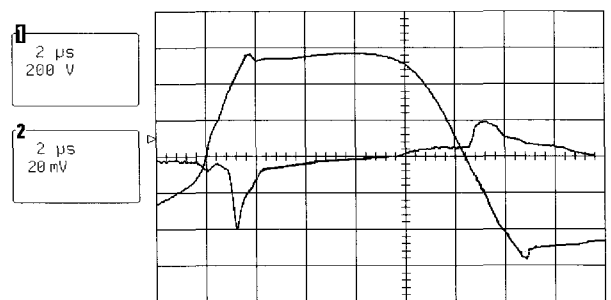


그림 6. 구형파에 대한 전압, 전류 특성  
Fig. 6. Voltage and current for rectangular wave.

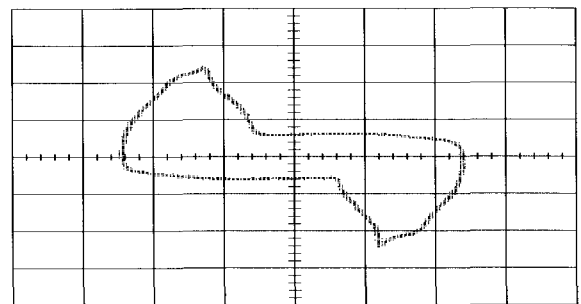


그림 7. 사인파에 V-Q 리사주 도형  
Fig. 7. V-Q Lissajous' figure for sine wave.

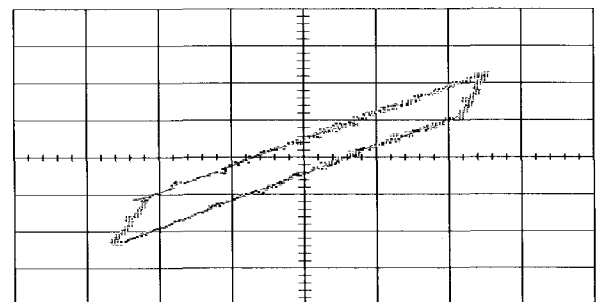


그림 8. 구형파에 대한 리사주 도형  
Fig. 8. V-Q Lissajous's figure for rectangular wave.

다. V-Q 리사주 도형에서와 같이 방전할 때 급격한 기울기의 전하량 이동이 관측된다. 방전을 개시할 때 방전 공간에 걸리는 전압은 방전유지 전압보다 훨씬 크고

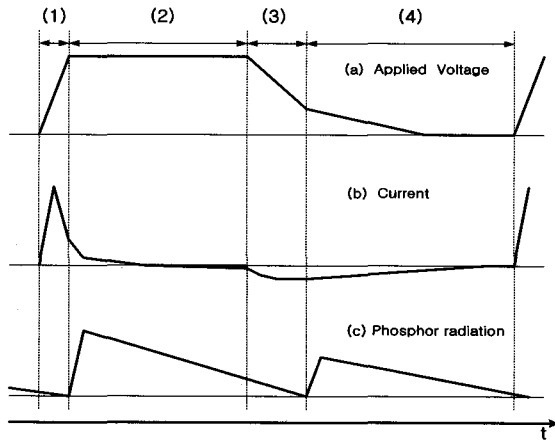


그림 9. 형광체 방사, 램프 전압, 전류에 대한 다이어그램

Fig. 9. The schematic diagram for phosphor radiation, lamp voltage and current.

방전 종료까지 큰 전하의 이동이 있기 때문에 방전을 종료 할 때의 전압은 방전유지 전압보다 훨씬 작다. 결국 방전을 개시할 때와 종료할 때 큰 갭의 전압 변동이 있다. 그림 9는 구형파를 인가했을 경우 각 방전의 1 주기는 다음과 같이 4구간으로 나누어지고 그 과정은 다음과 같다.

(1) 과정 1 (전하의 충전)

전압의 증가에 따라  $c_p$ 와  $c_g$ 에 의해 변위전류가 흐른다.

(2) 과정 2 (기체 방전 또는 기체 절연과괴)

전계가 절연과괴 시점을 넘게 되면 기체 절연과괴 상태가 되고 Xe 원자 방사의 첫 피크(823.2nm, 828nm)가 관측된다. 이 상태의 전자온도( $T_e$ )와 밀도( $n_e$ )가 높아서 다음 식과 같은 과정에 의해 Xe 원자에 의한 공조 자외선 147nm가 발생된다.



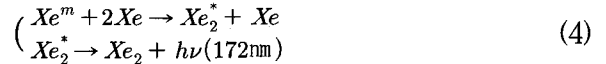
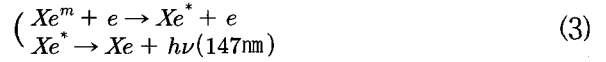
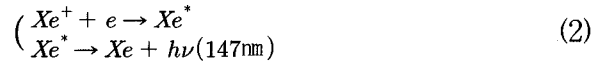
(3) 과정 3 (축적된 전하의 방전 I, 즉 역방향전류)

인가전압이 감소함에 따라 capacitance  $c_p$ 와  $c_g$ 는 방전하고 축적되어 있던 전하들은 없어지면서 역방향 전류(reverse current)가 흐른다. 이때의 전자온도  $T_e$ 는 낮고 전자밀도  $n_e$ 는 높다.

(4) 과정 4(축적된 전하의 방전II, 즉 방사량의 감소)

인가 전압의 감소와 축적된 전하의 방전이 진행됨에 따라 방전공간의 전계는 감소한다. 그리고 역방향 전류는 계속해서 흐르나 그 크기는 작고,  $T_e$ 와  $n_e$ 는 낮다. 그리고 플라즈마(plasma)는 적은 량의 재결합이 이루어

져 다음 식에 의한 진공자외선 (VUV, vacuum ultraviolet)방사가 발생된다.



준안정 상태의 Xe 원자들은 식(4)의 과정에 의해 증가 특성을 나타내며, 172nm의 방사량 증가가 이루어져 147nm와 비교해 172nm 방사가 지배적으로 일어난다.

3.2. 듀티비(duty ratio)에 따른 변화

듀티비가 증가할수록 순방향 전류에서 역방향 전류로의 기간은 증가하고 인가전압이 차단 전압이 될 때 잔여의 이온들과 전자들은 감소한다. 그러므로 역방향 전류가 흐르기 시작할 때 전계는 강하게 되고 보다 많은 Xe 이온들이 듀티비의 증가에 대해 생성된다. 또한 듀티비의 증가에 따라 준안정상태(metastable state)의 Xe원자들이 증가하게 되어 차단 전압 후의 형광체 방사는 첫 번째 방사의 피크와 비교해 증가한다. 그래서 듀티비를 증가시키면 방전개시전압과 전자온도는 감소한다. 결국 듀티비의 증가에 따라 172nm 방사는 강해진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 전압을 정현파와 구형파로 인가하였을 때 방전형태를 고찰하기 위해 Sawyer-tower측정을 이용한 V-Q 리사주 도형을 관측하여 방전형태를 분석하였고 구형파를 인가했을 때 Xe 원자 및 여기자(excimer)에 의한 방사 과정에 대해 고찰하였다. 정현파를 인가한 경우 전압의 상승에 대해 방전전류는 넓은 영역에 걸쳐 흐르고 방전기간 중 갭 내의 전압은 방전유지전압으로 일정하게 유지되어 최대 전압을 변화시켜도 방전유지전압은 변화하지 않는다. 이에 반해 구형파를 인가한 경우 전압의 상승 속도가 방전 지연시간에 비해 매우 빠르므로 전압이 완전히 상승한 후에 방전이 개시하게 된다. 그리고 구형파로 구동할 경우 듀티비를 증가함에 따라 172nm 방사의 증가에 따른 형광체 방사가 증가하게 된다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. Sakita, K Takayama, K. Awamoto and Y. Hashimoto, "Analysis of cell operation at address period using wall voltage transfer function in three-electrode surface-discharge AC-PDPs", Proc. of IDW01, pp.841-844, 2001. 12
- [2] Larry F. Weber, "Measurement of Wall Charge and Capacitance Variation for a Single Cell in AC Plasma Display Panel", IEEE Trans.ElectronDevices, Vol. ED-24, p.864, 1977.
- [3] Masafumi Jinno, Hisayoshi Kurokawa and Masaharu Aono, "Fundamental Research on Mercuryless Fluorescent Lamp II", Jpn. J. Appl.Phys, Vol. 38, pp.4613-4617, 1999. July.
- [4] Hashimoto, "Analysis of cell operation at address period using wall voltage transfer function in three-electrode surface-discharge AC-PDPs", Proc. of IDW01, pp.841-844, 2001. 12.
- [5] S. S. Kwon, M. S. Lim, K. J. Lim, B. H. Ryu, S.G. Park. "AC Flat Fluorescent Lamp for LCD Backlighting", Proc.Of ICEE 1998, 99.984-987, 1998.
- [6] S. S. Kwon, M. S. Lim, K. J. Lim, B.H. Ryu, S. G. Park. "Characteristics of a Simple Structured Flat Fluorescent Lamp with High Luminance for LCD Backlighting", Proc. Of ICEE 1999, pp.676-680, 1999.

---

 저 자 소 개
 

---

권 순 석(정회원)

대한전자공학회 논문지 제43권 1E편 참조

류 장 렬(정회원)

대한전자공학회 논문지 제43권 1E편 참조